



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LAS CINCO  
ESPECIES ARBÓREAS MÁS UTILIZADAS PARA EL CONSUMO DE LEÑA EN SANTA  
CRUZ DEL QUICHÉ**

**Luz María Alvarez Curthiz**

Asesorado por el Ing. José Antonio Rosal Chicas

Guatemala, junio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE CARACTERIZACIÓN  
ENERGÉTICA DE LAS CINCO ESPECIES ARBÓREAS MÁS UTILIZADAS  
PARA EL CONSUMO DE LEÑA EN SANTA CRUZ DEL QUICHÉ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**LUZ MARÍA ALVAREZ CURTHIZ**

ASESORADO POR EL ING. JOSE ANTONIO ROSAL CHICAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, JUNIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
SECRETARIO	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LAS CINCO ESPECIES ARBÓREAS MÁS UTILIZADAS PARA EL CONSUMO DE LEÑA EN SANTA CRUZ DEL QUICHÉ**

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



**Luz María Álvarez Curthiz**

Guatemala, 25 de octubre de 2016.

Director  
Carlos Salvador Wong  
Escuela de **Ingeniería Química**  
Presente.

Estimado Director:

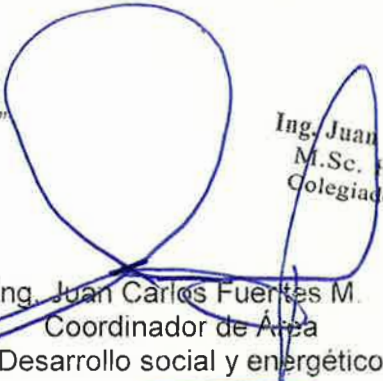
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **Luz María Alvarez Curthiz** carné número **200511959**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Energía y Ambiente**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

  
MSc. Ing. José Antonio Rosal Chicas  
Asesor (a)

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.  
Coordinador de Área  
Desarrollo social y energético

Ing. Juan C. Fuentes M.  
M.Sc. Hidrología  
Colegiado No. 2,504

  
MSc. Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo  
/la



Ref.EIQ.TG.029.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, de la estudiante, **LUZ MARÍA ALVAREZ CURTHIZ**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en ENERGÍA Y AMBIENTE** titulado **"DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LAS CINCO ESPECIES ARBÓREAS MÁS UTILIZADAS PARA EL CONSUMO DE LEÑA EN SANTA CRUZ DEL QUICHÉ"**. Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

*"Id y Enseñad a Todos"*



Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, mayo de 2017

Cc: Archivo  
CSWD/ale



Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Instituciones de Educación Superior



Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.268-2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LAS CINCO ESPECIES ARBÓREAS MÁS UTILIZADAS PARA EL CONSUMO DE LEÑA EN SANTA CRUZ DEL QUICHÉ**, presentado por la estudiante universitaria: **Luz María Alvarez Curthiz**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, junio de 2017

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser mi padre, mi protector, mi apoyo y guía durante toda mi vida.
<b>Mi madre y padre</b>	María Elena Alvarez, por su amor y apoyo. Por su paciencia y entrega en cada etapa de mi vida. Por siempre enseñarme a crecer y ser mejor.
<b>Mis abuelos</b>	Mario Alvarez Echeverría y Eugenia Guillermina Curthiz cuyo apoyo, amor, consejo y disciplina marcaron mi forma de ser.
<b>Ing. Otto de León</b>	Por su apoyo, cariño y consejo y el impacto de estos en mi vida.
<b>Ing. Mauricio Rivera</b>	Por ser mi mejor amigo, incondicional y siempre velar por mi bien, en todo nivel. Por creer en mí. Por tu cariño.
<b>Mis sobrinas Paulina y Daniela</b>	Por ser mi motivación y mi alegría. Por su gran cariño.
<b>Mis amigas</b>	Andrea, Ligia, Silvana, Lara, Eunice, Thelma y Aida, por su apoyo en los momentos alegres y tristes.



**Mis amigos**

Joao, Pablo, Kevin, Carlos, Jorge por la fortaleza que me han dado.

**Mi hermano**

José Carlos Alvarez, por ser mi eterno compañero, por empujarme a crecer y ser mejor cada día.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mí alma mater, por abrirme sus puertas, por su historia y por ser parte de ella.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser mí maestra y nutrir mis capacidades y darme las herramientas para ser un miembro útil y competente ante los desafíos presentes y futuros.
<b>Corporación Donovan Werke</b>	Al ingeniero Ronald Escobar y licenciada Claudia Siguí por su apoyo y enseñanzas, pero sobre todo su cariño.
<b>AFORQ</b>	Ing. Heber René Quezada Elías por su cooperación y acompañamiento en la investigación realizada.
<b>INAB</b>	Eliel Villatoro por la información proporcionada y despertar el interés de investigación en el área de Santa Cruz.
<b>Ing. José Rosal</b>	Por su asesoramiento, guía y apoyo.
<b>Ing. Mauricio Rivera</b>	Por su asesoramiento, apoyo incondicional y por creer en mí y siempre empujarme a ser mejor.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
OBJETIVOS .....	XIX
JUSTIFICACIÓN .....	XXI
1. ANTECEDENTES .....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
3. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	9
4. MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL .....	11
4.1. Leña .....	11
4.1.1. Definición .....	11
4.1.2. Composición de la Madera .....	12
4.1.3. Propiedades Generales de la Leña .....	12
4.1.4. Procedencia de la Leña .....	12
4.1.5. Ventajas y Desventajas .....	13
4.1.6. Importancia de la Madera .....	13
4.1.7. Combustión de la Leña .....	14
4.2. Cobertura forestal en Guatemala .....	16
4.2.1. Tipos de Bosques en Guatemala .....	16
4.2.1.1. Bosque de coníferas .....	16
4.2.1.2. Bosque latifoliado de baja elevación ....	17
4.2.1.3. Bosque latifoliado de altura .....	17

	4.2.1.4.	Bosque mixto.....	18
	4.2.1.5.	Bosque fragmentado y árboles dispersos de costa sur .....	18
	4.2.1.6.	Monte espinoso .....	18
	4.2.1.7.	Bosque manglar .....	19
	4.2.2.	Usos de las especies forestales .....	19
4.3.	Quiché.....		20
	4.3.1.	Santa Cruz del Quiché “Lugar de muchos árboles” .....	20
	4.3.2.	Oferta y Demanda de leña en Quiché .....	20
	4.3.3.	Especies arbóreas de mayor consumo en Santa Cruz del Quiché .....	23
	4.3.3.1.	Encino Negro (Quercus Brachystachys Benth) .....	23
	4.3.3.2.	Encino Blanco (Quercus Conspersa Benth) .....	24
	4.3.3.3.	Encino (Quercus Peduncularis Née)....	26
	4.3.3.4.	Madroño (Arbutus Xalapensis).....	27
	4.3.3.5.	Pino colorado (Pinus Oocarpa Schiede) .....	28
4.4.	Energía.....		29
	4.4.1.	Transferencia de Calor .....	30
	4.4.1.1.	Conducción.....	30
	4.4.1.2.	Convección.....	31
	4.4.1.3.	Radiación térmica.....	31
	4.4.2.	Poder calorífico.....	32
	4.4.2.1.	Poder calorífico superior (PCS) .....	32
	4.4.2.2.	Poder calorífico inferior (PCI).....	32

4.4.2.3.	Factores que inciden en el poder calorífico .....	33
4.4.2.4.	Cálculo analítico del poder calorífico ...	35
4.4.2.5.	Cálculo práctico del poder calorífico superior.....	36
4.4.2.6.	Importancia del poder calorífico .....	36
5.	HIPÓTESIS .....	37
5.1.	Hipótesis nula.....	37
5.2.	Hipótesis de investigación .....	38
6.	ÍNDICE PROPUESTO .....	39
7.	METODOLOGÍA .....	42
7.1.	Tipo de estudio .....	42
7.2.	Fases del estudio.....	43
8.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	59
8.1.	Cálculo de la media aritmética.....	59
8.2.	Cálculo del rango .....	60
8.3.	Cálculo de la desviación estándar .....	61
9.	CRONOGRAMA.....	63
10.	RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD.....	65
	BIBLIOGRAFÍA.....	67
	ANEXOS .....	69



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Fases de reacción en proceso de combustión.....	14
2.	Esquema del proceso de combustión .....	14
3.	Santa Cruz del Quiché.....	21
4.	Cobertura forestal 2006-2010 en Quiché .....	22
5.	Encino negro ( <i>Quercus Brachystachys Benth</i> ) .....	24
6.	Encino blanco ( <i>Quercus Conspersa Benth</i> ) .....	25
7.	Encino ( <i>Quercus Peduncularis Née</i> ) .....	27
8.	Madroño ( <i>Arbutus Xalapensis</i> ) .....	28
9.	Pino Colorado ( <i>Pinus Oocarpa Schiede</i> ).....	29
10.	Efecto del contenido de humedad en el PCI de la madera.....	34
11.	Esquema de solución .....	69
12.	Árbol del problema, análisis de causas y efectos .....	70
13.	Ampliación de mapa de cobertura forestal de Santa Cruz del Quiché.....	72



## TABLAS

I.	Poder calorífico inferior de la leña.....	33
II.	Poder calorífico en función del contenido de humedad.....	35
III.	Diseño de la Investigación.....	44
IV.	Variables por objetivo.....	45
V.	Variable de operación.....	47
VI.	Datos objetivo específico 1 en base húmeda.....	56
VII.	Datos objetivo específico 1 en base seca.....	56
VIII.	Datos objetivo específico 2 en base húmeda.....	56
IX.	Datos objetivo específico 2 en base seca.....	57
X.	Datos objetivo específico 3 en base húmeda.....	57
XI.	Datos objetivo específico 3 en base seca.....	57
XII.	Media aritmética.....	59
XIII.	Rango... ..	60
XIV.	Desviación estándar.....	61
XV.	Cronograma de actividades.....	64
XVI.	Recursos necesarios.....	65
XVII.	Matriz de coherencia.....	71

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>AFORQ</b>	Asociación Forestal del Quiché
<b>ASTM</b>	American Society for Testing Materials.
<b>cm</b>	Centímetro
<b>CONAP</b>	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
<b>°C</b>	Grado centígrado
<b>g</b>	Gramo
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Gramo centímetro cúbico
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>Ho</b>	Hipótesis nula
<b>Hi</b>	Hipótesis de Investigación
<b>IAP</b>	<i>Indoor Air Pollution</i>
<b>INAB</b>	Instituto Nacional de Bosques
<b>Kcal/kg</b>	Kilocaloría kilogramo
<b>kg/dm<sup>3</sup></b>	Kilogramo decímetro cúbico
<b>KJ/kg</b>	Kilojoule kilogramo
<b>km<sup>2</sup></b>	Kilómetro cuadrado
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>MJ/kg</b>	Megajoule kilogramo
<b>ml</b>	Mililitro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>ppm</b>	Parte por millón

**PCI**

Poder Calorífico Inferior

**PCS**

Poder Calorífico Superior

**%**

Porcentaje

## GLOSARIO

<b><i>ASTM</i></b>	American Society for Testing Materials, organismo de normalización de los Estados Unidos.
<b>Bomba calorimétrica</b>	Equipo que permite la determinación del poder calorífico específico de una muestra por medio de la combustión en atmósfera de oxígeno de la misma.
<b>Bosque mixto</b>	Combinación de bosques de hoja ancha de tipo caducifolio con bosques de hoja acicular, coníferas.
<b>Calibrador vernier</b>	Instrumento de medición directa de longitudes a través de la escala Vernier.
<b>Calor</b>	Energía que se manifiesta por aumento de temperatura, procede de la transformación de otras energías.
<b>Caracterización</b>	Es una fase descriptiva con fines de identificación, entre otros aspectos, de los componentes, acontecimientos (cronología e hitos), actores, procesos y contexto de una experiencia, un hecho o un proceso.

<b>Celulosa</b>	Biomolécula orgánica más abundante en el planeta. Principal componente de la madera y materia orgánica.
<b>Combustión</b>	Proceso químico de oxidación rápida que va acompañado de desprendimiento de energía en forma de calor y luz.
<b>Coníferas</b>	Tipo de estructura celular homogénea de las especies de árboles constituidos por traqueidas que realizan la función de sostén y conducción de la sabia.
<b>Consumo</b>	Acción por la cual diversos bienes y servicios son usados o aplicados a los fines. Gastar recursos.
<b>Contenido de cenizas</b>	Cantidad residual de producto inorgánico no combustible obtenido a partir de la combustión de algún material.
<b>Demanda</b>	Cantidad de bienes y servicios que se desea en un periodo determinado, a un precio dado.
<b>Densidad</b>	Relación de la masa a un volumen medido a un determinado contenido de humedad.
<b>Emisiones</b>	Materias, sustancias o formas de energía que se descargan a la atmósfera de forma continua o intermitente.

<b>Encino</b>	Árbol del Quercus y especie peduncularis née, localizada en zona de vida de bosque seco subtropical.
<b>Encino blanco</b>	Árbol de género Quercus y especie conspersa benth), localizada en bosques de tierra fría, bosque pino-encino, y mesófilo de montaña.
<b>Encino negro</b>	Árbol del género Quercus y especie brachystachys benth, localizada en bosques húmedos de clima templado.
<b>Energía</b>	Capacidad de los cuerpos para producir cambios o un trabajo en sí mismos.
<b>Especie</b>	Unidad básica de la clasificación biológica.
<b>Humedad</b>	Cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire.
<b>Latifoliada</b>	Tipo de estructura celular de las especies de árboles en las que las fibras realizan la función de sostén y los vasos la conducción de la sabia.
<b>Leña</b>	Trozo de madera, parte del árbol que cortada y en trozos se utiliza como combustible.

<b>Leña Base Húmeda</b>	Leña medida sin procesos que alteren su humedad natural o de equilibrio. Muestra sin alteraciones.
<b>Leña Base Seca</b>	Leña que ha sido secada por medios mecánicos hasta no presentar humedad.
<b>Lignina</b>	Tercer componente fundamental de la madera, entre 15 y 35% de su peso.
<b>Madroño</b>	Árbol del género <i>Arbutus</i> y especie <i>xalapensis</i> localizada en latitudes entre 800 y 1500 msnm.
<b>Material Particulado</b>	Mezcla de partículas líquidas y sólidas, de naturaleza orgánica e inorgánica, suspendidas en el aire.
<b>Nombre Científico</b>	Nombre por el cual los biólogos nombran a todo organismo vivo formado por el género y la especie con base en el sistema binomial de Linneo.
<b>Oferta</b>	Aquella cantidad de bienes o servicios que los productores están dispuestos a vender bajo condiciones de mercado determinadas.
<b>Pino Colorado</b>	Árbol del género <i>Pinus</i> y especie <i>oocarpa schiede</i> localizada en bosque húmedo sub-tropical y húmedo montano bajo o frío.

