

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL

ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE  
ESPECIES FORESTALES, LACHÚA, ALTA VERAPAZ  
TESIS DE GRADO

**GREGORIO GUZMÁN**  
CARNET 22317-00

SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ, JUNIO DE 2017  
CAMPUS "SAN PEDRO CLAVER, S. J." DE LA VERAPAZ

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL

ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE  
ESPECIES FORESTALES, LACHÚA, ALTA VERAPAZ  
TESIS DE GRADO

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

POR  
**GREGORIO GUZMÁN**

PREVIO A CONFERÍRSELE  
EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ, JUNIO DE 2017  
CAMPUS "SAN PEDRO CLAVER, S. J." DE LA VERAPAZ

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAR, S.J.  
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO  
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO  
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S.J.  
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS  
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ  
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑA MUNGUÍA  
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

### **NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

MGTR. CARLOS ERNESTO ARCHILA CARDONA

### **TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**

ING. CLAUDIO ALBERTO LOPEZ RIOS  
ING. ROBERTO WALDEMAR MOYA FERNÁNDEZ  
ING. SELVYN RUBÉN DARIO GONZÁLEZ URRUTIA

Guatemala, 08 de junio de 2017

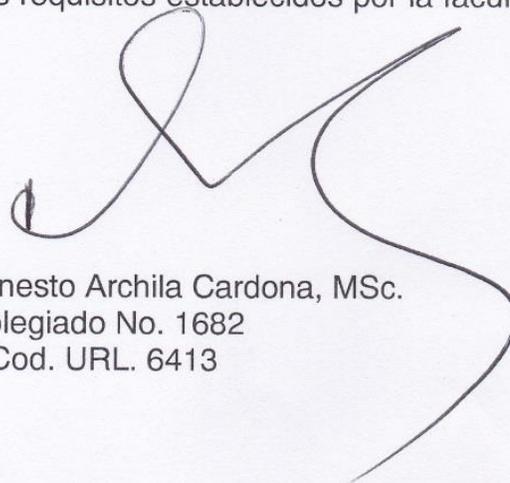
Consejo de Facultad  
Ciencias Ambientales y Agrícolas  
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Gregorio Guzmán, Carné 22317-00, titulado "Estudio de propiedades físicas y mecánicas de la madera de especies forestales, Lachuá, Alta Verapaz".

El cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Ing. Carlos Ernesto Archila Cardona, MSc.  
Colegiado No. 1682  
Cod. URL. 6413



Universidad  
Rafael Landívar  
Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
No. 06728-2017

### Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante GREGORIO GUZMÁN, Carnet 22317-00 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL, del Campus de La Verapaz, que consta en el Acta No. 0648-2017 de fecha 17 de abril de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE ESPECIES FORESTALES, LACHUÁ, ALTA VERAPAZ**

Previo a conferírsele el título de INGENIERO FORESTAL en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 5 días del mes de junio del año 2017.



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

## **AGRADECIMIENTOS**

A:

Dios porque permitió mi existir, la sabiduría y la bendición de culminar mis estudios superiores.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por mi preparación y formación profesional.

Docentes y compañeros por su amistad, cariño y aprecio, que fue fundamental para vencer muchos de los obstáculos y alcanzar el sueño anhelado.

Director de la Escuela de Ingeniería Civil, de la Universidad del Valle de Guatemala, por haber permitido el ingreso al laboratorio de resistencia de materiales donde se realizaron los ensayos mecánicos y el apoyo oportuno del Técnico Laboratorista: Jairo Reyes.

Ing. René Zamora, por su apoyo y gestión de laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Guatemala.

Ing. Carlos Ernesto Archila Cardona por su asesoría y apoyo en la presente investigación.

Ingenieros: Claudio Alberto López Ríos, Roberto Waldemar Moya Fernández y Selvyn Rubén Darío González Urrutia, por el tiempo y esmero brindado en las revisiones, correcciones y evaluación de esta investigación.

Instituto Nacional de Bosques –INAB-, por el apoyo laboral y flexibilidad de tiempo durante la etapa de estudios.

Ingenieros: Silmar Eduardo Laj Hun y Cristián Alberto Campos Wellmann por la amistad y apoyo incondicional.

Guardarecursos: Arnulfo Chén, de la comunidad Rocja Pomtilá, por haber donado la madera de los árboles objeto de estudio.

## DEDICATORIA

A:

Dios: Porque con su infinito amor y poder fue posible vencer muchos de los obstáculos que se presentaron durante las diversas etapas de mi vida y puso en mi camino a muchas personas que me brindaron su amistad y cariño.

A mi madre: Cruz Guzmán García, a quien quiero mucho, por el amor que me ha brindado, sus consejos oportunos y apoyo en mi proyecto de vida, ejemplo a seguir.

A mi esposa: Juana Teresa Ralios Juárez, a quien amo tanto, por brindarme su amor, apoyo incondicional, sacrificio y comprensión en momentos difíciles del misterio de la vida.

A mis hijos: Mildred, Erick, Nancy y Josué, a quienes amo muchísimo y son la razón de mi vida, principal inspiración para cumplir con las diversas metas de superación y calidad de vida.

Mi familia: Abuela (Q.E.P.D), suegra, hermanos, tíos, primos, sobrinos por el apoyo moral, sabios consejos y ejemplo a seguir.

A mis amigos: Por su animación, cariño incondicional mostrado y buenos deseos para mi superación, con mucho aprecio.

# ÍNDICE

RESUMEN .....	i
SUMMARY .....	ii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	2
2.1 MARCO CONCEPTUAL.....	2
2.1.1 Reseña histórica: .....	2
2.1.2 La madera.....	3
2.1.3 Descripción del conjunto de capas que conforman la madera:.....	4
a. Albura: .....	4
b. Líber: .....	5
c. Duramen:.....	5
d. Corteza: .....	5
e. Medula:.....	6
f. Cambium: .....	6
g. Anillos de Crecimiento: .....	6
2.1.4 Técnica para realizar cortes en la madera: .....	7
2.1.5 Descripción de las propiedades .....	10
a. Propiedades físicas: .....	10
1. Humedad:.....	10
2. Densidad: .....	11
3. Contracción: .....	12
i. Contracción dimensional: .....	13
ii. Contracción volumétrica:.....	14
4. Relación entre humedad, densidad y gravedad específica: ..	14
5. Fórmulas de medición de propiedades físicas .....	16
i. Humedad (%) .....	16
ii. Densidad (g/cm <sup>3</sup> ).....	16
iii. Contracción dimensional (%):.....	16
iv. Contracción volumétrica:(g/cm <sup>3</sup> ).....	17
b. Propiedades mecánicas:.....	17
1. Normas para la determinación de características mecánicas	18
2. Compresión: .....	19
i. Compresión paralela a la fibra:.....	20
ii. Compresión perpendicular a la fibra:.....	21
3. Clasificación de las fallas .....	22
4. Módulo de ruptura y elasticidad:.....	22
i. Módulo de ruptura .....	23
ii. Módulo de elasticidad.....	23
5. Esfuerzo de corte .....	25
6. Prueba de dureza.....	26
2.1.6 Usos sugeridos de la madera .....	27
a. Estructura: .....	27
b. Encofrados:.....	27
c. Carpintería de Obra: .....	27

d.	Pisos:.....	28
e.	Mango de herramientas, artículos atléticos y deportivos: .....	28
f.	Durmientes: .....	28
2.1.8	Descripción de las especies forestales maderables:.....	31
a.	<i>Albizia saman</i> (Jacq.) Merr (Cenícero) .....	31
b.	<i>Genipa americana</i> L. (Irayol) .....	34
c.	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken (Laurel).....	38
2.1.9	Especies maderables secundarias y uso general: .....	42
2.1.9	Contexto del área de estudio: .....	42
a.	Localización de la Franja Transversal del Norte: .....	42
b.	Colonización: .....	42
c.	Eco Región Lachuá .....	43
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	44
3.1	Planteamiento del problema .....	44
3.2	Justificación del trabajo .....	45
4.	OBJETIVOS .....	46
4.1	Objetivo general .....	46
4.2	Objetivos específicos.....	46
5.	METODOLOGIA.....	47
5.1	Localización del trabajo .....	47
5.1.1	Acceso al área y Localización.....	47
5.1.2	Clima y Zonas de Vida: .....	49
5.1.3	Vegetación: .....	49
5.1.4	Precipitación: .....	49
5.1.5	Suelos:.....	49
5.2	Material experimental .....	50
5.3	Factores estudiados .....	51
5.3.1	Propiedades físicas.....	51
a.	Porcentaje de humedad (%) .....	51
b.	Densidad:.....	52
c.	Contracción:.....	54
1.	Contracción volumétrica: .....	54
2.	Contracción dimensional: .....	55
5.3.2	Propiedades mecánicas:.....	56
a.	Compresión: .....	57
b.	Corte:.....	58
c.	Dureza: .....	59
d.	Flexión estática:.....	60
5.3.3	Descripción de los tratamientos .....	62
5.3.4	Variables de respuesta .....	63
a.	Propiedades físicas .....	64
b.	Propiedades mecánicas .....	64
5.3.5	Análisis de la información .....	64
a.	Análisis estadístico .....	64
6.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	65
6.1	Propiedades físicas: .....	65

6.1.1	Humedad: .....	65
6.1.2	Densidad: .....	66
6.1.3	Contracción: .....	66
	a. Contracción dimensional.....	66
	b. Contracción volumétrica .....	67
6.1.4	Propiedades mecánicas.....	68
	a. Compresión .....	68
	1. Compresión paralela a la fibra.....	68
	2. Compresión perpendicular a la fibra.....	69
	3. Corte:.....	70
	4. Dureza.....	71
	5. Flexión Estática: .....	72
6.3	Usos sugeridos de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel .....	73
6.3.1	Madera de Cenícero: .....	73
6.3.2	Madera de Irayol: .....	76
6.3.3	Madera de Laurel: .....	78
7.	CONCLUSIONES.....	80
8.	RECOMENDACIONES .....	81
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	82

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Denominación de la madera en base al contenido de humedad	11
Cuadro 2	Contenido de humedad promedio de madera verde de algunas especies en los Estados Unidos.	11
Cuadro 3	Clasificación de la madera por su densidad	12
Cuadro 4	Clasificación de la madera según su relación de estabilidad $R_{T/R}$	13
Cuadro 5	Clasificación de la madera según su contracción volumétrica	14
Cuadro 6	Clasificación de la madera de acuerdo al esfuerzo de compresión paralela a la fibra.	21
Cuadro 7	Clasificación de la madera de acuerdo al esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra.	22
Cuadro 8	Clasificación de la madera según los valores de flexión estática.	24
Cuadro 9	Clasificación de la resistencia de la madera según el esfuerzo de corte.	26
Cuadro 10	Clasificación de la madera según su dureza	26
Cuadro 11	Clasificación de madera por rangos, para fabricación de papel.	29
Cuadro 12	Muestra las variables y parámetros de medida de las propiedades físicas determinadas.	56
Cuadro 13	Variables de propiedad y dimensión de probeta utilizada por cada ensayo mecánico realizado	62
Cuadro 14	Variables de propiedad y parámetro de medida utilizadas por cada ensayo mecánico realizado.	62
Cuadro 15	Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel en base a los porcentajes de humedad obtenidos	65
Cuadro 16	Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel de acuerdo a su densidad	66
Cuadro 17	Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y	67

	Laurel en base a la relación de contracción dimensional ( $R$ $t/r$ )	
Cuadro 18	Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel en base a la contracción volumétrica obtenida	67
Cuadro 19	Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel en base a los resultados obtenidos de compresión paralela a la fibra	68
Cuadro 20	Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel en base a ensayo de compresión perpendicular a la fibra	69
Cuadro 21	Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel en base al ensayo de esfuerzo de corte	70
Cuadro 22	Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel en base al ensayo de dureza determinado	71
Cuadro 23	Resultados y clasificación de La madera de Cenícero, Irayol y Laurel en el módulo de ruptura –MOR-	72
Cuadro 24	Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel en base a los ensayos del módulo de elasticidad –MOE-	73
Cuadro 25	Propiedades mecánicas de algunas maderas importadas dentro de los Estados Unidos y Canadá.	88
Cuadro 26	Ensayo de compresión paralela a la fibra en madera de Cenicero.	89
Cuadro 27	Ensayo de compresión paralela a la fibra en madera de Irayol.	89
Cuadro 28	Ensayo de compresión paralela a la fibra en madera de Laurel.	90
Cuadro 29	Ensayo de compresión perpendicular a la fibra de la madera de Cenicero, en la superficie radial.	90
Cuadro 30	Ensayo de compresión perpendicular a la fibra de la madera de Cenicero, en la superficie tangencial	91

Cuadro 31	Ensayo de compresión perpendicular a la fibra de la madera de Irayol, en la superficie radial.	91
Cuadro 32	Ensayo de compresión perpendicular a la fibra de la madera de Irayol, en la superficie tangencial.	92
Cuadro 33	Ensayo de compresión perpendicular a la fibra de la madera de Laurel, en la superficie radial.	92
Cuadro 34	Ensayo de compresión perpendicular a la fibra de la madera de Laurel, en la superficie tangencial.	93
Cuadro 35	Ensayo de corte en madera de Cenicero, en la superficie radial.	93
Cuadro 36	Ensayo de corte en madera de Cenicero, superficie tangencial.	94
Cuadro 37	Ensayo de corte en madera de Cenicero, en la superficie longitudinal.	94
Cuadro 38	Ensayo de corte en madera de Irayol, en la superficie radial.	95
Cuadro 39	Ensayo de corte en madera de Irayol, en la superficie tangencial.	95
Cuadro 40	Ensayo de corte en madera de Irayol, en la superficie longitudinal.	96
Cuadro 41	Ensayo de corte en madera de Laurel, en la superficie radial.	96
Cuadro 42	Ensayo de corte en madera de Laurel, en la superficie tangencial.	97
Cuadro 43	Ensayo de corte en madera de Laurel, en la superficie longitudinal.	97
Cuadro 44	Ensayo de dureza en madera de Cenicero, en la superficie radial.	98
Cuadro 45	Ensayo de dureza en madera de Cenicero, en la superficie tangencial.	98
Cuadro 46	Ensayo de dureza en madera de Cenicero, en la superficie longitudinal.	99

Cuadro 47	Ensayo de dureza en madera de Irayol, en la superficie radial.	99
Cuadro 48	Ensayo de dureza en madera de Irayol, en la superficie tangencial.	100
Cuadro 49	Ensayo de dureza en madera de Irayol, en la superficie longitudinal.	100
Cuadro 50	Ensayo de dureza en madera de Laurel, en la superficie radial.	101
Cuadro 51	Ensayo de dureza en madera de Laurel, en la superficie tangencial.	101
Cuadro 52	Ensayo de dureza en madera de Laurel, en la superficie longitudinal	102
Cuadro 53	Ensayo de flexión estática en madera de Cenícero, en la superficie radial.	102
Cuadro 54	Ensayo de flexión estática en madera de Cenícero, en la superficie tangencial.	103
Cuadro 55	Ensayo módulo de elasticidad en la flexión estática, en madera de Cenícero, en la superficie radial.	103
Cuadro 56	Ensayo módulo de elasticidad en la flexión estática, en madera de Cenícero, en la superficie tangencial.	104
Cuadro 57	Ensayo flexión estática en madera de Irayol, superficie radial.	104
Cuadro 58	Flexión estática en madera de Irayol, en la superficie tangencial.	105
Cuadro 59	Ensayo del módulo de Elasticidad en la flexión estática, en madera de Irayol, en la superficie radial.	105
Cuadro 60	Ensayo del módulo de elasticidad en la flexión estática, en madera de Irayol, en la superficie tangencial.	106
Cuadro 61	Ensayo de flexión estática en madera de Laurel, en la superficie radial.	106

Cuadro 62	Ensayo de flexión estática en madera de Laurel, en la superficie tangencial.	107
Cuadro 63	Ensayo del módulo de elasticidad en la flexión estática, en madera de Laurel, en la superficie radial.	107
Cuadro 64	Ensayo del módulo de elasticidad en la flexión estática, en madera de Laurel, en la superficie tangencial.	108
Cuadro 65	Valores de encogimiento expresados en porcentaje de la dimensión verde para maderas nacionales dentro de los Estados Unidos.	109
Cuadro 66	Encogimiento para algunas maderas importadas dentro de los Estados Unidos.	110
Cuadro 67	Determinación del porcentaje de humedad de la madera de: Cenicero, Irayol y Laurel.	111
Cuadro 68	Contracción dimensional de la madera de Cenicero.	112
Cuadro 69	Contracción dimensional de la madera de Irayol.	113
Cuadro 70	Contracción dimensional de la madera de Laurel.	114
Cuadro 71	Contracción volumétrica madera de Cenicero.	115
Cuadro 72	Contracción volumétrica madera de Irayol	116
Cuadro 73	Contracción volumétrica madera de Laurel	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Capas principales que constituyen la madera de Cenícero	4
Figura 2	Comparación leño temprano y tardío de coníferas y latifoliadas	5
Figura 3	Diferenciación de anillos de crecimiento entre coníferas y latifoliadas.	7
Figura 4	Muestra las tres superficies o caras de la madera.	8
Figura 5	Encogimiento característico y distorsión del corte paralelo, afectados por la dirección de los anillos de crecimiento.	13
Figura 6	Determinación del peso específico aparente a partir del contenido de humedad y densidad	15
Figura 7	Diferentes fallas que pueden dar en el ensayo de flexión	18
Figura 8	Muestra la posición de la probeta de madera al ser sometida a ensayo de compresión paralela a la fibra.	20
Figura 9	Muestra la posición de la probeta de madera al ser sometida a ensayo de compresión perpendicular a la fibra.	21
Figura 10	Tipos de falla en tensión y compresión	22
Figura 11	Probeta sometida a ensayo de flexión estática aplicando una carga puntual en el centro de la luz o distancia entre apoyos, para determinar la resistencia que opone una viga de madera.	23
Figura 12	Plano falla radial en probeta de corte radial.	25
Figura 13	Plano falla radial en probeta de corte tangencial.	25
Figura 14	Cenícero presente en la Eco Región Lachuá	33
Figura 15	Irayol presente en la Eco Región Lachuá	37
Figura 16	Laurel presente en la Eco Región Lachuá	41
Figura 17	Muestra la ubicación geográfica del área de estudio	48
Figura 18	Balanza digital y horno para determinar % de humedad	51
Figura 19	Muestra la determinación del volumen a través del método de desplazamiento	52
Figura 20	Preparación de la parafina para probetas secas al horno	54

	previo a determinar su volumen	
Figura 21	Indica los puntos donde se tomaron los valores dimensionales de cada una de las superficies	55
Figura 22	Probeta sometida a carga de compresión paralela a la fibra	57
Figura 23	Probeta sometida a carga de compresión perpendicular a la fibra	58
Figura 24	Compresora hidráulica que muestra la falla en el ensayo de corte	59
Figura 25	Muestra la máquina compresora al momento de realizar el ensayo de dureza.	60
Figura 26	Máquina compresora realizando ensayo de flexión estática	61
Figura 27	Describe la clasificación de las propiedades determinadas y usos sugeridos de la madera de Cenícero	75
Figura 28	Clasificación de las propiedades físicas y mecánicas determinadas y usos sugeridos de la madera de Irayol	77
Figura 29	Muestra la clasificación de las propiedades determinadas y usos sugeridos de la madera de Laurel	79

## **ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE ESPECIES FORESTALES, LACHUÁ, ALTA VERAPAZ**

### **RESUMEN**

El objetivo del estudio fue determinar las propiedades físicas, mecánicas y usos sugeridos de las maderas de Cenícero, Irayol y Laurel, obtenidas en la comunidad de Rocja Pontilá, Cobán, Alta Verapaz. Los ensayos de propiedades físicas se realizaron en el laboratorio del Campus "San Pedro Claver S.J.", y las propiedades mecánicas en el laboratorio de la universidad del Valle de Guatemala, empleando la norma ASTM D-143-94. Las variables evaluadas para las propiedades físicas fueron humedad, densidad y contracción; y para las propiedades mecánicas compresión, corte, dureza y flexión. De lo anterior se obtuvo que las propiedades físicas determinaron que la madera de las especies objeto de estudio son muy estables y con una contracción mediana. De los resultados de las propiedades mecánicas el Cenícero mostró compresión muy alta, en corte bajo, en dureza se clasificó como blanda y en flexión muy baja. En el caso del Irayol presentó compresión muy alta, en corte muy bajo, en dureza blanda y en flexión estática alta. El Laurel a su vez presentó compresión media, en corte muy bajo, en dureza muy blanda y en flexión muy baja. Finalmente resalta la madera de Irayol por reunir las mejores características principalmente en la propiedad mecánica, haciendo que destaque para uso estructural, por lo demás comparte las mismas características de propiedades con la especie de Cenícero, lo que las hacen aptas principalmente para ser utilizadas en carpintería, ebanistería y entre muchos otros usos en el sector forestal e industrial.

## **STUDY OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FOREST SPECIES WOOD, LACHUÁ, ALTA VERAPAZ**

### **SUMMARY**

The objective of the study was to determine the physical and mechanical properties, as well as suggested uses of wood from Saman, Irayol and Laurel trees, obtained in the community of Rocja Pontilá, Coban, Alta Verapaz. The physical properties tests were carried out in the laboratory of the San Pedro Claver S.J. campus, and the mechanical properties were evaluated in the laboratory of *Universidad del Valle de Guatemala*, using the ASTM D-143-94 standard. The evaluated variables for physical properties were moisture, density and contraction; and for the mechanical properties, these included compression, cutting, hardness and flexion. From the above, it was determined that the physical properties demonstrated that the wood from the studied species is very stable and have a medium contraction. As per the results of the mechanical properties, the Saman tree showed very high compression, low cut, and, regarding hardness, it was soft and with very low flexion. Regarding Irayol, it showed very high compression, very low cut, soft hardness and high static flexion. Laurel tree showed medium compression, very low cut, very soft hardness and very low flexion. Finally, Irayol wood stands out because it has the best properties, mainly regarding the mechanical property, standing out for structural use; besides that, it shares the same properties with Saman species, making them suitable mainly for carpentry, woodworking, among many other uses in the forestry and industrial sector.

## I. INTRODUCCIÓN

Las especies forestales de Laurel, Irayol y Cenícero, son especies nativas del bosque muy húmedo sub tropical cálido, y bosque pluvial sub tropical, que en muchas ocasiones son utilizados para la construcción de vivienda, canoas, muebles y desde el aspecto cultural como uso energético, (Aguilar 2007).

La falta de estudio sobre el uso potencial de muchas especies latifoliadas maderables, no incentivan su manejo y mucho menos que puedan competir o sean una alternativa más de uso y con ello quitarle presión a todas aquellas maderas que están en las listas de especies amenazadas.

Aguilar (1982), refiere que las maderas adquieren gran importancia, al determinar sus propiedades físicas y mecánicas ya que estas permiten inferir sobre las cualidades y aptitudes de las mismas, para sus múltiples usos en construcción y principalmente en la búsqueda de mercado.

La determinación de las propiedades físicas y mecánicas, se realizó utilizando la Norma de la American Society Test of Materials (ASTM), y para el análisis de la información se utilizó hoja de cálculo de Microsoft Excel, ya que no existieron comparaciones entre especies, únicamente el análisis de la información obtenida por cada una de ellas.

Con los resultados obtenidos se realizó una clasificación de la madera de las especies estudiadas (Laurel, Irayol y Cenícero), utilizando como base clasificaciones de madera que otros investigadores han generado, obteniendo información científica confiable que podrá ser utilizada por quienes demandan maderas estables, de mediana contracción y con características mecánicas adecuadas a las exigencias del mercado y la industria, lo que permitirá mayor competitividad y la posible incorporación de las especies estudiadas en los programas de incentivos forestales promovidos por el Instituto Nacional de Bosques –INAB-.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 MARCO CONCEPTUAL

#### 2.1.1 Reseña histórica:

Aguilar y Guzowski (2011), manifiestan que la madera representa algo muy importante en la vida del hombre por cuanto ha desempeñado un rol, verdaderamente, significativo en el avance de la civilización. Con ella se han elaborado herramientas, armas y una gran variedad de artículos, desde lo más simple hasta verdaderas obras de arte.

Pocos materiales poseen la capacidad de evocación de la madera. Durante miles de años el hombre la ha manipulado para que sirviera a sus necesidades y, aún en nuestros días, tipologías ancestrales continúan siendo válidas. La madera fue uno de los primeros materiales utilizados por el hombre para construcción de viviendas, herramientas para cazar, fabricación de utensilios, etc., (Aguilar y Guzowski, 2011).

Después, fue uno de los materiales predilectos para la construcción de palacios, templos y casas desde 2.000 años A.C. y hasta el siglo XIV d.c; donde al descubrirse nuevas técnicas y materiales para la construcción, tales como el hormigón armado, el hierro, el cristal, el cartón, la fibra textil y todos los sustitutos de la madera, disminuyeron en gran medida el uso de ésta. Actualmente, se retorna al uso de la madera en construcciones y elementos decorativos como también muebles, dado su excelente confort, su nobleza y la calidez que ofrece, (Aguilar y Guzowski, 2011).

(Baraño *et al* 2008), resalta que a pesar de lo que ha evolucionado la tecnología y las prodigiosas características técnicas de los derivados del petróleo, sigue siendo la madera una materia prima imprescindible y lo asombroso es que aumenta su demanda año a año. Más alto el nivel de vida de un pueblo, mayor su consumo de madera per capita.

