

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la obtención
del título de Ingeniero Forestal.

**ESTUDIO TECNOLÓGICO DE LA MADERA DE
Liquidambar styraciflua L. PROVENIENTE DE
PLANTACIONES ESTABLECIDAS EN LA ESTACIÓN
EXPERIMENTAL LA FAVORITA**

AUTOR:

Kevin Andrés Vega Cruz

DIRECTOR:

Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs.

IBARRA – ECUADOR

2020

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

ESTUDIO TECNOLÓGICO DE LA MADERA DE *Liquidambar styraciflua* L. PROVENIENTE DE PLANTACIONES ESTABLECIDAS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA FAVORITA

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la presentación como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADO

Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs.
Director de trabajo de titulación



Firmado electrónicamente por:
**JOSE GABRIEL
CARVAJAL
BENAVIDES**

.....

Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc.
Tribunal de trabajo de titulación

.....

Ing. Hugo Vinicio Vallejos Álvarez, Mgs.
Tribunal de trabajo de titulación

.....

Ibarra – Ecuador

2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
Cédula de ciudadanía:	100509604-3		
Nombres y apellidos:	Kevin Andrés Vega Cruz		
Dirección:	Otavalo		
Email:	vegakevin2013@gmail.com		
Teléfono fijo:	062 528 199	Teléfono celular:	0985847870

DATOS DE LA OBRA	
Título:	ESTUDIO TECNOLÓGICO DE LA MADERA DE <i>Liquidambar styraciflua</i> L. PROVENIENTE DE PLANTACIONES ESTABLECIDAS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA FAVORITA
Autor:	Kevin Andrés Vega Cruz
Fecha:	9 de noviembre de 2020
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
Programa:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
Título por el que opta:	Ingeniero Forestal
Director:	Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs.

2. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto, la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que se asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 9 días del mes noviembre de 2020

EL AUTOR:

.....

Kevin Andrés Vega Cruz

C.C.: 100509604 - 3

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA – UTN

Fecha: 9 de noviembre de 2020

Kevin Andrés Vega Cruz: **ESTUDIO TECNOLÓGICO DE LA MADERA DE *Liquidambar styraciflua* L. PROVENIENTE DE PLANTACIONES ESTABLECIDAS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA FAVORITA;** Trabajo de titulación. Ingeniera Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 9 de noviembre de 2020, 123 páginas.

DIRECTOR: Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Estudiar las propiedades tecnológicas de la madera de *Liquidambar styraciflua* L. proveniente de plantaciones establecidas en la Estación Experimental “La Favorita”. Entre los objetivos específicos se encuentran: Determinar las propiedades físicas de la especie. Analizar el comportamiento de la madera a los esfuerzos mecánicos. Evaluar las propiedades de trabajabilidad y usos de la madera de esta especie.

Fecha: Ibarra, 9 de noviembre de 2020



Firmado electrónicamente por:
**JOSE GABRIEL
CARVAJAL
BENAVIDES**

.....
Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs.

Director de trabajo de titulación

.....

Kevin Andrés Vega Cruz

Autor

DEDICATORIA

Esta investigación va dedicada

Con mucho cariño a mi padre, a mi hermana, mi madre y a todas esas personas que siempre estuvieron prestas a brindarme una mano en todo instante, sin importar la situación ni el lugar en donde me encuentre.

En especial a mi Padre Luis Vega quien ha sido siempre el eje fundamental de mi vida,, gracias por enseñarme a nunca rendirme ante las adversidades de la vida, por inculcar en mí, todos los valores para llegar a ser una persona de bien, por toda la paciencia, los consejos, los desvelos y ese apoyo incondicional que me brinda día a día a lo largo de este camino, para que pueda ir cumpliendo cada una de mis metas y por todo ese esfuerzo y sacrificio que ha hecho para que logrará culminar mi carrera profesional.

A la Licenciada Lourdes Carrera quien ha sido un pilar fundamental para continuar y culminar la carrera, debido a que nunca recibí un no por respuesta, por su gran amistad con la cual siempre supo guiarme en cada proceso administrativo y sobre todo por haberme brindado su ayuda cuando más lo necesité.