<b>Precipitación</b>	El producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra.
<b>Prisma</b>	Poliedro con una base poligonal de n lados.
<b>Humedad</b>	Cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire.
<b>Combustión</b>	Proceso químico de oxidación rápida que va acompañado de desprendimiento de energía en forma de calor y luz.
<b>Recurso Forestal</b>	Bosques naturales, plantaciones forestales y las tierras cuya capacidad de uso mayor sea de producción y protección forestal.
<b>Temperatura</b>	Magnitud Física que se relaciona con la energía interna de un sistema termodinámico.
<b>Tiempo</b>	Período definido durante el que se realiza una acción o se lleva a cabo un acontecimiento.
<b>Transferencia de Calor</b>	Proceso de propagación del calor siempre que existe un gradiente térmico entre dos sistemas hasta alcanzar un equilibrio.



**UNE**

Normas técnicas creadas por el Comité Técnico de Normalización de España. Abreviatura de Una Norma Española.

## RESUMEN

El presente diseño de investigación, busca realizar la caracterización energética de las cinco especies arbóreas: Encino Negro (*Quercus brachystachys benth*), Encino Blanco (*Quercus conspersa benth*), Encino (*Quercus peduncularis née*), Madroño (*Arbutus xalapensis*) y Pino Colorado (*Pinus oocarpa schiede*) que son las de mayor demanda para el consumo de leña en la región de Santa Cruz, en el Departamento de Quiché, de acuerdo con la información proporcionada por INAB Quiché, región norte y Asociación Forestal del Quiché (AFORQ).

El diseño de caracterización energética estará ordenado de la siguiente forma: en el capítulo uno se expone la exploración bibliográfica de los fundamentos teóricos que apoyan el informe final. En el capítulo dos se realizará reconocimiento de la ubicación de las especies y la recolección de muestras de las cinco especies arbóreas, como leña apoyada por colaborador de INAB Quiché y de AFORQ, para luego trasladarlas a la capital. En el capítulo tres se describen las pruebas experimentales realizadas de las muestras recolectadas: propiedades físicas de densidad, humedad, contenido de cenizas; químicas: lignina, celulosa y poder calorífico en base seca y húmeda; emisiones CO y material particulado para establecer sus comportamientos y su potencial energético y ambiental, de acuerdo con Normas ASTM indicadas en metodología.



## INTRODUCCIÓN

Según el informe “Oferta y Demanda de Leña”, Quiché tiene una demanda residencial urbana de 258,255.12 toneladas de leña y residencial rural de 1,343,047.41 toneladas de leña, por lo que representa un 10.39% de total de demanda de leña a nivel nacional (Larrañaga, 2012).

El estudio aporta conocimiento que, si es difundido y utilizado posteriormente por las entidades responsables, como el Instituto Nacional de Bosques y Asociación Forestal del Quiché (AFORQ), beneficiaría a la población que podrá aprovechar, de forma responsable, sus bosques naturales.

Para el Ministerio de Energía y Minas es una contribución de datos de la energía real aprovechable de biomásas forestales de las especies. La Universidad de San Carlos de Guatemala contará con una valiosa contribución insumo en la línea de investigación de Gestión y Uso Eficiente de la Leña. Su utilización beneficiaría, en otros estudios, a las comunidades para la creación de nuevas plantaciones con alto poder calorífico, planes de manejo forestal de estas especies o bosques energéticos más eficientes y personas particulares con ideas de nuevos proyectos forestales.

El problema principal de este diseño de investigación es que, actualmente, no se cuenta con estudios experimentales de caracterización energética para especies arbóreas de mayor consumo, como leña en la región de Santa Cruz del Quiché y, en general, no existen datos para Guatemala.

Por no contar con un estudio de caracterización específico por región y especies, se justifica la importancia de realizar este estudio identificando y estableciendo valores útiles de propiedades y poder calorífico de las cinco especies más utilizadas. Por eso, los objetivos abarcan la realización experimental de propiedades físicas: densidad, humedad, contenido de cenizas; químicas: lignina, celulosa y poder calorífico en base seca y húmeda, según normativas indicadas en la metodología, así como un análisis de emisiones, para cumplir con el objetivo general de caracterizar energéticamente las cinco especies de mayor demanda, como leña en Santa Cruz del Quiché.

## OBJETIVOS

### General

Caracterizar energéticamente las cinco especies de mayor demanda energética para consumo de leña en Santa Cruz del Quiché: Encino Negro (*Quercus brachystachys benth*), Encino Blanco (*Quercus conspersa benth*), Encino (*Quercus peduncularis née*), Madroño (*Arbutus xalapensis*) y Pino Colorado (*Pinus oocarpa schiede*).

### Específicos

1. Determinar las propiedades físicas: densidad, humedad, contenido de cenizas; y químicas: lignina, celulosa de las cinco especies arbóreas: Encino Negro (*Quercus brachystachys benth*), Encino Blanco (*Quercus conspersa benth*), Encino (*Quercus peduncularis née*), Madroño (*Arbutus xalapensis*) y Pino Colorado (*Pinus oocarpa schiede*) con mayor demanda para el consumo de leña en Santa Cruz del Quiché en base seca y húmeda.
2. Establecer el poder calorífico de las cinco especies arbóreas Encino Negro (*Quercus brachystachys benth*), Encino Blanco (*Quercus conspersa benth*), Encino (*Quercus peduncularis née*), Madroño (*Arbutus xalapensis*) y Pino Colorado (*Pinus oocarpa schiede*) de mayor demanda energética para el consumo de leña en Santa Cruz del Quiché en base seca y húmeda por medio de Norma ASTM D240.

3. Realizar un análisis de emisiones, monóxido de carbono y material particulado, de las cinco especies arbóreas Encino Negro (*Quercus brachystachys benth*), Encino Blanco (*Quercus conspersa benth*), Encino (*Quercus peduncularis née*), Madroño (*Arbutus xalapensis*) y Pino Colorado (*Pinus oocarpa schiede*) en el consumo de leña en Santa Cruz del Quiché.

## JUSTIFICACIÓN

Dado que se carece de un estudio de caracterización específico por región y especies, se justifica la importancia de realizar esta investigación en la cual se identificarán y establecerán valores útiles de propiedades y poder calorífico de las cinco especies arbóreas de mayor demanda para utilizarse como leña, en Santa Cruz del Quiché.

Con la realización de este diseño de investigación, se obtendrán los valores de las propiedades físicas: densidad, humedad, contenido de cenizas; químicas: lignina, celulosa de las cinco especies y energéticas, la energía real aprovechable o poder calorífico de las especies en base seca y húmeda y las emisiones de las mismas en combustión.

El departamento de Quiché es un gran consumidor de leña. En tal virtud, debería contar con información detallada de sus recursos forestales, como: propiedades físicas, químicas, valores de poder calorífico y emisiones de las especies. De esta manera, se les utilizará adecuadamente y se contribuirá a la reducción de la demanda actual y sostenibilidad futura de uso de leña.

Asimismo, el estudio es una contribución al conocimiento que beneficiará a la población por medio de la difusión, a las instituciones respectivas, como el Instituto Nacional de Bosques, AFORQ y Ministerio de Energía y Minas porque contarán con la información de datos de energía real aprovechable de biomásas forestales, de las especies objeto de estudio. La Universidad de San Carlos de Guatemala contará con una valiosa contribución en la línea de investigación de Gestión y Uso Eficiente de la Leña.



Las comunidades se beneficiarán porque, además del criterio de preferencia, podrán aplicar este conocimiento para seleccionar la especie más eficiente y de alto poder calorífico, en futuras gestiones de plantaciones con alto poder calorífico o bosques energéticos más eficientes. Las personas particulares podrán aprovechar los datos de la investigación para conformar proyectos de manejo forestal.

## 1. ANTECEDENTES

En Guatemala, se han realizado algunos estudios acerca del uso de biomasas como fuentes alternativas a la leña donde se mencionan valores de poder calorífico.

En el análisis *Importancia del Componente Arbóreo en algunas Fincas de Guatemala* se obtuvieron resultados de los usos variados del componente arbóreo en 239 fincas de los departamentos de Alta Verapaz, Baja Verapaz, Chiquimula, Zacapa, Chimaltenango, Guatemala, El Progreso, Jutiapa, Jalapa y Santa Rosa. Al identificar el uso como combustible, se mostró un 88% de utilización de leña en el ámbito doméstico en 210 fincas de las 239. (Martínez, H., 1985) y su forma de obtención por recolección en un 87%. No se evidencia un control definido del tipo de leña que se recolecta. La disponibilidad de este recurso depende de su existencia en el área, de las condiciones del suelo y ecológicas para que crezcan las especies. Se alude que los usuarios de leña prefieren las especies encino, pino, roble, madrecaao e ilamo y las especies preferidas en un escenario idóneo, son el encino, pino, roble, madrecaao y zarza (Martínez, H., 1985); en función de su poder calorífico (dato no determinado en el documento), la capacidad para producir brasas, poca formación de humo y tradiciones. Sin embargo, las preferencias de la población difieren de las especies que realmente usan, ya que estas pueden ser inaccesibles.

En las fincas de algunos departamentos se identifican de mejor manera los contextos donde se localizan las especies y es posible determinar cuáles

son las más utilizadas para el consumo de leña. Sin embargo se carece de información experimental acerca del poder calorífico de las especies. Únicamente se conocen las preferencias ya mencionadas. Es notorio que las preferencias varían de acuerdo con la región donde se utilizan. Esto indica que, si la geografía y clima permiten el crecimiento de especies específicas, los poderes caloríficos variarían de acuerdo con la región. No obstante, es de suma importancia conocer estos poderes caloríficos por región para tener un panorama completo de potencial energético.

En otro estudio de tesis denominado “Procesamiento y Aceptación del Carbón Obtenido en Horno Media Naranja de las Especies Forestales *Pinus maximinoii* M., *Liquidambar styraciflua* L. y *Quercus brachistachys* B. en condiciones de la finca Chilax, San Juan Chamelco, Alta Verapaz”, se llevó a cabo un diagnóstico de la finca utilizando éstas especies y, a través del Ministerio de Energía y Minas, se realizó la determinación del poder calorífico del carbón de estas tres especies: *pinus maximinoii* M 4,906kcal/kg; *Liquidambar styraciflua* L. 5,977kcal/kg y *Quercus brachistachys* B. 6,331 kcal/kg (Villagrán, E., 2009). El enfoque del estudio es la mejora de la unidad agroforestal de la Finca Chilax, por medio del procesamiento de carbón vegetal de las especies y su aceptación (Villagrán, E. 2009). Se describen características del roble o encino, una leña densa que produce poca ceniza y buenas brazas, Además, se proporcionan datos del poder calorífico de 4, 400 kcal/kg, pero no se especifica para *Quercus brachistachys* B (Villagrán, E., 2009).

El estudio aportará el valor del poder calorífico para la especie Encino cuyas variedades se analizarán en la presente caracterización para corroborar la existencia de diferencias entre las mismas de acuerdo con los valores

experimentales por determinar. Se indica también donde se pueden realizar estas pruebas (Villagrán, E., 2009).

En el estudio de trabajo de graduación, *Evaluación del Uso de Biomasa como Combustible Alternativo en la Producción de Ladrillos de Barro Cocido en el Municipio de El Tejar, Chimaltenango*, se indica que el poder calorífico de la madera depende de la variedad y del contenido de humedad y oscila entre 4,000 y 5,000 kcal/kg (Montufar, D., 2012). Se presentan datos de poder calorífico de seis especies de leña seca utilizadas en el departamento de Sacatepéquez: eucalipto 4,593 kcal/kg, pino 4,892 kcal/kg, cedro 4,316 kcal/kg, ciprés 5,123 kcal/kg, encino 4,658 kcal/kg y roble 4,083 kcal/kg (Montufar, D., 2012), no especifica variedades de especie, ni la metodología de cómo se obtuvieron.

El estudio no centra su atención en la caracterización, pero hace referencia a la importancia de los parámetros de contenido de humedad, composición química y poder calorífico, como herramientas para su uso y aprovechamiento en los equipos de combustión para la fabricación de ladrillos. Resalta la importancia de estos conocimientos y su aplicación en el presente trabajo de graduación para el uso posterior de las especies de forma responsable u otras aplicaciones.

En el ámbito latinoamericano, en Colombia, en la investigación *Implicaciones Ambientales del Uso de Leña como Combustible Doméstico en la Zona Rural de Usme*, se analiza el impacto del uso de leña como combustible doméstico. Toma como muestra la zona rural de Usme. Se realizó la identificación y caracterización de las especies leñosas más utilizadas para la cocción de alimentos (Mejía, F., 2011).

Se describe el poder calorífico de muestras recolectadas de eucalipto, duraznillo, encenillo, arboloco, pino, acacio y retal (Mejía, F.; 2011).

El análisis caracteriza las especies arbóreas que realmente usa la población muestreada. También aborda el uso del poder calorífico para determinar la eficiencia de estas en la cocción de alimentos (sujeto, no solo al combustible sino a la estufa utilizada) y resalta que los procesos actuales de combustión son ineficientes. La investigación describe la metodología para determinar el poder calorífico de las especies presentadas. A partir de ella, se determinó que el valor de poder calorífico superior que corresponde al eucalipto es 18,605kJ/kg (Mejía, F., 2011). Manifiesta, también, que la preferencia de especies arbóreas depende de la región geográfica; de tal manera que la caracterización de especies específicas de la región, como las del presente estudio son significativas.

En Guanajuato, México se realizó el estudio *Poder calorífico y material inorgánico en la corteza de seis Árboles frutales* en el cual se determinó el poder calorífico y el contenido de cenizas de la corteza de seis especies de árboles para la detección de elementos químicos en dichas cenizas. En las muestras de las especies arbóreas chirimoyo, limón, manzano, guayabo, almendro y tamarindo, propias de la región, se detectaron los elementos comunes: calcio, potasio, magnesio, fósforo y azufre. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: poder calorífico de chirimoyo 3,829.34kcal/kg; limón 3 647.65 kcal/kg; manzano 3,998.28 kcal/kg; guayabo 4076.21kcal/kg; almendro 3,582.42kcal/kg y tamarindo 3,453.49 kcal/kg. El estudio se realizó a escala laboratorio (Martínez, R.; Pedraza, F.; Apolinar, J.; López, J. y Rutiaga, G.; 2012). Se puede observar que, en la búsqueda de sustitutos de combustibles fósiles, la determinación de variables, como poder calorífico y el contenido de

cenizas están adquiriendo mayor relevancia para conocer el potencial que tienen las especies. Se evidencia la importancia del conocimiento del poder calorífico para utilizarlo en el país.