### 2.1.2 La madera

(Barañaño, *et al* 2008), la Xilología o Tecnología de maderas, como ciencia estudia la madera tanto en sus caracteres estructurales como estéticos, físico-mecánicos, químicos y sus anomalías. Su nombre deriva de los términos griegos *Xylos* (madera) y *Logos* (estudio).

Aguilar y Guzowski (2011), refieren que en general, se entiende por madera a las partes de un árbol que, económicamente, pueden aprovecharse, siendo éstas, por lo general, troncos y, en un mayor alcance, también, ramas y raíces. La madera de los troncos se puede utilizar de múltiples maneras: como láminas, como chapas finas, triturada en tableros y como macizo para obras de construcción y carpintería.

Viña (2003), manifiesta que es la parte fibrosa de los árboles situada bajo la corteza, sus características principales son la heterogeneidad y anisotropía. Como materia orgánica, es un elemento en continuo cambio y movimiento, debido a su estructura celular sometida a las situaciones climáticas, con las que está directamente relacionada. Su movimiento natural es imprevisible en la mayoría de los casos, lo que hace necesario para el trabajo de la madera el conocimiento de sus propiedades de forma universal y también de forma concreta por cada especie.

La madera, cuerpo sólido, poroso y heterogéneo, tiene la capacidad de resistir a sollicitaciones externas, que tienden a deformarla o alterar sus dimensiones, (Díaz-Vaz y Cuevas, 1982).

El empleo de la madera como tal o como resultado de sus transformaciones, abarca un sinnúmero de posibilidades. Es así como un trozo de leño que se use como combustible es lo que se conoce como leña o puede formar parte, en función de su industrialización, de un tablero de aglomerado o un compensado o un multilaminado entre otras variables, (Barañaño *et al* 2008).

Viña (2003), el árbol, en su crecimiento, se desarrolla formando múltiples capas cilíndricas y concéntricas que se generan desde su centro hacia el exterior. En ella se pueden distinguir que según el conjunto de capas que la conformen se dividirá en 4 principales: médula, duramen, albura y corteza, (ver figura 1).

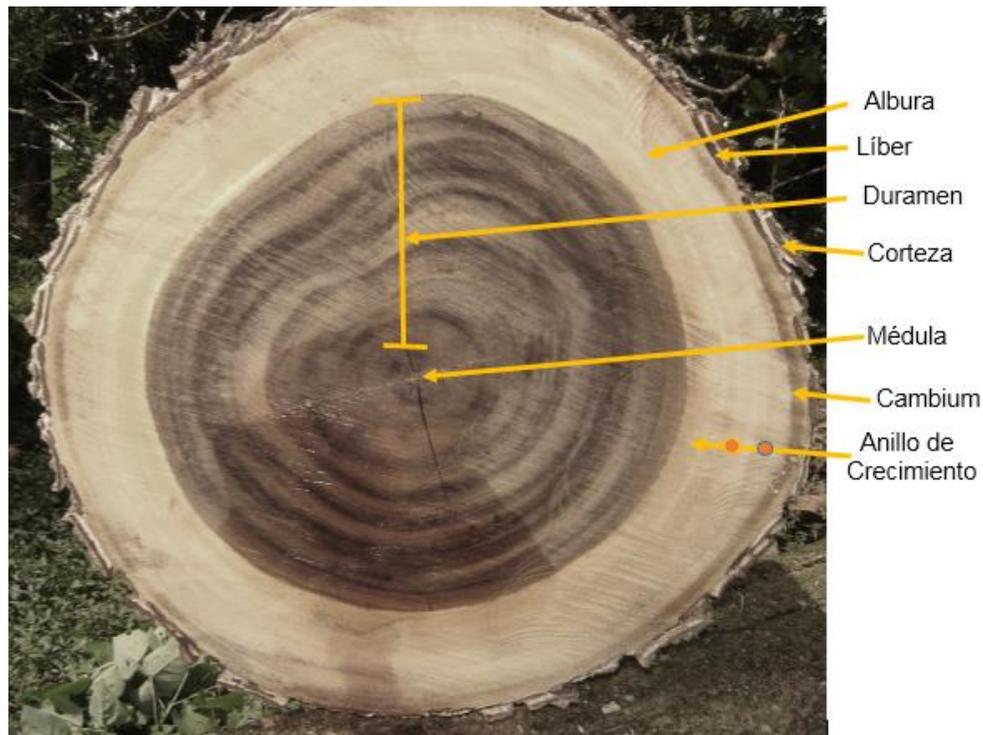


Figura 1. Capas principales de la madera de Cenícero, (Fuente: fotografía propia 2008).

### 2.1.3 Descripción del conjunto de capas que conforman la madera:

#### a. Albura:

Parte activa del tronco, de color claro, por donde circula la savia bruta y se almacenan los elementos nutrientes. A medida que crece el árbol las partes de albura más próximas al centro se irán convirtiendo en duramen, (Viña 2003).

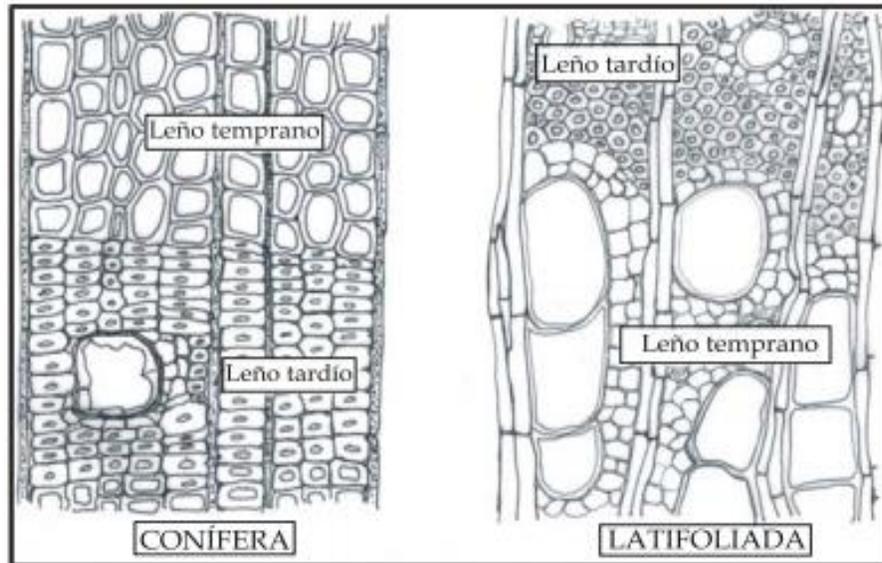


Figura 2 Parte externa de la madera de un tallo o raíz (xilema) que contiene células vivas y reservas y en la cual se lleva a cabo la conducción de agua y minerales. Generalmente es de color más claro que el duramen, (Baraño, *et al* 2008).

**b. Líber:**

Constituido por las células del floema generadas por la capa del cambium. Realiza las funciones conductoras de la savia elaborada que desciende de las hojas para abastecer o almacenar aquellas zonas activas donde es necesario, (Viña 2003).

**c. Duramen:**

Forma la parte más gruesa, densa y pesada del tronco, se encuentra entre la médula y la albura. Se reconoce por su color oscuro, aunque en algunas especies es bastante difícil apreciar visualmente el color entre duramen y albura. A medida que crece el árbol, las partes de albura más próximas al centro se van convirtiendo en duramen, (Viña 2003).

**d. Corteza:**

Zona más externa del tronco, que protege al árbol de los cambios bruscos de temperatura y de posibles acciones mecánicas que surgen del exterior, (Viña 2003).

**e. Medula:**

Parte central del tronco, que en ocasiones puede llegar a medir hasta 1.25 cm. Formada por un tejido esponjoso de color blanco, que conforma el tallo en su primer desarrollo y al que se sucederán perimetralmente las siguientes capas que irán dando grosor al tronco, (Viña 2003).

**f. Cambium:**

Capa delgada, imperceptible, responsable directa del crecimiento en espesor del árbol. En ella se generan y distinguen dos clases de células: hacia el interior del tronco, células leñosas (xilema) y en dirección al exterior dando lugar a la corteza, células liberianas (floema), (Viña 2003).

Barajas, *et al* (1981), La madera representa todas aquellas porciones de los ejes de las plantas, principalmente troncos, provistos de crecimiento secundario que se produce por división de las células del cambium. La división de estas células da origen a distintos elementos de la madera que puede tener funciones diversas, ya que forman vasos leñosos que son parte del tejido de conducción y fibras o traqueidas que son elementos que van a dar resistencia al vegetal formando una estructura de sostén o tejido esquelético.

La madera de las magnoliophytas o latifoliadas, presenta una mayor complejidad que las coníferas, esta situación se debe a que en el leño de las magnoliphytas existe una mayor especialización y número en sus elementos, (Barajas, *et al* 1981).

**g. Anillos de Crecimiento:**

Barañao, *et al* (2008), refieren que es la capa de crecimiento de floema o xilema secundario, tal como se ve en un corte transversal de tallo o raíz. Con poco aumento y muchas veces a simple vista, la madera permite distinguir estos anillos. Cada capa de crecimiento se produce por la interacción del cambium con el ambiente. Por esto se podría decir que es el producto del crecimiento de una estación pero la diversidad de condiciones ambientales puede inducir más de una capa por año y aún dentro de una misma estación, por lo cual no siempre se puede asegurar que sean anillos anuales.

Genéricamente cuando la diferencia es notable, dentro de cada anillo se puede describir el leño temprano y el leño tardío. El leño temprano o de primavera es menos denso dado que predominan células de mayor diámetro, con paredes más delgadas; en el leño tardío o de verano las células son de menor diámetro y de paredes más gruesas. Entre un leño tardío y un leño temprano la diferencia es abrupta, con un contraste marcado, (Barañaño *et al* 2008). (Ver figura 3).

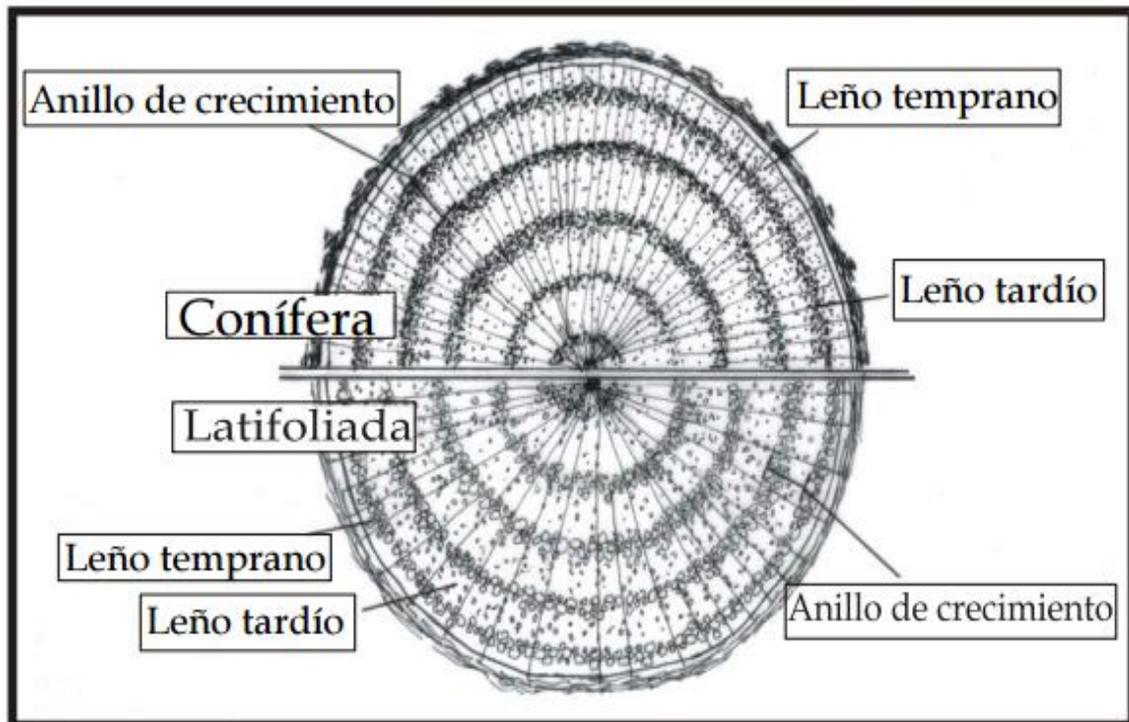


Figura 3. Diferenciación de anillos de crecimiento entre Coníferas y Latifoliadas.  
Fuente: Barañaño, *et al* (2008).

#### 2.1.4 Técnica para realizar cortes en la madera:

En forma previa a cualquier estudio, se debe tener bien definido qué cara o superficie se está observando. Para esto es necesario definir cuál es el plano de corte o sección de la muestra que se determinará, ver figura 4.

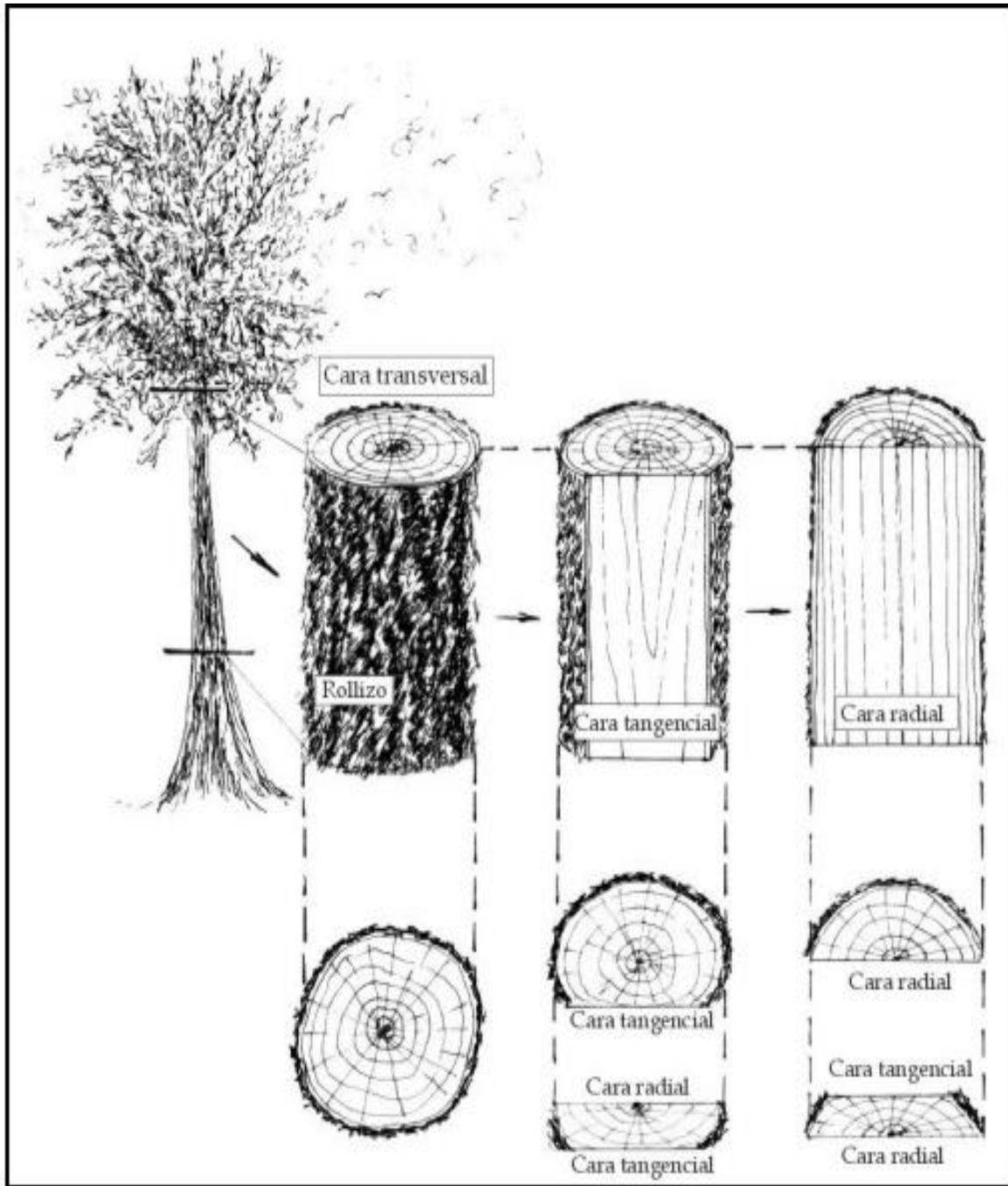


Figura 4. Muestra las tres superficies o caras de la madera (Baraño, *et al* 2008).

Corma (2003), describe que el conocimiento sobre la naturaleza de la madera, características y comportamiento, es necesario para establecer y efectuar un buen uso de este material. En este aspecto radica la importancia de que exista información adecuada y estructurada a los actuales requerimientos, ya que permite a los profesionales que intervienen en el diseño, cálculo y ejecución de construcciones en madera, realizar una acertada gestión y correcta utilización del material, con el objeto de cumplir altos estándares de calidad y bienestar, a precios convenientes en el mercado de la vivienda.

Corma (2003), La madera estructural muy rara vez se presenta libre de defectos. Por el contrario ella contiene nudos, desviación de fibra, grietas y otras características reductoras de la resistencia. A fin de agrupar piezas de madera con características estructurales semejantes, se procede con una clasificación visual, basada en reglas o especificaciones que determinan la magnitud admisible de los defectos que un grupo o grado determinado puede aceptar.

En este caso las especies forestales maderables objeto de estudio, se citan con el nombre científico y común, sin embargo para facilitar la comprensión específicamente en el área de estudio y durante el desarrollo del documento se citará con más frecuencia con el nombre común.

Las especies forestales maderables de Irayol y Laurel son de crecimiento agresivo en su estado natural, pero con manejo silvicultural podría acortarse el turno de cosecha, en comparación a la especie de cenicero. En cuanto a la silvicultura se puede hacer a través de plantaciones puras, silbo pastoril, agroforestal, cortinas rompe vientos y en el caso puntual del cenicero puede usar como una especie alternativa forrajera para el ganado, sombra y fijadora de carbono.

## **2.1.5 Descripción de las propiedades**

### **a. Propiedades físicas:**

Díaz (2006), define como propiedades físicas aquellas que determinan el comportamiento de la especie forestal en estudio ante los factores que intervienen en el medioambiente normal, sin que este actúe química ni mecánicamente en su estructura, donde intervinieron los siguientes factores: la humedad, densidad y la contracción.

#### **1. Humedad:**

Pérez (1983) y Cuevas (2003), determinaron que la humedad es “la masa de agua contenida en una pieza de madera, expresada como porcentaje de la masa de la pieza anhidra”. El peso anhidro es el peso que se obtiene cuando se coloca la madera en una estufa a 100 o 102<sup>0</sup> C, hasta que se obtiene un peso constante.

Cuando el contenido de humedad es modificado, existirán variaciones dimensionales, las que se ven incrementada mientras mayor sea la densidad de la madera, (Pérez, 1983 y Cuevas, 2003).

Según Forest Products Laboratory (1999), el contenido de humedad de la madera es el peso del agua en la madera expresada como una fracción, normalmente un porcentaje, del peso de madera secada al horno. El peso, encogimiento, fuerza, y otras propiedades dependen del contenido de humedad de la madera. En los árboles, el volumen de humedad puede ir de aproximadamente 30% a más de 200% del peso de sustancia de madera.

Hernández (2012), hace referencia que los vegetales necesitan el agua para completar su ciclo alimenticio y de crecimiento, como vehículo que transporta los nutrientes obtenidos de la tierra, dando como resultado la disolución de la savia. Humedad o grado de humedad de la madera, se denomina al porcentaje en peso del agua retenida en la madera respecto al de la madera anhidra, (ver cuadro 1).

Cuadro 1. Muestra la denominación de la madera en base al contenido de humedad

Contenido de humedad (%)	Denominación
>30	Madera saturada
30-23	Madera semi-seca
22-18	Madera comercialmente seca
17-13	Madera secada al aire
<13	Madera desecada
0	Madera anhidra

(Capuz, 2005)

Cuadro 2. Contenido de humedad promedio de madera verde de algunas especies en los Estados Unidos.

Especies	Contenido de humedad (%)		Especies	Contenido de humedad (%)	
	Duramen	Albura		Duramen	Albura
<b>Maderas duras</b>			<b>Maderas blandas</b>		
Aliso rojo	-	97	Pino ponderosa	40	148
Haya americano	55	72	Abeto negro	52	113
Roble negro	76	75	Abeto Douglas	37	115
Nogal	69	52	Cedro amarillo	32	166
Olmo americano	95	92	Alerce americano	49	-

(Forest Products Laboratory, 1999)

## 2. Densidad:

La densidad es el cociente entre la masa y el volumen de la madera, la cual varía con la humedad es decir, cuando la humedad crece, la densidad también crece, (Cuevas, 2003).

La determinación de éste valor es una referencia útil de calidad, puede ayudar en la selección y clasificación de maderas, permite estimar su resistencia, habilidad para sostener clavos y facilidad de trabajo en la máquinas; es también índice de la resistencia a diversos usos, (Vignote y Martínez 2006).

Vignote y Martínez (2006), clasifican las maderas por su densidad, según el cuadro 3.

Cuadro 3. Clasificación de la madera por su densidad

Tipo de densidad	Densidad en kg/m <sup>3</sup>	Densidad en g/cm <sup>3</sup>
Ligeras	< de 500	< de 0.500
Semiligeras	De 500 a 599	De 0.500 a 0.599
Semipesadas	De 600 a 649	De 0.600 a 0.649
Pesadas	De 650 a 799	De 0.650 a 0.799
Muy pesadas	> de 800	> de 0.800

(Vignote y Martínez, 2006)

### 3. Contracción:

Esta es la pérdida de dimensiones que sufre la madera como consecuencia de la pérdida de la humedad el cual está por debajo del punto de saturación de la fibra (PSF), la contracción por lo general se expresa como un porcentaje de la máxima dimensión de la madera. La madera verde o húmeda es la que sufre reducciones en sus dimensiones y se expresa en porcentaje, (Windy, 1994).

Winandy (1994), hace mención que la madera es dimensionalmente estable cuando el contenido de humedad es mayor que el punto de saturación de la fibra. La madera cambia de dimensión así como gane o pierda humedad debajo de ese punto. Se encoge cuando pierde humedad de las paredes celulares y se hincha al ganar humedad en las paredes celulares.

Winandy (1994), subraya que es importante que estos fenómenos se entiendan y sean considerados cuando ellos pueden afectar un producto proveniente de la madera. Con respecto a las características de encogimiento. La madera es un material anisotrópico, el cual se encoge la mayoría de las veces en la dirección de los anillos anuales de crecimiento (tangencialmente), sobre medio tanto a través de los anillos (radialmente), y sólo ligeramente a lo largo del grano (longitudinalmente).

El Forest Products Laboratory (1999), refiere que los efectos combinados de encogimiento radial y tangencial puede torcer la forma de las piezas de madera debido

a la diferencia en el encogimiento y la curvatura de anillos anuales. Se ilustran los mayores tipos de distorsión como resultado de estos efectos en la figura 2.

El Forest Products Laboratory (1999), describe que el encogimiento e hinchazón pueden causar torcimientos, agrietamientos, hendiduras, y aflojamiento en mangos de herramienta, huecos en tiras de piso, o problemas de función que disminuyen de la utilidad del producto de madera, (ver figura 5).

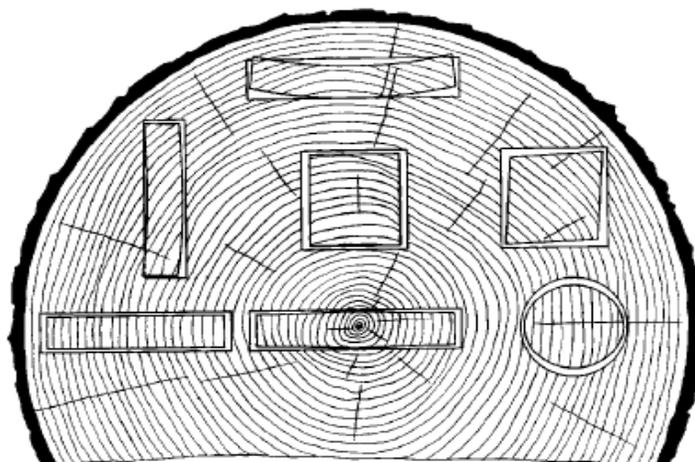


Figura 5. Encogimiento característico y distorsión del corte paralelo, cuadrado, y piezas redondas afectados por la dirección de los anillos de crecimiento. El encogimiento tangencial es alrededor de dos veces más grande que el radial. (Forest Products Laboratory, 1999).

**i. Contracción dimensional:**

Vignote y Martínez (2006), determinaron que las maderas con relación entre coeficientes  $R_{T/R} > 2$  presentan elevada tendencia a deformación, lo que dificulta su uso en la elaboración de muebles y carpintería. Gutiérrez y Silva (1999), clasifican las maderas según su relación entre coeficientes ( $R_{T/R}$ ), (ver cuadro 4).

Cuadro 4. Clasificación de la madera según su relación de estabilidad  $R_{T/R}$

Relación de contracción	Tipo de contracción
< 1.50	Muy baja o muy estable
1.50 – 2.00	Baja o estable
2.01 – 2.50	Mediana o moderadamente estable
2.51 – 3.00	Alta o inestable
> 3.00	Muy alta o muy inestable

(Gutiérrez y Silva, 1999)

## ii. Contracción volumétrica:

Pérez (1983), clasifica las maderas en base a la contracción volumétrica total, como se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Clasificación de la madera según su contracción volumétrica

Clase	Contracción Volumétrica (%)	Tipo de comparación
Gran contracción	15.1 a 20	Madera en trozos con grandes grietas de secado, que deberán aserrarse antes del secado
Contracción mediana	10.1 a 15	Madera en trozos con grietas medianas, pudiendo ser conservada en trozos para estivación de minas y postes
Pequeña contracción	5 a 10	Madera en trozos con pequeñas grietas que se pueden secar antes de su aserrado o elaboración.