Al Ingeniero Carlos Boada quien siempre me brindo un consejo, ayuda desinteresada, una charla amena en todo momento, su gran amistad, asistencia durante toda la carrera y apoyo permanente en todo el proceso de la presente investigación.

A mis queridos abuelitos que me cuidan desde el cielo a José Vega y María Maldonado que son un gran ejemplo de vida para mí y la esencia de mi vida.

Para una mujer increíble, quien ha sido mi soporte, mi incondicional, una gran guía, una gran consejera, una persona especial en quien siempre puedo confiar y con quien siempre puedo contar, palabras y texto es lo que más me faltaría para expresar cuan agradecido estoy, por todo, este último párrafo contiene tu nombre, al igual que la investigación parte de tu esencia, es por eso y por muchas cosas más que esta investigación también va dedicada con mucho cariño para ti Nathaly...

AGRADECIMIENTO

Agradezco por sobre todas las cosas:

Al padre todo poderoso que conocemos como Dios por haberme brindado la guía adecuada en el transcurso de mi camino, por ayudarme a culminar mi carrera y por siempre colmarme de su luz.

A la Universidad Técnica del Norte, por brindarme la oportunidad de formar parte de la gran carrera de Ingeniería Forestal.

A los ingenieros: Jorge Ramírez; Gabriel Carvajal y Hugo Vallejos; por su valiosa colaboración, participación, guía, paciencia y grandes consejos que me brindaron como director y asesores del trabajo de titulación.

Al ingeniero Hugo Paredes por su apoyo, consejos y disposición continua de ayudarme con el espacio para efectuar los ensayos de esta investigación.

Al MAE de Imbabura, Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas por abrirme las puertas amablemente de la institución en todo momento, brindándome ayuda y asistencia técnica en todo proceso legal-ambiental de esta investigación

Al ingeniero Rolendio Montenegro, al dasónomo Alberto Vásquez, al ingeniero Luis Reyna y al ingeniero Jorge Lituma cada uno pertenecientes a los MAE de sus provincias, por toda la ayuda en trámites legales-ambientales y por la asistencia técnica brindada en campo.

Al ingeniero Manuel Rosero por su inmensa colaboración en todos los procesos, las asesorías, la asistencia técnica en campo a lo largo de toda esta investigación, por la contribución en establecer comunicación interinstitucional entre el MAE de Imbabura, Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas.

A los hermanos Miguel y Washington Samaniego por la ayuda logística y técnica en transportes.

Al licenciado Napoleón Gualpa por la amistad y la colaboración en la movilización y transporte de la madera desde la Estación Experimental “La Favorita” hacia la Granja Experimental Yuyucocha.

A Jonathan Ruiz y Andrea Sevilla por ayudarme en todo momento incondicionalmente, por todos los consejos, los viajes, por apoyarme en todo el desarrollo de esta investigación, por todo, un gracias no me bastaría, por ser más que mis amigos, por ser mis hermanos.

A la toda la familia Vizcaíno Pantoja y a la ingeniera María Vizcaíno por siempre haberme recibido con los brazos abiertos en todo momento, por el apoyo incondicional en momentos de crisis, por los consejos, la paciencia, el cariño y por siempre hacerme parte de su familia, mi gratitud eterna y mi cariño más sincero.

A mis amistades por siempre estar pendientes de mí, por todas las risas y los gratos recuerdos que hemos construido a, Gaby, Inty, Jesús, Daniela, Edison, Bryan, Isaac, Alexander, Mario, Brenda, Francis, Sergio, Silvia, Ronny, Jonathan G, Anabel, Francisco, Dayana, Álvaro, Elvis, Frank y a todos los que colaboraron con la investigación de manera directa o indirecta, a todos ustedes un Dios les pague por todo...