Además, esta investigación es significativa porque indica que el contenido de minerales es otra variable que afecta el poder calorífico. Si se encuentra un alto contenido de minerales, el poder calorífico disminuyó. Por ello, se evaluarán las variables para las especies arbóreas más utilizadas en Quiché.

En Europa, con el apoyo de la Agencia Europea para la Competitividad y la Innovación en el Programa, proyecto de Biomásas, se publicó en España el *Manual de Combustibles de Madera*. El documento es una herramienta para particulares interesados en incursionar en el uso de biomásas leñosas en general. Incluye las definiciones de variables físicas y químicas, así como propiedades de varios combustibles de biomasa y fórmulas para el cálculo analítico del poder calorífico en función de humedad. (Francescato, V.; Antonini, E.; Zuccoli, L.; 2008). El cálculo matemático para la caracterización de poder calorífico para las especies en quiché se basará en el documento antes mencionado. Asimismo, se tomarán los conceptos de las variables físicas y químicas para biomasa en general.

En el estudio, *Uso Energético de la Paulownia en España* se realizó la caracterización energética para la especie *Paulownia tomentosa* y *elongata x fortunei*. Se analizaron las características energéticas físicas: humedad, densidad, tamaño y químicas: composiciones y poder calorífico, realizando pruebas experimentales y se utilizaron datos bibliográficos para estas características. Esa especie, cuanto más gruesa, húmeda y densa sea tardará más al ser quemada.

La humedad es una variable física de suma importancia, pues influye significativamente en el poder calorífico que, a su vez, es una variable clave para el estudio del comportamiento energético de biocombustibles. En las pruebas se utilizó una bomba calorimétrica, estufa y balanza para el poder calorífico (Martín, M.; Monteagudo, B.; Osado, I. y Castaño, P.; 2009).

Se obtuvieron datos de densidad para las especies: *Paulownia tomentosa* 0.245 – 0.290 kg/dm<sup>3</sup> y *elongata x fortunei* 0.265-0.333 kg/dm<sup>3</sup>; porcentaje de cenizas después de la combustión: 2.88% y 1.12% respectivamente. Además, se obtuvieron los datos de poder calorífico inferior: *Paulownia tomentosa* 16.636 kJ/kg a 9.9 humedad en base seca y para *Paulownia elongata x fortunei* 15.961 a 9.7 humedad en base seca y poder calorífico superior: 19.895 kJ/kg y 19.558 kJ/kg. La conclusión para la presente especie fue positiva y se continuarán investigaciones para el establecimiento de plantaciones energéticas de la misma (Martín, M.; et al, 2009).

El marco general del documento anterior se podrá utilizar para el presente estudio de caracterización energética y selección de las variables que se pueden estudiar para las especies arbóreas más usadas en Quiché.

Con base en los antecedentes mencionados, puede determinarse que la caracterización propuesta es importante porque aporta conocimiento de propiedades físicas, químicas y de potencial energético para las especies. Además, en la actualidad no se cuenta con los datos que se incluyen, para la región de Santa Cruz del Quiché.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El alto consumo se debe a la ausencia de uso responsable de los recursos forestales, el nulo conocimiento de caracterización energética de estas y la alta costumbre de la población a la recolección y uso de leña como fuente energética.

En el departamento de Quiché, de acuerdo con datos iniciales proporcionados por INAB Quiché sub región VII-1 Santa Cruz, así como reconocimiento inicial con apoyo de miembros de AFORQ e INAB, las especies preferidas y más utilizadas para consumo de leña son: Encino Negro (*Quercus brachystachys benth*), Encino Blanco (*Quercus conspersa benth*), Encino (*Quercus peduncularis née*), Madroño (*Arbutus xalapensis*) y Pino Colorado (*Pinus oocarpa schiede*). No se cuenta con estudios experimentales o evaluaciones de caracterización energética, y por lo tanto no se estiman estos datos, lo cual constituye el problema principal del diseño de esta investigación.

Esta problemática exige el planteamiento de

- Pregunta central

¿Cuáles son las características energéticas de las cinco especies con mayor demanda energética para consumo de leña en Santa Cruz del Quiché: Encino Negro (*Quercus brachystachys benth*), Encino Blanco (*Quercus conspersa benth*), Encino (*Quercus peduncularis née*), Madroño (*Arbutus xalapensis*) y Pino Colorado (*Pinus oocarpa schiede*)?



- Preguntas auxiliares

¿Cuáles son las propiedades físicas: densidad, humedad, contenido de cenizas; y químicas: lignina, celulosa de las cinco especies arbóreas: Encino Negro (*Quercus brachystachys benth*), Encino Blanco (*Quercus conspersa benth*), Encino (*Quercus peduncularis née*), Madroño (*Arbutus xalapensis*) y Pino Colorado (*Pinus oocarpa schiede*) con mayor demanda para el consumo de leña en Santa Cruz del Quiché en base seca y húmeda?

¿Cuál es el poder calorífico de las cinco especies arbóreas Encino Negro (*Quercus brachystachys benth*), Encino Blanco (*Quercus conspersa benth*), Encino (*Quercus peduncularis née*), Madroño (*Arbutus xalapensis*) y Pino Colorado (*Pinus oocarpa schiede*) de mayor demanda energética para el consumo de leña en Santa Cruz del Quiché en base seca y húmeda?

¿Cuáles son las emisiones que emiten las cinco especies arbóreas Encino Negro (*Quercus brachystachys benth*), Encino Blanco (*Quercus conspersa benth*), Encino (*Quercus peduncularis née*), Madroño (*Arbutus xalapensis*) y Pino Colorado (*Pinus oocarpa schiede*) en el consumo de leña en Santa Cruz del Quiché?

Sin estas caracterizaciones, el consumo actual se continuará centrando en propiedades de crecimiento y en un ineficiente aprovechamiento de los recursos actuales y futuros de estas especies, para la región descrita.

### **3. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

De acuerdo con la problemática planteada por la falta de un estudio de caracterización energética, se propone la obtención de estas características energéticas para cumplir con esta importante necesidad de conocimiento en la región de Santa Cruz del Quiché, de acuerdo con la siguiente descripción de esquema (Ver Anexos. Esquema de solución).

Se visitará el sitio descrito. Se solicitará información a INAB de especies más usadas en base a consumos familiares. Luego, con apoyo del el personal de INAB Quiché sub región norte y Asociación Forestal del Quiché (AFORQ) se planteará la sectorización de las áreas de crecimiento natural de cada. A continuación, se recolectarán muestras de las especies en forma de leña, dado que se consume de esta manera. La leña colectada se guardará en bolsas de polietileno para trasladarlas a la ciudad capital.

A las muestras colectadas se les aplicarán los siguientes análisis experimentales para evaluar las propiedades físicas: densidad, humedad (medida de peso de las muestras por una unidad de volumen) y contenido de ceniza, el cual se logra evaluando el residuo que dejan las muestras. Las propiedades químicas que se evaluarán son: lignina y celulosa. Además, se someterán a un análisis de emisión de gases: monóxido de carbono y material particulado que produce cada especie en combustión.

Estos estudios físicos, químicos y de emisiones se llevarán a cabo en el laboratorio multipropósito de la sección de tecnología de la madera del centro de investigaciones de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Las pruebas de poder calorífico, como principal factor del potencial energético de las muestras de las especies se realizarán en el laboratorio del Ministerio de Energía y Minas de acuerdo con norma ASTM D 240. Los resultados se analizarán para cumplir con los objetivos planteados y proponer las conclusiones correspondientes.

El proyecto de investigación plantea como limitante la lejanía del sitio y apoyo de personal disponible en INAB y AFORQ.

## **4. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **4.1. Leña**

#### **4.1.1. Definición**

“Del latín Lignum que significa trozo de madera. Es la parte de los árboles y matas, que cortada y hecha trozos, se emplea como combustible” (Diccionario Real Academia Española, 2005).

Es toda aquella madera de dimensiones variables que el hombre consigna como combustible, y producir calor al exterior e interior, como en la cocina. (UNESCO, 1977).

Es un material biológico complejo, heterogéneo, aniso trópico y orto trópico. Por su anatomía específica y características es un buen aislante térmico, de bajo impacto ambiental y un material orgánico renovable planeta (Barrios, E.; Contreras W.; Owen, M.; 2006).

Algunas características generales, además de ser un recurso natural renovable, la leña es un elemento biodegradable aún después de su combustión, es un combustible sin poder de explosión con alto poder calorífico y con más potencial en eficiencia energética (OLADE, s.f).

#### **4.1.2. Composición de la madera**

Esta variará de forma individual de acuerdo con el género y familia de la especie utilizada como leña. Las condiciones de suelo (textura), zona geográfica, elevación y profundidad incidirán en variaciones de las especies. Su composición media está constituida por un 50% de carbono, un 42% de oxígeno, 6% de hidrógeno y el 2% restante de nitrógeno y otros elementos. Los principales componentes son fibras de celulosa unidas por la hemicelulosa, lignina como aglutinante y confiere dureza y protección y otros componentes como resinas y grasas (OLADE, s.f).

#### **4.1.3. Propiedades Generales de la leña**

Es un aislante térmico y eléctrico, dúctil, maleable y tenaz, buen conductor del sonido. Es un material renovable, biodegradable y reciclable. Presenta alta flexibilidad, las sales, colorantes y resinas le confieren su color. Las más oscuras son más resistentes y duraderas.

La textura obedece al tamaño de los poros el cual también incide en la absorción de humedad. Las vetas se deben a la orientación y color de las fibras. La densidad depende del peso y la resistencia de la madera. La dureza o resistencia al corte, dependerá de la mayor o menor cohesión entre sus fibras (OLADE, s.f).

#### **4.1.4. Procedencia de la leña**

La leña legal proviene de actividades silviculturales que se aplican a las plantaciones forestales, el raleo en las plantaciones y podas de las especies,

de los bosques naturales operados para fines productivos, de las podas de la sombra de los cafetales y de las licencias de consumos familiares (Larrañaga, M., 2012). La leña ilegal proviene de extracciones y recolección de bosques comunales, municipales y privados.

#### **4.1.5. Ventajas y desventajas**

La leña y recursos forestales son una energía local, pues se produce y se utiliza en la misma región. No depende de importaciones para abastecimiento, pero requiere de vastas extensiones de tierra, con lo cual se pone en riesgo la seguridad alimentaria. Los bosques crecen anualmente. Si la extracción es responsable, este recurso se puede utilizar indefinidamente y diversificar la matriz energética frente a otros combustibles. El uso como recurso energético requiere de transporte y almacenamiento de elevados costos así como alta emisión de partículas y alquitrán, además, se necesita mayor cantidad de leña para lograr la capacidad de otros combustibles.

La leña, a pesar de su requerimiento, es económica. Es hasta seis veces más barata que la electricidad, cuando se usa en calefacción, cinco veces más que el gas y cuatro veces más que el petróleo (OLADE, s.f).

#### **4.1.6. Importancia de la madera**

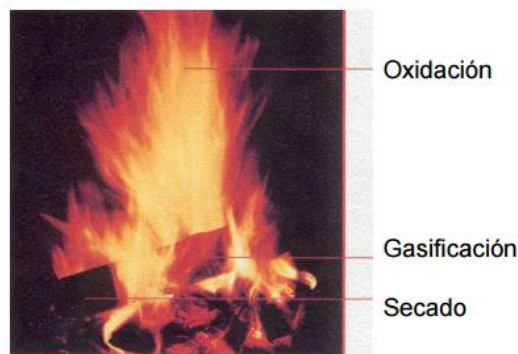
Se resalta que la verdadera fortaleza de la madera, al utilizarse de forma sostenible se transformaría en el material energético del presente siglo, como un pilar del recurso forestal internacional y, a su vez, de la estabilidad mundial respecto a la existencia misma del planeta (Barrios, E.; et al, 2006), por lo que

resulta imprescindible conocerla para utilizarla eficientemente (Barrios, E.; et al, 2006).

#### 4.1.7. Combustión de la leña

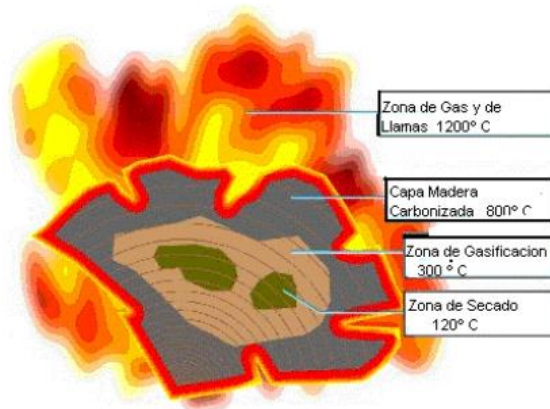
La leña no es un combustible homogéneo. En el proceso de combustión se identifican tres fases: oxidación, gasificación y secado (Ver Figura 1 y 2), que ocurren simultáneamente.

Figura 1. **Fases de reacción en proceso de combustión**



Fuente: Hellwig, Manfred, 1986.

Figura 2. **Esquema del proceso de combustión**



Fuente: Hellwig, Manfred, 1986.

- Secado

La superficie exterior de la leña recibe calor de las llamas por radiación, que calienta el agua contenida por encima de su punto de evaporación. En este punto se inicia el secado, cuando se libera la humedad como vapor de agua. Esta etapa consume una fracción importante de la energía liberada en el proceso de combustión. Tanto A mayor contenido de humedad inicial presente la leña, mayor energía requerirá para secar la leña, como consecuencia el tiempo para completar esta etapa aumenta (OLADE, s.f y Hellwig, M.; 1986).

- Gasificación

Cuando la leña se calienta por encima del punto de ebullición del agua se produce la fase de pirolisis. En esta etapa se libera la materia volátil porque la leña comienza a humear, ya que ocurre una descomposición térmica compuesta de gases e hidrocarburos o alquitrán (Hellwig, M.; 1986). El humo representa una disminución en la eficiencia en el proceso de combustión.

- Oxidación

Los gases liberados en la gasificación se oxidan solamente a temperaturas altas y requieren, además, un alto aporte de oxígeno (Hellwig, M.; 1986).

Para obtener una combustión total se necesitan los medios resumidos en la regla “3T’s” conocida por los especialistas en combustión (Hellwig, M. 1988).

- Temperatura: la más alta temperatura se demanda para garantizar una combustión completa;



- Tiempo: uno mínimo pero óptimo para obtener la combustión;
- Turbulencia: debe ser intensa para obtener una buena mezcla de la materia volátil con el oxígeno.

Al cumplir con lo anterior, se logrará una combustión óptima con una mínima emisión de contaminantes (Hellwig, M. 1988).

## **4.2. Cobertura forestal en Guatemala**

El Informe Nacional Forestal de Guatemala 2002-2003 estimó que la cobertura de bosques en el país fue del 37.1% equivalente a 4,046,015 hectáreas, dividiéndose a su vez en: 30.6% de bosques de latifoliadas, 2.9% mixtos y 3.7% de coníferas. Esta cifra disminuyó a 34% equivalente a 3,722,595 hectáreas (INAB, CONAP, UVG, URL, 2012).