(Pérez, 1983)

## 4. Relación entre humedad, densidad y gravedad específica:

Según Winandy (1994), son dos factores principales que afectan el peso de los productos de madera: densidad de la estructura de madera y la humedad contenidos básicos. Un tercer factor, minerales y sustancias extraíbles, tiene un marcado efecto sólo en un número limitado de especies.

Forest Products Laboratory (1999), comparte que la densidad de la madera, excluyendo el agua, varía en gran medida tanto dentro y entre especies. Aunque la densidad en la mayor parte de especies cae entre 320 y 720 kg /cm<sup>3</sup> (20 y 45 lb / ft<sup>3</sup>), la madera se utiliza en una amplia gama de condiciones y tiene una amplia gama de valores de contenido de humedad al ser usada. Para estandarizar las comparaciones de especies o productos y estimaciones del peso del producto, la gravedad específica se utiliza como una base de referencia estándar, en lugar de la densidad. Lo tradicional definición de la gravedad específica es la relación de la densidad de la madera a la densidad del agua a una temperatura de referencia especificada (A menudo 4,4 ° C (40 ° F)) en la que la densidad del agua es 1,0000 g /cm<sup>3</sup>.

Para reducir la confusión introducida por la variable de contenido de humedad, el peso específico de la madera normalmente se basa en el peso secado al horno y el volumen en algún contenido de humedad especificado, (ver figura 6).

Contenido de Humedad de madera (%)	Gravedad Específica y Densidad (kg/cm³)																				
	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50	0.52	0.54	0.56	0.58	0.60	0.62	0.64	0.66	0.68	0.70
0	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
4	312	333	354	375	395	416	437	458	478	499	520	541	562	582	603	624	645	666	686	707	728
8	324	346	368	390	410	432	454	475	497	518	540	562	583	605	626	648	670	691	713	734	756
12	336	358	380	402	426	448	470	493	515	538	560	582	605	627	650	672	694	717	739	762	784
16	348	371	394	417	441	464	487	510	534	557	580	603	626	650	673	696	719	742	766	789	812
20	360	384	408	432	456	480	504	528	552	576	600	624	648	672	696	720	744	768	792	816	840
24	372	397	422	447	471	496	521	546	570	595	620	645	670	694	719	744	769	794	818	843	868
28	384	410	436	462	486	512	538	564	588	614	640	666	692	716	742	768	794	820	844	870	896
32	396	423	450	477	501	528	555	582	606	633	660	687	714	738	765	792	819	846	870	897	924
36	408	436	464	492	516	544	572	600	624	652	680	708	736	760	788	816	844	872	896	924	952
40	420	449	478	507	531	560	589	618	642	671	700	729	758	782	811	840	869	898	922	951	980
44	432	462	492	522	546	576	606	636	660	690	720	750	780	804	834	864	894	924	948	978	1008
48	444	475	506	537	561	592	623	654	678	709	740	771	802	826	857	888	919	950	974	1005	1036
52	456	488	520	552	576	608	640	672	696	728	760	792	824	848	880	912	944	976	1000	1032	1064
56	468	501	534	567	591	624	657	690	714	747	780	813	846	870	903	936	969	1002	1026	1059	1092
60	480	514	548	582	606	640	674	708	732	766	800	834	868	892	926	960	994	1028	1052	1086	1120
64	492	527	562	597	621	656	691	726	750	785	820	855	890	914	949	984	1019	1054	1078	1113	1148
68	504	540	576	612	636	672	708	744	768	804	840	876	912	936	972	1008	1044	1080	1104	1140	1176
72	516	553	590	627	651	688	725	762	786	823	860	897	934	958	995	1032	1069	1106	1130	1167	1204
76	528	563	598	633	669	704	739	774	810	845	880	915	950	986	1021	1056	1091	1126	1162	1197	
80	540	576	612	648	684	720	756	792	828	864	900	936	972	1008	1044	1080	1116	1152	1188		
84	552	589	626	662	699	736	773	810	846	883	920	957	994	1030	1067	1104	1141	1178			
88	564	602	639	677	714	752	790	827	865	902	940	978	1015	1053	1090	1128	1166				
92	576	614	653	691	730	768	806	845	883	922	960	998	1037	1075	1114	1152	1190				
96	588	627	666	706	745	784	823	862	902	941	980	1019	1058	1098	1137	1176					
100	600	640	680	720	760	800	840	880	920	960	1000	1040	1080	1120	1160	1200					
110	630	672	714	756	798	840	882	924	966	1008	1050	1092	1134	1176	1218						
120	660	704	748	792	836	880	924	968	1012	1056	1100	1144	1188	1232							
130	690	736	782	828	874	920	966	1012	1058	1104	1150	1196	1242	1288							
140	720	768	816	864	912	960	1008	1056	1104	1152	1200	1248	1296								
150	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350								

Figura 6. Muestra la determinación del peso específico aparente a partir del contenido de humedad y la densidad, (Forest Products Laboratory, 1999).

## 5. Fórmulas de medición de propiedades físicas

### i. Humedad (%)

Cantidad de agua contenida en la madera con relación al peso de la madera anhidra, (ASTM, 2000).

$$\% \text{ de humedad} = \frac{(\text{peso húmedo}) - (\text{peso seco})}{\text{Peso seco}} \times 100$$

(Norma ASTM D143-94, 2000)

### ii. Densidad (g/cm<sup>3</sup>)

ASTM (2002), cantidad de fibra que contiene la madera, la cual permitirá conocer su resistencia mecánica, rendimiento de pulpa.

$$D = \frac{P}{V}$$

(Norma ASTM D 2395-02, 2002)

Dónde:

D = Densidad

P = Peso

V = Volumen

### iii. Contracción dimensional (%):

Vignote y Martínez (2006), Dicen que es la pérdida de dimensiones que sufre la madera como consecuencia de la pérdida de humedad por debajo del Punto de saturación de la fibra que oscila entre 23 a 30%.

$$L D (r,t) = \frac{L_i - L_f}{L_i} \times 100$$

(Norma ASTM D 2395-02, 2002)

Dónde:

LD= Longitud Dimensional (radial, tangencial)

Li = Longitud inicial

Lf = Longitud final

#### iv. **Contracción volumétrica:(g/cm<sup>3</sup>)**

$$\text{Contracción volumétrica} = \frac{\text{Volumen verde}-\text{Volumen seco}}{\text{Volumen verde}} \times 100$$

(Norma ASTM D 2395-02, 2002)

Dónde:

CV = Contracción Volumétrica

Vv = Volumen verde

Vs = Volumen seco

#### **b. Propiedades mecánicas:**

Es el resultado de la evaluación, tras aplicar fuerzas mecánicas a los materiales. Esta fuerza culminará en la deformación del material como respuesta mecánica, determinada por unidades de área denominadas “esfuerzos” o “tensiones”. Esta terminología la proporciona el ámbito de la Ingeniería de los Materiales, para emplearlos como sinónimos siempre y cuando se consideren los esfuerzos como el resultado de los procedimientos de deformación de material a nivel macroscópico, estos esfuerzos pueden ser: tracción, compresión, flexión, cizalladura y torción, (Hernández, 2012).

Las propiedades mecánicas se agrupan de acuerdo al comportamiento de las maderas, y Para poder obtener los resultados en los ensayos a realizar (Ruptura, Elasticidad, Corte y Dureza), es necesario contar con un espacio físico adecuado y de

igual forma la maquinaria hidráulica idónea (Micrómetro, Deformímetro, Compresoras hidráulicas o mecánica).

A continuación se muestran las diferentes fallas que se pueden presentar al momento de realizar el ensayo de Flexión, la clasificación de las mismas será de acuerdo a la apariencia de la superficie fracturada de la probeta. Las superficies pueden ser fracturadas más o menos dividido en "impetuosa" y "fibrosa", el término "impetuoso" que indica una falla brusca y "fibrosa" que indica una fractura mostrando astillas. El tamaño de la probeta será de 2" X 2" X 30", (ASTM, 2000). Ver figura 6.

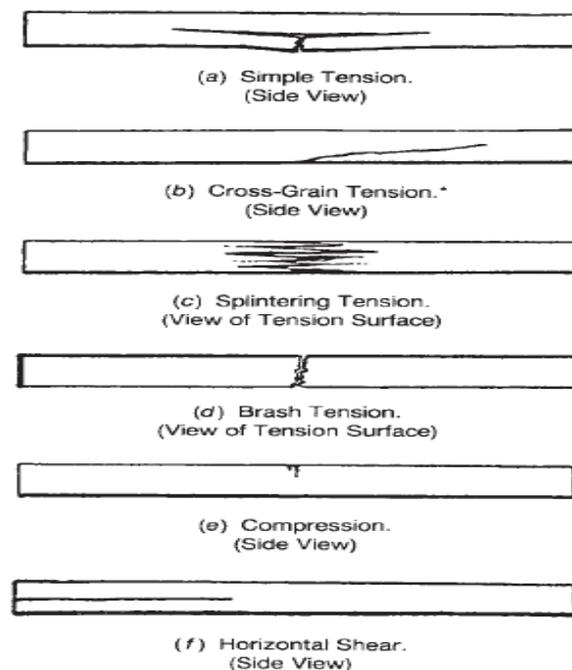


Figura 7. Diferentes fallas que pueden dar en el ensayo de flexión. (ASTM, 2000)

### 1. Normas para la determinación de características mecánicas

Sotomayor (2008), indica que la madera proviene de árboles que han crecido en ecosistemas forestales y en climas que van desde la tundra, en latitudes extremas, hasta regiones de selva cálida-húmeda cerca de las costas y trópicos. Como consecuencia, existe una gran diversidad cualitativa de madera, producto de esta pluralidad de ecosistemas y particularidades climáticas. El ingeniero, el arquitecto y el

usuario de la madera como elemento estructural, requieren de información confiable y estandarizada de la resistencia mecánica del material.

Con la finalidad de optimizar los procesos constructivos y de diseño, así como de mejorar la calidad y la fabricación de productos donde la madera juega un papel substancial. Para resolver esta paradoja, las características tecnológicas de la madera son obtenidas aplicando ensayos normalizados y en otras ocasiones los investigadores utilizan procedimientos o ensayos exploratorios destinados a dar respuesta a dificultades particulares de diseño o análisis, (Sotomayor, 2008).

Los ensayos normalizados son los procedimientos aceptados por la comunidad científica e industrial que garantizan la calidad de las conclusiones al utilizar rigurosos muestreos estadísticos y controlando los factores o variables que pudieran distorsionar los resultados. Estas prácticas establecen las reglas acerca de cómo la madera debe ser preparada y sometida a experimentos para medir su comportamiento en condiciones de laboratorio o campo, (Sotomayor, 2008).

Las normas son prescritas por instituciones académicas, asociaciones acreditadas y otras veces por las mismas industrias. Las normas utilizadas frecuentemente son las normas ASTM (American Society for Testing and Materials), Las Normas DIN (Deutches Institut For Normung 1988), y las Normas ISO (International Organization for Standardization, 1975). Entre otras aplicadas de acuerdo a la región geográfica objeto de investigación, (Sotomayor, 2008).

## **2. Compresión:**

Karsulovic (1982) y Campos et al (1990), coinciden en que se distinguen dos tipos de fuerzas de compresión según el sentido de aplicación de las fuerzas; compresión paralela y compresión perpendicular a la fibra.

**i. Compresión paralela a la fibra:**

Karsulovic (1982) y Campos, et al (1990), definen que la compresión paralela a la fibra, ocurre cuando una fuerza actúa de manera paralela a las fibras y corresponde a la resistencia que opone una viga a una carga aplicada en el mismo sentido de la dirección de las fibras, (ver figura 8).

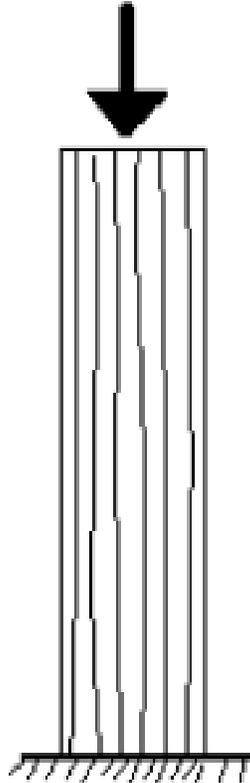


Figura 8. Muestra la posición de la probeta de madera al ser sometida a ensayo de compresión paralela a la fibra, (Díaz, 2005).

Rivero (2004), propuso la clasificación de la madera en el ensayo de esfuerzo de compresión paralela a la fibra, (ver cuadro 6).

Cuadro 6. Clasificación de la madera de acuerdo al esfuerzo de compresión paralela a la fibra

Esfuerzo de compresión en kg/cm <sup>2</sup>	Clasificación
< 200	Muy bajo
201 - 300	Bajo
301 - 400	Medio
401 - 500	Alto
> 500	Muy alto

(Rivero, 2004).

**ii. Compresión perpendicular a la fibra:**

Karsulovic (1982) y Campos et al (1990), coinciden que la compresión perpendicular, ocurre cuando la fuerza aplicada actúa en dirección perpendicular a las fibras y corresponde a la resistencia que opone la madera a una carga aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras en una cara radial de la probeta, (ver figura9).

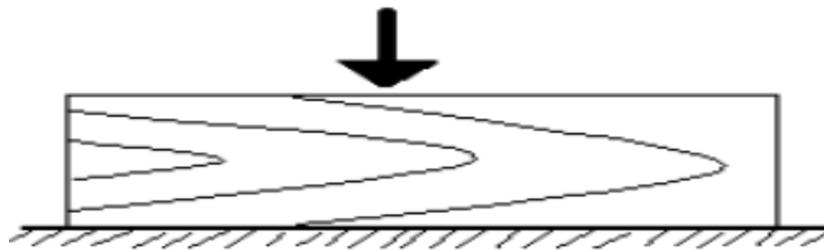


Figura 9. Muestra la posición de la probeta de madera al ser sometida a ensayo de compresión perpendicular a la fibra. (Díaz, 2005)

Rivero (2004), propuso la clasificación de la madera de acuerdo al esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra según los datos que se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Clasificación de la madera de acuerdo al esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra

Esfuerzo de compresión en kg/cm <sup>2</sup>	Clasificación
< 25	Muy bajo
26 - 50	Bajo
51 - 75	Medio
76 - 100	Alto
> 100	Muy alto

(Rivero, 2004).

### 3. Clasificación de las fallas

ASTM D 143-94 00(2000), determina que las fallas se clasifican de acuerdo con la apariencia de la superficie fracturada y la manera en que la falla se desarrolla. Las superficies de fractura se pueden dividir en "abrupta" y "fibrosa", el término "abrupta" indica una falla sin astillamiento y "fibrosa" indica una fractura que muestra astillas, (ver figura 10).

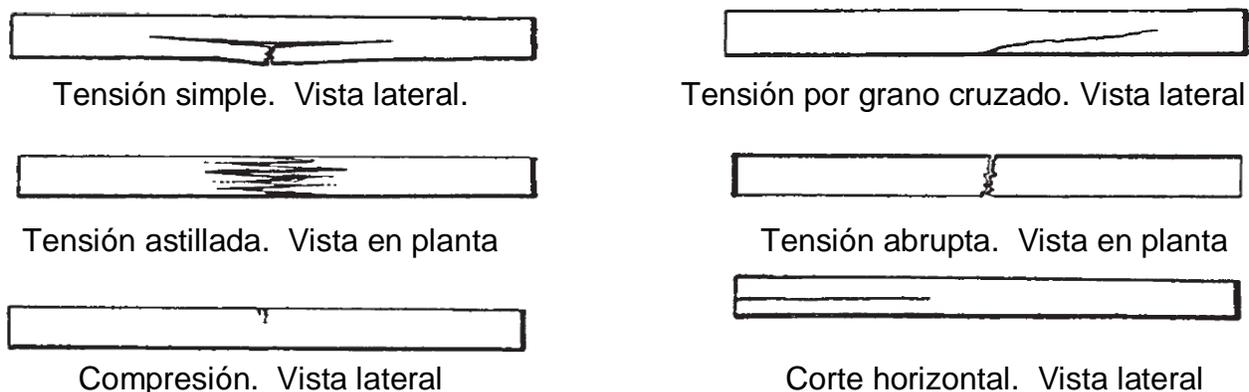


Figura 10. Tipos de falla en tensión y compresión. (ASTM D 143-94 00, 2000).

### 4. Módulo de ruptura y elasticidad:

El módulo de ruptura – MOR-, se refiere el grado de deformación que sufre la madera al momento de aplicarle una carga o fuerza, característica de la madera que es utilizada en la construcción.

### i. Módulo de ruptura

Indica la capacidad de carga máxima que resiste la madera. El módulo de ruptura es el que nos indica la carga máxima que soporta cada probeta evaluada a nivel de laboratorio, en el módulo radial y tangencial, ver figuras 8 y 9.

El módulo de ruptura se determina a partir de la siguiente ecuación.

$$MR = \frac{3pa}{bh^2}$$

(Norma ASTM, 2000)

Dónde:

MR = Modulo de ruptura en Kg/cm<sup>2</sup>

p = Carga máxima en Kg.

a = Distancia desde la reacción al punto de carga más próximo en cm.

b = Ancho de la viga en cm.

h = Profundidad o peralte de la viga en cm.

### ii. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad es el que nos indica el grado de deformación que sufre la probeta al momento de aplicarle una carga o fuerza y que tiene la capacidad de recobrar su forma original, va estar expresado en Kg/cm<sup>2</sup>, ASTM (2000), (ver figura11).

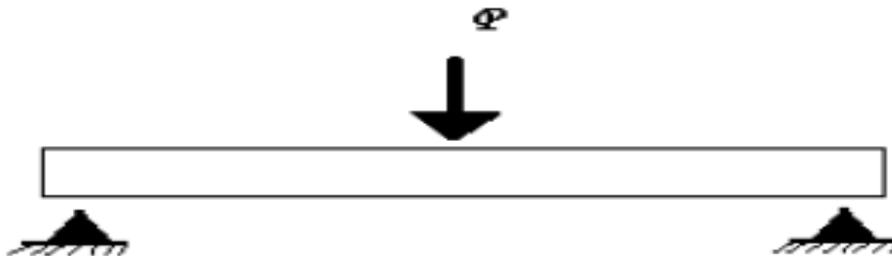


Figura 11. Probeta sometida a ensayo de flexión estática aplicando una carga puntual en el centro de la luz o distancia entre apoyos, para determinar la resistencia que opone una viga de madera, (Díaz, 2005).

El módulo de elasticidad se determina a partir de la siguiente ecuación.

$$ME = P'a \times \frac{3L^2 - 4a^2}{4bh^3A}$$

(Norma ASTM, 2000)

Dónde:

ME = Modulo de elasticidad en kg / cm<sup>2</sup>

P' = Cualquier carga dentro del intervalo proporcional en kg

a = Distancia desde la reacción al punto de carga más próximo en Cm

b = Ancho de la viga en cm.

h= Profundidad o peralte de la viga en cm.

L = Luz o distancia entre reacciones en cm.

A= Deflexión en cm provocada por P'.

Rivero (2004), propuso la clasificación para la madera según el ensayo de flexión estática para los valores del módulo de ruptura –MOR- y módulo de elasticidad –MOE- los valores son expresados en kg/cm<sup>2</sup>, (ver cuadro 8).

Cuadro 8. Clasificación de la madera según los valores de flexión estática.

MOR	MOE	Clasificación
< 500	< 100000	Muy bajo
500 - 950	101000 - 120000	Bajo
951 - 1220	121000 - 150000	Medio
1221 - 1750	151000 - 200000	Alto
> 1750	> 200000	Muy alto

(Rivero, 2004).

## 5. Esfuerzo de corte

Aguilar, (1982), esta propiedad está dada de acuerdo a la trabajabilidad que se debe de realizar al momento de maniobrar o transformar la madera ya sea a nivel de laboratorio o definitivamente en los aserraderos para la transformación de la madera a productos finales, el cual va a estar dado en kilogramo por centímetro cuadrado. (Aguilar, 1982). (Ver figuras 12 y 13).

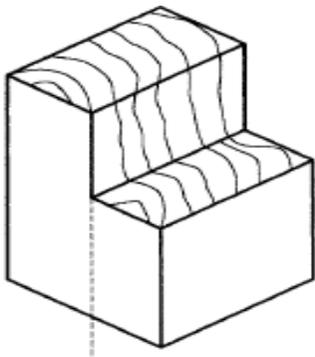


Figura 12. Plano falla radial en probeta de corte radial.

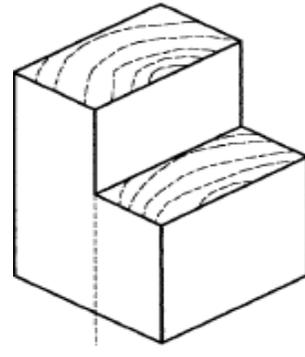


Figura 13. Plano falla tangencial en probeta de corte tangencial

El esfuerzo de corte se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{E.C.} = \frac{3P}{4} \times \frac{P}{(bh)}$$

(Norma ASTM, 2000)

Dónde:

E.C. = Esfuerzo de Corte en Kg/ cm<sup>2</sup>

P = Carga máxima en Kg.

b = Ancho de la viga

h = Profundidad o peralte de la viga

Rivero (2004), propuso la clasificación de la resistencia de la madera según el esfuerzo de corte, (ver cuadro 9).

Cuadro 9. Clasificación de la resistencia de la madera según el esfuerzo de corte.

Esfuerzo de corte en kg/cm <sup>2</sup>	Clasificación
< 40	Muy bajo
40 – 85	Bajo
86 – 120	Medio
121 – 175	Alto
> 175	Muy alto

(Rivero, 2004).

## 6. Prueba de dureza

Sotomayor (2008), puntualiza que la dureza es una característica que depende de la cohesión de las fibras y de su estructura. Se manifiesta en la dificultad que presenta la madera de ser penetrada por otros cuerpos (clavos, tornillos, etc.) o a ser trabajada (cepillo, sierra, formón).

La dureza depende de la especie, de la zona del tronco, de la edad. En general, se suele coincidir en que las maderas más duras son las más pesadas (de mayor densidad). El duramen es más duro que la albura. Las maderas verdes son más blandas que las secas. Las maderas fibrosas son más duras. Las maderas más ricas en vasos son más blandas. Las maderas más duras se pulen mejor, (Sotomayor, 2008). Dichas comparaciones se pueden apreciar en el cuadro 10.

Cuadro 10. Clasificación de la madera según su dureza

Clasificación	Dureza Janka (kg/cm <sup>2</sup> )
Muy blanda	<300
Blanda	301 – 500
Semidura	501 – 700
Dura	701 – 1000
Muy dura	>1000

(Coronel, 1995)

## 2.1.6 Usos sugeridos de la madera

### a. Estructura:

Se refiere al conjunto de elementos que constituyen la parte resistente y soporte de una edificación. (Morataya, 1993)

- ✓ Peso específico aparente de 0.40 a 0.80
- ✓ De moderada a baja contracción volumétrica menor del 12%
- ✓ Buena estabilidad, relación CT/CR menor o igual que 2.0
- ✓ Resistente al ataque de hongos e insectos o fácil de tratar

### b. Encofrados:

Se refiere a la armazón de madera, metal o material análogo, destinado a servir de molde para la fabricación de un elemento de hormigón, (Morataya, 1993).

- ✓ Peso específico aparente seca de 0.40 a 0.60
- ✓ Estabilidad dimensional (Contracción volumétrica menor o igual a 1.6)
- ✓ Color uniforme
- ✓ Adecuada resistencia mecánica
- ✓ Baja absorción de humedad
- ✓ Facilidad de trabajo.

### c. Carpintería de Obra:

Morataya (1993), se refiere a la construcción realizada a partir de reglas, tablas, tablones, etc.

- ✓ Buen comportamiento al trabajo con máquinas de carpintería.
- ✓ Estabilidad dimensional (contracción volumétrica menor o igual a 12%; Relación CT/CR., menor o igual a 2.0).
- ✓ Buena apariencia
- ✓ Textura media a fina y uniforme
- ✓ Acabado bueno a regular
- ✓ Liviana a moderadamente pesada,

**d. Pisos:**

Morataya (1993), determinó a través de otras especies forestales maderables algunos parámetros a considerar al momento de utilizar la madera como piso, entre estas:

- ✓ Pesos específico aparente seco mayor o igual a 0.70
- ✓ Poca o moderada contracción volumétrica (10% a 15%)
- ✓ Buena característica para el trabajo a máquina
- ✓ Buena apariencia

**e. Mango de herramientas, artículos atléticos y deportivos:**

- ✓ Peso específico aparente seco entre 0.55 y 0.65 a 12% de humedad.
- ✓ Grano recto.
- ✓ Buena apariencia.
- ✓ Buen acabado.
- ✓ Buen comportamiento al encolado.
- ✓ Buena resistencia y dureza.

(Morataya, 1993)

**f. Durmientes:**

- ✓ Buena durabilidad o aceptar tratamiento.
- ✓ Poca tendencia a agrietarse durante el secado.