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
APROBACIÓN	ii
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN.....	iii
REGISTRO BIBIOGRÁFICO	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ABREVIATURAS	XII
RESUMEN	xv
ABSTRACT	XVI
CAPITULO I	
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS:.....	3
1.1.1 <i>General.</i>	3
1.1.2 <i>Específicos.</i>	3
1.2 PREGUNTAS DIRECTRICES.	3
CAPITULO II	
2 MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 FUNDAMENTACIÓN LEGAL	4
2.1.1 <i>Constitución de la República del Ecuador</i>	4
2.1.2 <i>Código Orgánico Ambiental (COA).</i>	4
2.1.3 <i>Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021</i>	5
2.1.4 <i>Código de ética de la Universidad Técnica del Norte</i>	5
2.1.5 <i>Línea de investigación.</i>	5
2.1.6 <i>Propiedades de la madera.</i>	5

2.1.7	<i>Propiedades físicas</i>	8
2.1.8	<i>Propiedades Mecánicas</i>	13
2.1.9	<i>Propiedades de Trabajabilidad</i>	19
2.1.10	<i>Características de Liquidambar styraciflua</i>	26
2.1.11	<i>Normas INEN, COPANT y ASTM</i>	31
CAPITULO III		
3	MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1	UBICACIÓN DEL SITIO.....	33
3.1.1	<i>Fase de campo</i>	33
3.1.2	<i>Fase de laboratorio</i>	33
3.2	MATERIALES, EQUIPOS, MAQUINARIA, MATERIAL VEGETATIVO E INSUMOS	34
3.3	METODOLOGÍA.....	34
3.3.1	<i>Sitio y obtención de material</i>	35
3.3.2	<i>Obtención del material experimental</i>	37
3.3.3	<i>Determinación de las propiedades físicas</i>	38
3.3.4	<i>Determinación de las propiedades mecánicas</i>	45
3.3.5	<i>Determinación de las propiedades de trabajabilidad</i>	49
3.3.6	<i>Evaluación de los ensayos</i>	56
CAPITULO IV		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		58
4.1	PROPIEDADES FÍSICAS.....	58
4.1.1	<i>Contenido de Humedad</i>	58
4.1.2	<i>Densidad</i>	60
4.1.3	<i>Contracción</i>	61
4.2	RESULTADOS DE PROPIEDADES MECÁNICAS	63
4.2.1	<i>Compresión paralela</i>	63
4.2.2	<i>Compresión perpendicular</i>	64
4.2.3	<i>Flexión Estática</i>	65
4.2.4	<i>Cizallamiento</i>	66
4.3	RESULTADOS DE PROPIEDADES DE TRABAJABILIDAD	67
4.3.1	<i>Cepillado</i>	68
4.3.2	<i>Lijado</i>	69

4.3.3	<i>Moldurado</i>	72
4.3.4	<i>Taladrado</i>	74
4.3.5	<i>Torneado</i>	75
4.3.6	<i>Tallado</i>	75
4.4	USOS PROBABLES	77
CAPITULO V		
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5.1	CONCLUSIONES	79
5.2	RECOMENDACIONES	79
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	80
	ANEXOS	88

Índice de Tablas

Tabla 1	Clasificación de madera según la densidad	11
Tabla 2	Clasificación de contracciones de la madera.....	12
Tabla 3	Rangos de clasificación de contracción, relación T/R.....	12
Tabla 4	Rangos de clasificación de Flexión estática	15
Tabla 5	Clasificación de esfuerzos MOR	15
Tabla 6	Clasificación de esfuerzos MOE	16
Tabla 7	Parámetros de clasificación de compresión paralela	17
Tabla 8	Clasificación de resistencia al cizallamiento.....	19
Tabla 9	Normas empleadas: INEN, COPANT y ASTM.....	31
Tabla 10	Descripción de materiales, equipos e instrumentos.....	34
Tabla 11	Cuadro de normas para propiedades físicas	38
Tabla 12	Probetas para ensayos de propiedades mecánicas	45
Tabla 13	Probetas y ensayos de propiedades de trabajabilidad.....	49
Tabla 14	Clasificación en base a la extensión del defecto	57
Tabla 15.	Estadística Descriptiva del Contenido de Humedad.	58
Tabla 16.	Peso Promedio de estado Verde a estado Seco al Ambiente.....	59
Tabla 17.	Estadística Descriptiva de la Densidad.	60
Tabla 18.	Estadística Descriptiva de Contracción.....	61
Tabla 19.	Estadística descriptiva de Compresión Paralela.....	63
Tabla 20.	Estadística descriptiva de Compresión Perpendicular.....	64
Tabla 21.	Estadística descriptiva de Flexión Estática.	65
Tabla 22.	Estadística descriptiva de Cizallamiento.....	66
Tabla 23.	Cuadro Resumen de Ensayos de Trabajabilidad.....	67