Las especies crecen de acuerdo con la geografía propia de cada departamento, condiciones climáticas, altura, precipitación anual y la topografía de la región. Es decir que no todas las especies crecen en todas las áreas de la región.

### **4.2.1. Tipos de bosques en Guatemala**

#### **4.2.1.1. Bosque de coníferas**

En Guatemala, los bosques de coníferas están constituidos, principalmente, por especies de pino (*Pinus spp.*), pinabete (*Abies guatemalensis*) y ciprés (*Cupressus lusitanica*). Estos bosques pueden representar una sola especie de coníferas o varias de ellas. Se localizan en un gradiente altitudinal que va desde los 100 hasta los 4,000 msnm (FAO, 2002).

Estos bosques abarcan, principalmente, los departamentos de Quiché, San Marcos, Huehuetenango, Baja Verapaz, Totonicapán y Chimaltenango, colindantes con la República de México hasta los departamentos de Zacapa y Chiquimula, con una extensión aproximada de 2,271 km<sup>2</sup>.

Otras especies propias de este tipo de bosques son el *Juniperus*, *Podocarpus*, *Taxodium* o ciprés sabino y *Taxus* o falso pinabete (Melgar, W. 2003).

#### 4.2.1.2. Bosque latifoliado de baja elevación

Se encuentra principalmente en la región norte del país, en los departamentos de Petén, parte de Quiché, Alta Verapaz e Izabal con una altitud de hasta 600msnm. Las especies de alta demanda en este tipo de bosque son la caoba (*swietenia macrophylla*) y el cedro (*cedrela odorata*), la santa María (*calophyllum brasiliense*), el naranjo de montaña (*Terminalia amazonia*), la amapola (*Pseudobornbax ellipticum*), el siricote (*cordia dodecandra*), entre otras especies (Melgar, W. 2003).

#### 4.2.1.3. Bosque latifoliado de altura

Se encuentra en elevaciones arriba de los 2,000 msnm. Las principales especies de este bosque son, entre otras, el roble, encino (*Quercus spp.*), el aguacatillo, el yoroconte (*magnolia guatemalensis*), el amendrillo y el chupete (*persea schiedeana*) (Melgar, W., 2003).

#### 4.2.1.4. Bosque mixto

Los Bosques mixtos están constituidos por especies de coníferas y latifoliadas, en una proporción variable de 31% a 69% de coníferas y de 69 a 31% de latifoliadas (Melgar, W. 2003). Se da un crecimiento especialmente de pinos (*Pinus spp.*), encinos (*Quercus spp.*), robles (*Quercus spp.*).

Hay también algunas especies de la familia betulacea (*Ostrya sp.* y *Alnus spp.*), liquidámbar (*Liquidambar styraciflua L.*), madroño (*arbutus xalapensis*) y otros géneros de la familia Lauraceae (*Ocotea sp.*, *Nectandra sp.* y *Persea spp.*) (FAO, 2002). Para 1999 abarcaban 8,190 km<sup>2</sup> o sea el 7.5% de la existencia de bosque en el ámbito nacional. Quiché es uno de los departamentos más representativos con un 14% (Sandoval, C., 2002).

#### 4.2.1.5. Bosque fragmentado y árboles dispersos de costa sur

Algunas de las especies más importantes de esta región, que en su mayor parte es el remanente de previa vegetación arbórea y actualmente áreas agrícolas y ganaderas intensivas, son el conacaste, el chonte, el volador y el palo blanco (*cybistax donnel-smithii*) entre otros ((Melgar, W. 2003).

#### 4.2.1.6. Monte espinoso

Presenta una precipitación que varía entre los 400 a 600 mm al año. Este tipo de bosque está constituido, principalmente, por cactus y arbustos y, en menor cantidad, especies arbóreas, como el roble de montaña (*bucida macrostachya*), el yaje o *leucaena spp.* y el ceibillo o *ceiba aesculifolia* entre

otros. Se ve altamente afectado por la introducción de cultivos de melón y sandía y sistemas de riego (Melgar, W. 2003).

#### 4.2.1.7. Bosque manglar

Constituye una franja discontinua en el litoral del Pacífico de Guatemala, con especies como el mangle blanco, rojo y negro, y posee áreas bastante densas y otras bastante alteradas (Melgar, W. 2003).

#### 4.2.2. Usos de las especies forestales

En Guatemala, las especies forestales se utilizan de diversa manera: 122 especies arbóreas son utilizadas para madera, 60 especies se usan como materia para postes para cerco, para la obtención de frutas, 51; para sombra se usan 47, ; se aprovechan las propiedades medicinales de 31 especies; 30 se usan de forma ornamental; 20 especies se utilizan para forraje; 19 se utilizan para la creación de resina y gomas; 14, para carbón; 13 para artesanías, 8 se usan para broza, 1 especie se usa en condimento y hay 15 especies sin uso específico. Un dato alarmante es que existen 276 especies arbóreas que se utilizan para leña localmente con fines energéticos, de calefacción y cocción de alimentos, además de en empresas locales (FAO, INAB, PINFOR, MAGA, 2002-2003).

### **4.3. Quiché**

Es un departamento situado en la región noroccidental de Guatemala. Pertenece a la Franja Transversal del Norte. Limita al norte con México, al sur con Chimaltenango y Sololá, al este con Alta Verapaz y Baja Verapaz y al oeste con Totonicapán y Huehuetenango.

#### **4.3.1. Santa Cruz del Quiché “Lugar de muchos árboles”**

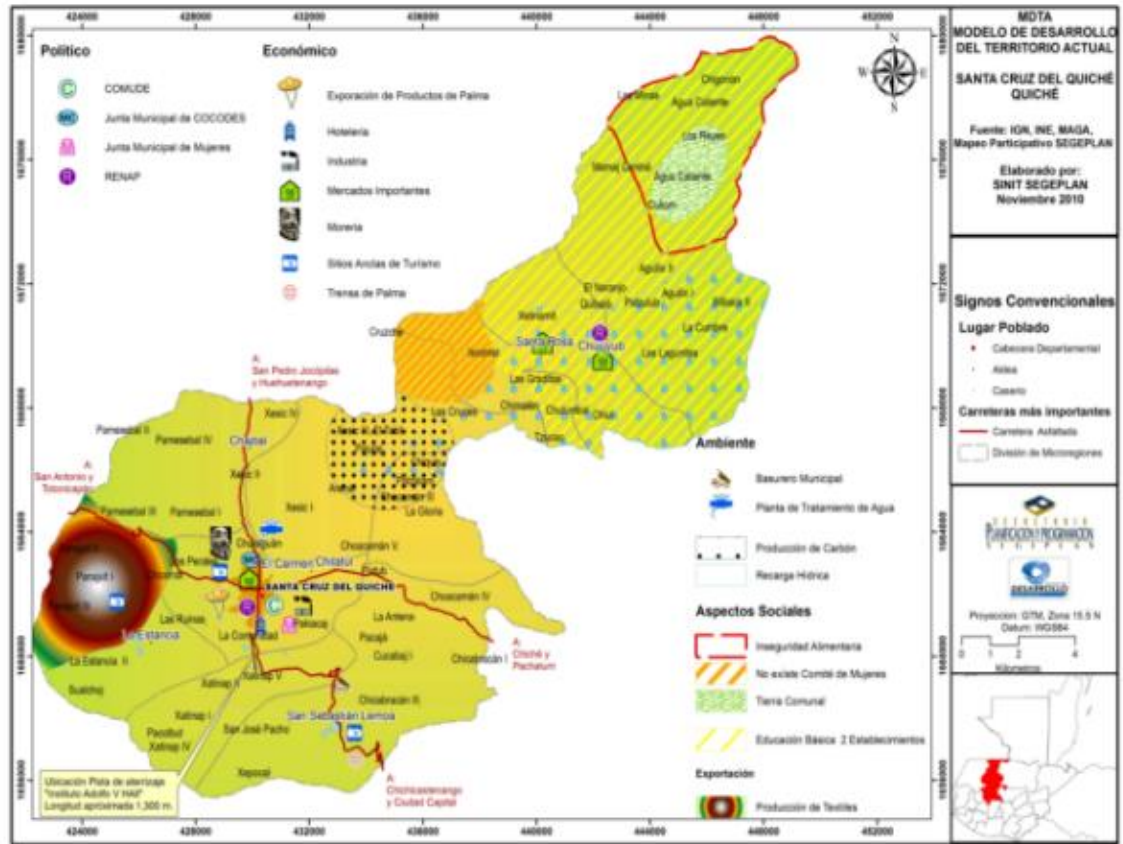
Se encuentra localizado en las coordenadas 15°03´N 91°15´O, posee una superficie de 128 km<sup>2</sup>, se ubica en una altitud de 2021 msnm. Tiene un clima templado con una precipitación anual promedio de 1028 mm (SEGEPLAN, 2010).

El municipio se encuentra en una zona de bosque húmedo montañoso bajo subtropical, según el Instituto Nacional de Bosques (INAB). La cobertura forestal está distribuida de la siguiente forma: extensión de bosque de coníferas y cultivos 540 hectáreas, extensión de bosque mixto 2,865 hectáreas, extensión de bosque mixto y cultivos 3,350 hectáreas y área sin cobertura 4,540 hectáreas, Ver Figura 3 (FAO, et al., 2002-2003).

#### **4.3.2. Oferta y demanda de leña en Quiché**

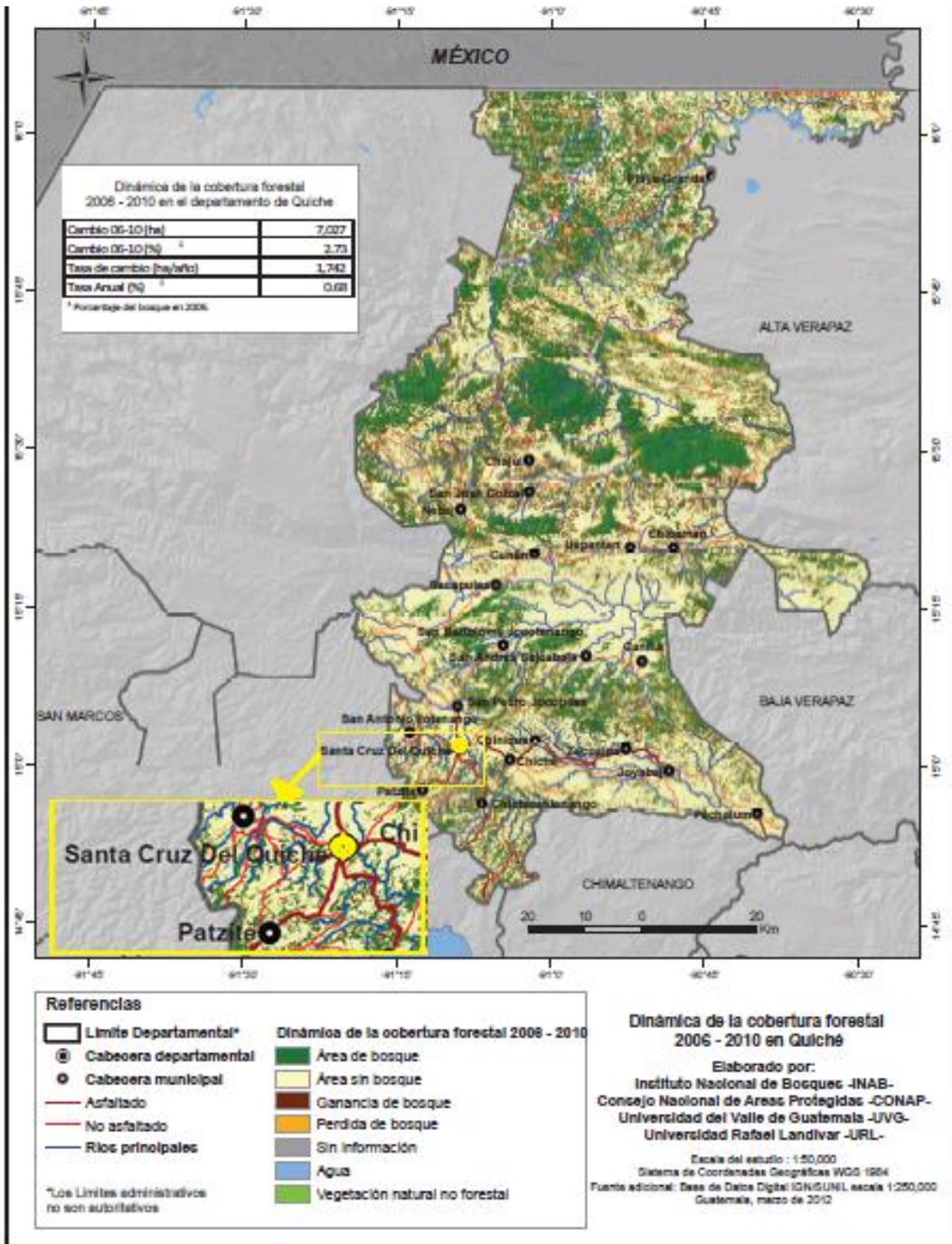
La cobertura forestal en Quiché fue de 3,176.82 hectáreas. Hay un cambio neto contra la cobertura estimada en el 2006 de 463.68 hectáreas, lo que representa un 17.09%, ver Figura 4 y Figura 13.

Figura 3. Santa Cruz del Quiché



Fuente: SEGEPLAN, 2010.

Figura 4. Cobertura forestal 2006-2010 en Quiché



Fuente: INAB, et. Al, 2012.

El consumo de leña representa el 57.5% del 62.6% que representa el sector residencial de consumo de energía final, de acuerdo con el balance energético 2011, elaborado por el Ministerio de Energía y Minas.

Según el estudio de Larrañaga *Oferta y Demanda de la leña en la República de Guatemala*, el consumo promedio para el departamento de Quiché es de 2.3 metros cúbicos por persona anualmente, en el sector urbano, 3.5 metros cúbicos por persona, anualmente, en el sector rural y una demanda anual de 1, 601,302.53 toneladas de leña en base seca.

En Santa Cruz el consumo de leña alcanza los 24 m<sup>3</sup> por familia en la región, según un diagnóstico realizado por Segeplan. Aproximadamente el 90% del combustible que se utiliza es leña, lo que implica un alarmante consumo de más de 216,000m<sup>3</sup> de este material. De acuerdo con datos de INAB Quiché, las familias son quienes más consumen leña, según las licencias de consumos familiares por región que emiten.

Una problemática general en el departamento es la capacidad de aportar una oferta constante de biomasa sin continuar aumentando la deforestación.