(Morataya, 1993)

### **2.1.7 Características de la madera para pulpa y papel**

Pazo (2008), refiere que la principal fuente de fibra de celulosa virgen utilizada en la fabricación de la pasta de papel es la madera de coníferas y de frondosas, En función del tamaño de las fibras que proporcionan las diferentes especies, las fibras pueden clasificarse en largas y cortas. Las primeras provienen de árboles de madera blanda (softwood), fundamentalmente coníferas como la Picea y el pino.

Las coníferas constituyen el primer cultivo forestal a escala mundial para la obtención de pasta de papel. Su madera se caracteriza por presentar fibras con una longitud

comprendida entre los 3 y 5 mm. Las fibras largas forman una capa fibrosa más coherente y por lo tanto son adecuadas para la fabricación de papeles de resistencia mecánica y rigidez elevadas. Este papel es ideal para hacer productos que requieren mayor consistencia. La desventaja principal es que el producto final es más áspero, por lo que no lo hace muy apto para papel de escritura, de impresión u otras aplicaciones, (Pazo, 2008).

Por otro lado, los árboles de madera dura (hardwood), constituidos por especies de frondosas como eucalipto, abedul, álamo, chopo, arce o haya, se caracterizan por presentar fibras más cortas, con una longitud comprendida entre 0.75 y 2 mm. El papel fabricado con pastas de celulosa obtenidas de especies frondosas es más débil que los fabricados con maderas de coníferas pero su superficie es más lisa, y por lo tanto, es mejor para papel de escritura. Otra de las ventajas es que el crecimiento de las especies de frondosas utilizadas en la fabricación de pasta de papel es más rápido que el de las coníferas, dando lugar a mayor cantidad de fibra en menos tiempo, (Pazo, 2008).

Teniendo en cuenta el espesor de las paredes y el diámetro del lumen de las fibras, Runkel hizo una clasificación de las maderas para pulpa y papel, el cual se refleja en el cuadro 11:

Cuadro 11. Clasificación de madera por rangos para fabricación de papel

<b>GRUPO No.</b>	<b>RANGO</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
I	Menor de 0.25	Excelente para papel
II	De 0.25 a 0.49	Muy buena para papel
III	De 0.50 a 0.90	Buena para papel
IV	De 1 a 2	Regular para papel
V	Mayor de 2	Mala para papel

(Acosta, 1967. Clasificación Runkel)

Descripción detallada de los grupos, por rango y la clasificación de madera para elaboración de papel.

**Grupo I:**

Acosta (1967), refiere que la madera es liviana, fibras de paredes delgadas y lumen amplio, lo cual permite un colapso completo de la fibra en el papel y la adhesión muy buena de fibra a fibras. Excelente para papel.

**Grupo II:**

Madera liviana, fibras de paredes delgadas y lumen relativamente amplio, lo cual permite un aplastamiento de la fibra en la elaboración de papel, hasta quedar casi completamente plana, la adhesión de fibra a fibra es buena. Muy buena para papel, (Acosta, 1967).

**Grupo III:**

Madera semipesada, fibras de paredes medianas y lumen medianamente amplio, las fibras se aplastan poco en la elaboración de papel y la adhesión de fibra a fibra es regular. Buena para papel, (Acosta, 1967).

**Grupo IV:**

Madera pesada, fibras de paredes gruesas y lumen amplio, las fibras sufren un escaso aplastamiento y tendrán una leve adhesión entre fibra y fibra. Regular para papel, (Acosta, 1967).

**Grupo V:** Madera muy pesada, fibras de paredes muy gruesas y lumen angosto, las fibras no sufrirán ningún aplastamiento y la adhesión de fibra a fibra será muy leve. Mala para papel, (Acosta, 1967).

Por lo tanto: las maderas que se ubiquen en los grupos I, II y III producirán los papeles más resistentes, transparentes y con buena condiciones adhesivas de fibra a fibra. Las

maderas que se ubiquen en los grupos IV y V, producirán papeles opacos con leve adhesión de fibra a fibra y menos resistente, (Acosta, 1967).

### **2.1.8 Descripción de las especies forestales maderables:**

La Eco Región Lachuá (área de las especies forestales objeto de estudio), forma parte del bosque sub tropical cálido, representativo de la Franja Transversal del Norte de Guatemala, presenta condiciones, zonas y climas idóneos donde se desarrollan naturalmente las especies de Laurel, Irayol y Cenícero.

#### **a. *Albizia saman* (Jacq.) Merr (Cenícero)**

Phyllum: Plantae

Subphyllum: Spermatophyta

Clase: Equisetopsida C. Agardh

Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht.

Superorden: Rosanae Takht.

Orden: Fabales Bromhead

Familia: Fabaceae Lindl.

Subfamilia: Mimosoideae

Género: *Albizia* Durazz.

Especie: *S. saman* (Jacq.) Merr.

Nombre común: Cenícero

(Tropicos.Org. Missouri Botanical Gaden, 2017)

#### **Descripción:**

Guadamuz (1998), aporta para la especie la siguiente descripción, tamaño: árbol muy grande, a menudo 25-30 metros de altura y hasta 45-50metros, con un tronco corto de hasta 2-3 m de DAP. Copa: ancha, baja, extendida, en forma de sombrilla soportada por ramas horizontales. Corteza: rugosa y pardo grisácea, con líneas verticales. Hojas: grandes (6-25cm de largo) y bipinadas, con 3-6 pares de pinnas por hoja y 6-9 pares de hojuelas. Estas son grandes (24-62 mm de largo).

Las hojas son ligeramente sensibles a la luz y se cierran por la noche. **Flores:** de color rosa pálido dispuestas en umbelas. La flor central de cada cabeza es más grande que las de los lados, y produce néctar que atrae a gran cantidad de polinizadores. Los filamentos de los estambres son muy visibles, brillantes o rosa pálido, (Guadamuz, 1998).

#### **Frutos:**

Vainas alargadas, indehiscentes, de 10-22 cm de largo, verdes y carnosas antes de madurar, volviéndose marrones al madurar, contienen una pulpa seca, oscura, dulce y nutritiva rodeando 5-10 semillas, (Guadamuz, 1998).

#### **Manejo:**

Guadamuz (1998), indica que puede utilizarse ventajosamente como árbol de sombra, ya que sus folíolos, parecidos al helecho, se cierran por la noche, lo que permite que el agua pase a través hasta la cubierta herbácea a sus pies. Las legumbres largas y negras son muy apreciadas para forraje. Es rico en taninos, resistente al desrame y puede mantenerse a la altura que haga falta mediante una poda razonable, Las flores también atraen abejas y son una buena fuente de néctar para la producción de miel. Los enormes árboles que se extienden en potreros son un componente bien conocido del paisaje de América Central. Los árboles normalmente se encuentran en fincas como individuos grandes aislados en potreros, donde se mantienen por la sombra de su enorme copa.

#### **Usos:**

Resistente y bastante ligera, la albura es amarilla, y el duramen es apreciado por su color marrón chocolate y su bello grano. Dentro de los usos, para la fabricación de muebles, paneles, chapa decorativa, tornería para vasijas, bandejas, postes para cercas, construcción, plywood, barcos y otras artesanías. En algunos lugares de América Central aún se usan las ruedas de carretas de bueyes hechas de secciones de un único tronco grueso. A menudo se trabaja aún verde, posiblemente porque no

se contrae o pandea al secar, suele tener el grano entre cruzado, lo que la hace difícil de trabajar cuando se seca, (Guadamuz, 1998).

**Distribución:**

Se distribuye por toda América Central, desde Guatemala a Panamá y se extiende a América del Sur (Colombia y Venezuela) Forma parte de bosques perennifolios y estacionalmente secos, pero en particular de aquellos abiertos de sabana. Muchos de los árboles que se encuentran en pastos pueden ser remanentes de bosques pasados. Es una especie pionera, que coloniza claros y campos abandonados, (Guadamuz, 1998).



Figura 14. Cenicero, presente en la Eco Región Lachuá. (Fuente: fotografía propia, 2016)

**b. *Genipa americana* L. (Irayol)**

Phyllum: Plantae

Subphyllum: Spermatopyta

Clase: Equisetopsida C. Agardh

Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht.

Superorden: Asteranae Takht.

Orden: Gentianales Juss. ex Bercht. & J. Presl

Familia: Rubiaceae Juss.

Subfamilia: Rubiaceae

Género: *Genipa* L.

Especie: *G. americana* L.

Nombre común: Irayol

(Tropicos.Org. Missouri Botanical Garden, 2017)

**Descripción:**

Francis y Lowe (2000), describen que es un árbol de tamaño mediano, con una corteza lisa y de color claro, un tronco recto, ramas en verticilos, hojas de color verde oscuro y fruta con una fragancia y un sabor parecidos a los de la pera (*Pyrus communis* L.). La especie tiene una distribución natural extensa, lo que se atribuye en parte a su cultivo en tiempos pre-colombinos.

Las flores son medianas blancas con leve amarillo interno agrupadas en cimas axilares, el fruto es una baya subglobosa, contiene una tinta negra usada por indígenas para pintar sus cuerpos y objetos, las semillas son numerosas dentro de una pulpa escamosa, crece en las formaciones vegetales bosque promontano (b-P), bosque húmedo tropical (bh-T) y bosque pluvial tropical (bp-T). (Ficha Técnica. *Genipa americana*. Banca en Línea), (Francis y Lowe, 2000).

**Características de la madera:**

Francis y Lowe (2000), indican que el color marfil o amarillo crema, con transición gradual a duramen de color castaño grisáceo a veces con matiz rosáceo o amarillento. Olor y sabor ausente o no distintivos, brillo de mediano a bajo, grano de recto a

irregular, textura de fina a moderadamente fina, vetado en líneas vasculares indistintas y sin figura.

### **Secado y durabilidad:**

Según Francis y Lowe (2000), seca lentamente al aire libre, presentando deformaciones leves y ocasionalmente grietas superficiales. Los hongos que manchan la albura no son un problema durante el secado. El duramen es muy susceptible al ataque de termitas, taladradores.

### **Agentes dañinos:**

Francis y Lowe (2000), han investigado que varios insectos coleópteros, homópteros y lepidópteros se reportan usando la especie como huésped, aunque ninguno parece causar un daño serio. Las trozas de madera son susceptibles a varios géneros causantes de la carcoma, pero son resistentes a los hongos que manchan la albura bajo circunstancias normales. La madera en uso (para la construcción, etc.) es muy susceptible al ataque por las termitas de la madera seca, *Cryptotermes brevis* (Walker). El árbol de Irayol posee poca resistencia a los escarabajos del género *Lyctus* spp o al barrenador marítimo (*Teredo* spp). La madera es susceptible a la pudrición y no deberá ser usada en contacto con el suelo.

### **Manejo:**

La especie se puede propagar mediante acodos e injertos de yemas. Las plántulas y los brinzales rebrotarán al ser cortados. Aunque por lo general el Irayol es un árbol de tamaño pequeño (a veces un arbusto) en fincas abandonadas y en bosques ribereños y en terreno elevado, a veces puede alcanzar más de 30 m de altura y más de 0.5 m en DAP, como por ejemplo la Eco Región Lachuá, (Francis y Lowe, 2000).

### **Usos:**

La albura del Irayol, es de color crema, gradualmente fundiéndose con el duramen de un color pardo amarillento muy claro que a veces posee un ligero tinte rosado o azul. En algunas piezas es evidente un poco de figura. La madera tiene un lustre mediano y

una textura fina. La madera se seca al aire lentamente, resultando en sólo una cantidad menor de curvatura y prácticamente ninguna cuarteadura superficial. (Francis y Lowe, 2000).

Francis y Lowe (2000), describen que la madera se trabaja a máquina mejor que muchas de las mejores maderas para la ebanistería, tales como la caoba y la teca. También se tiñe y se acaba bien, se encola de manera satisfactoria y tiene una buena resistencia a rajarse con tornillos. Entre los usos de la madera se encuentran hormas para zapatos, mangos de herramienta, artículos torneados, trabajo doblado, material para muebles, ebanistería, pisos, chapas decorativas y paneles. Al presente la madera se vende sólo en los mercados locales. Sin duda la especie adquiriría mayor importancia si hubiera un mayor volumen disponible.

**Distribución:**

El árbol de Irayol se originó probablemente en la Cuenca Amazónica y fue esparcido a través de los Trópicos Americanos por los seres humanos en tiempos pre-históricos. Los límites originales de su distribución se desconocen. Hoy en día, los árboles de Irayol crecen naturalmente a lo largo de ambas costas en México un poco al norte del Istmo de Tehuantepec y del istmo a través de la América Central y a través del norte de la América del Sur hasta Paraguay y el norte de Argentina. Esta especie también se puede encontrar en las Antillas Mayores (a excepción de Jamaica y en muchas de las islas de las Antillas Menores, (Francis y Lowe, 2000)



Figura 15. Irayol presente en la Eco Región Lachuá. (Fuente: fotografía propia, 2016)

**c. *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken (Laurel)**

Phyllum: Plantae

Subphyllum: Spermatophyta

Clase: **Equisetopsida C. Agardh**

Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht

Superorden: Asteranae Takht

Orden: **Boraginales Juss. ex Bercht. & J. Presl**

Familia: **Boraginaceae Juss.**

Subfamilia: Cordioideae

Género: ***Cordia* L.**

Especie: *C. alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken

Nombre común: Laurel

(Tropicos.Org. Missouri Botanical Garden, 2017)

**Descripción:**

Guadamuz (1998), describe que es un árbol caducifolio, incluso en climas no estacionales donde pierde sus hojas por 1 a 2 meses después de la producción de semilla. En regiones húmedas bajas, es un árbol alto, delgado, de copa angosta, rala y abierta, con mínima bifurcación, formando un único fuste de 15-20 metros, alcanzando alturas hasta 40 metros y DAP de más de 1 metro, aunque diámetros cercanos a los 50 cm son más comunes. En climas secos los árboles son más pequeños y de peor forma, y raramente alcanzan más de 20 m, de altura y 30 cm de DAP.

**Corteza:** color gris/café claro y lisa, aunque en regiones más secas tiende a ser más fisurada, algunos árboles abultamientos nodales pronunciados de donde se han desprendido las ramas, Los tocones producen rebrotes abundantes, aún en el caso de árboles maduros grandes. **Ramas:** es la única *Cordia* con hinchazones en las puntas de los nudos apicales, usualmente habitados por hormigas. El árbol presenta autopoda de grado variable aún en condiciones abiertas, (Guadamuz, 1998).

**Hojas:** simples, pecioladas y alternas, más o menos puntiagudas en la base, de hasta 5 cm de ancho y 18 cm de longitud, con el envés cubierto de pelos estrellados. **Flores:**

1 cm de largo y ancho, con 5 pétalos blancos, 50-3000 flores por inflorescencia. Producen néctar y son polinizadas por abejas y otros insectos. **Fruto/Semilla:** generalmente se desarrolla solo un embrión por fruto, los pétalos se vuelven color café y actúan como un para caídas para la dispersión por el viento. Aunque se utiliza el término semilla principalmente para describir la unidad de dispersión, técnicamente es un fruto seco, (Guadamuz, 1998).

### **Uso y manejo:**

Una especie muy importante. Su popularidad radica en el alto valor de su madera para uso local y en mercados nacionales, abundancia de regeneración natural y que puede ser combinado con otros cultivos (perennes y anuales). Los agricultores favorecen su regeneración dentro de sistemas agroforestales, para lo cual su copa abierta y rala, y capacidad de autopoda lo hacen muy apta, permitiendo la producción de madera sin competencia excesiva con los cultivos, (Guadamuz, 1998).

Aunque la regeneración en potreros es común, el crecimiento es generalmente pobre debido a la compactación del suelo, en zonas secas, con habilidad de rebrotar, es una de las especies que más se mantiene en milpas y barbechos, dando leña y madera para construcciones rurales. Su crecimiento es particularmente susceptible a la fertilidad del sitio, y por lo tanto la plantación efectiva y económicamente viable estará limitada a sitios fértiles. Su copa rala puede resultar en un alto crecimiento de malezas bajo plantaciones puras, aumentando los costos. Con la presión por tierra, particularmente en sitios fértiles, el Laurel tiene mayor probabilidad de ser utilizada en sistemas agroforestales que en plantaciones puras, (Guadamuz, 1998).

Las bajas en el precio del café han reducido el atractivo de plantaciones de café sin sombra, aumentando el interés en el uso de sombra y en aumentar el valor de los árboles de sombra mediante el reemplazo, aunque sea parcial, de los árboles leguminosos por árboles maderables de mayor valor.

En el Caribe las flores son bien conocidas como una fuente de néctar, dando una miel blanca viscosa, en México se usa una cocción de las hojas como un tónico y

estimulante, en particular para casos de tos e infecciones pulmonares, (Guadamuz, 1998).

### **La madera:**

El diámetro mínimo para aserrío es, por lo general, de 20cm y una longitud mínima de 2.50 m, la madera tiene una textura fina a medio de alto lustre, con buena fortaleza. La mayoría de las propiedades de resistencia mejoran un poco al secarse, la albura (amarilla cremosa), es más liviana que el duramen (amarillo a café, café oscuro), el duramen es muy resistente al ataque de comején, pudrición en el suelo y por hongos. En zonas secas se cosecha a tamaños menores, utilizando la madera en rolliza como vigas en construcción de casas, por ser moderadamente resistente al comején. (Guadamuz, 1998).

### **Agentes Dañinos:**

Guadamuz (1998), describe que en sitios húmedos es susceptible a chancros del fuste (hongo puccinia cordiae) que a veces causan la quebradura del fuste y la muerte del árbol. Un chupador de hojas (dictylamontropidia) puede atacar plantaciones jóvenes o en vivero, con los peores ataques durante sequías o en árboles bajo estrés, (por ejemplo, en sitios poco fértiles). En el vivero se puede controlar con la aplicación de un insecticida. Ataques severos y repetidos pueden causar la muerte directa, o indirecta por un aumento en la competencia por malezas.

### **Distribución:**

Guadamuz (1998), indica que crece en gran variedad de climas y suelos. Sobrevivirá bajo sombra ligera y un rango de condiciones nutritivas, como lo demuestra su amplia ocurrencia en áreas degradadas o abandonadas usadas alguna vez para pastizales o agricultura migratoria. Sin embargo, requiere plena exposición y suelos fértiles para crecer vigorosamente.



Figura16. Árboles de Laurel presente en la Eco Región Lachuá. (Fuente: fotografía propia, 2016)

### **2.1.9 Especies maderables secundarias y uso general:**

De acuerdo a los conocimientos que se tienen del lugar, las especies de Laurel, Irayol y Cenícero, se encuentran en asocio con otras especies forestales maderables, conocidas en la Región como maderas o especies secundarias y entre estas se pueden mencionar: Caulote, Chichique, Balsa o Bach, Puntero, Madre Cacao, Sangre, Cortés, Sunsa, Ramón, Canxán, Santa María, Tamarindo, Lagarto, Amapola, Plumajillo, Cola de Coche, Anona Silvestre, Chilacayote, Granadillo, San Juan, Jocote Frayle, Rosul, Hormigo, Chico Zapote, Peine de Mico, entre otros.

Aguilar (2007), Son utilizados para la construcción de vivienda (horcones, calzontes, tendales, vigas, tablas, reglas y postes para cercas). Como energéticos (leña para la cocción de alimentos, y secado de cardamomo), y en la carpintería se utilizan para la fabricación de muebles que en su mayoría es de consumo local y mangos para herramienta. En el caso del Cenícero, también lo utilizan como tabla para forro de casas y para la fabricación de canoas para navegar los ríos (Chixoy e Icbolay), utilizadas para transporte de productos agrícolas.

### **2.1.9 Contexto del área de estudio:**

#### **a. Localización de la Franja Transversal del Norte:**

La Franja Transversal del Norte geográficamente se encuentra localizada al Norte de Guatemala, y comprende desde Modesto Méndez, Izabal hasta el poblado Gracia a Dios en Huehuetenango, abarcando parte de los departamentos de Izabal, Alta Verapaz, Petén, Quiché y Huehuetenango.

#### **b. Colonización:**

A principios de la década de los setenta, bajo la coordinación del Instituto Nacional de Transformación Agraria (INTA), se lleva a cabo un proceso de colonización, dando como resultado el asentamiento de familias en la Franja Transversal del Norte (FTN), luego de que ésta fue declarada como área de desarrollo agrario por Decreto Ley No. 60-70, (Rodas, *et al* 2006).

Por cultura general, sabemos que las políticas de gobierno implementadas para colonizar las tierras bajas del norte no fueron las mejores, principalmente porque en esa época y hasta hace unos pocos años, no se conocía el concepto de vocación forestal. Esto provocó e incentivo la pérdida de grandes extensiones de cobertura forestal y la eliminación de especies de flora y fauna importantes.

### **c. Eco Región Lachuá**

Se denomina Eco Región Lachuá, a todas aquellas comunidades que están asentadas a los alrededores del área protegida Parque Nacional Laguna Lachuá (áreas de amortiguamiento), conformada por 55 comunidades, de las cuales, 23 colindan directamente con el área protegida. Actualmente el Instituto Nacional de Bosques – INAB- tiene presencia y desarrolla diversos proyectos de manejo forestal y de conservación, que contribuyen a la economía local.

En su mayoría los habitantes de dichas comunidades son de descendencia Q'eqch'i, Pocomch'í, Ach'í y Ladina (procedentes de: Alta Verapaz, Quiché, Baja Verapaz, Sur y Oriente). Los idiomas que se hablan son: Q'eqch'i, Pocomch'i, Ach'i, K'aqch'ikel y español. La economía en la región se basa principalmente en actividades agrícola, ganadera y comercial, (Rodas, *et al* 2006).

Lachuá (2004), la “Eco región Lachuá”, tiene una extensión aproximada de 54,000 hectáreas y forma parte de la Franja Transversal del Norte –FTN- (900,000 hectáreas aproximadamente), que comprende la parte Norte de los departamentos de Izabal, Alta Verapaz, Quiché y Huehuetenango. La delimitación de la Eco Región se basa principalmente en accidentes geográficos; los ríos Chixoy y su tributario río Icbolay, son límites al Oeste, Norte y Este respectivamente.

Por la abundancia de sus Recursos Naturales, Corredor Biológico importante y colindante al Parque Nacional Laguna Lachuá, fue elegida la comunidad de: Rocja Pomtilá para realizar el estudio “Determinar las propiedades Físicas y Mecánicas y usos sugeridos de las especies de Cenícero, Irayol y Laurel.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO**

#### **3.1 Planteamiento del problema**

Existe un potencial enorme de especies forestales latifoliadas o de hoja ancha, conocidas como especies secundarias en bosques naturales, de la Eco Región Lachuá, sin embargo a causa de diversas actividades antropogénicas estas especies están desapareciendo, dada la falta de manejo forestal y falta de estudios tecnológicos que permitan determinar las propiedades físicas y mecánicas, sustento científico indispensable que permita el manejo, el uso de las especies forestales maderables y su conservación.

Basta hacer una comparación entre las especies forestales maderables secundarias, versus las maderas preciosas, donde existe una enorme brecha en cuanto al valor económico en el mercado y esto se debe a que no existen datos de las propiedades físicas y mecánicas que orienten el manejo forestal y el uso idóneo de las mismas, lo que ha provocado una enorme presión en el uso de las maderas preciosas llegando al punto de su extinción en bosques naturales de la Eco Región y el Parque Nacional Laguna Lachuá.

El cambio de uso de la tierra en la Eco Región Lachuá, es otra de las causas más frecuentes que está provocando la pérdida enorme de la cobertura forestal y en consecuencia la desaparición de muchas especies forestales maderables, a ello debe agregar entonces que entre esas muchas especies que están desapareciendo se encuentra el Cenícero, Irayol y Laurel, mismas que no están contempladas en las especies prioritarias de los incentivos forestales impulsados por el INAB.

### **3.2 Justificación del trabajo**

Desde el punto de vista local, regional y nacional se le ha venido dando uso a la madera de distintas especies, en muchas ocasiones bajo el principio de prueba y error, conocimiento que principalmente hemos heredado en muchos casos. Esto está provocando una enorme presión en esas maderas que de por sí ya son de nuestro amplio conocimiento, llegando a causar en algunas casi su extinción o en amenaza de desaparecer, ejemplo de ello: Caoba, Cedro, Rosul, Jocote Fraile, Chico Zapote.

Considerando lo anterior, se pretende aportar datos que contribuyan al conocimiento de las propiedades físicas de tres especies forestales de Cenícero, Irayol y Laurel, datos determinantes que permitirán conocer en menor tiempo la importancia de las propiedades de dichas especies, acortando con ello u obviando el ensayo de prueba y error, que conllevaría más tiempo y quizá las especies objeto de estudio ya no existan para entonces.

Se pretende aportar datos puntuales que den a conocer humedad, contracción (volumétrica y dimensional) y densidad, que corresponde a las propiedades físicas. Y de las propiedades mecánicas determinar la flexión estática para conocer el Módulo de Ruptura –MOR-, Módulo de elasticidad –MOE-, esfuerzos de corte y dureza de la madera de las especies forestales antes mencionadas.

Con los resultados determinados de las propiedades físicas y mecánicas se pretende contribuir al sector forestal del país, aportando resultados científicos viables y necesarios que sustenten la toma de decisión desde la perspectiva del manejo forestal, uso, mercado, perpetuación y conservación, de las especies de Cenícero, Irayol y Laurel.