Índice de Figuras

Figura 1. Estructura macroscópica de la madera.....	7
Figura 2. Plano de cortes y caras.....	7
Figura 3. Relación T/R.	12
Figura 4. Ensayo de flexión de estática.....	14
Figura 5. Ensayo de compresión paralela a la fibra.	17
Figura 6. Ensayo de compresión perpendicular a la fibra.	18
Figura 7. Ensayo de cizallamiento o cizalle.....	19
Figura 8. Perfil de una cuchilla.	22
Figura 9. Moldurado longitudinal.	23
Figura 10. Moldurado transversal.	24
Figura 11. Forma de grano arrancado en probeta de Liquidámbar.	27
Figura 12. Forma de grano vellosa en probeta de Liquidámbar.	27
Figura 13. Forma de grano levantado en probeta de Liquidámbar.	27
Figura 14. Combinación de los tres tipos de grano en probeta de Liquidámbar.....	28
Figura 15. Cortes Para Obtención de Probetas.....	36
Figura 16. Probetas Para la Determinación de Propiedades Físicas.	38
Figura 17. Probetas para Ensayos de Flexión Estática.....	47
Figura 18. Tipos de Corte Según la Orientación.....	50
Figura 19. Dimensión de las Probetas Para Ensayos de Cepillado.....	51
Figura 20. Dimensión de Probeta Destinada a Ensayos de Lijado.....	52
Figura 21. Dimensión de probeta destinada a ensayos de moldurado.....	53
Figura 22. Dimensión de probeta destinada a ensayos de moldurado.....	54
Figura 23. Probeta para ensayos de Torneado.....	55
Figura 24. Comportamiento del Contenido de Humedad.	58
Figura 25. Curva de Desorción.	59
Figura 26. Comportamiento de la Densidad.....	60
Figura 27. Comportamiento de la Contracción.	62
Figura 28. Comportamiento de la Compresión Paralela.	63
Figura 29. Comportamiento de la Compresión Paralela.	64
Figura 30. Comportamiento de la Flexión Estática.....	65
Figura 31. Comportamiento de la Madera ante el Cizallamiento.	66
Figura 32. Defectos del Ensayo de Cepillado.	68

Figura 33. Defectos del Ensayo de Lijado (Lija N 60).	69
Figura 34. Defectos del Ensayo de Lijado (Lija N 100).	71
Figura 35. Defectos del Ensayo de Moldurado.	72
Figura 36. Defectos del Ensayo de Taladrado.....	74
Figura 37. Defectos del Ensayo de Torneado.	75
Figura 38. Defectos del Ensayo de Tallado.....	76

ABREVIATURAS

ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Ensayo y Materiales).

COPANT: Comisión Panamericana de Normas Técnicas.

CH: Contenido de humedad.

DAP: Diámetro a la altura del pecho, 1,30 metros desde la base del árbol.

EELF: Estación Experimental “La Favorita”.

EFLP: Esfuerzo al límite proporcional.

EM: Esfuerzo máximo.

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

INEFAN: Instituto Nacional Ecuatoriano de Áreas Naturales y Vida Silvestre.

MOR: Módulo de ruptura.

MOE: Módulo de elasticidad.

PSF: Punto de saturación de las fibras.

PV: Peso de la madera en verde.

PS: Peso de la madera seca (ambiente).

PSH: Peso de la madera seca al horno (anhidro).

OIMT: Organización Internacional de Maderas Tropicales.

TITULO: ESTUDIO TECNOLÓGICO DE LA MADERA DE *Liquidambar styraciflua* L.
PROVENIENTE DE PLANTACIONES ESTABLECIDAS EN LA ESTACIÓN
EXPERIMENTAL LA FAVORITA

Autor: Kevin Andrés Vega Cruz

Director de trabajo de titulación: Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs.