#### **4.3.3.** Especies arbóreas de mayor consumo en Santa Cruz del Quiché

##### 4.3.3.1. Encino negro (*Quercus Brachystachys Benth*)

Género: *Quercus*, Especie *Brachystachys Benth* de la Familia Fagáceas, su nombre común es encino, roble. Esta especie vive en los bosques húmedos subtropicales de clima templado.



La textura del suelo en donde crece es franco arenoso y franco-arcilloso y a elevaciones de entre 1000 y 2500 msnm. Estos árboles crecen entre 6 y 39 metros, tienen hoja ancha y su fruto característico son las bellotas y flores macho y hembras en espigas separadas (ver Figura 5) (Hipp, 2016). De acuerdo con INAB, está asociada a coníferas en su clasificación. De acuerdo con Godínez (2013), el *Quercus brachystachys benth* es una especie casi amenazada si no se regula su aprovechamiento (p 19). Su uso es principalmente energético (Godínez, 2013).

Figura 5. **Encino negro (*Quercus Brachystachys Benth*)**



Fuente: Hipp, 2016.

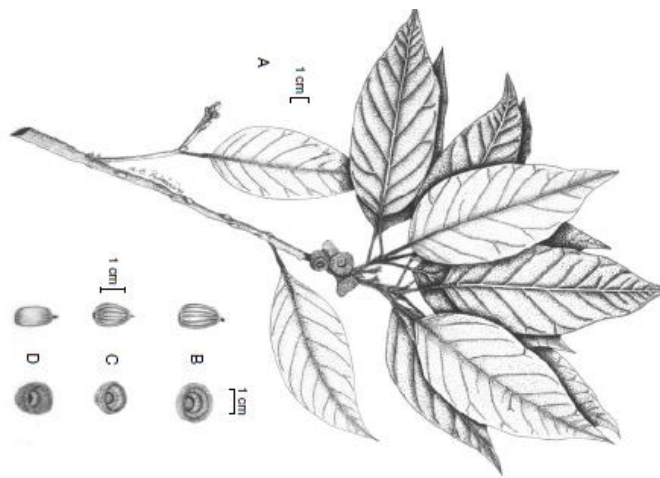
#### 4.3.3.2. Encino blanco (*Quercus Conspersa Benth*)

Especie de entre 3-30 m de alto y tronco de 10-100 cm o más de diámetro. Posee una corteza marrón oscuro, áspera y cuadrículada, ramillas de 1-3-5 mm de color rojizo, con numerosas lenticelas pálidas; estípulas lineares, de 3-7 mm de largo por 1-2 mm de ancho (Rangel, S. 2006).

Hoja elíptica ovada y abovada de 5 a 33 cm de largo por 2 a 16 cm de ancho, ligeramente dentadas. Fruto bellota ovoide o redondo de 10 a 14 mm de largo por 9 a 11 mm de diámetro, fruto anual o bianual, de color castaño pálido, incluida de un tercio a un medio de su largo en la cúpula (Rangel, S. 2006).

En Guatemala, se le encuentra en bosque de encino, bosque de pino-encino y bosque mesófilo de montaña, entre los 750 y 2440 msnm. Florece de febrero a marzo y fructifica de junio a febrero. Algunos nombres comunes son encino blanco, encino pipitillo, encino teposcohuite (ver Figura 6). Según CONAP, no se encuentra en peligro de extinción, pero podría estarlo si no se regula su aprovechamiento.

Figura 6. **Encino blanco (*Quercus Conspersa Benth*)**



Fuente: Rangel, S, 2006.

#### 4.3.3.3. Encino (*Quercus Peduncularis Née*)

Es nativo de Mesoamérica, principalmente en la zona de vida de bosque seco subtropical. Su nombre común es encino o roble, clase equisetopsida C. Agardh, Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht, Orden Fagales Engl. Familia Fagaceae Dumort, Género *Quercus* L. Según CONAP no está amenazado pero se debe regular su uso. Su altura es de 2 a 13 m, grosor del tronco 30 cm, pero por presión del hábitat y tala es difícil encontrarlos (Valenzuela, E., s.f). Su corteza es gris oscura surcada, ramas de 1.5 a 5 mm de ancho.

Fuste: su copa es entre orbicular y obtusa, tronco de leño duro, madera de color amarilla o amarilla rojiza, crecimiento lento, tronco sin ápice principal, es ramificado. Su corteza es propensa a cubrirse con líquenes. El tamaño de sus hojas en temporada seca oscila entre 5 a 27 cm, tienen forma obtusa, espatulada, ovada, de base redondeada y su disposición es alterna. Anualmente, despliega su fruto, la bellota, florece entre mayo y julio y el fruto está maduro entre abril y julio. Tiene flores machos estaminadas y hembras pistiladas (Ver Figura 7) (Valenzuela, E., s.f).

Figura 7. **Encino (*Quercus Peduncularis Née*)**



Fuente: Valenzuela, E. s.f.

Su semilla tiene alto porcentaje de viabilidad, pues al caer están listas para germinar, tiene alta tolerancia a condiciones secas por la raíz pivotante, su regeneración es alta. Su uso es energético, leña, carbón, fabricación de postes y celulosa para papel (Godínez, S., 2013).

#### 4.3.3.4. Madroño (*Arbutus Xalapensis*)

Familia Ericaceae, nombre común Madroño, madrón o manzanita, especie asociada a coníferas y latifoliadas (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, 2012). Catalogada por INAB como madera secundaria.

Son arbustos o árboles con tronco y ramas con corteza de color rojizo amarillento, delgado, lisa y, frecuentemente, exfoliante (ver Figura 8). Poseen altura que oscila entre 10 y 20 metros. Su corteza se desprende en láminas delgadas. Se encuentra a una latitud entre 800 y 1,500 msnm. Necesitan un suelo que retenga humedad y rico en materia orgánica libre de cal en sol o

semi-sombra. La especie no es robusta en áreas frías y tolera temperaturas por debajo de los  $-10^{\circ}\text{C}$ . La corteza se usa para curtir pieles y sus frutos tienen propiedades narcóticas. Es una madera muy apreciada para artesanías (Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, s.f.)

Figura 8. **Madroño (*Arbutus Xalapensis*)**



Fuente: Velazco, C., 2013.

#### 4.3.3.5. Pino colorado (*Pinus Oocarpa Schiede*)

De acuerdo con su taxonomía pertenece al reino plantae, sub reino Embryobionta, división pinophyta, subdivisión pinicae, clase Pinopsida, Orden Pinales, Familia Pinaceae y Género Pinus (CATIE, 2000). Otros nombres pino de ocote, pino chaj, pino resinoco, ocote macho.

Presenta amplia distribución en zonas de vida: bosque húmedo subtropical y húmedo montano bajo o frío. Forma rodales puros y entremezclados con el *quercus*, *pinus montezumae* y *pseudostrobus* entre otros. Se encuentra en elevaciones de 700 a 2500 msnm.

Especie con altura entre 30 a 40 cm, de 1 a más metros de diámetro. Corteza agrietada, su color va de gris a café grisáceo, cortezuda con placas. Ramas gruesas, generalmente.

Hojas tiesas, rara vez suaves de color verde claro, largamente pedunculadas. Conillos son subterminales sobre pedúnculos relativamente largos, de 5 a 9.3 cm de largo y 4.5 a 7.5 de ancho, firmes de escamas duras. Yemas de color pardo ovoides. Muy resistente, crece incluso en suelos secos o pobres. Buena regeneración natural (Ver Figura 9).

Figura 9. **Pino Colorado (*Pinus Oocarpa Schiede*)**



Fuente: Honduras Natural, 2015.

#### **4.4. Energía**

Es aquello que se conserva (Gámez, R. 2013) y se puede transferir mediante las interacciones de un sistema con su alrededor (Incropera, F. y De Witt, D., 1996). Para comprender la energía se debe asociar a dos cuestiones en la física: el movimiento de los cuerpos en el espacio y la naturaleza del calor.

Los distintos tipos de energía: eléctrica, química y nuclear entre otros son maneras prácticas de combinaciones específicas de energía cinética y potencial. Estas se pueden convertir la una en la otra libremente y su suma es la energía total, una constante (principio de la conservación de energía).

El trabajo y el calor son aspectos de cómo se manifiesta la energía. (Gámez, 2013). Se miden en Julios en el Sistema Internacional.

#### **4.4.1. Transferencia de calor**

Es la energía en tránsito debida a una diferencia de temperaturas (Incropera, F. y De Witt, D., 1996).

Cuando los cuerpos están en contacto, el calor viaja desde aquellos de mayor temperatura a los de menor temperatura, hasta el punto en que igualarán su temperatura y ocurrirá un equilibrio térmico. La forma de propagación del calor puede ser por tres formas.

##### **4.4.1.1. Conducción**

Es la forma de transmisión de calor en los sólidos y líquidos. Para que se realice, se requiere contacto entre dos superficies. La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas (Incropera, F. y De Witt, D., 1996).

#### 4.4.1.2. Convección

Este modo de transferencia de calor está compuesto de dos mecanismos. Se da una transferencia de energía por difusión o movimiento molecular aleatorio y por el movimiento global del fluido (movimiento colectivo de gran número de moléculas). Este movimiento, en presencia de una diferencia de temperatura, contribuye a la transferencia de calor.

La transferencia de calor por convección se clasifica de acuerdo con la naturaleza del flujo. Puede ser forzada cuando el flujo es causado por medios externos, como una bomba, viento o ventiladores (Incropera, Frank y De Witt, David, 1996); la convección libre en donde el flujo es inducido por fuerzas que se originan a partir de diferencias de densidad ocasionadas por variaciones de temperatura; la convección combinada (Incropera, Frank y De Witt, David, 1996).

#### 4.4.1.3. Radiación térmica

Es la energía emitida por la materia a una temperatura finita, se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos, que son transportadas por ondas electromagnéticas.

La radiación no precisa un medio material, contrario a la conducción y convección; es más, la transferencia de radiación ocurre de forma más eficiente en el vacío (Incropera, Frank y De Witt, David, 1996).



#### 4.4.2. Poder calorífico

Es la cantidad de energía que se puede desprender al producirse una reacción de oxidación por una unidad de masa o de volumen. La unión química entre un combustible y el comburente libera una determinada energía. El poder calorífico de un combustible expresa la cantidad de energía liberada durante la combustión completa de una unidad de masa del combustible.

Una parte de la energía liberada en la combustión se gasta en la evaporación de agua, por lo que ya no se puede utilizar para ningún fin térmico, si no se especifica, el poder calorífico se refiere al poder calorífico inferior (Francescato, V.; Antonini, E.; Zuccoli, L.; 2008).

##### 4.4.2.1. Poder calorífico superior (PCS)

Es el calor verdaderamente producido durante la reacción de combustión completa de un kilogramo de combustible a 0 a 760 mm de mercurio de presión, es decir el calor desprendido en el cambio de fase, cuando el vapor de agua que se originó en la combustión está condensado. El PCS es una de las variables más importantes para estudiar el comportamiento energético de los biocombustibles, es medido por medio de una bomba calorimétrica (Martín, et al, 2009).

##### 4.4.2.2. Poder calorífico inferior (PCI)

Es el calor producido sin contar la energía de la condensación del agua, es el calor que realmente se aprovecha, es decir cuando el agua presente en el combustible y la resultante de la combustión se mantienen en estado de vapor.

No existe el cálculo directo para la determinación del PCI, por lo que se calcula a partir del PCS y del valor de la humedad. Este es el valor que se utiliza en la práctica industrial (Martín, et al, 2009). En ella, la temperatura no alcanza el punto de rocío por lo que se usa este valor.

Se presenta en la siguiente tabla poderes caloríficos para algunos tipos de leña seca (ver Tabla I.)

Tabla I. **Poder calorífico inferior de la leña seca**

<b>PODER CALORÍFICO INFERIOR DE LA LEÑA SECA</b>	
<b>ESPECIE</b>	<b>(kJ/kg)</b>
Eucalipto	19,228
Pino	20,482
Cedro	18,066
Ciprés	21,443
Encino	19,500
<b>Media</b>	<b>19,744</b>

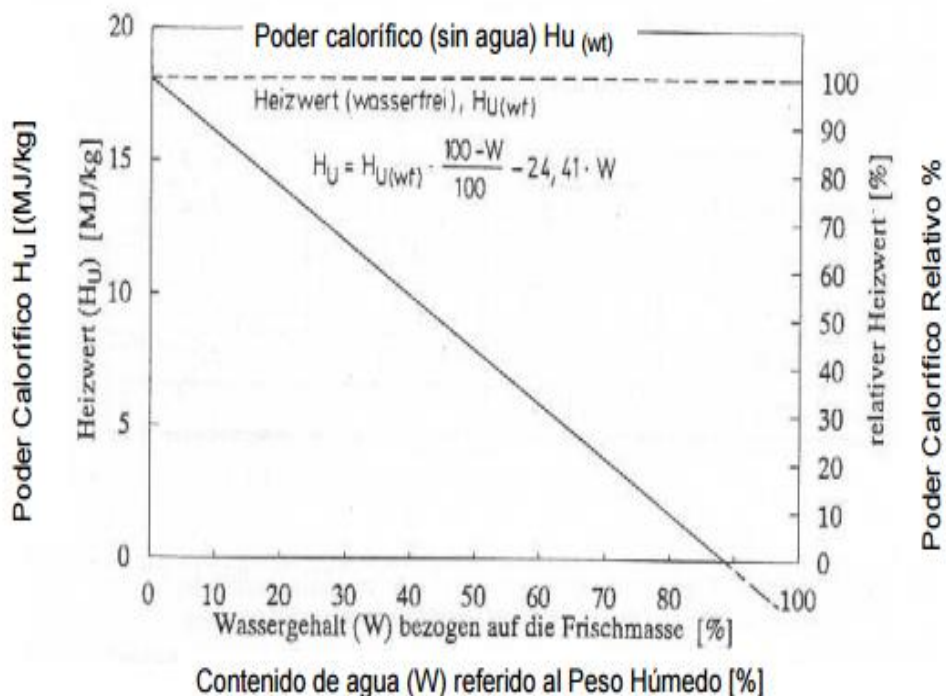
Fuente: OLADE, 1982.

#### 4.4.2.3. Factores que inciden en el poder calorífico

- La relación entre el peso y el volumen del cuerpo leñoso formado por una serie de sustancias y huecos que están ocupados por aire o agua, conocido como Densidad o peso específico aparente (Francescato, et al, 2008).
- Clase y especie de leña utilizada (OLADE, s.f).
- La edad del árbol.
- La parte del árbol de la cual proceda la muestra, sea de ramas o del tronco y los productos de su combustión (OLADE, s.f).