Por último, en base a los resultados determinadas las especies de Cenícero, Irayol y Laurel estudiadas puedan ser tomadas en cuenta en los programas de incentivos forestales que impulsa el Instituto Nacional de Bosques –INAB-.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Determinar las propiedades físicas, mecánicas y usos sugeridos de las especies de Cenícero, Irayol y Laurel, presentes en la Eco Región Lachúa, del municipio de Cobán, departamento de Alta Verapaz.

### **4.2 Objetivos específicos**

- 4.2.1 Determinar las propiedades físicas de humedad, densidad y contracción de las especies de Cenícero, Irayol y Laurel.
- 4.2.2 Determinar las propiedades mecánicas de compresión, corte, dureza y flexión estática de las especies de Cenícero, Irayol y Laurel.
- 4.2.3 Determinar el uso potencial de las especies de Cenícero, Irayol y Laurel, en base a los resultados de las propiedades físicas y mecánicas determinadas.

## **5. METODOLOGIA**

### **5.1 Localización del trabajo**

El área de donde se obtuvo la madera para el estudio de investigación se encuentra localizada al Norte de Guatemala, denominada: comunidad Rocjá Pomtilá, del municipio de Cobán, Alta Verapaz. Dicha comunidad colinda con el área protegida Parque Nacional Laguna Lachuá, ambos forman parte de la Eco Región Lachuá, del mismo municipio. Con el registro de las siguientes coordenadas: 15°46'54", 15°49'16", 15°59'11" y 15°57'19" de Latitud Norte; 90°45'14", 90°34'38" y 90°45'26" de Longitud Oeste.

#### **5.1.1 Acceso al área y Localización**

Para llegar a la comunidad de Rocjá Pomtilá, de la ciudad de Cobán se puede transportar sobre carretera asfaltada vía Chisec hasta llegar a la Comunidad San Benito sobre la Franja Transversal del Norte, recorriendo 130km. Posteriormente hay que ingresar sobre carretera de terracería 12km, pasando por la comunidad de Río Tzetoc, ver figura 17.

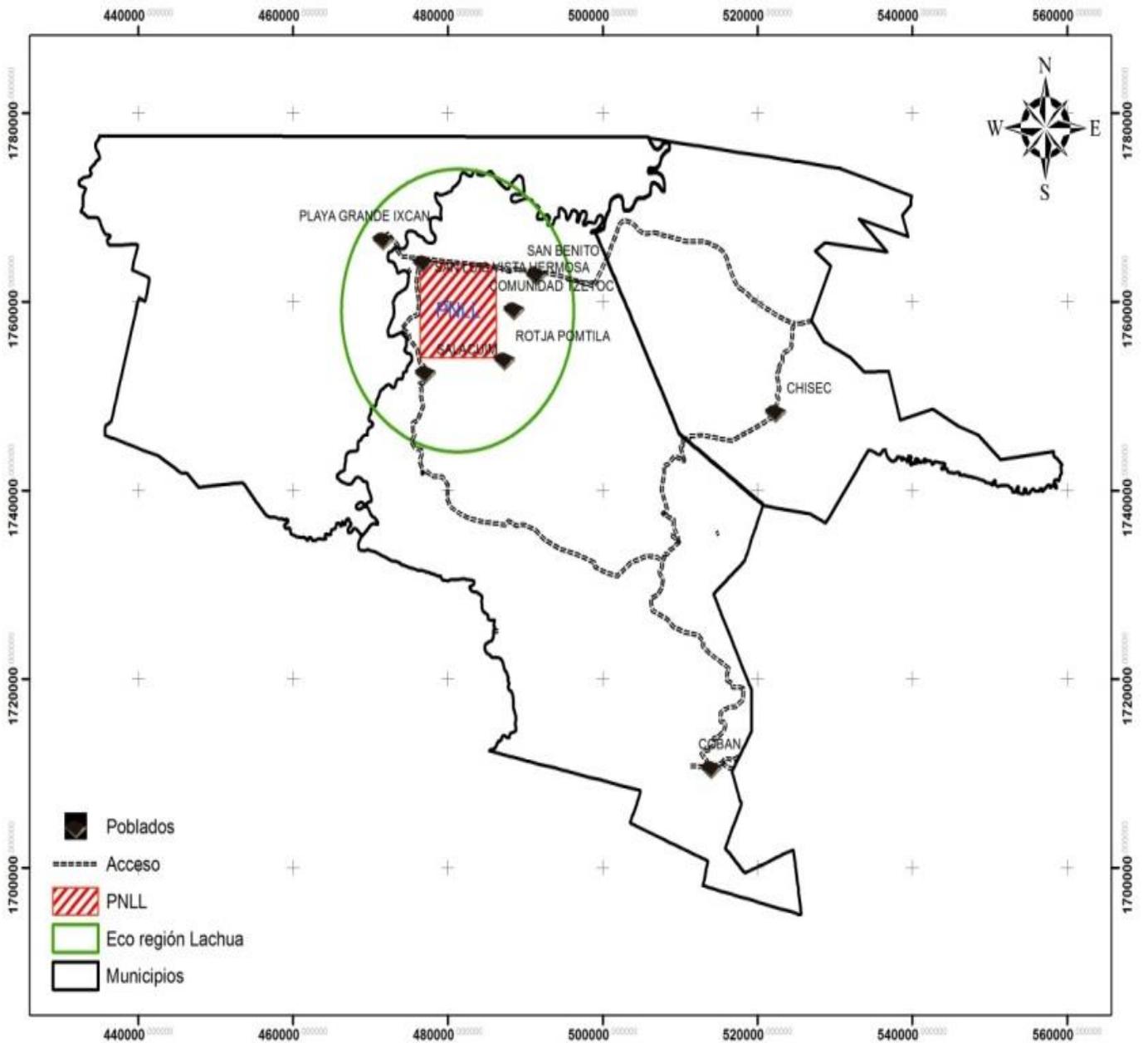


Figura 17. Croquis de acceso y ubicación geográfica a la aldea de Rocja Pomtilá, (Fuente: elaboración propia).

### **5.1.2 Clima y Zonas de Vida:**

De La Cruz (1982), en base a la clasificación de zonas de vida, a nivel de reconocimiento, la Eco Región Lachuá comprende dos zonas de vida: a) Bosque muy húmedo subtropical cálido Bmh-S (c), que se caracteriza por ser la más extensa en Guatemala, ocupando el primer lugar en diversidad de uso de la tierra y es la de mayor extensión dentro de la zona de la Eco Región Lachuá y b) Bosque Pluvial Subtropical Bp-s (p), en donde la topografía es accidentada, con elevaciones que van desde 460 hasta 1,200 msnm situada al sur del Parque Nacional Laguna Lachuá principalmente en la Sierras Chamá, Cerro la Sultana y el Peyán y esta última zona de vida es la que comprende el área de estudio.

### **5.1.3 Vegetación:**

Lachuá (2004), la vegetación de la zona de la Eco Región Lachuá, es una de las más ricas en su composición florística, teniendo como indicadores las siguientes especies: *Orbignya cohune*, *Terminalia amazonia*, *Brosimum alicastrum*, *Ceiba pentandra*, *Lonchocarpus sp.*, *Virola koschnii*, *Cecropia sp* y *Vochysia guatemalensis*, Es característica del bosque muy húmedo subtropical cálido, presentando básicamente tres estratos verticales: a) Estrato Superior: conformado por árboles de 20 a 35 metros de altura, b) Estrato Medio: conformado por árboles y arbustos de 10 a 20 metros de altura y c) Estrato Inferior: dominado por diversas especies arbustivas y herbáceas.

### **5.1.4 Precipitación:**

Los datos promedios anuales para las variables climáticas son: precipitación 3,300mm; humedad relativa 91.02% y temperatura 25.3°C. Se ha estimado que las áreas más lluviosas se localizan hacia el Oeste, reportándose lluvias anuales entre 5,000 - 6,000 mm y hacia el sur se estiman lluvias entre 2,000 – 4,000 mm anuales, (Lachuá, 2004).

### **5.1.5 Suelos:**

INAB (2004), cita que los suelos de la Eco Región Lachuá están constituidos a partir de materiales calcáreos desarrollados a elevaciones bajas y medianas, los cuales son poco profundos, moderadamente bien drenados, pH de 6.5 a 7.0.

Con afloramiento de roca (fundamentalmente en las colinas kársticas), su potencial de fertilidad es de moderado a bajo en las áreas donde más se manifiesta el relieve kárstico, la susceptibilidad de los suelos al proceso erosivo es muy alta. Una parte de los suelos es originada por aluviones cuaternarios, de naturaleza heterogénea, localizados en terrazas de altitud variable que acompañan a los cursos de los ríos Chixoy e Icbolay, (Plan Maestro Lachuá, 2004).

## **5.2 Material experimental**

Las especies estudiadas fueron: Cenícero, Irayol y Laurel, nativas del bosque sub tropical cálido de la Eco Región Lachuá y con el apoyo de personas profesionales conocedoras del área y planes de manejo facilitados, se determinó el área con mayor abundancia de las especies a seleccionar y posteriormente se eligió la comunidad de Rocja Pomtilá que está situada a 21 kilómetros de la oficinas administrativa del Parque Nacional Laguna Lachuá, donde se procedió a coleccionar las muestras de las tres especies forestales maderables antes mencionadas y con previa autorización del Instituto Nacional de Bosques INAB, Sub Región II-7, con sede la Aldea de Salacuim, autorización de credencial de consumo familiar a nombre de: Arnulfo Chén, propietario del bosque quien donó los árboles, para dicho estudio.

Se procedió a extraer o aprovechar 1 árbol por especie con las características siguientes: fuste recto, cilíndrico, sano, vigoroso, sin efecto de nudos y con DAP mayor a 50cm. Seguidamente se cortaron 3 trozas de 1 metro de largo por cada especie forestal maderable (troza inferior, media y superior), en total se obtuvieron 9 trozas.

Teniendo las trozas cortadas, se le indicó al aserrador cortar o aprovechar únicamente el duramen, obteniendo en primicia tabloncillos de 4"x8"x4', previo a elaborar las muestras con las medidas que exige la norma ASTM D-143, para los ensayos de propiedades físicas y mecánicas.

### 5.3 Factores estudiados

Los ensayos que se realizaron sirvieron para la determinación de las propiedades físicas (humedad, contracción y densidad) y mecánicas (dureza, corte, flexión y compresión) de tres especies forestales maderables: Cenícero, Irayol y Laurel, utilizando probetas de madera limpia (libre de nudos) y para ello se empleó la Norma ASTM D-143.

#### 5.3.1 Propiedades físicas

Para determinar los resultados de las propiedades físicas se elaboraron las probetas de 1cm x 2cm x 8cm (tronco, medio y punta), previo a ser utilizados en el laboratorio donde se determinó: humedad, contracción y densidad (10 probetas por especie). A continuación se describen los pasos de los factores estudiados

##### a. Porcentaje de humedad (%)

De cada probeta de madera ensayada en las distintas pruebas, se obtuvo a través de un corte, una pieza pequeña (10 x 10 x 50 mm), la cual fue pesada y luego secada en un horno eléctrico a una temperatura de  $103 \pm 2^\circ \text{C}$ , hasta que se alcanzó un peso constante aproximadamente después de 24 horas y así se determinó el peso seco (12%) y el % de humedad inicial. ver figura 18.



Figura 18. Balanza digital y horno para determinar % de humedad y contracción. (Fuente: fotografía propia 2008).

El %de humedad se determinó utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ humedad} = \frac{(\text{Peso húmedo}) - (\text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} \times 100$$

(Norma ASTM D143-94, 2000)

#### **b. Densidad:**

Se determinó, empleando la norma ASTM D 2395-02, la cual proporciona varios métodos para su determinación, optando por realizarse con el modo IV (Sección 10.2.4), el cual consiste en determinar el volumen por el desplazamiento de un líquido de densidad conocida, para ello se utilizó una probeta graduada de sección (50ml) mayor a las piezas que sería sumergidas, ver figura 19.



Figura 19. Muestra la determinación del volumen a través del método de desplazamiento, (norma ASTM). (Fuente: fotografía propia, 2008).

El procedimiento seguido para determinar el volumen por desplazamiento fue realizado con base a la indicación de la norma ASTM D 2395-02, de la siguiente manera:

1. Se llenó con agua aproximadamente la mitad de la probeta graduada de 50 ml, para facilitar la lectura del nivel del agua en la probeta, preferiblemente coincidiendo con una de las marcas (este es el nivel 1).
2. Se sumergió la muestra dentro de la probeta graduada, utilizando un alambre delgado galvanizado para sumergir las piezas dentro del agua.
3. Se determinó el nivel del agua alcanzado al sumergir la pieza (nivel 2).
4. La diferencia entre los dos niveles (1 y 2), es igual al volumen de la muestra y es dado por: Volumen de la pieza = Nivel 2 – Nivel 1.

Después de haber determinado el volumen de las probetas de madera (estado verde), se procedió a pesar las mismas y para ello fue necesario utilizar una balanza digital y por último fueron secadas al horno durante 24 horas (+103°), ver figura 17. Con los datos anteriores se logró determinar la densidad para dos estados de contenido de humedad en la madera de Cenicero, Irayol y Laurel: Densidad verde (g/cm<sup>3</sup>, kg/m<sup>3</sup>), considerando el peso húmedo de la muestra y su volumen. Y densidad seca al horno (g/cm<sup>3</sup>, kg/m<sup>3</sup>), considerando el peso seco de la muestra y su volumen dado por:

$$D = \frac{P}{V}$$

(Norma ASTM D 2395-02, 2002)

Para determinar el volumen de las probetas, fue necesario recubrir con una capa delgada de parafina para que no absorbieran agua y mostraran un resultado distinto de volumen, ver figura 20.



Figura 20. Preparación de la parafina para probetas secas al horno, previo a determinar su volumen. (Fuente: fotografía propia, 2016).

### **c. Contracción:**

#### **1. Contracción volumétrica:**

Consiste en que la madera absorba o pierda agua, excepto en el PSF (punto de saturación de la fibra) ya que en este punto y arriba de este la madera no sufre contracciones.

Para determinar la contracción de la madera, se prepararon probetas de 10 x 10 x 50 mm., en estado verde, en cada una de las superficies radial y tangencial, se tomaron tres mediciones, dos en los extremos de cada cara y una en la parte central, (ver figura 21). Luego este valor se promedió y se tomó como el valor a comparar al secar las piezas de madera en el horno. Aunque se tomó y agrego la medida en sentido longitudinal, mismo que no fue significativa.

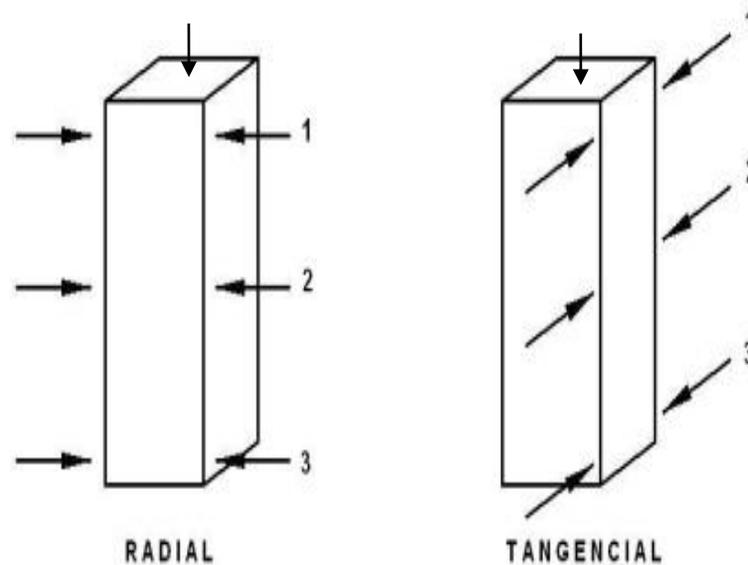


Figura 21. Indica los puntos donde se tomaron los valores dimensionales de cada una de las superficies, (Campos 2015).

Fórmula utilizada para determinar la contracción volumétrica:

$$\text{Contracción volumétrica} = \frac{\text{Volumen verde} - \text{Volumen seco}}{\text{Volumen verde}} \times 100$$

(Norma ASTM D 2395-02, 2002)

## 2. Contracción dimensional:

Consistió en determinar cuánto se reducen las dimensiones de las piezas de madera a causa de la pérdida de agua. Se determinó la contracción radial y tangencial, por considerar que son las que más afectan a las piezas de madera. Esta contracción dimensional se determinó empleando la madera con un contenido de humedad de 12 % (Seca al horno). Para ello, se utilizaron las mismas piezas de madera empleadas para la determinación de la densidad, registrando los valores de sus dimensiones en sus superficies radial y tangencial, mismo procedimiento utilizado en la contracción volumétrica, (figura 21).

Estas mediciones fueron realizadas en las piezas de madera en estado verde y seca al horno, de tal forma que se comparó el valor inicial (verde) y con el valor final (seca al horno).

Fórmula utilizada para determinar la contracción dimensional:

$$L D (r,t) = \frac{L_i - L_f}{L_i} \times 100$$

(Norma ASTM D 2395-02, 2002)

Cuadro 12. Muestra las variables y parámetros de medida utilizados en los factores estudiados para la determinación de las propiedades físicas.

Propiedades físicas	Parámetro de medida
Humedad	%
Densidad	g/cm <sup>3</sup>
Contracción	%

(Fuente: elaboración propia)

### 5.3.2 Propiedades mecánicas:

Los ensayos para determinar las propiedades mecánicas se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Civil, de la Universidad del Valle de Guatemala, las directrices de uso, orientación y calibración del equipo estuvo a cargo del técnico laboratorista quien brindó asistencia, indicaciones para la preparación de probetas, mediciones y apuntes durante la implementación de los ensayos (mm., cm<sup>2</sup>., lb., gr., kg., kg/cm<sup>2</sup>). La determinación de las propiedades mecánicas se basó en la norma ASTM, por ser una norma vigente y de aplicación en nuestro país y por el equipo tecnológico utilizado.

### a. Compresión:

Se prepararon las probetas para los ensayos de compresión Paralela a la fibra se usaron probetas con la siguiente dimensión; 50x50x300mm y para el ensayo de compresión perpendicular a la fibra fue de 50x50x150mm. Lo cual consistió en someterlas a esfuerzo de compresión en la superficie radial y tangencial, en tres muestras por especie (tronco, centro y punta), donde se determinó la resistencia de la madera de Cenicero, Irayol y Laurel, a la compresión paralela y perpendicular a la fibra. Para ello se utilizó una máquina hidráulica, (ver figuras 22 y 23).

En el procedimiento de la prueba se midieron deformaciones para un intervalo específico de carga (en este caso, a cada 500 libras fueron tomándose las lecturas) usando un deformímetro especial para la prueba, con reloj de péndulo.



Figura 22. Probeta sometida a carga de compresión paralela a la fibra, se observa falla ocasionada en forma de cuña. (Fuente: fotografía propia, 2008).

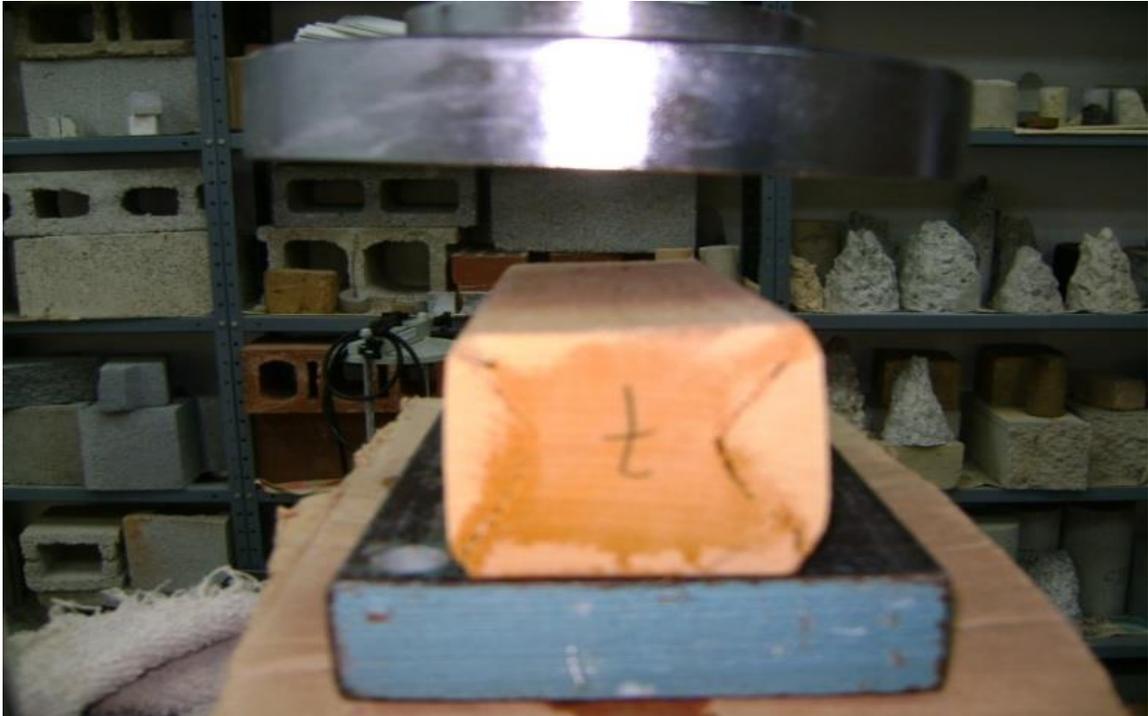


Figura 23. Probeta después de haber sido sometida a carga de compresión perpendicular a la fibra, se observa cierta cantidad de agua que emitió por el esfuerzo de compresión. (Fuente: fotografía propia, 2008).

#### **b. Corte:**

La determinación de propiedad de corte se realizó utilizando una compresora mecánica y un molde donde se fueron introduciendo las probetas de madera en forma de sillita, ensayo que permitió determinar la acción que tiende a producir deslizamiento del plano interno de la madera sobre su adyacente, en sus tres superficies (radial, tangencial y longitudinal), (ver figura 24).



Figura 24. Compresora hidráulica que muestra la falla en el ensayo de corte. (Fuente: fotografía propia, 2008).

### **c. Dureza:**

Para esta prueba, se utilizó una probeta o muestra por cada sección del fuste comercial de las especie forestales maderables estudiadas (tronco, centro y punta), utilizando una compresora manual, se ejerció presión sobre cada probeta hasta penetrar a una profundidad de 0.096" la mitad de una bala de acero, achatada en su extremo de 0.44" de diámetro. Al llegar a la marca de la profundidad necesaria, se tomó la lectura indicada por la compresora, por cada repetición realizada (10 repeticiones por cada superficie o plano (radial, tangencial y longitudinal), (ver figura 25).

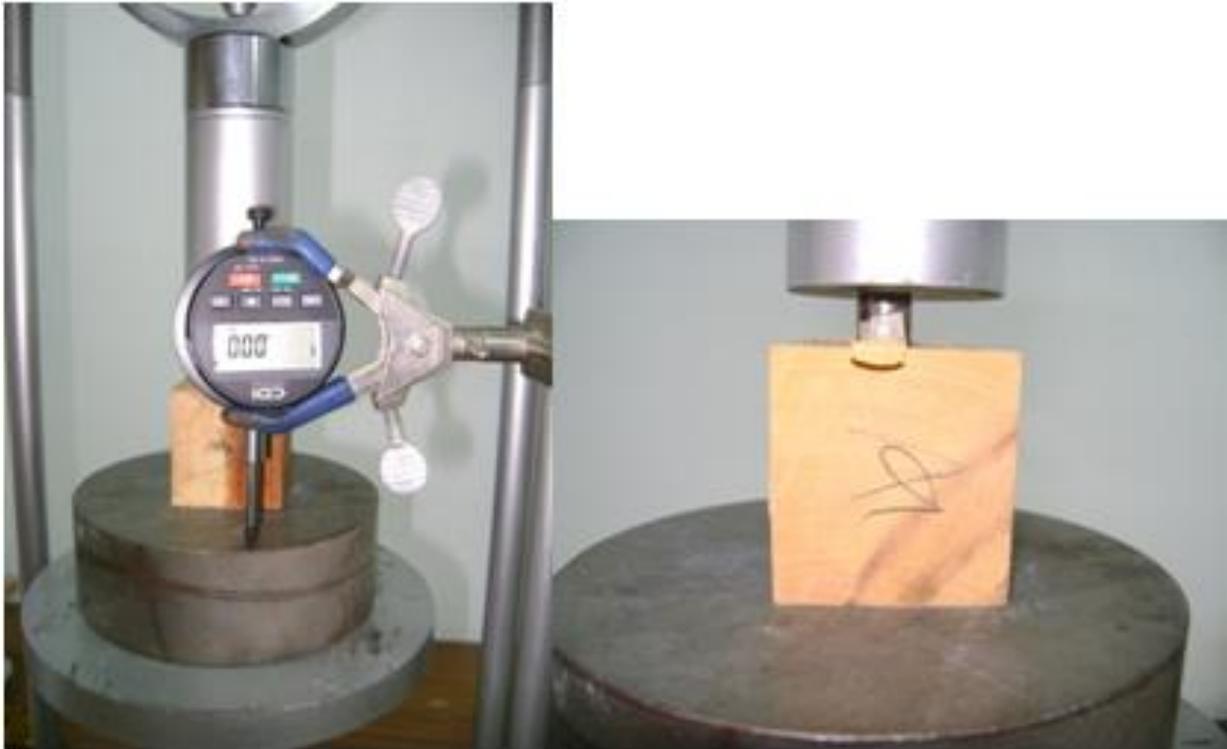


Figura 25. Muestra la máquina compresora al momento de realizar el ensayo de dureza. (Fuente: fotografía propia, 2008).