Año: 2020

RESUMEN

Dentro de la historia forestal del Ecuador, en la Estación Experimental “La Favorita” de propiedad de la Universidad Técnica del Norte, entre 1946 y 1947 se inició el establecimiento de ensayos para plantaciones con diversas especies, entre ellas *Liquidambar styraciflua* L. Por lo cual se planteó realizar un estudio tecnológico de la madera, con el objetivo de evaluar las propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad de la especie. Para las fases de aprovechamiento y ensayos se emplearon las normas ASTM, COPANT e INEN. La preparación de las probetas, la determinación de propiedades físicas y de trabajabilidad se efectuaron en la central maderera y en el laboratorio de Anatomía de la madera y Xiloteca de la UTN; las pruebas mecánicas se realizaron en el laboratorio de análisis de suelos y materiales del Gobierno Provincial de Imbabura (GPI), el ensayo de tallado se lo realizó en el Instituto de Artes Plásticas “Daniel Reyes” en San Antonio de Ibarra. El contenido de humedad fue de 69,01%, con una densidad básica de 0,50gr/cm³, la contracción volumétrica total de 17,51% y relación tangencial-radial de 3,03%, en cizallamiento un EM de 88,65 Kgf/cm², en compresión paralela un EFLP de 160,30 Kgf/cm² y en compresión perpendicular un EFLP de 323,15 Kgf/cm² respectivamente, y en lo que corresponde a flexión estática un EULP de 831,84 kgf/cm²; un MOR de 1073,89 kgf/cm² y un MOE de 12325, 87 kgf/cm².

Palabras clave: flexión, estudio tecnológico de la madera, contracción, esfuerzo.

TITLE: TECHNOLOGICAL STUDY OF THE WOOD OF *Liquidambar styraciflua* L.
FROM PLANTATIONS ESTABLISHED IN LA FAVORITA EXPERIMENTAL STATION

Author: Kevin Andrés Vega Cruz

Thesis Director: Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs.

Year: 2020

ABSTRACT

Within the forest history of Ecuador in the Experimental Station "La Favorita" owned by the Technical University of the North, between 1946 and 1947 the establishment of tests for plantations with various species began, among them *Liquidambar styraciflua* L. Was proposed to carry out a technological study of the wood, to evaluate, its physical, mechanical and workability properties of the species. For the exploitation and testing phases, the ASTM, COPANT and INEN standards were used. The preparation of the specimens, the determination of physical properties and workability were carried out in the logging plant and in the Laboratory of Anatomy of wood and Xiloteca of the UTN; The mechanical tests were carried out in the soil and materials analysis laboratory of the Provincial Government of Imbabura (GPI), the carving test was carried out at the "Daniel Reyes" Institute of Plastic Arts in San Antonio de Ibarra. The moisture content was 69.01%, with a basic density of $0.50\text{gr} / \text{cm}^3$, the total volumetric contraction of 17.51% and a tangential-radial ratio of 3.03%, in shear an EM of $88.65 \text{Kgf} / \text{cm}^2$, in parallel compression an EFLP of $160.30 \text{Kgf} / \text{cm}^2$ and in perpendicular compression an EFLP of $323.15 \text{Kgf} / \text{cm}^2$ respectively, and in what corresponds to static flexion an EULP of $831.84 \text{kgf} / \text{cm}^2$; a MOR of $1073.89 \text{kgf} / \text{cm}^2$ and an MOE of $12325.87 \text{kgf} / \text{cm}^2$.

Key words: bending, technological study of wood, contraction, stress.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La madera es sustancial para el mundo por diversas razones. La madera es un combustible, un material y la columna vertebral del ecosistema forestal. La demanda de madera también es la demanda de bosques, por ende, la calidad de la madera está relacionada con las cualidades que posee un bosque o una plantación. El efecto de la tasa de crecimiento forestal en la calidad de la madera es de interés para los proveedores, procesadores y consumidores de madera (Jeffries, 2008). Los bosques que lograban suministrar grandes piezas uniformes y grandes cantidades de madera han disminuido a lo largo de la historia registrada (Perlin, 1989).