- Contenido en cenizas que, durante la combustión, puede propiciar la fusión completa de las partículas al aumentar la temperatura, pero al usar combustibles con temperaturas de fusión de las cenizas bajas, se puede formar escoria, la cual perturba el proceso de combustión (Francescato, et al, 2008).
- El contenido de humedad de la madera altera el poder calorífico de esta última reduciéndolo (Francescato, et al, 2008). El rango de humedad de leña recién cortada varía entre 30 y 50%. Si se seca puede llegar a un 0% en secado industrial y al natural menor al 30%. Se puede observar la reducción de la leña en función de la humedad (Ver Figura 10 y Tabla II).

Figura 10. **Efectos del contenido de humedad en el PCI de la madera**



Fuente: Bayern, 2000.

Tabla II. Poder calorífico en función del contenido de humedad

Poder calorífico inferior de la leña en función del contenido de humedad	
Contenido de humedad	(kJ/kg)
0	19880
10	17644
20	15412
30	13180
40	10947
50	8715
60	6483

Fuente: OLADE, 1981.

#### 4.4.2.4. Cálculo analítico del poder calorífico

Para calcular el poder calorífico inferior (MJ/kg) de la madera con un contenido determinado de humedad (H) se utiliza la fórmula

$$PCI_H = \frac{PCI_0 \times (100 - M) - 2,44 \times M}{100}$$

Donde:

PCI<sub>0</sub> es el poder calorífico en humedad 0, determinado experimentalmente,

M es el contenido de humedad o *moisture content* y

PCI<sub>h</sub> es el poder calorífico (Francescato, et al, 2008).

#### 4.4.2.5. Cálculo práctico del poder calorífico superior

Por medio de la realización de ensayos en una bomba calorimétrica, donde se coloca la muestra de masa definida de la leña y se inicia su combustión midiendo de forma directa la cantidad de calor que se produce por medio de energía térmica y subproductos como la cantidad de cenizas (Martín, et al, 2009).

#### 4.4.2.6. Importancia del poder calorífico

La principal fuente para la extracción de leña continúa siendo el bosque nativo o natural debido a la falta de implementación de bosques con fines energéticos (OLADE, s.f). A partir del conocimiento y uso del poder calorífico y crecimiento de las especies se podrá usar de forma sustentable evaluando bosques energéticos y energía que se puede producir con relación al volumen de biomasa tratada.

Muchos de los países en América Latina tienen gran potencial energético en los bosques nativos. Se debería tomar en cuenta este factor cuando se analicen opciones para la transición energética. Un adecuado uso del suelo debería basarse en una cuidadosa estimación de los potenciales productivos y las emisiones de GEI asociadas con el uso forestal y agrícola (Riegelhaupt, E. y Arias, T., 2009).

## 5. HIPÓTESIS

### 5.1. Hipótesis nula

**(Ho,1)** No existen diferencias significativas en la densidad y el poder calorífico a evaluar de las especies en función del contenido de humedad.

**(Ho,2)** No existen diferencias significativas en el contenido de cenizas, porcentaje de lignina y celulosa por evaluar de las especies en función del contenido de humedad.

**(Ho,3)** No existen diferencias significativas en el análisis de emisiones (monóxido de carbono y material particulado) por evaluar de las especies en función del contenido de humedad.

**(Ho,4):** No existen diferencias significativas en la densidad y el poder calorífico por evaluar en función de las especies arbóreas.

**(Ho,5)** No existen diferencias significativas en el contenido de cenizas, porcentaje de lignina y celulosa a evaluar en función de las especies arbóreas.

**(Ho,6)** No existen diferencias significativas en el análisis de emisiones (monóxido de carbono y material particulado) a evaluar en función de las especies arbóreas.

## **5.2. Hipótesis de Investigación**

**(Hi,1)** Sí existen diferencias significativas en la densidad y el poder calorífico a evaluar de las especies en función del contenido de humedad.

**(Hi,2)** Sí existen diferencias significativas en el contenido de cenizas, porcentaje de lignina y celulosa por evaluar de las especies en función del contenido de humedad.

**(Hi,3)** Sí existen diferencias significativas en el análisis de emisiones (monóxido de carbono y material particulado) por evaluar de las especies en función del contenido de humedad.

**(Hi,4)** Sí existen diferencias significativas en la densidad y el poder calorífico por evaluar en función de las especies arbóreas.

**(Hi,5)** Sí existen diferencias significativas en el contenido de cenizas, porcentaje de lignina y celulosa por evaluar en función de las especies arbóreas.

**(Hi,6)** Sí existen diferencias significativas en el análisis de emisiones (monóxido de carbono y material particulado) por evaluar en función de las especies arbóreas.

## 6. ÍNDICE PROPUESTO

### ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES  
LISTA DE SÍMBOLOS  
GLOSARIO  
RESUMEN  
INTRODUCCIÓN  
ANTECEDENTES  
OBJETIVOS  
JUSTIFICACIÓN  
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

##### 1.1. LEÑA

- 1.1.1 Definición
- 1.1.2 Composición de la madera
- 1.1.3 Propiedades generales de la leña
- 1.1.4 Procedencia de la leña
- 1.1.5 Ventajas y desventajas
- 1.1.6 Importancia de la madera
- 1.1.7 Combustión de la leña

##### 1.2. COBERTURA FORESTAL EN GUATEMALA



- 1.2.1 Tipos de bosques en Guatemala
  - 1.2.1.1 Bosque de coníferas
  - 1.2.1.2 Bosque latifoliado de baja elevación
  - 1.2.1.3 Bosque latifoliado de altura
  - 1.2.1.4 Bosque mixto
  - 1.2.1.5 Bosque fragmentado y árboles dispersos de costa sur
  - 1.2.1.6 Monte espinoso
  - 1.2.1.7 Bosque manglar
- 1.2.2 Uso de las especies forestales
- 1.3. QUICHÉ
  - 1.3.1 Santa Cruz del Quiché “lugar de muchos árboles”
  - 1.3.2 Oferta y demanda de leña en quiché
  - 1.3.3 Especies arbóreas de mayor consumo en Santa Cruz del Quiché
    - 1.3.3.1 *Quercus Brachystachys Benth*
    - 1.3.3.2 *Quercus Conspersa Benth*
    - 1.3.3.3 *Quercus Peduncularis Née*
    - 1.3.3.4 *Arbutus Xalapensis*
    - 1.3.3.5 *Pinus Oocarpa Schiede*
- 1.4. ENERGÍA
  - 1.4.1 Transferencia de calor
    - 1.4.1.1 Conducción
    - 1.4.1.2 Convección
    - 1.4.1.3 Radiación térmica
  - 1.4.2 Poder calorífico
    - 1.4.2.1 Poder calorífico superior
    - 1.4.2.2 Poder calorífico inferior
    - 1.4.2.3 Factores que inciden en el poder calorífico

1.4.2.4 Cálculo analítico del poder calorífico inferior

1.4.2.5 Cálculo práctico del poder calorífico superior

1.4.2.6 Importancia del poder calorífico

## 2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

## 3. PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.1. DENSIDAD

3.2. HUMEDAD

3.3. LIGNINA

3.4. CELULOSA

3.5. CONTENIDO DE CENIZAS

3.6. PODER CALORÍFICO

3.7. EMISIONES CO

3.8. EMISIONES MATERIAL PARTICULADO

## 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

## **7. METODOLOGÍA**

A continuación, se describirá la metodología que se utilizará en el diseño de investigación. El alcance del diseño es experimental ya que conllevará la realización de pruebas en laboratorio para la determinación de propiedades físicas, químicas, poder calorífico y emisiones de las especies arbóreas más utilizadas para el consumo de leña en Santa Cruz del Quiché.

### **7.1. Tipo de estudio**

#### Cuantitativo descriptivo

Consistirá en la recolección de datos sobre las muestras por estudiar, realizando un análisis y medición de las mismas. La investigación descriptiva busca especificar características y propiedades del fenómeno que se analice (Hernández, Fernández y Baptista, 2003) y medirlas con la mayor precisión posible.

El estudio tiene el enfoque cuantitativo ya que utiliza la recolección y el análisis de datos para responder a las preguntas de investigación planteadas, por medición numérica y el uso de estadística para establecer patrones de comportamiento del objeto de estudio analice (Hernández, Fernández y Baptista, 2003).

## **7.2. Fases del estudio**

### Fase 1. Investigación documental y bibliográfica

Corresponde al estudio previo que está relacionado al diseño de la investigación, como los antecedentes, marco teórico e información relevante que sustenten y apoyen el presente diseño.

Fase 2. Diseño de la investigación y recolección de datos, métodos e instrumentos

#### A. Diseño de la investigación

La unidad de análisis será la especie arbórea de leña, como primer factor y, como segundo factor, la humedad de la muestra.

Tabla III. **Diseño de la investigación**

<b>Especie 1: Encino Negro (<i>Quercus Brachystachys Benth</i>)</b>			
<b>Numero de repeticiones</b>	Tipo de Pruebas (base seca)	Tipo de Pruebas (base Húmeda)	Total de pruebas
<b>3</b>	Densidad	Densidad	<b>24</b>
	Humedad	Humedad	
	Lignina	Lignina	
	Celulosa	Celulosa	
	Contenido de Cenizas	Contenido de Cenizas	
	Poder Calorífico	Poder Calorífico	
	Emisiones CO	Emisiones CO	
	Material Particulado	Material Particulado	
	Total de Pruebas: 8	Total de Pruebas: 8	

Fuente: Elaboración propia.

\*Nota: De la misma forma se realizará este diseño para las otras cuatro especies: encino blanco (*Quercus conspersa benth*) (Especie 2), encino (*Quercus peduncularis née*) (Especie 3), madroño (*Arbutus xalapensis*) (Especie 4) y pino colorado (*Pinus oocarpa schiede*) (Especie 5).

Se realizarán 24 pruebas físicas para cada especie mencionada, para un total de 120 pruebas físicas para satisfacer el modelo experimental propuesto.

#### B. Recolección de datos

Las muestras de leña serán recolectadas en el aserradero del municipio de Santa Cruz del Quiché.

Una vez recolectadas las muestras de las cinco especies, se trasladarán al Laboratorio Multipropósito de la Sección de Tecnología de la Madera del

Centro de Investigaciones de Ingeniería donde se realizarán las pruebas respectivas tomando en cuenta las variables planteadas en las siguientes tablas.

#### Variables involucradas en el estudio

Se indican a continuación las variables de acuerdo con los objetivos específicos planteados.

Tabla IV. **Variables por objetivo**

Objetivo 1					
Variable	Definición teórica de la variable	Definición operativa	Técnica	Instrumento	Dimensión
Densidad	Relación entre la masa y el volumen de una sustancia.	Masa de la muestra analizada sobre el volumen medido en laboratorio	Medición Directa	Vernier, Balanza analítica	g/cm <sup>3</sup>
Humedad	Cantidad de agua, vapor u otro líquido que está presente en la superficie y/o en el interior de un cuerpo.	Contenido de agua de la muestra a analizar	Medición Directa	Balanza de humedad	Porcentaje (%)
Contenido de cenizas	Producto de la combustión de algún material.	Es la masa que no se pudo pirolizar	Medición Indirecta	Muffla, balanza analítica	Porcentaje (%)
Lignina	Tercer componente de la madera, polímero de naturaleza aromática de alto peso molecular	Contenido porcentual en la madera	Medición Directa	Beacker, matraz, papelfiltro, balanza analítica,	Porcentaje (%)
Celulosa	Principal constituyente de la madera.	Contenido porcentual en la madera	Medición Indirecta	Beacker, matraz, papel filtro, balanza analítica, secador, vacío.	Porcentaje (%)
Especie	Categoría o división establecida teniendo en cuenta determinadas cualidades por evaluar.	Variedad de madera a analizar	Cualitativa	n/a	N/a

Continuación Tabla IV. **Variables por objetivo**

<b>Objetivo 2</b>					
<b>Variable</b>	<b>Definición teórica de la variable</b>	<b>Definición operativa</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Dimensiones</b>
Poder Calorífico Superior	Energía liberada por una unidad de más utilizada como combustible	Energía liberada por una unidad de masa de las diferentes especies	Medición Directa	Bomba calorimétrica	KJ/kg
Humedad	Cantidad de agua, vapor u otro líquido que está presente en la superficie y/o en el interior de un cuerpo.	Contenido de agua de la muestra a analizar	Medición Directa	Balanza de humedad	Porcentaje (%)
Especie	Categoría o división establecida teniendo en cuenta determinadas cualidades por evaluar.	Variedad de madera a analizar	Cualitativa	n/a	N/a
<b>Objetivo 3</b>					
<b>Variable</b>	<b>Definición teórica de la variable</b>	<b>Definición operativa</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Dimensiones</b>
Monóxido de carbono	Gas carbonoso de fórmula CO, incoloro y altamente tóxico, producido por la combustión deficiente.	Cantidad de gas liberado por la combustión de las diferentes especies de madera	Medición Directa	IAP	ppm
Material particulado	Compleja mezcla de partículas suspendidas en el aire según la fuente de emisión.	Material liberado de 2.5micrones al quemar la madera	Medición directa	IAP	ppm
Especie	Categoría o división establecida teniendo en cuenta determinadas cualidades por evaluar.	Variedad de madera a analizar	Cualitativa	n/a	N/a

Fuente: Elaboración propia.

Se indican las variables con las que se trabajará durante las pruebas experimentales.

Tabla V. **Variables de operación**

Variable	Definición teórica de la variable	Definición operativa	Técnica	Instrumento	Dimensión
<b>Temperatura</b>	Magnitud física que refleja la cantidad de calor de un cuerpo, objeto, sistema o del ambiente.	Temperatura a la cual se va a someter la muestra en la muffla y para secar la madera	Medición Directa	Termómetro Digital, Muffla y Horno	°C
<b>Tiempo</b>	Período determinado durante el cual se realiza una acción o proceso.	Tiempo de residencia de las muestras	Medición Directa	Cronómetro	minutos
<b>Dimensión de Probeta</b>	Dimensiones de probeta según tipo de ensayo	Dimensión de acuerdo a especificaciones de sección de tecnología de la madera	Medición Directa	Regla, Metro, Vernier	cm
<b>Humedad</b>	Cantidad de agua, vapor u otro líquido que está presente en la superficie y/o en el interior de un cuerpo.	Contenido de humedad de las muestras recolectadas y seca	Medición Directa	Balanza de humedad	Porcentaje (%)

Fuente: Elaboración propia.

### Fase 3. Pruebas experimentales

Se llevarán a cabo de acuerdo con el diseño de investigación en el inciso A, de la Fase 2. Las mismas se llevarán a cabo en el laboratorio multipropósitos de la Universidad de San Carlos, de acuerdo con procesos estandarizados por la misma institución para los objetivos 1 y 3. La metodología para las pruebas son las siguientes.