**d. Flexión estática:**

El ensayo de flexión, se realizó utilizando probetas de madera de las especies de Cenícero, Irayol y Laurel, las cuales al momento de prepararlas tuvieron una dimensión de 50 X 50 X 760 mm, se realizaron tres repeticiones, una por cada sección de la troza por especie (tronco, medio y punta).

Tomando en consideración la norma ASTM D-143-94 R00 (ASTM, 2004), las probetas se colocaron de manera que la carga se aplicara a través del bloque de apoyo a la superficie tangencial más cercana a la médula. La carga fue aplicada al centro de cada una de las probetas, siendo la longitud libre entre los soportes de 70 cm.

La carga fue aplicada continuamente a la probeta, con una velocidad constante de la cabeza móvil de la prensa hidráulica de 2.5 mm/min. Dentro del límite proporcional, las lecturas de deformación/carga deben tomarse cada 0.02 mm, anotando la carga aplicada en ese momento, (ver figura 26).



Figura 26. Máquina compresora realizando ensayo de flexión estática, se visualiza falla brusca y fibrosa. (Fuente: fotografía propia, 2016)

Las variables, las dimensiones y los parámetros de medida se muestran en los cuadros 13 y 14 respectivamente

Cuadro 13. Variables de propiedad y dimensión de probeta utilizada por cada ensayo mecánico realizado.

<b>ENSAYO REALIZADO</b>	<b>DIMENSIÓN DE PROBETA (cm)</b>
Compresión paralela	5 x 5 x 30
Compresión perpendicular(radial, tangencial)	5 x 5 x 15
Corte(radial, tangencial, longitudinal)	5 x 5 x 35
Dureza(radial, tangencial, longitudinal)	5 x 5 x 15
Flexión(radial, tangencial)	5 x 5 x 75

Fuente: elaboración propia (2016)

Cuadro 14. Variables de propiedad y parámetro de medida utilizadas por cada ensayo mecánico realizado.

<b>Propiedades Mecánicas</b>	<b>Parámetro de medida</b>
Compresión	Kg/cm <sup>2</sup>
Flexión	Kg/cm <sup>2</sup>
Dureza	Kg
Corte	Kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: elaboración propia (2016)

### 5.3.3 Descripción de los tratamientos

Díaz (2006), las trozas aptas para aserrío, son aquellas que representan un diámetro mínimo de 30 centímetros en la parte más delgada, mientras que la longitud normal es de 3 a 5 metros de troza uniforme.

Para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas, se extrajeron muestras por cada parte seleccionada del fuste cilíndrico y limpio de las tres especies forestales de Cenícero, Irayol y Laurel. Las muestras extraídas correspondieron a troza 1, troza 2 y troza 3, que correspondió al extremo inferior, medio y superior de cada fuste por especie aprovechada.

Las probetas fueron elaboradas con las dimensiones establecidas en la Norma ASTM D-143, procediendo a asignarles claves para su identificación y evitar confusiones durante la manipulación de las mismas. Por ejemplo para el ensayo de humedad para la especie de Cenícero: T1.C1. %h.; T2.C1. %h; y T3C1. %h.

Donde:

T1, T2 y T3: trozas utilizadas (traza inferior, medio y superior)

C1: Cenícero con el que se inició el ensayo

%h: Porcentaje de humedad

Aunque las claves fueron heterogéneas, al igual que el número de probetas utilizadas por los distintos ensayos realizados (físicas y mecánicas).

Se debe mencionar que posterior al aprovechamiento de las especies forestales en campo, se extremaron los cuidados durante los traslados, previendo condiciones de humedad favorables, evitando afecciones por lluvia y luz solar directa.

Para la determinación de los ensayos de propiedades físicas se utilizaron probetas de madera verde y esas mismas probetas posteriormente fueron secadas al horno, utilizando 10 probetas por cada especie. Para las propiedades mecánicas se utilizaron probetas de madera verde, en los ensayos de corte y dureza se utilizaron 10 probetas por cada especie y para compresión y flexión 3 probetas por cada especie y por cada ensayo.

#### **5.3.4 Variables de respuesta**

Para determinar los resultados de las propiedades físicas y mecánicas de las especies de Cenícero, Irayol y Laurel, fue necesario ensayar, analizar y utilizar las siguientes variables:

**a. Propiedades físicas**

1. Porcentaje de humedad (%)
2. Densidad (g/cm<sup>3</sup>)
3. Contracción
  - 3.1 Volumétrica (%)
  - 3.2 Dimensional (%)
    - 3.2.1 Coeficiente de Variación (relación entre contracción tangencial y radial  
R t/r)

**b. Propiedades mecánicas**

1. Corte (kg/cm<sup>2</sup>), (radial, tangencial y longitudinal).
2. Compresión a la fibra (kg/cm<sup>2</sup>)
  - 2.1 Paralela
  - 2.2 Perpendicular (radial y tangencial)
3. Dureza (kg), (radial, tangencial y longitudinal)
4. Flexión (kg/cm<sup>2</sup>)
  - 4.1 Módulo de ruptura- MOR-, (radial y tangencial)
  - 4.2 Módulo de elasticidad –MOE-, (radial y tangencial)

**5.3.5 Análisis de la información**

**a. Análisis estadístico**

Díaz M. (2006), citando a Achaerandio, L. Dice que en el libro “Iniciación a la práctica de investigación”, en este tipo de investigación no se manipulan las variables, sino que se estudia la relación que existe entre sí, además porque la información recabada y procesada, se basa en antecedentes reales y actualizados.

En base a los datos obtenidos por cada ensayo practicado y por cada especie, la información fue vaciada en una hoja de cálculo de Microsoft Excel con las fórmulas correspondientes, de donde se obtuvieron: Promedio, Desviación estándar y Coeficiente de variación.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSION

### 6.1 Propiedades físicas:

Para su determinación, se utilizaron probetas de tres partes del fuste cilíndrico (tronco, centro y punta), por cada especie forestal estudiada, de donde se puede decir que los datos de cada parte del fuste obtenidos no mostraron variación alguna en los resultados finales, mismos que se mantuvieron dentro de los parámetros de clasificación de maderas.

#### 6.1.1 Humedad:

A partir de los ensayos realizados, se obtuvo que el porcentaje de humedad de las probetas utilizadas de Cenícero, Irayol y Laurel se encontraban en la denominación: madera saturada, posteriormente al haber sometido las probetas a ensayo de secado al horno (+103°) 24 horas, la madera se encontró en la denominación madera desecada (<13%). Para determinar la clasificación de la madera de las especies estudiadas se utilizó el cuadro 1, el cual muestra la denominación de la madera en base al contenido de humedad.

La humedad en la madera es un factor importante de conocer, ya que de esto dependen los tiempos en el proceso de secado, la calidad y la garantía de los productos a obtener. El control de la humedad en el manejo de la madera es determinante ya que esta condición puede favorecer la reproducción de hongos, pudrición y deterioro. El resultado de los porcentajes de humedad determinados de las especies estudiadas se muestra en el cuadro 15.

Cuadro 15. Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel en base a los porcentajes de humedad obtenidos.

Propiedad	Resultado			Clasificación		
	Cenícero	Irayol	Laurel	Cenícero	Irayol	Laurel
% Humedad	58.1	80.20	65.8	Saturada	Saturada	Saturada

(Fuente: elaboración propia)

### 6.1.2 Densidad:

Para determinar la densidad de la madera se utilizó madera verde o saturada y madera seca o desecada (seca al horno  $\pm 103^{\circ}$ ), con los datos obtenidos se procedió a realizar clasificación por especie, utilizando el cuadro 3 que trata de la clasificación de la madera por su densidad.

Los datos obtenidos en los dos estados de la madera son interesantes porque permiten orientar la toma de decisión en base a los objetivos de uso, ya que entre mayor sea la densidad, mayor será el peso y la dureza. De los resultados obtenidos se debe poner mayor atención a los datos de madera desecada, siendo esta una de las características más importantes en uso estructural e industrial. Obteniendo que la madera de Cenícero se clasifica como madera semipesada, Irayol Semiligera y el Laurel Ligera, (ver cuadro16).

Cuadro 16. Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel de acuerdo a su densidad.

Propiedad	Resultado			Clasificación		
	Cenícero	Irayol	Laurel	Cenícero	Irayol	Laurel
Densidad						
Madera saturada	0.86	0.84	0.55	Muy pesada	Muy pesada	Semiligera
Madera desecada (12%)	0.61	0.53	0.37	Semipesada	Semiligera	Ligera

(Fuente: elaboración propia)

### 6.1.3 Contracción:

#### a. Contracción dimensional

Para la determinación de los resultados de contracción dimensional, se ensayó la superficie radial y tangencial por cada especie estudiada, reflejando los resultados que se muestran en el cuadro 17, lo que permitió hacer la Relación tangencial – radial ( $R/t/r$ ), resultado que determinó que la madera se clasifica como muy estable para las tres especies forestales de: Cenícero, Irayol y Laurel. Para la clasificación de la madera de las especies estudiadas se utilizó el cuadro 4 que corresponde a la clasificación de madera según su relación de estabilidad.

Por lo general, el mercado demanda madera con características muy estables, por los diversos usos y la demanda del mercado, ya sea madera en rollo o procesada (tabla, regla, duela etc.), las maderas que no son estables presentan elevada tendencia a deformaciones, dificultando su uso y el consumo de las mismas.

Cuadro 17. Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel en base a la relación de contracción dimensional (R t/r).

Propiedad	Resultado			Clasificación		
	Cenícero	Irayol	Laurel	Cenícero	Irayol	Laurel
Contracciones Dimensional R t/r	1.50	1.12	1.04	Muy estable	Muy estable	Muy estable

(Fuente: elaboración propia)

#### b. Contracción volumétrica

Se determinó para la madera de Cenícero, Irayol y Laurel que la clase de contracción volumétrica es mediana, lo que indica que estas maderas en el proceso de secado presentarán grietas medianas, pudiéndose secar en rollo o troza y estivarse como postes, reglas, y tablas. Para la clasificación de la madera de las especies estudiadas se utilizó el cuadro 5, que presenta la clasificación de la madera según su contracción volumétrica. En el cuadro 18 se presentan los resultados y la clasificación de la madera de las especies estudiadas.

Cuadro 18. Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel en base a la contracción volumétrica obtenida.

Propiedad	Resultado			Clasificación		
	Cenícero	Irayol	Laurel	Cenícero	Irayol	Laurel
Contracciones Dimensional R t/r	1.50	1.12	1.04	Muy estable	Muy estable	Muy estable
Volumétrica	11.2	12.20	11.1	Mediana	Mediana	Mediana

(Fuente: elaboración propia)

#### 6.1.4 Propiedades mecánicas

De la misma manera que en las propiedades físicas, en las propiedades mecánicas también se tomaron 3 muestras del mismo fuste por especie y no existió variación entre datos que incidiera en el resultado final. De igual manera se utilizaron cuadros de clasificación de maderas propuesta por investigadores que se citan en el documento.

##### a. Compresión

###### 1. Compresión paralela a la fibra

Con los resultados obtenidos se procedió a darle la clasificación correspondiente a la madera de Cenícero, Irayol y Laurel, utilizando el cuadro 9, que clasifica la madera de acuerdo al esfuerzo de compresión paralela a la fibra. De donde se pudo determinar que la madera de Cenícero se clasifica como muy baja, Irayol se clasificó media y el Laurel se clasifica como baja.

Lo anterior indica que de las tres especies forestales estudiadas la única especie que es apta para someter a compresión paralela a la fibra es la madera de Irayol, aunque la madera de Cenícero y Laurel podrían utilizarse siempre y cuando no se exceda de dicha compresión resultante, (ver cuadro 19).

Cuadro 19. Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel en base a los resultados obtenidos de compresión paralela a la fibra.

Propiedades	Plano o Superficie	Resultado			Clasificación		
		Cenícero	Irayol	Laurel	Cenícero	Irayol	Laurel
Compresión a la Fibra							
Paralela		198.35	381.55	282.53	Muy bajo	Medio	Bajo

(Fuente: elaboración propia)

## 2. Compresión perpendicular a la fibra

Después de haber determinado los resultados de la compresión perpendicular a la fibra en la superficie radial y tangencial, se procedió a clasificar la madera de Cenícero, Irayol y Laurel, utilizando el cuadro 10, Clasificación de la madera de acuerdo al esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra. De donde se obtuvo que la madera de Cenícero y de Irayol se clasifican como muy alta, mientras que el Laurel se clasificó como madera media.

La variación en los resultados en ambas superficies (radial y tangencial) no fue significativa, ya que se mantuvo la misma clasificación para las especies estudiadas. Lo que permite inferir que la madera de Cenícero e Irayol son aptas para someterlas a esfuerzos de compresión perpendicular a la fibra en sus dos superficies, lo que indica que son ideales para uso estructural en la construcción y de manera mediana la especie de Laurel. Los resultados se muestran en el cuadro 20.

Cuadro 20. Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel en base a ensayo de compresión perpendicular a la fibra.

Propiedades	Plano o Superficie	Resultado			Clasificación		
		Cenícero	Irayol	Laurel	Cenícero	Irayol	Laurel
Compresión a la fibra Perpendicular	Radial	112.04	207.99	65.55	Muy alto	Muy alto	Medio
	Tangencial	128.12	167.39	63.46	Muy alto	Muy alto	Medio

(Fuente: elaboración propia)

### 3. Corte:

Los resultados obtenidos en la propiedad de esfuerzo de corte, surgen a partir de haber ensayado las tres superficies de la madera y utilizando la clasificación de la madera del cuadro 7, se obtuvo que la madera de Cenícero e Irayol en la superficie radial se clasifican como muy alta y el Laurel media, en las superficies tangencial y longitudinal la madera de Cenícero se clasifica como media, el Irayol blanda y el Laurel muy blanda.

Los resultados orientan que es importante considerar las superficies de la madera al momento de hacer cortes, ya que de eso depende el esfuerzo a que sea sometida la herramienta o maquinaria en los diversos usos, minimizando la depreciación, vida útil y optimización de los tiempos, lo cual redundará en costo y beneficio.

Con lo anterior, al momento de realizar un corte se deben considerar dos situaciones: una, la especie maderable y dos, las superficies (radial, tangencial y longitudinal), de preferencia procurar una clasificación media, blanda y muy blanda. Consideraciones técnicas importantes a tomar en cuenta al momento de someter a esfuerzo de corte una pieza de madera. Los resultados obtenidos se pueden observar en el cuadro 21.

Cuadro 21. Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel en base al ensayo de esfuerzo de corte.

Propiedades	Plano o Superficie	Resultado			Clasificación		
		Cenícero	Irayol	Laurel	Cenícero	Irayol	Laurel
Corte	Radial	179.86	227.27	98.32	Muy alto	Muy alto	Medio
	Tangencial	69.92	34.80	28.34	Bajo	Muy bajo	Muy bajo
	Longitudinal	56.87	38.22	30.81	Bajo	Muy bajo	Muy bajo

(Fuente: elaboración propia).

#### 4. Dureza

Para obtener los resultados de la dureza se ensayaron las tres superficies de la madera, de donde se obtuvo que la madera de Cenícero en las superficies radial, tangencial y longitudinal se clasifica como madera blanda; la madera de Irayol en la superficie radial y tangencial se clasifica como blanda y en la superficie tangencial semidura; la madera de Laurel en la superficie radial y tangencial se clasifica muy blanda y en la superficie longitudinal blanda. Para la interpretación de los datos se utilizó el cuadro 8, que refleja la clasificación de la madera según su dureza.

La clasificación obtenida de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel, en las superficies radial, tangencial y longitudinal es determinante para conocer la resistencia que presenta la madera al utilizar tornillos, clavos, cepillo, sierra, formón y aplicación de tratamientos. Por ejemplo la madera de Irayol en la superficie longitudinal se clasifica como madera semidura, esto indica que si se utiliza tornillo presentará mayor resistencia y esfuerzo al perforar, tiempo y depreciación de la herramienta, en comparación con los otros dos planos (tangencial y longitudinal) que presenta una clasificación de madera blanda, (ver cuadro 22).

Cuadro 22. Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel en base al ensayo de dureza determinado.

Propiedad	Plano o Superficie	Resultado			Clasificación		
		Cenícero	Irayol	Laurel	Cenícero	Irayol	Laurel
Dureza	Radial	346.42	407.47	228.29	Blanda	Blanda	Muy blanda
	Tangencial	328.50	385.57	77.86	Blanda	Blanda	Muy blanda
	Longitudinal	347.08	541.53	342.44	Blanda	Semidura	Blanda

(Fuente: elaboración propia)

## 5. Flexión Estática:

Para la determinación de la flexión estática, se ensayó el módulo de ruptura –MOR- y el módulo de elasticidad –MOE-, para la interpretación de los resultados se utilizó el cuadro 6, que refleja la clasificación de la madera según la flexión estática.

Los resultados para el MOR y MOE en las superficies radial y tangencial coincidieron en la misma clasificación, de donde la madera de Cenícero y Laurel se clasifica como muy baja y la madera de Irayol en una clasificación alta, (ver cuadro 23 y 24).

Tomando en cuenta lo anterior, concluimos que la madera de Cenícero y Laurel no es apta para someterlas a esfuerzos de carga según la clasificación del módulo de ruptura y de elasticidad. Caso contrario, la madera de Irayol en los dos módulos ensayados y en ambas superficies presenta características de uso estructural en la construcción y si se agrega la compresión perpendicular que presenta clasificación muy alta, sus características de uso son óptimas.

La elasticidad en la madera es una característica importante porque al someterla a un esfuerzo de flexión se deforma y al invertir la fuerza regresa a su originalidad, caso contrario a otros materiales como el hierro que no posee dicha bondad.

Cuadro 23. Resultados y clasificación de La madera de Cenícero, Irayol y Laurel en el módulo de ruptura –MOR-

Propiedades	Plano o Superficie	Resultado			Clasificación		
		Cenícero	Irayol	Laurel	Cenícero	Irayol	Laurel
Flexión Estática							
Módulo de Ruptura (MOR)	Radial	683.9	1227.21	646.25	Muy bajo	Alto	Muy bajo
	Tangencial	750.69	1396.93	652.77	Muy bajo	Alto	Muy bajo

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 24. Resultados y clasificación de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel en base a los ensayos del módulo de elasticidad –MOE-

Propiedades	Plano o Superficie	Resultado			Clasificación		
		Cenícero	Irayol	Laurel	Cenícero	Irayol	Laurel
Flexión Estática							
Módulo de Elasticidad (MOE)	Radial	56309.12	174892.00	77043.64	Muy bajo	Alto	Muy bajo
	Tangencial	58974.25	142940.08	86220.75	Muy bajo	Alto	Muy bajo

(Fuente: elaboración propia).

### 6.3 Usos sugeridos de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel

En base a la interpretación y discusión de las propiedades físicas y mecánicas, se procede a determinar los usos de la madera de Cenícero, Irayol y Laurel, de donde se aportan datos valiosos que complementarán o confirmarán, el uso principalmente de estas especies estudiadas que han sido conocidas a prueba de ensayo y error, conocimientos valederos que se han venido transmitiendo de generación en generación, mismos que se ven reflejados en las construcción habitacional y otros tantos usos en las que se les ha empleado.

#### 6.3.1 Madera de Cenícero:

Al considerar que la madera de Cenícero de acuerdo a las propiedades físicas y mecánicas determinadas es una madera muy estable, semipesada, de contracción mediana, con una compresión paralela muy baja y la perpendicular en las superficies radial y tangencial muy alta, con un corte de esfuerzo bajo en las superficies radial y tangencial, la dureza es blanda en sus tres superficies (radial, tangencial y longitudinal), y que la flexión estática en el módulo de ruptura –MOR- y módulo de elasticidad –MOE- es muy baja en sus dos superficies (radial y tangencial), resultado determinante para concluir que no es apta para uso estructural donde se exija una alta elasticidad, mientras que en esfuerzos de compresión perpendicular muestra que si puede ser sometida a esfuerzos de compresión altos.

Destacando las principales propiedades, es argumento suficiente para recomendar que la madera de Cenícero es apta para casi todos los usos y en consecuencia previo a ello se deben considerar los siguientes conceptos, particularmente adaptados a la madera de Cenícero:

**Secado:**

De secado rápido y fácil al aire libre, pudiéndose conservar en rollo o troza, regla, viga y tabla, dada su contracción mediana y la estabilidad, sin perder de vista la posición en el secado, que puede hacerse de manera vertical u horizontal, para la última posición deberán utilizarse polines entre piezas para una adecuada circulación del aire.

**Trabajabilidad:**

Es una madera fácil de trabajar, labrar con herramientas manuales y en todas las operaciones con maquinaria industrial, incluso se puede trabajar en estado verde porque no tiende a contraerse, fácil para el lijado, perforación o taladrado con brocas y tornillos, se deja encolar, sellar y barnizar adecuadamente, es una madera que ofrece un buen acabado.

**Durabilidad natural:**

La madera de Cenícero está clasificada como Durable a muy durable respecto al ataque de hongos, y es resistente a las termitas, ubicándose muy por encima de la caoba y levemente sobre la teca.

**Usos actuales:**

Carpintería, ebanistería, canoas, estructuras medianas, postes, ruedas de carretas, construcción de establos, corrales, saladeros, construcción y forros de vivienda.

**Usos potenciales:**

Chapas decorativas, paneles, decoración de gabinetes, torno, contrachapados, muebles decorativos, culatas de armas, moldes, hormas para zapato, pisos, artesanías.

Con el fin de dar a conocer de mejor manera el uso de la madera de Cenícero se presenta la figura 27, que detalla las propiedades determinadas y las indica en base a los diversos usos que en la misma se detallan.

Usos	Interpretación de las Propiedades determinadas Madera de Cenícero									
	Densidad	Contracción		Compresión		Corte		Dureza	Flexión estática	
		Dimen-sional	Volu-métrica	Para-lela	Perpen-dicular	Rad y Tang	Rad y Long	Rad, Tan y Long	MOR	MOE
					Rad y Tang				Muy alto	Bajo
Semi-pesada	Muy estable	Mediana	Muy bajo	Muy alto	Muy alto	Bajo	Blanda	Muy bajo	Muy bajo	
Carpintería	X	X	X				X	X		
Ebanistería	X	X	X				X	X		
Canoas	X	X	X				X	X		
Estructura mediana	X	X	X	X			X	X	X	X
Ruedas carreta	X	X	X		X	X	X	X		
Construc. establos	X	X	X	X			X	X		
Corrales	X	X	X	X			X	X		
Saladeros	X	X	X				X	X		
Construc mediana	X	X	X	X			X	X	X	X
Forro vivienda	X	X	X				X	X		
Chapa decorativa	X	X	X				X	X		
Paneles	X	X	X		X		X	X		
Decorac gabinetes	X	X	X				X	X		
Torneado	X	X	X				X	X		
Contrachapados	X	X	X				X	X		
Muebles decorativos	X	X	X				X	X	X	X
Culatas de armas	X	X	X				X	X		
Moldes	X	X	X				X	X		
Pisos	X	X	X		X		X	X		
Artesanías	X	X	X				X	X		
Artículos deportivos	X	X	X	X			X	X	X	X

Figura 27. Describe la clasificación de las propiedades determinadas y usos sugeridos de la madera de Cenícero, (Fuente: elaboración propia).

### **6.3.2 Madera de Irayol:**

De las tres especies estudiadas, la madera de Irayol es la que más destaca por los resultados obtenidos, siendo una madera muy estable, de contracción mediana, semipesada, con una compresión paralela media y una compresión perpendicular muy alta en las superficies radial y tangencial, el corte en la superficie tangencial y longitudinal es muy bajo, la dureza es blanda en dos superficies (tangencial y longitudinal), mientras que la flexión estática en el módulo de ruptura –MOR- y módulo de elasticidad –MOE- en las dos superficies (radial y tangencial) es alta, lo que indica que la madera tiene muy buena elasticidad, pudiendo ser sometida a esfuerzos de flexión.

Destacando la importancia de los datos anteriores, es suficiente argumento científico para recomendar los usos, pero que previo a ellos, se deben conocer los siguientes conceptos aplicables a la madera de Irayol.

#### **Secado:**

Tomando en cuenta que la madera es muy estable y con una contracción mediana, el secado lento, fácil de hacerlo al aire libre, pudiendo hacerlo en troza o rollo, reglas, vigas y en tabla, procurando una estivación adecuada, vertical u horizontal, para esta última forma se deben utilizar polines adecuados para una buena circulación de aire.

#### **Trabajabilidad:**

Es una madera fácil de trabajar con maquinaria industrial y herramientas manuales, excelente en el cepillado, moldeado, torneado, escopleado, taladrado. El lijado y la resistencia a rajaduras al introducir tornillos son satisfactorios, aceptable encolado, fácil de aplicar selladores, barnices, presentando un excelente acabado.

#### **Durabilidad natural:**

La madera está clasificada como medianamente durable ya que es muy susceptible al ataque de termitas, barrenadores y poca durabilidad natural, es fácil de tratar química o naturalmente, para prolongar la vida útil.

### Usos actuales:

Cajas de empacar, baúles, hormas de zapato, culatas de escopeta, tacos de billar, aros de tambores, mangos de herramientas y arados, palillos de dientes, cucharitas para helados, depresores linguales, artículos deportivos, energético.

### Usos potenciales:

Enchapados, carpintería, ebanistería, torneado, pisos, chapas decorativas, uso estructural en la construcción formal.