En Ecuador, la industria maderera nació; con la firma pionera o precursora de esta iniciativa Plywood ecuatoriana en el año de 1962 a 1963 (Chávez, 2003; citado por Peralta, 2009). Desde aquel entonces hasta la actualidad operan diversas empresas e industrias madereras, que se dedican a la elaboración de tableros, aglomerados, molduras, puertas, muebles y otros artículos provenientes de la madera, la cual es considerada como principal materia prima, lo que ha generado un abuso excesivo de los bosques a lo largo de los años (Peralta, 2009).

La industria forestal-maderera ecuatoriana se ha desarrollado de manera desigual. Los demás segmentos industriales madereros han alcanzado diversos niveles tecnológicos dependiendo del tamaño de la empresa y el tipo de mercado de sus productos (Vásquez E., 2007). Para Meneses (2013), en Ecuador los escasos valores que los propietarios brindan a un bosque o plantación, acompañado de una falta de cultura forestal desde el punto de vista internacional, han recaído en el abuso y explotación de las especies conocidas como comerciales, debido al desconocimiento de los diversos usos posibles de las distintas especies forestales que posee el país.

Liquidambar styraciflua L. (sweetgum), Altingiaceae, crece naturalmente en muchos estados de los EE. UU. Crece a lo largo de la costa atlántica, así como en México y los países centroamericanos de Guatemala, Belice, El Salvador, Honduras y Nicaragua (Kormanik, 1977). La distribución de la misma no se limita al continente americano, sino que su distribución crece en parte de Europa, en un Asia Menor (Anatolia-Turquía) y al

este de la misma (Webb et al., 1984). Existen limitados estudios que se quedaron plasmadas en memorias en donde la presencia de esta especie se evidencia en países como Colombia, Chile y Ecuador dentro del proyecto ITTO PD25/93 auspiciado por la Organización Internacional de Maderas Tropicales (Aguirre C., 2000).

En la Estación Experimental La Favorita de propiedad de la Universidad Técnica del Norte entre 1946 y 1947 se inició el establecimiento de ensayos para plantaciones con diversas especies, entre ellas *Liquidambar*. Posteriormente en la década de los 90s, el Proyecto “Evaluación del Progreso del Ecuador hacia el cumplimiento de la meta año 2000”, evaluó con el auspicio de la Organización Internacional de Maderas Tropicales (OIMT), en el marco de fortalecimiento del desaparecido Instituto Nacional Ecuatoriano de Áreas Naturales y Vida Silvestre (INEFAN), la introducción de especies tropicales de diferentes países con el fin de que puedan ser manejadas a futuro con fines maderables y comerciales además de la evaluación de plantaciones ya existentes (Aguirre y Vizcaíno, 2010).

En el caso de *Liquidambar styraciflua* L. se evidencia una fase inconclusa, debido a que los datos obtenidos en las evaluaciones dasométricas realizadas en la década de los 90s, no han sido registradas o se desconoce alguna base de datos existente, debido a que la información obtenida sobre la especie desapareció en conjunto con el antiguo INEFAN (Vásquez E., comunicación personal, 2019). El antiguo director del MAE de Pichincha el dasónomo Vásquez A, (2019) menciona la existencia de plantaciones sobremaduras como es el caso de *Liquidambar styraciflua* L., que desde su experiencia en la Estación Experimental “La Favorita”; se evidencia la caída de los árboles por el pasar de los años, este problema se profundiza al no existir información precisa sobre las cualidades de la madera de esta especie que permita su correcto aprovechamiento y posibles usos.

Esta investigación tiene como objetivo principal dar a conocer las propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad de *Liquidambar styraciflua* L en su desarrollo en Ecuador dentro de la Estación Experimental “La Favorita”, con el fin de describir la calidad de la madera y los posibles usos que puede poseer como: artesanal, semi-industrial e industrial, además de dar a conocer las distintas formas de transformación que se podrá dar a la madera como uso alternativo a las especies comerciales que se usan en San Antonio de Ibarra.