- Determinación de densidad básica norma UNE 56531
  - Equipo
    - Balanza analítica con precisión de 0.001g.
    - Calibrador de Vernier digital con precisión de 0.01mm.
    - Desecador con material absorbente de humedad (Cloruro de Calcio).
    - Balanza con plancha de calentamiento y recirculación de aire con temperatura de  $105^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  (Balanza de Humedad).
  - Probetas
    - 04 prismas cuadrangulares de sección recta de 20 mm de lado y altura de  $25 \text{ mm} \pm 3\text{mm}$  por especie
  - Procedimiento
    - Se determinó la masa de cada una de las probetas en balanza analítica con precisión de 0.001g.
    - Se procedió al registro de las dimensiones de las probetas (lados y altura) con calibrador de Vernier digital con precisión de 0.01mm.
    - Se colocaron las probetas en un desecador con material absorbente de humedad (cloruro de calcio) durante 24 horas, previo a ser secadas en balanza de humedad.

- Se realizó el secado de cada una de las probetas en la balanza con plancha de calentamiento y recirculación de aire con temperatura de  $105^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  (balanza de humedad) hasta llegar a un valor de masa constante.
- Obtención de resultados

La densidad básica de la probeta se calcula de la siguiente forma.

$$\rho = \frac{m_h}{a_h \times b_h \times c_h},$$

en donde:  $\rho$  = densidad básica.

$m_h$  es la masa de la probeta a humedad constante

$a_h, b_h, c_h$  son las dimensiones de la probeta a humedad constante.

- Determinación de humedad norma UNE 56529
  - Equipo
    - Balanza Analítica con precisión de 0.001g.
    - Calibrador de Vernier digital con precisión de 0.01mm.
    - Desecador con material absorbente de Humedad (Cloruro de Calcio).
    - Balanza con plancha de calentamiento y recirculación de aire con temperatura de  $105^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  (Balanza de Humedad).

- Probetas:
  - 04 prismas cuadrangulares de sección recta de 20 mm de lado y altura de 25 mm  $\pm$  3mm por especie.
  
- Procedimiento
  - Se determinó la masa de cada una de las probetas en balanza analítica con precisión de 0.001g (masa inicial).
  - Se realizó el secado de cada una de las probetas en la balanza con plancha de calentamiento y recirculación de aire con temperatura de 105°C  $\pm$  1°C (balanza de humedad) hasta llegar a un valor de masa constante (estado anhidro).
  - Se dejó enfriar cada una de las probetas en un desecador con material absorbente de humedad, hasta temperatura ambiente.
  - Se registró la masa de las probetas en estado anhidro a temperatura ambiente.
  - Se determinó el contenido de humedad en porcentaje por diferencia de masas.

- Obtención de resultados

El contenido de humedad de las probetas se calcula de la siguiente forma

$$H\% = \frac{P1-P2}{P2} \times 100,$$

Dónde:  $H\%$  es el contenido de humedad en porcentaje

P1 es la masa inicial de las probetas

P2 es la masa de la probeta en estado anhidro

- Procedimiento para la determinación de lignina (ANSI/ASTM D 1106-56)
  1. Colocar en un beacker de 100 ml 1g de madera libre de extraíbles. Agregar 15ml de ácido sulfúrico al 72%.
  2. Agitar durante 2 horas en baño María a 20°C, esto es una plancha con agitación.
  3. Transferir a un matraz de 1,000 ml conteniendo 345 ml de agua destilada, para dar una solución de ácido aproximadamente al 3%.
  4. Hervir a reflujo por 4 horas en un balón con condensador.
  5. Decantar hasta dejar una diferencia mínima entre las dos fases.
  6. Filtrar la solución obtenida con papel filtro Wathman No. 4 tarado.
  7. Lavar con agua caliente y secar hasta peso constante a 80°C ± 5°C.
  8. El porcentaje de lignina se determina por la siguiente ecuación, que es válida solo para la utilización de 1g de muestra:

$$\% \text{ Lignina} = (\text{Peso Bruto} - \text{Peso Tara}) * 100\%$$

- Procedimiento para la determinación de celulosa (ANSI/ASTM D 1103-60, llamada “Alfacelulosa en madera”)
  1. Pesar 1g de madera libre de extraíbles y transferir a un beacker de 100 ml.
  2. Agregar 10 ml de NaOH al 17.5%, agitar y dejar reposar por 2 minutos. Luego agitar nuevamente y dejar reposar 3 minutos.
  3. Agregar de nuevo 5 ml de NaOH al 17.5%, agitar y dejar reposar 5 minutos.
  4. Repetir el paso 3.
  5. Agregar de nuevo 5 ml de NaOH al 17.5%, agitar y dejar reposar 30 minutos. En baño María a  $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ .
  6. Agregar 30 ml de agua destilada, agitar y dejar reposar por 1 hora.
  7. Filtrar al vacío con papel filtro Wathman No. 4 previamente tarado, lavando con una solución preparada de 33 ml de agua destilada y 25 ml de la solución de NaOH al 17.5%.
  8. Lavar con 30 ml de agua destilada, y dejar de aplicar vacío. Agregar 15 ml de una solución al 10% de ácido acético y después de 3 minutos. Aplicar vacío. Luego lavar con 50 ml de agua destilada aplicando vacío.
  9. Llevar la muestra a un secador eléctrico contenida en una caja Petri, a una temperatura de  $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 4 horas. Luego, transferir a una desecadora y esperar 15 minutos para luego pesar. Repetir el secado hasta peso constante.
  10. El porcentaje de celulosa se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Celulosa} = \left( \frac{[P.B. - (P.T. + P.L.)] * P.M.L.}{P.M.T.} \right) * 100$$

Donde:

P.B. = Peso bruto de la muestra.

P.T. = Peso tara del papel filtro.

P.L. = Peso de lignina en 1 g de madera.

P.M.L. = Peso de madera libre de extraíbles (base de 7.5g)

P.M.T. = Peso de madera antes de la extracción, 7.5 g.

- Procedimiento para la determinación de cenizas (ANSI/ASTM D 1102-56, llamada “Cenizas en madera”)
  1. Calcinar 1 crisol, adecuado para 1 g de muestra de madera, a 600°C en una mufla durante 1 hora.
  2. Retirar el crisol e introducirlo en una desecadora durante 15 minutos, para después tararlo. Bajar la temperatura de la mufla por seguridad.
  3. Agregar 1 g de muestra de madera en el crisol, previamente tamizada y seca.
  4. Agregar la muestra de la mufla aplicando 100°C y luego aumentar de modo que no haya ignición en la muestra. Debe llegarse a 600°C o un poco menos, pero no pasarse de dicha temperatura.
  5. Revisar la muestra después de transcurrida una hora y media, extrayendo el crisol con una pinza, de modo que el material sea solamente cenizas (color grisáceo blancuzco); de lo contrario mantener la muestra más tiempo en la mufla.
  6. Llevar la muestra a una desecadora, esperar 15 minutos y pesar rápidamente. Repetir hasta peso constante.

7. Obtener el porcentaje de cenizas por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = (\text{P.B.} - \text{P.T.}) * 100\%$$

Donde:

P.B. = Peso bruto

P.T. = Peso tara

- Determinación de capacidad calorífica
  - Equipo
    - Horno de secado con aire forzado con calibración de 0°C a 120°C ± 5°C.
    - Bolsas con cierre hermético.
    - Equipo e instrumentación del Laboratorio de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas.
    - Balanza analítica con precisión de 0.001g.
  - Muestra
    - 3 libras de aserrín tamizado pasado por tamiz No. 50, retenido en tamiz No. 60 por especie.

- Procedimiento
  - Se tamizó el total de la muestra, pesando tres libras de material por especie y colocándolas dentro de bolsas herméticas cerradas.
  - Se trasladó la muestra procesada al laboratorio de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas.
- Obtención de resultados
  - La capacidad calorífica fue reportada por el laboratorio de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas, por especie en BTU/lb.
- Determinación de emisiones monóxido de carbono

Procedimiento de acuerdo con el protocolo de la sección de tecnología de la madera de la USAC.

- Determinación de material particulado

Procedimiento de acuerdo con el protocolo de la sección de tecnología de la madera de la USAC.

#### FASE 4. Presentación y análisis de resultados

Con base en los resultados obtenidos mediante las pruebas experimentales, se podrán estructurar tablas con las variables por determinar.



Tabla VI. **Datos objetivo específico 1 en base húmeda**

<b>Variable</b>	<b>Especie 1</b>	<b>Especie 2</b>	<b>Especie 3</b>	<b>Especie 4</b>	<b>Especie 5</b>
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>					
<b>Humedad (%)</b>					
<b>Contenido de Cenizas (%)</b>					
<b>Lignina</b>					
<b>Celulosa</b>					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla VII. **Datos objetivo específico 1 en base seca**

<b>Variable</b>	<b>Especie 1</b>	<b>Especie 2</b>	<b>Especie 3</b>	<b>Especie 4</b>	<b>Especie 5</b>
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>					
<b>Humedad (%)</b>					
<b>Contenido de Cenizas (%)</b>					
<b>Lignina</b>					
<b>Celulosa</b>					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla VIII. **Datos objetivo específico 2 en base húmeda**

<b>Variable</b>	<b>Especie 1</b>	<b>Especie 2</b>	<b>Especie 3</b>	<b>Especie 4</b>	<b>Especie 5</b>
<b>Poder Calorífico Superior (kJ/kg)</b>					
<b>Humedad (%)</b>					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IX. **Datos objetivo específico 2 en base seca**

<b>Variable</b>	<b>Especie 1</b>	<b>Especie 2</b>	<b>Especie 3</b>	<b>Especie 4</b>	<b>Especie 5</b>
<b>Poder Calorífico Superior (kJ/kg)</b>					
<b>Humedad (%)</b>					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla X. **Datos objetivo específico 3 en base húmeda**

<b>Variable</b>	<b>Especie 1</b>	<b>Especie 2</b>	<b>Especie 3</b>	<b>Especie 4</b>	<b>Especie 5</b>
<b>Monóxido de carbono (ppm)</b>					
<b>Material Particulado</b>					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla XI. **Datos objetivo específico 3 en base seca**

<b>Variable</b>	<b>Especie 1</b>	<b>Especie 2</b>	<b>Especie 3</b>	<b>Especie 4</b>	<b>Especie 5</b>
<b>Monóxido de carbono (ppm)</b>					
<b>Material Particulado</b>					

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos en las tablas descritas arriba, se procederá a analizar el comportamiento individual de cada especie, de acuerdo con los objetivos e hipótesis planteadas. Además de la presentación de los datos obtenidos experimentalmente, se realizarán comparaciones entre los mismos para enriquecer la información.

## 8. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Después de la recolección de los datos presentados y tabulados en las tablas plasmadas previamente, se procederá a la utilización de las herramientas estadísticas siguientes.

### 8.1. Cálculo de la media aritmética

Se tabularán los datos para base húmeda y base seca por medio de la siguiente tabla.

Tabla XII. **Media aritmética**

Variable	MEDIA ARITMÉTICA				
	Especie 1	Especie 2	Especie 3	Especie 4	Especie 5
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )					
Humedad (%)					
Contenido de Cenizas (%)					
Lignina					
Celulosa					
Poder Calorífico Superior (kJ/kg)					
Humedad (%)					
Monóxido de carbono (ppm)					
Material Particulado					

Fuente: Elaboración propia.

Se hará los mismos análisis para las otras repeticiones de cada especie. Posteriormente, se sacará una tabla promedio de todas las repeticiones en base húmeda y seca.

## 8.2. Cálculo del rango

Se calculará el rango para los datos de cada especie y sus variables.

Tabla XIII. **Rango**

Variable	RANGO				
	Especie 1	Especie 2	Especie 3	Especie 4	Especie 5
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )					
Humedad (%)					
Contenido de Cenizas (%)					
Lignina					
Celulosa					
Poder Calorífico Superior (kJ/kg)					
Humedad (%)					
Monóxido de carbono (ppm)					
Material Particulado					

Fuente: Elaboración propia.

### 8.3. Cálculo de desviación estándar

Se calculará la desviación estándar para los datos de cada especie y sus variables.

Tabla XIV. Desviación estándar

Variable	DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
	Especie 1	Especie 2	Especie 3	Especie 4	Especie 5
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )					
Humedad (%)					
Contenido de Cenizas (%)					
Lignina					
Celulosa					
Poder calorífico superior (kJ/kg)					
Humedad (%)					
Monóxido de carbono (ppm)					
Material Particulado					

Fuente: Elaboración propia.

Se empleará un análisis estadístico de variabilidad para conocer cuan dispersos son los resultados y poder cuantificar si existe alguna variación de las propiedades de la madera plástica al cambiar las condiciones y determinar cuál es el valor que más efecto tiene en los resultados.

Las estadísticas más importantes para medir la variabilidad de una muestra aleatoria son: el rango, la varianza y la desviación estándar.

El rango de una muestra aleatoria  $X_1, X_2, \dots, X_n$  se define como la estadística  $X_{(n)} - X_{(1)}$ , donde  $X_{(n)}$  y  $X_{(1)}$ , son, respectivamente las observaciones más grandes y más pequeñas en la muestra y nos dice que tan grande es el intervalo que abarcan los datos pero no nos dice nada de los valores intermedios. Para esto se utilizará la varianza que considera la posición de cada observación con relación a la media de la muestra y se define como.

Si  $X_1, X_2, \dots, X_n$  representa una muestra aleatoria de tamaño  $n$ , entonces la varianza de la muestra se define como la estadística.

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

Donde:

$n$ = número de datos

$X_i$ = cada valor

$X$ =media aritmética de los valores

$S^2$ =varianza de la muestra

La desviación estándar de la muestra se denota con  $S$  y es la raíz cuadrada positiva de la varianza de la muestra.

Se realizarán gráficas de barras para representar la estadística descrita anteriormente, comparando los datos en base seca y húmeda, y comportamiento de cada especie.

## **9. CRONOGRAMA**

Se representan gráficamente las actividades que se realizarán para el diseño de la investigación:



Tabla XV. Cronograma de actividades

Actividades	Diciembre 2016				Enero - Febrero 2017				Marzo- Abril 2017				Mayo 2017				Junio 2017				Julio 2017			
	S1	S2	S3	S4	S1	S3	S5	S7	S1	S3	S5	S7	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
<b>Actividades</b>																								
<b>FASE 1</b>																								
Revisión bibliográfica	■																							
<b>FASE 2</b>																								
Diseño de la investigación			■	■																				
Recolección de datos				■	■	■																		
<b>FASE 3</b>																								
Reconocimiento área					■	■	■	■																
Recolección de muestras									■	■	■													
Trámites escuela ingeniería química												■	■	■										
Trámites escuela postgrado	■	■	■																					
Trámite lingüística										■	■	■	■	■										
Pruebas experimentales											■	■	■	■										
Objetivo 1												■	■	■										
Objetivo 2													■	■	■									
Objetivo 3														■	■	■								
<b>FASE 4</b>																								
Presentación y análisis de resultados															■	■	■	■						
Elaboración de trabajo de graduación																■	■	■	■					
Correcciones trabajo de graduación																	■	■	■	■	■	■	■	

Fuente: Elaboración propia.