En la figura 28, se aclara de mejor manera los usos de la madera de cenícero, ya que en la misma se presenta la interpretación de las propiedades determinadas y a su vez se recomienda en base al objetivo de uso.

Usos	Interpretación de las Propiedades determinadas Madera de Irayol										
	Densidad	Contracción		Compresión		Corte		Dureza		Flexión estática	
		Dimen-sional	Volu-métrica	Para-lela	Perpen-dicular	Rad	Tang y Long	Rad y Tang	Long	MOR	MOE
		Semi-ligera	Muy estable	Mediana	Media	Rad y Tang	Muy alto	Muy Bajo	Blanda	Semi-dura	Rad y Tang
Cajas de empacar	X	X	X				X	X			
Baúles	X	X	X				X	X			
Hormas de zapato	X	X	X				X	X			
Culata de escopeta	X	X	X				X	X			
Tacos de billar	X	X	X	X			X	X			
Aros de tambores	X	X	X				X	X			
Mangos p/herramienta	X	X	X		X		X	X			
Arados	X	X	X		X		X	X			
Palillos p/dientes	X	X	X		X		X	X		X	X
Cucharitas p/helados	X	X	X		X		X	X		X	X
Depresores linguales	X	X	X		X		X	X		X	X
Artículos deportivos	X	X	X	X			X	X			
Enchapados	X	X	X				X	X			
Carpintería	X	X	X				X	X			
Ebanistería	X	X	X				X	X			
Torneado	X	X	X				X	X			
Pisos	X	X	X		X		X	X			
Chapas decorativas	X	X	X				X	X			
Construcción industrial	X	X	X	X	X		X	X		X	X
Uso estructural	X	X	X	X	X		X	X		X	X

Figura 28. Clasificación de las propiedades físicas y mecánicas determinadas y usos sugeridos de la madera de Irayol, (Fuente: elaboración propia).

### **6.3.3 Madera de Laurel:**

Previo a hacer referencia de los usos de la madera de Laurel, se debe resaltar que presenta una densidad ligera, la contracción dimensional es muy estable y la contracción volumétrica mediana, con una compresión paralela muy baja y la compresión perpendicular en las superficies radial y tangencial es media, con un esfuerzo de corte en las superficie radial medio y en las superficies tangencial y longitudinal muy bajo, la dureza en las superficies radial y tangencial es muy blanda mientras que en la superficie longitudinal es media y la flexión estática en el módulo de ruptura –MOR- y módulo de elasticidad –MOE- es muy baja. Lo que permite recomendar que para uso estructural en construcción formal no es recomendable, por los rangos de compresión y flexión que se muestran.

Previo a las opciones de uso, se recomienda considerar los siguientes conceptos que están adaptados en particular a la madera de Laurel.

#### **Secado:**

Es ligero a moderado, por sus condiciones de estabilidad y contracción mediana, hacen que el proceso de secado no presente grietas o daños a la madera, esto hace que la madera se pueda estivar en troza o rollo, vigas, reglas y tabla.

#### **Trabajabilidad:**

Fácil de trabajar con herramienta industrial y manual, buen pulido con cepillo, en molduras y lijado,

#### **Durabilidad natural:**

La madera está clasificada como medianamente durable ya que es muy susceptible al ataque de termitas, barrenadores y poca durabilidad natural.

### Usos actuales:

Esculturas, artículos torneados, construcción liviana, mangos para herramientas, carpintería, carrocerías, artículos deportivos, postes, remos, embarcaciones, aros para barriles, forros, energético.

### Usos potenciales:

Ebanistería, molduras, pisos, zócalo, juguetes, parquet, enchapados, chapas decorativas, instrumentos musicales o parte de estos, machimbre, artesanías.

La representación de los usos actuales y los potenciales se pueden entender de mejor manera a través de un detalle de las propiedades físicas y mecánicas determinadas, mismas que pueden ser indicadas de acuerdo al uso que se le quiera dar a la madera de Laurel, (ver figura 29)

Usos	Interpretación de las Propiedades determinadas Madera de Laurel											
	Densidad	Contracción		Compresión		Corte		Dureza		Flexión estática		
		Dimensional	Volumétrica	Paralela	Perpendicular	Rad y Tang	Rad	Tang y Long	Rad y Tang	Long	MOR	MOE
											Rad y Tang	Rad y Tang
Ligera	Muy estable	Mediana	Bajo	Medio	Medio	Muy Bajo	Muy Blanda	Blanda	Muy bajo	Muy bajo		
Esculturas	X	X	X			X	X	X	X			
Torneados	X	X	X		X	X	X	X	X			
Construcción liviana	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Mangos p/herramienta	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	
Carpintería	X	X	X			X	X	X	X			
Carrocerías	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	
Artículos deportivos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Postes	X	X	X			X	X	X	X			
Remos	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	
Embarcaciones	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	
Aros para barriles	X	X	X		X		X	X	X			
Forros habitacionales	X	X	X		X	X	X	X	X			
Ebanistería	X	X	X		X	X	X	X	X			
Molduras	X	X	X		X	X	X	X	X			
Pisos	X	X	X		X	X	X	X	X			
Zócalo	X	X	X			X	X	X	X			
Juguetes	X	X	X			X	X	X	X			
Parquet	X	X	X			X	X	X	X			
Enchapados	X	X	X			X	X	X	X			
Chapas decorativas	X	X	X			X	X	X	X			
Instrumento musicales	X	X	X		X	X	X	X	X			
Machimbre	X	X	X			X	X	X	X			
Artesanías	X	X	X			X	X	X	X			

Figura 29. Muestra la clasificación de las propiedades determinadas y usos sugeridos de la madera de Laurel, (Fuente: elaboración propia).

## 7. CONCLUSIONES

1. Se logró determinar las propiedades físicas de densidad de la madera verde y seca, esta último por los usos, determinando que la madera de cenícero es Semipesada, Irayol Semiligera y de Laurel ligera. Los resultados del porcentaje humedad determinó madera saturada. Y la relación de contracción tangencial versus la radial ( $R t/r$ ), determinó coeficientes menores a 2, lo que hace que la madera de ambas especies se muy estable.
2. En los ensayos de compresión paralela a la fibra, la madera de Cenícero se clasificó como Muy baja, Irayol Media y el Laurel baja; y en la compresión perpendicular a la fibra, en las superficies radial y tangencial la madera de Cenícero e Irayol se clasifica como muy alta y el Laurel como media.
3. En el ensayo de esfuerzo de corte en la superficie radial, la madera de Cenícero e Irayol se clasifican como muy alto y el Laurel como media; en la superficie tangencial y longitudinal la madera de Cenícero se clasificó como bajo e Irayol y Laurel muy bajo. La dureza en las superficies radial y tangencial la madera de Cenícero e Irayol se clasifican como blanda y el Laurel muy blanda, y para la superficie longitudinal la madera de Cenícero y Laurel se clasifican como blandas e Irayol semidura.
4. Para el módulo de ruptura (MOR), en la superficie radial y tangencial se determinó que la madera de Cenícero y Laurel se clasifica como muy bajo y el Irayol Muy alto. En el módulo de elasticidad (MOE), en la superficies radial y tangencial la madera de Cenícero y Laurel se clasifica como Muy bajo y para el caso del Irayol bajo.
5. Que en base a los resultados de propiedades físicas y mecánicas, la madera de Cenícero, Irayol y Laurel pueda ser utilizada para trabajos de carpintería, ebanistería, construcción y otros usos, sin perder de vista la clasificación de maderas por cada especie estudiada en la interpretación de resultados.

## 8. RECOMENDACIONES

1. Para futuros estudios, es recomendable realizar más repeticiones de los ensayos, principalmente de las propiedades mecánicas y que el estudiante cuente con el apoyo del equipo tecnológico idóneo para concretar dichos ensayos.
2. Que durante la preparación académica de la carrera de ingeniería forestal, la universidad Campus de la Verapaz incluya el curso de tecnología de la madera, el equipo tecnológico y catedráticos idóneos en tecnología de la madera, para enseñar los conocimientos básicos de las propiedades físicas y mecánicas, ya que es indispensable para toma de decisión en el manejo forestal, del egresado
3. Se sugiere que en los programas de incentivos forestales del INAB se incluya especies estudiadas principalmente Irayol y Laurel que son de crecimiento rápido, tomando en cuenta que tienen muy buenas propiedades físicas y mecánicas, principalmente en diversos usos y el valor agregado que se le puede dar a la madera, evitando que la madera salga del país en rollo.
4. Que se continúe impulsando este tipo de estudios para determinar las propiedades físicas y mecánicas de otras especies forestales maderables en la región de Alta Verapaz.
5. Se propone realizar otros ensayos de propiedades mecánicas y físicas de las especies estudiadas, Cenícero, Irayol y Laurel, específicamente en el secado trabajabilidad y propiedades organolépticas de la madera, para enriquecer el presente trabajo.
6. Se recomienda realizar ensayos de propiedades mecánicas de las especies de Cenícero, Irayol y Laurel en madera seca al 12%.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, C. (1967). Descripción anatómica, propiedades físicas y algunos usos de 25 maderas de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., IICA. 192 p.
- Aguilar, J. (1982). Ilustración Arboles de Guatemala (Catalogo), Editorial Universitaria-Universidad de San Carlos, Guatemala.
- Aguilar J. y Guzowski E. (2011), Materiales y Materias Primas, “Madera” Capitulo 3. Ministerio de Educación. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. República Argentina. 27 p.<http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/madera.pdf>.
- Aguilar, M. (2007), Trabajo de graduación, realizado en la “zona de influencia del Parque Nacional Laguna Lachuá, Sub cuenca del rio Salinas (área de captación), Cobán, Alta Verapaz. (Tesis), Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, Área Integrada. Guatemala.
- American Society Test of Materials. 2000. Designation: D 143 – 94 (Reapproved 2000) Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. 31 p.
- American Society Test of Materials. 2002. Designation: D 2395-02 Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. 8 p.
- Barajas, M; Mariique, E. y Carmona V., T.F. (1981).La madera y su uso en la construcción No. 3: estructura e identificación. México, Editorial Tipos Futura. 70 p.

- Baraňao, J.; Penón, E.; Craig, E.; Cucciúfo, E. y De Falco P. (2008). Manual para la identificación de maderas con aumentos de hasta 10x. Universidad nacional de Luján Departamento de Tecnología Producción Vegetal IV Dasonomía. 57p.
- Campos, A; Cubillos, G; Morales, F. y Pastene, A. 1990. Propiedades y usos de especies madereras de corta rotación. Santiago, Chile. Corporación Fomento de la Producción (CORFO). 87p.
- Campos, C. (2015). Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus maximinoi* H. E. Moore; (Tesis) Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Campus “San Pedro Claver, S.J. de la Verapaz, San Juan Chamelco, Alta Verapaz, Guatemala.
- Capuz, R. (2005). Materiales Orgánicos. Maderas. Editorial. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.
- Casasola, D. (1998). Anatomía y Propiedades Físicas de la madera. Tesis), Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, Guatemala.
- CORMA. Manual, La Construcción de Viviendas en Madera. Capítulo I. Centro de Transferencia Tecnológica. PDF. 626 p. En línea: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210283>. (Consultado el 26 de marzo 2017).
- Coronel, E. (1995). “Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones”. 2 Parte: Fundamentos de las propiedades mecánicas de las maderas. Publicación ITMUNSE. 335 pp.
- Cuevas, E. (2003). Propiedades físicas y mecánicas de la madera. Material de apoyo en propiedades físicas y mecánicas. Talca Chile, Universidad de Talca, Escuela de Ingeniería en industrias de la madera 68 p.

- De La Cruz J. (1982). Clasificación de Zona de Vida de Guatemala, a nivel de reconocimiento. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). Sector Público Agropecuario y de Alimentación. Instituto Nacional Forestal. Unidad de Evaluación y Promoción. Dirección General de Servicios Agrícolas. Guatemala, C.A.
- Díaz M. (2006). Determinación de las Propiedades Físicas y Mecánicas del Cedro Rojo (*Acrocarpus fraxinifolius*) (Tesis), Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Quetzaltenango, Guatemala.
- Díaz P. (2005). Evaluación de Propiedades físicas y mecánicas de madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería en Industrias de la Madera, Santiago de Chile.
- Díaz-Vaz. J; Cuevas, H. (1982). Ensayos Mecánicos de Madera. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales 44 p.
- Forest Products Laboratory, (1999). Wood handbook—Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p.
- Francis y Lowe (2000), Bioecología de Árboles Nativos y Exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales. Gen. Tech. Rep. IITF-15. Río Piedras, Puerto Rico: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical. 582 p.
- Guadamuz, A. (1998). Especies de *Genipa americana*, Guanacaste Costa Rica. Disponible en <http://www.acguanacaste.ac.cr>

- Gutiérrez, V. y Silva, J. (1999). Información Técnica para el Procesamiento Industrial de 134 Especies Maderables de Bolivia. Serie Técnica XII. Proyecto de Apoyo a la Coordinación e Implementación del Plan de Acción Forestal Para Bolivia FAO – PARFBOL. La Paz, Bolivia.
- Hernández, C. (2012). El MDF Material Escultórico, Estudio Analítico, Técnico, Estructural y Comparativo del Conglomerado de Madera de Fibras de Densidad Media. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. Departamento de Escultura. Departamento de Escultura, 642 p. En línea: <https://hera.ugr.es/tesisugr/21458029.pdf>
- INAB (2004). Plan Maestro “Parque Nacional Laguna Lachuá”. Cobán, Alta Verapaz. Guatemala.
- Karsulivic, j. (1982). Propiedades mecánicas de la madera. Santiago, Chile. Editorial Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, Departamento de Tecnología de la madera. 101p.
- Lima C. (2004). Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas de la madera de cinco especies de árboles tropicales. (Tesis), Universidad del Valle, Facultad de Ciencias y Humanidades, Departamento de Ingeniería Forestal, Guatemala.
- Mesa de Concertación y Política. (2003). Agenda de Desarrollo Forestal, Las Verapaces, Cobán Alta Verapaz.
- Morataya, M. (1993). Anatomía, propiedades Físicas y Algunos Usos Sugeridos de la Madera. (Tesis), Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, Guatemala.

- Pazo, J. (2008) Estudio de lignina y lípidos en madera de eucalipto: Caracterización química en distintas especies y su evolución durante la fabricación y blanqueo químico y enzimático de la pasta de papel. Tesis Doctoral. Departamento de Ciencias Químicas. Universidad de Sevilla. Sevilla 2008. 191 p. En línea:
- Pérez, V. 1983. Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. Corporación Nacional Forestal. Santiago, Chile. 451 pp.
- Rivero, J. 2004. Propiedades Físico-Mecánicas de Gmelina arborea Roxb. y Tectona grandis Linn. F. Proveniente de Plantaciones Experimentales del Valle del Sacta – Cochabamba. Cochabamba. Bolivia. <http://www.monografias.com>. 73 pp.
- Rodas, A.; Anzueto, C.; y Santos A. (2006). Proyecto Lachuá Fase III, Lachuá al servicio de su gente, Documento de Proyecto, Instituto Nacional de Bosques – INAB-. Guatemala, C.A.
- Sotomayor, J. (2008). Investigación e Ingeniería de la Madera, Publicación del Laboratorio de Mecánica de la Madera División de Estudios de Mecánica de la Madera División de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Morelia, Michoacán, México. Volumen 4, Número 2.
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden (On line). 29 Apr 2017. Disponible en <http://www.tropicos.org/Name/4001123>>© 2017 Missouri Botanical Garden
- Valdés, H. (1988). Anatomía y propiedades físicas de la madera, Lonchocarpus latifolius (Willd) HBK, Terminalia amazonia (J.F. Gmel) y Pouteria gallifruca Cronquist. Tesis de graduación, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Vignote, S. y Martínez I. 2006. Tecnología de la Madera. Ediciones Mundi-Prensa. 3ra. Edición. Madrid.

Viña, F. (2003). La madera como materia de expresión plástica. Análisis estructural y tratamiento en escultura para interior y exterior, Serie Tesis Doctorales. Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales. Universidad de la Laguna. Soportes Audiovisuales e Informáticos. Servicios de publicaciones. 519p.

Winandy, J. 1994. Wood Properties. USDA-Forest Service, Forest Products Laboratory. Encyclopedia of Agricultural Science. Orlando, FL: Academic Press: 549-561. Vol. 4.

## 10. ANEXOS

Cuadro 25. Propiedades mecánicas de algunas maderas importadas dentro de los Estados Unidos y Canadá. Valores expresados en el Sistema Métrico Decimal.

Nombre científico de las Especies	Contenido de humedad (%)	Gravedad específica	Flexión estática			Corte paralelo al grano (kPa)	Dureza lateral (N)	Origen
			Módulo de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Compresión al grano (kPa)			
<i>Araucaria angustifolia</i>	Verde 12 %	0.46	49,600	9,300	27,600	6,700	2,500	América Tropical
<i>Pinus caribaea</i>	Verde 12 %	0.68	77,200	13,000	33,800	8,100	4,400	América Tropical
<i>Pinus oocarpa</i>	Verde 12 %	0.55	55,200	12,000	25,400	7,200	2,600	América Tropical
<i>Pinus radiata</i>	Verde 12 %	0.42	42,100	8,100	19,200	5,200	2,100	Asia
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Verde 12 %	0.52	72,400	11,000	31,400	8,700	4,000	América Tropical
<i>Quercus</i> spp.	Verde 12 %	0.76	-	-	-	-	-	América Tropical
<i>Swietenia macrophylla</i>	Verde 12 %	0.45	62,100	9,200	29,900	8,500	3,300	América Tropical
<i>Cupressus lusitánica</i>	Verde 12 %	0.93	42,700	6,300	19,900	6,600	1,500	África
<i>Ceiba pentandra</i>	Verde 12 %	0.25	15,200	2,800	7,300	2,400	1,000	América Tropical
<i>Virola</i> spp.	Verde 12 %	0.42	38,600	11,300	16,500	5,000	1,400	América Tropical
<i>Cedrela</i> spp.	Verde 12 %	0.41	51,700	9,000	23,200	6,800	2,400	América Tropical
<i>Tectona grandis</i>	Verde 12 %	0.55	80,000	9,400	41,100	8,900	4,100	Asia
			100,700	10,700	58,000	13,000	4,400	

(Forest Products Laboratory, USDA Forest Service, 1999).

Cuadro 26. Ensayo de compresión paralela a la fibra en madera de Cenicero

Muestra	Dimensiones en mm		Área en cm <sup>2</sup>	Esfuerzo último		Esfuerzo de Compresión Paralela en kg x cm <sup>2</sup>
	51	300		En lb	En kg	
1	51	300	26.010	10000.00	4545.45	174.76
2	51	300	26.010	10050.00	1568.18	175.63
3	51	300	26.010	14000.00	6363.64	244.66
				Promedio		198.35
				Desv. Est.		40.11
				Coef. Var.		20.22

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 27. Ensayo de compresión paralela a la fibra en madera de Irayol

Muestra	Dimensiones en mm		Área en cm <sup>2</sup>	Esfuerzo último		Esfuerzo de Compresión Paralela en kg x cm <sup>2</sup>
	51	300		En lb	En kg	
1	51	300	26.010	20000.00	9090.91	349.52
2	51	300	26.010	23500.00	10681.82	410.68
3	51	300	26.010	22000.00	10000	384.47
				Promedio		381.55
				Desv. Est.		30.69
				Coef. Var.		8.04

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 28. Ensayo de Compresión paralela a la Fibra en madera de Laurel

Muestra	Dimensiones en mm	Área en cm <sup>2</sup>	Esfuerzo último		Esfuerzo de Compresión Paralela en kg x cm <sup>2</sup>
			En lb	En kg	
1	51 51	26.010	18000.00	8181.82	314.56
2	51 51	26.010	15000.00	6818.18	262.14
3	51 51	26.010	15500.00	7045.45	270.87
			Promedio		282.53
			Desv. Est.		28.09
			Coef. Var.		9.94

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 29. Ensayo de compresión perpendicular a la fibra de la madera de Cenicero, en la superficie radial.

Muestra	Dimensiones en mm	Area en cm <sup>2</sup>	Superficie Radial		Esfuerzo de compresión paralela en kg x cm <sup>2</sup>
			Carga máxima en lb	en kg	
1	48 48	73.440	19500.00	8863.64	120.69
2	52 51	79.040	19500.00	8863.64	112.14
3	51 52	77.010	17500.00	7954.55	103.29
			Promedio		112.04
			Desv. Est.		8.70
			Coef. Var.		7.77

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 30. Ensayo de compresión perpendicular a la fibra de la madera de Cenicero, en la superficie tangencial

Muestra	Dimensiones en mm	Area en cm <sup>2</sup>	Superficie Tangencial		Esfuerzo de compresión paralela en kg x cm <sup>-2</sup>	
			Carga máxima en lb	Carga máxima en kg		
1	48 48	153	73.440	22500.00	10227.27	139.26
2	52 51	152	79.040	18500.00	8409.09	106.39
3	51 52	151	77.010	23500.00	10681.82	138.71
				Promedio		128.12
				Desv. Est.		18.82
				Coef. Var.		14.69

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 31. Ensayo de compresión perpendicular a la fibra de la madera de Irayol, en la superficie radial.

Muestra	Dimensiones en mm	Area en cm <sup>2</sup>	Superficie Radial		Esfuerzo de compresión paralela en kg x cm <sup>-2</sup>	
			Carga máxima en lb	Carga máxima en kg		
1	48 48	153	73.440	33500.00	15227.27	207.34
2	52 51	152	79.040	35500.00	16136.36	204.15
3	51 52	151	77.010	36000.00	16363.64	212.49
				Promedio		207.99
				Desv. Est.		4.20
				Coef. Var.		2.02

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 32. Ensayo de compresión perpendicular a la fibra de la madera de Irayol, en la superficie tangencial.

Muestra	Dimensiones en mm		Area en cm <sup>2</sup>		Superficie Tangencial		Esfuerzo de compresión paralela en kg x cm <sup>-2</sup>
	1	2	en lb	en kg	Carga máxima		
1	48	153	27000.00	12272.73	73.440	167.11	
2	52	152	28500.00	12954.55	79.040	163.90	
3	51	151	29000.00	13181.82	77.010	171.17	
			Promedio			167.39	
			Desv. Est.			3.64	
			Coef. Var.			2.18	

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 33. Ensayo de compresión perpendicular a la fibra de la madera de Laurel, en la superficie radial.

Muestra	Dimensiones en mm		Area en cm <sup>2</sup>		Superficie Radial		Esfuerzo de compresión paralela en kg x cm <sup>-2</sup>
	1	2	en lb	en kg	Carga máxima		
1	52	151	12500.00	5681.82	79.560	71.42	
2	52	152	11000.00	5000.00	79.040	63.26	
3	51	151	10500.00	4772.73	77.010	61.98	
			Promedio			65.55	
			Desv. Est.			5.12	
			Coef. Var.			7.81	

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 34. Ensayo de compresión perpendicular a la fibra de la madera de Laurel, en la superficie tangencial.

Muestra	Dimensiones en mm		Area en cm <sup>2</sup>	Superficie Tangencial		Esfuerzo de compresión paralela en kg x cm <sup>-2</sup>	
	1	2	en lb	Carga máxima en kg			
1	52	51	153	73.440	11000.00	5000.00	62.85
2	52	51	152	79.040	11000.00	5000.00	63.26
3	51	52	151	77.010	10000.00	4545.45	59.02
						Promedio	61.71
						Desv. Est.	2.33
						Coef. Var.	3.78

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 35. Ensayo de corte en madera de Cenicero, en la superficie radial.

Muestra	Dimensiones del área de corte en mm		Area en cm <sup>2</sup>	Lectura manómetro	Carga en Libras	Esfuerzo de corte	
	1	2	cm <sup>2</sup>			Lb/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
1	34.30	10.21	3.50	1.50	1095.00	312.676	142.125
2	34.08	9.67	3.30	1.75	1277.50	387.646	176.203
3	34.10	10.20	3.48	2.20	1606.00	461.733	209.879
4	34.23	11.26	3.85	2.15	1569.50	407.208	185.094
5	34.00	9.97	3.39	1.90	1387.00	409.169	185.986
						Promedio	179.857
						Desv. Est.	24.512
						Coef. Var.	13.629

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 36. Ensayo de corte en madera de Cenicero, en la superficie tangencial.

Muestra	Dimensiones del área de corte en mm	Area en cm <sup>2</sup>	Lectura manómetro	Carga en Libras	Esfuerzo de corte Lb/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo de corte Kg/cm <sup>2</sup>
1	36.77	10.20	0.60	438.00	116.783	53.083
2	37.10	9.87	0.88	642.40	175.434	79.743
3	36.84	13.31	0.95	693.50	141.432	64.287
4	35.93	9.97	0.80	584.00	163.027	74.103
5	37.29	9.42	0.83	605.90	172.488	78.403
					Promedio	69.924
					Desv. Est.	11.193
					Coef. Var.	16.008

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 37. Ensayo de Corte en madera de Cenicero, en la superficie Longitudinal.

Muestra	Dimensiones del área de corte en mm	Area en cm <sup>2</sup>	Lectura manómetro	Carga en Libras	Esfuerzo de corte Lb/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo de corte Kg/cm <sup>2</sup>
1	36.93	8.85	0.76	554.80	169.752	77.160
2	36.80	10.93	0.62	452.60	112.524	51.147
3	36.92	9.24	0.55	401.50	117.693	53.497
4	36.97	9.02	0.50	365.00	109.455	49.752
5	36.76	8.55	0.50	365.00	116.132	52.787
					Promedio	56.869
					Desv. Est.	10.229
					Coef. Var.	17.986

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 38. Ensayo de corte en madera de Irayol, en la superficie radial.