1.1 Objetivos:

1.1.1 General.

Estudiar las propiedades tecnológicas de la madera de *Liquidambar styraciflua* L. proveniente de plantaciones establecidas en la Estación Experimental La Favorita, para determinar posibles usos.

1.1.2 Específicos.

- Determinar la densidad, contracción y contenido de humedad que tiene la madera de esta especie.
- Analizar el comportamiento de la madera a los esfuerzos de flexión, compresión y cizallamiento.
- Evaluar las propiedades de trabajabilidad y posibles usos de la madera de esta especie, en conjunto con artesanos y el Instituto de Artes Plásticas “Daniel Reyes”.

1.2 Preguntas directrices.

¿Qué propiedades físicas posee la madera de *Liquidambar styraciflua*?

¿Cuáles son las propiedades mecánicas que posee la madera de *Liquidambar styraciflua*?

¿Cuál es la reacción de la madera de *Liquidambar styraciflua* al esfuerzo mecánico?

¿Qué características de trabajabilidad tiene la madera de *Liquidambar styraciflua*?

¿Cuáles son los usos probables de *Liquidambar styraciflua*?

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentación legal

2.1.1 Constitución de la República del Ecuador

En el **Art. 71** menciona que la naturaleza, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete íntegramente su existencia y el mantenimiento; además en el **Art. 82** menciona que como responsabilidades de los ecuatorianos el respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible, así como también en el **Art. 395** El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras, además en el **Art. 406** en su la parte pertinente menciona que el Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable de los ecosistemas (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

2.1.2 Código Orgánico Ambiental (COAM).

Art. 119.- Las plantaciones forestales y sistemas agroforestales de producción constituirán medios para aliviar la presión sobre los bosques naturales, por la demanda de madera y sus derivados.

Art. 137.- La Autoridad Ambiental Nacional y la Autoridad Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, en sus respectivos ámbitos de competencia, diseñarán e implementarán planes, programas o proyectos especiales en el territorio para brindar a los actores forestales información, asistencia técnica y servicios de extensión en materia de manejo forestal sostenible, prevención y control de plagas forestales, restauración ecológica, reforestación con fines de conservación y plantaciones de producción. Igualmente lo harán con relación a la creación de programas especiales de apoyo a las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades, así como a pequeños y medianos productores forestales.

2.1.3 Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021

La investigación se enmarca en la línea de investigación de la carrera de Ingeniería Forestal de la UTN: Producción y protección sustentable de los recursos forestales. Esta línea de investigación a su vez se sustenta en el objetivo 5 del Plan Nacional de desarrollo (2017-2021) (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017, pág. 80), en la política y lineamiento estratégico 5.10 del mismo objetivo:

Objetivo 5: Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria.

2.1.4 Código de ética de la Universidad Técnica del Norte

Art 1.- El código de ética tiene como finalidad contribuir al mejoramiento del comportamiento de los integrantes de la comunidad dentro y fuera de la Universidad, valorando el talento para que asuma sus responsabilidades bajo los principios de eficacia, calidad y transparencia.

2.1.5 Línea de investigación

El estudio se enmarca en la línea dos de la Universidad Técnica del Norte: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible.

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Propiedades de la madera.

2.2.1.1 Características de la madera

La madera es un material de origen vegetal, compacto y fibroso, anisotrópico, higroscópico, heterogéneo, poroso, está constituido por células muertas, biodegradable y combustible (Norma Ecuatoriana de Construcción [NEC], 2014). Según Pacheco *et al.*, (2017), la madera es un tejido exclusivo de los vegetales leñosos y uno de los materiales más usados por el ser humano, desde hace mucho tiempo atrás en la historia.

La madera para Cruz de León J. (2010), es porosa, combustible, higroscópica y deformable por los cambios de humedad ambiental, sufre alteraciones químicas por efectos

del sol, y es atacable por mohos, insectos y otros seres vivos. Entre otras características están el olor, color, sabor, la textura, el veteado, dirección de la fibra, resistencia, tracción, calidad, flexibilidad, dureza, elasticidad, propiedades térmicas y acústicas, entre otras.