## 10. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD

El diseño de la investigación será autofinanciable.

Tabla XVI. Recursos necesarios

<b>Recursos humanos</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo Total Q</b>
Asesoría Escuela de Postgrado	2500.00
Asesoría en Especies Forestales	500.00
Apoyo técnico INAB y AFORQ	500.00
Revisor externo de lingüística	500.00
	<b>4000.00</b>
<b>MATERIALES E INSUMOS</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo Total Q</b>
Transporte, 2 a 3 viajes	350.00
Alojamiento una noche dos días	350.00
Comida	400.00
Equipo para recolección de muestras (bolsas, maleta)	50.00
	<b>1150.00</b>
<b>ANÁLISIS DE MUESTRAS</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo Total Q</b>
Preparación de muestras (tamizado, otros)	1,800.00
Propiedades físicas y químicas	2,000.00
Poder Calorífico superior	2,500.00
Emisiones	800.00
	<b>7,100.00</b>
<b>Gran Total</b>	<b>12,2500.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla anterior, el mayor porcentaje de requerimientos se invertirá en las pruebas experimentales. El estudio será autofinanciable y se cuentan con los recursos exactos. Por lo anterior, se puede asegurar que el estudio es factible técnica y económicamente.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Aguayo M. Carolina, (2005) *Buen Uso de la Leña, División de Eficiencia Energética*, Ministerio de Energía, Chile.
2. Barrios, Eric, Contreras Wilver M, Owen de C., Mary, (2006), “Repercusiones energéticas y económicas del uso de la madera como elemento constructivo para viviendas de interés social en Venezuela”, *Revista Forestal Latinoamericana* No. 40/2006.
3. Bayern, (2000) *Umwelt&Entwicklung StMLU “Naturbelassene biogene Festbrennstoffe”*, p. 9.
4. Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), (2012), *Manual para la Administración Forestal en Áreas Protegidas*, cuadro 20, p 319-320).
5. Diccionario Real Academia Española, 2005, Tomo IV Madrid, España.
6. FAO, (2002), *Estado de la Información Forestal en Guatemala*, Santiago, Chile, Capítulo V, p. 132 y 133.
7. Francescato, Valter, Antonini Eliseo, Zuccoli Bergomi, Luca, (2008), “Manual de Combustibles de Madera, Producción, Requisitos de Calidad, Comercialización” Asociación Española de Valorización

- Energética de la Biomasa, Valladolid, España, p. 8, 15, 19-20, 21-26.
8. Gámez Leal, Rigel, (2013), "Boletín de la Coordinación de Física y Química: "Qué es la Energía", p. 1-4.
  9. Godínez, Sergio Miguel (2013) "Evaluación Ecológica Rápida-EER de la Biodiversidad de Bosques comunales de Sierra Parraxquín, Totonicapán Anexo 2 y 4, p. 19, 21-24).
  10. Hellwig, Manfred, (1986) Participación en el desarrollo del capítulo 6: "Descripción del Proceso de Combustión de Leña de Uso Residencial", p. 6-3 a 6-5.
  11. Hernández, Fernández y Baptista (2003) "Metodología de la Investigación", Capítulo 3, pg. 50-5.
  12. Hipp, Andrew (2016) Oaks of the Americas, Quercus Taxonomy.
  13. Incropera, Frank P.; De Witt, David P. (1996) "Fundamentos de Transferencia de Calor", Cuarta Edición, Prentice Hall, México, p. 2-9.
  14. Larrañaga, Marcos Martín, (2012). "Oferta y Demanda de Leña en la República de Guatemala", Guatemala, p. 12, 19, 39
  15. Melgar, William, 2003, "Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques de Guatemala, FAO, Roma, Italia, p. 13, 15-16.

## ANEXOS

Figura 11. **Esquema de Solución**

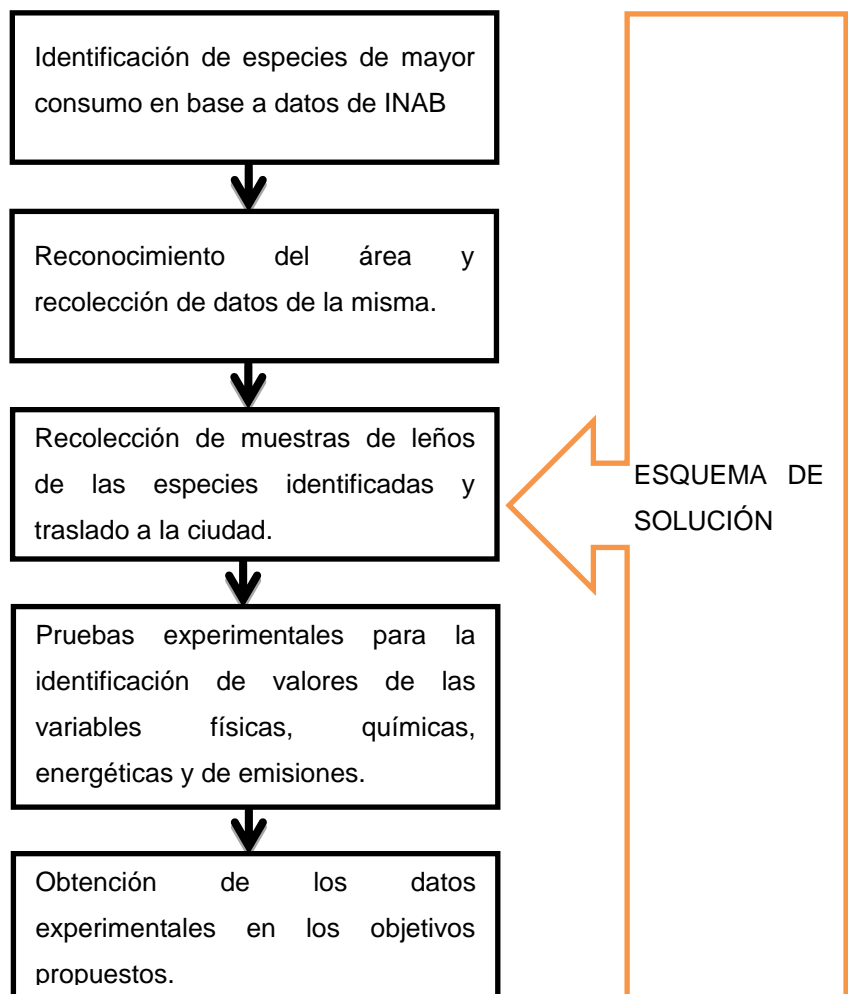


Figura 12. **Árbol del problema, análisis de causas y efectos**

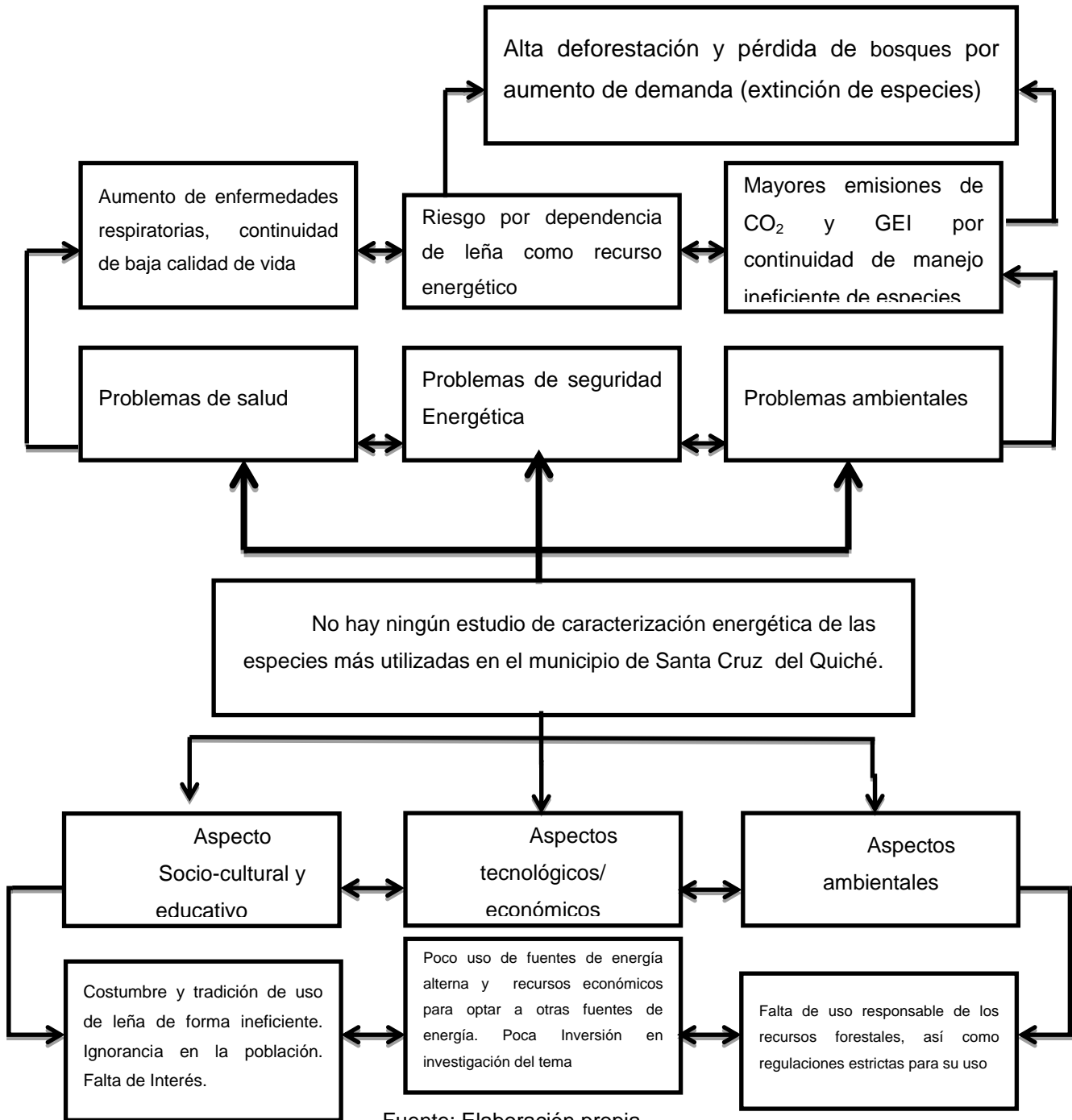


Tabla XVII. Matriz de coherencia

Matriz de coherencia		
	Pregunta	Objetivo
<b>Central</b>	¿Cuáles son las características energéticas de las cinco especies con mayor demanda energética para consumo de leña en Santa Cruz del Quiché: Encino Negro ( <i>Quercus brachystachys benth</i> ), Encino Blanco ( <i>Quercus conspersa benth</i> ), Encino ( <i>Quercus peduncularis née</i> ), Madroño ( <i>Arbutus xalapensis</i> ) y Pino Colorado ( <i>Pinus oocarpa schiede</i> )?	Caracterizar energéticamente las cinco especies de mayor demanda energética para consumo de leña en Santa Cruz del Quiché: Encino Negro ( <i>Quercus brachystachys benth</i> ), Encino Blanco ( <i>Quercus conspersa benth</i> ), Encino ( <i>Quercus peduncularis née</i> ), Madroño ( <i>Arbutus xalapensis</i> ) y Pino Colorado ( <i>Pinus oocarpa schiede</i> ).
<b>1</b>	¿Cuáles son las propiedades físicas: densidad, humedad, contenido de cenizas; y químicas: lignina, celulosa de las cinco especies arbóreas: Encino Negro ( <i>Quercus brachystachys benth</i> ), Encino Blanco ( <i>Quercus conspersa benth</i> ), Encino ( <i>Quercus peduncularis née</i> ), Madroño ( <i>Arbutus xalapensis</i> ) y Pino Colorado ( <i>Pinus oocarpa schiede</i> ) con mayor demanda para el consumo de leña en Santa Cruz del Quiché en base seca y húmeda?	Determinar las propiedades físicas: densidad, humedad, contenido de cenizas; y químicas: lignina, celulosa de las cinco especies arbóreas: Encino Negro ( <i>Quercus brachystachys benth</i> ), Encino Blanco ( <i>Quercus conspersa benth</i> ), Encino ( <i>Quercus peduncularis née</i> ), Madroño ( <i>Arbutus xalapensis</i> ) y Pino Colorado ( <i>Pinus oocarpa schiede</i> ) con mayor demanda para el consumo de leña en Santa Cruz del Quiché en base seca y húmeda.
<b>2</b>	¿Cuál es el poder calorífico de las cinco especies arbóreas Encino Negro ( <i>Quercus brachystachys benth</i> ), Encino Blanco ( <i>Quercus conspersa benth</i> ), Encino ( <i>Quercus peduncularis née</i> ), Madroño ( <i>Arbutus xalapensis</i> ) y Pino Colorado ( <i>Pinus oocarpa schiede</i> ) de mayor demanda energética para el consumo de leña en Santa Cruz del Quiché en base seca y húmeda?	Establecer el poder calorífico de las cinco especies arbóreas Encino Negro ( <i>Quercus brachystachys benth</i> ), Encino Blanco ( <i>Quercus conspersa benth</i> ), Encino ( <i>Quercus peduncularis née</i> ), Madroño ( <i>Arbutus xalapensis</i> ) y Pino Colorado ( <i>Pinus oocarpa schiede</i> ) de mayor demanda energética para el consumo de leña en Santa Cruz del Quiché en base seca y húmeda por medio de Norma ASTM D240.
<b>3</b>	¿Cuáles son las emisiones que emiten las cinco especies arbóreas Encino Negro ( <i>Quercus brachystachys benth</i> ), Encino Blanco ( <i>Quercus conspersa benth</i> ), Encino ( <i>Quercus peduncularis née</i> ), Madroño ( <i>Arbutus xalapensis</i> ) y Pino Colorado ( <i>Pinus oocarpa schiede</i> ) en el consumo de leña en Santa Cruz del Quiché?	Realizar un análisis de emisiones, monóxido de carbono y material particulado, de las cinco especies arbóreas Encino Negro ( <i>Quercus brachystachys benth</i> ), Encino Blanco ( <i>Quercus conspersa benth</i> ), Encino ( <i>Quercus peduncularis née</i> ), Madroño ( <i>Arbutus xalapensis</i> ) y Pino Colorado ( <i>Pinus oocarpa schiede</i> ) en el consumo de leña en Santa Cruz del Quiché.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 13. **Ampliación de mapa de cobertura forestal de Santa Cruz del Quiché**



Fuente: INAB, et. Al, 2012.