Muestra	Dimensiones del área de corte en mm		Área en cm <sup>2</sup>	Lectura manómetro	Carga en Libras	Esfuerzo de corte	
	área de corte en mm	cm <sup>2</sup>				Lb/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
1	33.93	10.65	3.61	3.30	2409.00	666.658	303.027
2	34.22	10.81	3.70	2.34	1708.20	461.778	209.899
3	34.30	11.56	3.97	2.45	1788.50	451.063	205.029
4	33.49	10.97	3.67	2.22	1620.60	441.117	200.508
5	33.30	10.29	3.43	2.25	1642.50	479.342	217.883
						Promedio	227.269
						Desv. Est.	42.836
						Coef. Var.	18.848

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 39. Ensayo de corte en madera de Irayol, en la superficie tangencial.

Muestra	Dimensiones del área de corte en mm		Área en cm <sup>2</sup>	Lectura manómetro	Carga en Libras	Esfuerzo de corte	
	área de corte en mm	cm <sup>2</sup>				Lb/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
1	37.01	9.54	3.531	0.42	306.60	86.837	39.471
2	36.78	9.60	3.531	0.42	306.60	86.834	39.470
3	36.94	9.64	3.561	0.39	284.70	79.949	36.340
4	37.12	9.29	3.448	0.32	233.60	67.741	30.791
5	37.00	9.63	3.563	0.30	219.00	61.463	27.938
						Promedio	34.802
						Desv. Est.	5.224
						Coef. Var.	15.011

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 40. Ensayo de corte en madera de Irayol, en la superficie longitudinal.

Muestra	Dimensiones del área de corte en mm	Área en cm <sup>2</sup>	Lectura manómetro	Carga en Libras	Esfuerzo de corte Lb/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo de corte Kg/cm <sup>2</sup>
1	36.19	10.14	0.34	248.20	67.636	30.743
2	36.66	9.92	0.45	328.50	90.330	41.059
3	36.81	10.55	0.43	313.90	80.830	36.741
4	34.73	13.03	0.60	438.00	96.789	43.995
5	35.78	9.62	0.40	292.00	84.834	38.561
					Promedio	38.220
					Desv. Est.	4.990
					Coef. Var.	13.057

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 41. Ensayo de corte en madera de Laurel, en la superficie radial.

Muestra	Dimensiones del área de corte en mm	Área en cm <sup>2</sup>	Lectura manómetro	Carga en Libras	Esfuerzo de corte Lb/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo de corte Kg/cm <sup>2</sup>
1	33.57	10.71	1.08	788.40	219.283	99.674
2	34.01	11.57	1.08	788.40	200.358	91.072
3	33.83	10.84	0.95	693.50	189.110	85.959
4	33.85	10.09	1.30	949.00	277.854	126.297
5	33.49	10.29	0.92	671.60	194.886	88.584
					Promedio	98.317
					Desv. Est.	16.467
					Coef. Var.	16.749

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 42. Ensayo de corte en madera de Laurel, en la superficie tangencial.

Muestra	Dimensiones del área de corte en mm		Área en cm <sup>2</sup>	Lectura manómetro	Carga en Libras	Esfuerzo de corte	
	área de corte en mm	mm				Lb/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
1	32.40	14.28	4.627	0.45	328.50	71.001	32.273
2	32.82	13.47	4.421	0.40	292.00	66.051	30.023
3	33.68	14.16	4.769	0.32	233.60	48.982	22.265
4	33.29	14.44	4.807	0.32	233.60	48.595	22.089
5	32.63	14.51	4.735	0.50	365.00	77.092	35.042
					Promedio	28.338	
					Desv. Est.	5.899	
					Coef. Var.	20.817	

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 43. Ensayo de corte en madera de Laurel, en la superficie longitudinal.

Muestra	Dimensiones del área de corte en mm		Área en cm <sup>2</sup>	Lectura nanómetro	Carga en Libras	Esfuerzo de corte	
	área de corte en mm	mm				Lb/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
1	33.50	13.28	4.449	0.48	350.40	78.763	35.801
2	33.51	13.72	4.598	0.40	292.00	63.512	28.869
3	33.10	13.10	4.336	0.32	233.60	53.873	24.488
4	32.43	13.09	4.245	0.43	313.90	73.944	33.611
5	33.03	12.85	4.244	0.40	292.00	68.797	31.271
					Promedio	30.808	
					Desv. Est.	4.379	
					Coef. Var.	14.214	

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 44. Ensayo de dureza en madera de Cenicero, en la superficie radial.

Muestra	Dimensiones en mm		Lectura deflectómetro	Superficie radial	
	52	152		Libras	kg
1	52	152	1.20	876.00	398.18
2	52	152	1.05	766.50	348.41
3	52	152	0.85	620.50	282.05
4	52	152	1.16	846.80	384.91
5	52	152	0.96	700.80	318.55
				Promedio	346.418
				Desv. Est.	47.660
				Coef. Var.	13.76

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 45. Ensayo de dureza en madera de Cenicero, en la superficie tangencial.

Muestra	Dimensiones en mm		Lectura deflectómetro	Superficie radial	
	52	152		Libras	kg
1	52	152	1.00	730.00	331.82
2	52	152	1.00	730.00	331.82
3	52	152	1.08	788.40	358.36
4	52	152	1.04	759.20	345.09
5	52	152	0.83	605.90	275.41
				Promedio	328.50
				Desv. Est.	31.65
				Coef. Var.	9.64

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 46. Ensayo de dureza en madera de Cenicero, en la superficie longitudinal.

Muestra	Dimensiones en mm		Lectura deflectómetro	Superficie radial	
	52	152		Libras	kg
1	52	152	0.95	693.50	315.23
2	52	152	1.04	759.20	345.09
3	52	152	1.00	730.00	331.82
4	52	152	1.22	890.60	404.82
5	52	152	1.02	744.60	338.45
				Promedio	347.08
				Desv. Est.	34.13
				Coef. Var.	9.83

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 47. Ensayo de dureza en madera de Irayol, en la superficie radial.

Muestra	Dimensiones en mm		Lectura deflectómetro	Superficie radial	
	52	152		Libras	kg
1	52	152	1.02	744.60	338.45
2	52	152	1.34	978.20	444.64
3	52	152	1.29	941.70	428.05
4	52	152	1.26	919.80	418.09
5	52	152	1.23	897.90	408.14
				Promedio	407.47
				Desv. Est.	40.87
				Coef. Var.	10.03

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 48. Ensayo de dureza en madera de Irayol, en la superficie tangencial.

Muestra	Dimensiones en mm		Lectura deflectómetro	Superficie radial	
	52	152		Libras	kg
1	52	152	1.20	876.00	398.18
2	52	152	1.29	941.76	428.05
3	52	152	1.22	890.60	404.82
4	52	152	1.01	737.30	335.14
5	52	152	1.09	795.70	361.68
				Promedio	385.57
				Desv. Est.	36.91
				Coef. Var.	9.57

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 49. Ensayo de dureza en madera de Irayol, en la superficie longitudinal.

Muestra	Dimensiones en mm		Lectura deflectómetro	Superficie radial	
	52	152		Libras	kg
1	52	152	1.39	1014.70	461.23
2	52	152	1.69	1233.70	560.77
3	52	152	1.66	1211.80	550.82
4	52	152	1.72	1255.60	570.73
5	52	152	1.70	1241.00	564.09
				Promedio	541.53
				Desv. Est.	45.46
				Coef. Var.	8.395

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 50. Ensayo de dureza en madera de Laurel, en la superficie radial.

Muestra	Dimensiones en mm	Lectura deflectómetro	Superficie radial	
			Libras	kg
1	52 52	0.91	664.30	301.95
2	52 52	0.66	481.80	219.00
3	52 52	0.65	474.50	215.68
4	52 52	0.61	445.30	202.41
5	52 52	0.61	445.30	202.41
			Promedio	228.29
			Desv. Est.	41.87
			Coef. Var.	18.34

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 51. Ensayo de dureza en madera de Laurel, en la superficie tangencial.

Muestra	Dimensiones en mm	Lectura deflectómetro	Superficie radial	
			Libras	kg
1	52 52	0.75	547.50	248.86
2	52 52	0.45	328.50	149.32
3	52 52	0.52	379.60	172.55
4	52 52	0.45	328.50	149.32
5	52 52	0.51	372.30	169.23
			Promedio	177.86
			Desv. Est.	41.15
			Coef. Var.	23.14

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 52. Ensayo de dureza en madera de Laurel, en la superficie longitudinal.

Muestra	Dimensiones en mm		Lectura deflectómetro	Superficie radial	
	52	152		Libras	kg
1	52	152	1.05	766.50	348.41
2	52	152	0.95	693.50	315.23
3	52	152	1.08	788.40	358.36
4	52	152	1.08	744.60	338.45
5	52	152	1.06	773.80	351.73
				Promedio	342.44
				Desv. Est.	16.82
				Coef. Var.	4.91

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 53. Ensayo de flexión estática en madera de Cenicero, en la superficie radial.

Muestra	Dimensiones de la probeta en cm		Esfuerzo máximo a flexión en lb	Módulo de ruptura en kg x cm-2
	5.1	76.2		
1	5.1	76.2	1700.00	665.83
2	5.1	76.0	1850.00	722.68
3	5.1	75.9	1700.00	663.21
			Promedio	683.90
			Desv. Estándar	33.60
			Coef. Variación	0.05

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 54. Ensayo de flexión estática en madera de Cenícero, en la superficie tangencial.

Muestra	Dimensiones de la probeta en cm		Esfuerzo máximo a flexión en lb	Esfuerzo máximo a flexión en kg	Módulo de ruptura en kg x cm-2
1	5.1	5.1	1800.00	818.182	704.994
2	5.1	5.1	2000.00	909.091	783.327
3	5.1	5.1	1950.00	886.364	763.744
				Promedio	750.69
				Desv. Est.	40.77
				Coef. Var.	0.05

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 55. Ensayo módulo de elasticidad en la flexión estática, en madera de Cenícero, en la superficie radial.

Muestra	Dimensiones de la probeta en cm		Carga en Límite Elástico		Deformación en Límite en mm	Momento de inercia en cm <sup>2</sup>	Módulo de Elasticidad kg x cm-2
1	5.1	5.1	1200.00	545.45	16.05	56.38	55565.822
2	5.1	5.1	1600.00	727.27	22.04	56.38	53528.589
3	5.1	5.1	1200.00	545.45	14.73	56.38	59832.955
					Promedio		56309.122
					Desv. Est.		3217.239
					Coef. Var.		5.714

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 56. Ensayo módulo de elasticidad en la flexión estática, en madera de Cenícero, en la superficie tangencial.

Muestra	Dimensiones de la probeta en cm		Cargas en Límite Elástico		Deformación en Límite	Momento de inercia	Módulo de Elasticidad
			en lb	en kg	en mm	en cm <sup>2</sup>	kg x cm <sup>-2</sup>
1	5.1	5.1	1200.00	545.45	15.75	56.38	55631.410
2	5.1	5.1	1200.00	545.45	15.49	56.38	57574.658
3	5.1	5.1	1200.00	545.45	14.22	56.38	62716.698
						Promedio	58974.26
						Desv. Est.	3275.19
						Coef. Var.	5.55

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 57. Ensayo de flexión estática en madera de Inayol, en la superficie radial.

Muestra	Dimensiones de la probeta en cm		Esfuerzo máximo a flexión		Módulo de ruptura
			en lb	en kg	en kg x cm <sup>-2</sup>
1	5.1	5.1	3300.00	1500.00	1292.489
2	5.1	5.1	3700.00	1681.82	1449.155
3	5.1	5.1	2400.00	1090.91	939.992
				Promedio	1227.21
				Desv. Estándar	260.78
				Coef. Variación	21.25

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 58. Ensayo de flexión estática en madera de Irayol, en la superficie tangencial.

Muestra	Dimensiones de la probeta en cm		Esfuerzo máximo a flexión en lb	Esfuerzo máximo a flexión en kg	Módulo de ruptura en kg x cm-2
1	5.1	5.1	3750.00	1704.55	1468.738
2	5.1	5.1	3500.00	1590.91	1370.822
3	5.1	5.1	3450.00	1568.18	1351.239
				Promedio	1396.93
				Desv. Estándar	62.95
				Coef. Variación	4.51

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 59. Ensayo del módulo de elasticidad en la flexión estática, en madera de Irayol, en la superficie radial.

Muestra	Dimensiones de la probeta en cm		Carga en Límite Elástico en lb	Carga en Límite en kg	Deformación en Límite en mm	Momento de inercia en cm2	Módulo de Elasticidad kg x cm-2
1	5.1	5.1	1600.00	727.27	7.62	56.38	156050.997
2	5.1	5.1	1600.00	727.27	5.43	56.38	218988.692
3	5.1	5.1	1200.00	545.45	5.96	56.38	149635.149
					Promedio	56.38	174891.95
					Desv. Est.	56.38	38323.36
					Coef. Var.	56.38	21.13

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 60. Ensayo del módulo de elasticidad en la flexión estática, en maderas de Inryol, en la superficie tangencial.

Muestra	Dimensiones de la probeta en cm		Carga en Límite Elástico		Deformación en Límite	Momento de inercia	Módulo de Elasticidad
	en lb	en kg	en mm	en mm	en cm <sup>2</sup>	en kg x cm <sup>-2</sup>	
1	5.1	76.2	2000.00	909.09	9.77	56.38	152137.743
2	5.1	76.0	2000.00	909.09	11.40	56.38	130384.715
3	5.1	75.9	2000.00	909.09	10.16	56.38	146297.810
					Promedio	142940.09	
					Desv. Est.	11258.52	
					Coef. Var.	7.88	

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 61. Ensayo de flexión estática en madera de Laurel, en la superficie radial.

Muestra	Dimensiones de la probeta en cm		Esfuerzo máximo a flexión		Módulo de ruptura
	en lb	en kg	en mm	en mm	en kg x cm <sup>-2</sup>
1	5.1	76.2	1600.00	727.27	626.661
2	5.1	76.0	2100.00	954.55	422.493
3	5.1	75.9	2250.00	568.18	489.579
			Promedio	646.25	
			Desv. Estándar	167.32	
			Coef. Variación	25.89	

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 62. Ensayo de flexión estática en madera de Laurel, en la superficie tangencial.

Muestra	Dimensiones de la probeta en cm	Esfuerzo máximo a flexión en lb	en kg	Módulo de ruptura en kg x cm-2
1	5.1	1900.00	863.64	744.161
2	5.1	1600.00	727.27	626.661
3	5.1	1500.00	681.82	587.495
			Promedio	652.77
			Desv. Estándar	81.53
			Coef. Variación	12.49

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 63. Ensayo del módulo de elasticidad en la flexión estática, en madera de Laurel, en la superficie radial.

Muestra	Dimensiones de la probeta en cm	Carga en Límite Elástico en lb	en kg	Deformación en Límite en mm	Momento de inercia en cm2	Módulo de Elasticidad kg x cm-2
1	5.1	1200.00	545.45	12.57	56.38	70949.200
2	5.1	1400.00	636.36	11.30	56.38	92076.990
3	5.1	800.00	363.64	8.73	56.38	68108.73
				Promedio		77043.64
				Desv. Est.		13096.72
				Coef. Var.		17.00

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 64. Ensayo del módulo de elasticidad en la flexión estática, en maderas de Laurel, en la superficie tangencial.

Muestra	Dimensiones de la probeta en cm		Carga en Límite Elástico		Deformación en Límite	Momento de inercia	Módulo de Elasticidad	
	en lb	en kg	en mm	en cm <sup>2</sup>	en mm	en cm <sup>2</sup>	kg x cm <sup>-2</sup>	
1	5.1	5.1	76.2	1200.00	545.45	9.14	56.38	97574.560
2	5.1	5.1	76.0	800.00	363.64	7.54	56.38	78853.360
3	5.1	5.1	75.9	800.00	363.64	7.23	56.38	82234.340
						Promedio		86220.75
						Desv. Estándar		9976.94
						Coef. Variación		11.57

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 64. Ensayo del módulo de elasticidad en la flexión estática, en maderas de Laurel, en la superficie tangencial.

Muestra	Dimensiones de la probeta en cm		Carga en Límite Elástico		Deformación en Límite en mm	Momento de inercia en cm <sup>2</sup>	Módulo de Elasticidad kg x cm <sup>-2</sup>
	5.1	5.1	en lb	en kg			
1	5.1	76.2	1200.00	545.45	9.14	56.38	97574.560
2	5.1	76.0	800.00	363.64	7.54	56.38	78853.360
3	5.1	75.9	800.00	363.64	7.23	56.38	82234.340
						Promedio	86220.75
						Desv. Estándar	9976.94
						Coef. Variación	11.57

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 65. Encogimiento para algunas maderas importadas dentro de los Estados Unidos.

Nombre	Encogimiento (%) desde el contenido de humedad de madera verde a madera seca al horno			Origen
	Radial	Tangencial	Volumétrico	
<i>Ceiba pentandra</i>	2.1	4.1	10.4	América Tropical
<i>Swietenia macrophylla</i>	3.0	4.1	7.8	América Tropical
<i>Virola</i> spp.	4.6	8.8	13.7	América Tropical
<i>Pinus caribaea</i>	6.3	7.8	12.9	América Tropical
<i>Pinus oocarpa</i>	4.6	7.5	12.3	América Tropical
<i>Ceiba pentandra</i>	2.1	4.1	10.4	América Tropical
<i>Araucaria angustifolia</i>	4.0	7.9	11.6	Asia y Oceanía
<i>Aspidosperma</i> spp.	3.8	6.4	11.6	América Tropical
<i>Gmelina arborea</i>	2.4	4.9	8.8	Asia y Oceanía
<i>Cybistax donnell-smithii</i>	3.1	5.1	9.1	América Tropical
<i>Quercus</i> spp.	6.4	11.7	18.5	América Tropical
<i>Hevea brasiliensis</i>	2.3	5.1	7.4	América Tropical
<i>Cedrela</i> spp.	4.2	6.3	10.3	América Tropical
<i>Tectona grandis</i>	2.5	5.8	7.0	Asia y Oceanía

(Forest Products Laboratory, USDA Forest Service, 1999)

Cuadro 67. Determinación del porcentaje de humedad de la madera de: Cenicero, Insiyol y Laurel.

Muestra	Peso en Gramos											
	Cenicero				Insiyol				Laurel			
	Verde	Seco	% Humedad	Verde	Seco	% Humedad	Verde	Seco	% Humedad	Verde	Seco	% Humedad
1	6.01	3.69	62.87	5.35	2.98	79.50	3.64	2.22	64.00			
2	6.26	3.98	57.29	5.26	2.74	92.00	3.81	2.33	63.05			
3	6.05	3.85	57.14	5.60	3.03	84.80	4.10	2.35	74.50			
4	5.65	3.64	55.22	5.58	3.13	78.30	3.39	2.01	68.70			
5	6.32	3.94	60.41	5.55	3.05	82.00	2.98	1.79	66.50			
6	6.31	3.98	58.54	5.39	2.83	90.50	2.91	1.84	58.20			
7	5.81	3.68	57.88	5.57	3.39	64.30	3.04	1.91	59.20			
8	5.90 sin	3.75	57.33	4.91	2.63	86.70	3.04	1.86	63.40			
9	5.70	3.63	57.02	5.69	3.38	68.30	3.32	2.00	66.00			
10	5.77	3.66	57.65	5.54	3.16	75.30	3.50	2.01	74.01			
		Promedio	58.14			80.20			65.80			
		Desv. Est.	2.11			9.00			5.50			
		Coef. Var.	3.63			11.20			8.30			

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 69. Contracción dimensional de la madera de Irayol.

Muestra	Dimensiones Madera Verde		Dimensiones madera seca al horno		Contracción Dimensional en %					
	Radial	Tangencial	Longitudinal	Radial	Tangencial	Longitudinal				
1	7.167	7.767	48.00	6.400	6.933	47.900	10.70	10.70	0.21	
2	7.000	7.833	48.950	6.367	6.967	48.250	9.05	11.10	1.43	
3	8.000	8.000	48.000	7.167	7.133	47.500	10.42	10.80	1.04	
4	7.600	8.000	48.250	6.833	7.500	47.750	10.09	6.30	1.04	
5	8.100	7.667	49.000	7.467	7.033	49.000	7.82	8.3	0.00	
6	7.667	8.167	49.000	6.700	7.333	48.500	12.61	10.20	1.02	
7	8.000	8.400	49.000	7.000	7.833	48.350	12.50	6.70	1.33	
8	7.000	8.000	47.500	6.167	7.000	47.500	11.90	12.50	0.00	
9	8.000	8.333	47.200	7.167	7.700	47.000	10.42	7.60	0.42	
10	7.667	7.833	48.500	7.167	7.300	48.300	6.52	6.80	0.41	
*Medidas en mm							Promedio	10.2	9.10	0.69
							Des. Est.	2.00	0.32	0.59
							Coef Var.	19.30	3.50	85.03

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 69. Contracción dimensional de la madera de Ireyol.

Muestra	Dimensiones Madera Verde		Dimensiones madera seca al homo		Contracción Dimensional en %				
	Radial	Tangencial	Longitudinal	Radial	Tangencial	Longitudinal			
1	7.167	7.767	48.00	6.400	6.933	47.900	10.70	10.70	0.21
2	7.000	7.833	48.950	6.367	6.967	48.250	9.05	11.10	1.43
3	8.000	8.000	48.000	7.167	7.133	47.500	10.42	10.80	1.04
4	7.600	8.000	48.250	6.833	7.500	47.750	10.09	6.30	1.04
5	8.100	7.667	49.000	7.467	7.033	49.000	7.82	8.3	0.00
6	7.667	8.167	49.000	6.700	7.333	48.500	12.61	10.20	1.02
7	8.000	8.400	49.000	7.000	7.833	48.350	12.50	6.70	1.33
8	7.000	8.000	47.500	6.167	7.000	47.500	11.90	12.50	0.00
9	8.000	8.333	47.200	7.167	7.700	47.000	10.42	7.60	0.42
10	7.667	7.833	48.500	7.167	7.300	48.300	6.52	6.80	0.41
			*Medidas en mm			Promedio	10.2	9.10	0.69
						Des. Est.	2.00	0.32	0.59
						Coef Var.	19.30	3.60	85.03

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 70. Contracción dimensional de la madera de Laurel.

Muestra	Dimensiones Madera Verde			Dimensiones madera seca al horno			Contracción Dimensional en %			
	Radial	Tangencial	Longitudinal	Radial	Tangencial	Longitudinal	Radial	Tangencial	Longitudinal	
1	7.300	7.00	48.45	6.367	6.000	48.00	12.8	14.30	0.90	
2	7.000	7.00	49.45	6.233	6.000	48.90	11.00	14.30	1.10	
3	7.267	6.467	48.95	6.367	5.933	48.75	12.14	8.20	0.40	
4	7.033	6.167	48.40	5.800	5.433	48.20	17.50	11.90	0.40	
5	6.000	5.533	48.75	5.467	5.167	48.65	8.90	6.60	0.20	
6	6.000	5.200	48.75	5.500	4.700	48.45	8.30	9.60	0.60	
7	6.033	5.167	48.80	5.367	4.867	48.50	11.00	5.80	0.60	
8	6.033	5.167	48.95	5.500	4.533	48.50	8.80	12.30	0.90	
9	6.400	5.167	48.95	5.633	4.533	48.50	12.00	12.30	0.90	
10	6.633	5.333	48.90	6.000	4.667	48.50	9.50	12.50	0.80	
	*Medidas en mm						Promedio	11.20	10.80	0.70
							Des. Est.	0.40	0.60	0.30
							Coef. Var.	3.50	5.70	36.70

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 71. Contracción volumétrica madera de Cenicero.

Muestra	Volumen en ml		Contracción Volumétrica
	Verde	Seca al horno	
1	6.50	6.0	7.69
2	7.00	6.5	7.14
3	7.80	6.5	16.67
4	7.50	6.5	13.33
5	7.00	6.4	8.57
6	7.00	6.5	7.14
7	7.50	6.5	13.33
8	6.50	6.0	7.69
9	6.50	5.5	15.38
10	6.50	5.5	15.38
		Promedio	11.23
		Des. Est.	3.92
		Coef. Var.	34.91

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 72. Contracción volumétrica madera de Irayol

Muestra	Volumen en ml		Contracción Volumétrica
	Verde	Seca al horno	
1	6.50	5.00	23.08
2	6.00	5.00	16.67
3	7.00	6.50	7.14
4	7.00	6.00	14.29
5	7.00	6.00	14.29
6	6.00	5.50	8.33
7	7.00	6.00	14.29
8	6.00	5.50	8.33
9	6.00	5.50	8.33
10	6.50	6.00	7.69
		Promedio	12.24
		Des. Est.	5.19
		Coef. Var.	42.36

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro 73. Contracción volumétrica maderas de Laurel

Muestra	Volumen en ml		Contracción Volumétrica
	Verde	Seca al horno	
1	5.0	4.5	10.00
2	5.5	5.0	9.09
3	6.0	5.5	8.33
4	7.0	6.0	14.29
5	7.0	6.0	14.29
6	6.0	5.5	8.33
7	7.0	6.0	14.29
8	6.5	5.5	15.38
9	6.0	5.5	8.33
10	6.0	5.5	8.33
		Promedio	11.07
		Des. Est.	3.07
		Coef. Var.	27.71

(Fuente: elaboración propia)