La madera se compone de ciertos elementos los cuales forman parte esencial de su estructura (Ver Figura 1):

- **Corteza:** parte más externa, constituida por materia muerta con aspecto resquebrajado, como consecuencia de un crecimiento del árbol en espesor, mientras que la corteza no lo hace.
- **Liber o floema:** Capa más o menos delgada de apariencia similar a la corteza y que tiene como función la conducción de la savia elaborada.
- **Cambium:** Capa prácticamente inapreciable a simple vista, formada por células con funciones reproductoras, que forma xilema hacia dentro y floema hacia fuera. Se nutre de la savia elaborada en las hojas mediante el proceso de fotosíntesis.
- **Xilema:** También conocido comúnmente como madera, es la capa más interna, normalmente gruesa, en relación con el resto de capas y que tiene como función, el sostén del árbol y la conducción de la savia sin elaborar. El xilema se subdivide en madera de médula, madera de duramen y madera de albura.
- **Anillos de crecimiento:** en países en donde existen periodos meteorológicos notablemente diferentes, las especies de madera producen elementos anatómicos de diferentes tamaños, manifestándose exteriormente por la alternancia de madera más clara y madera más oscura. La apariencia de los anillos de crecimiento es diferente según el corte que se produzca en la madera, de tal forma, que, ante un corte transversal, observaremos dichos anillos en forma de círculos concéntricos, ante un corte radial, se apreciarán como líneas paralelas, y con un corte longitudinal tangencial los anillos se apreciarán en forma de V invertida como se muestra en la Figura 2.
- **Albura:** en la madera del tronco de muchas especies se distinguen dos zonas o tipos de madera con tonalidades diferentes, estas son, la albura y el duramen. La madera que nace más nueva queda más cerca al exterior del fuste, y recibe el nombre de albura, siendo esta más húmeda, más clara y menos densa.

- **Duramen:** La madera más vieja formada hacia dentro con unos años de antelación, queda hacia el centro, secándose, endureciéndose y oscureciéndose, es lo que se conoce como duramen.

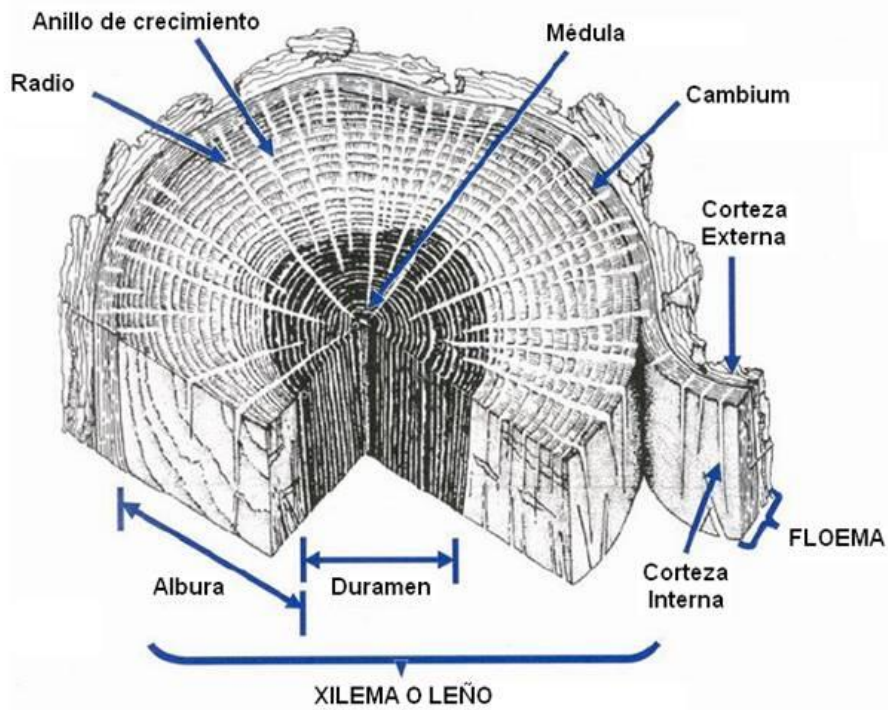


Figura 1. Estructura Macroscópica de la Madera.
Fuente: Chavesta M., (2006).

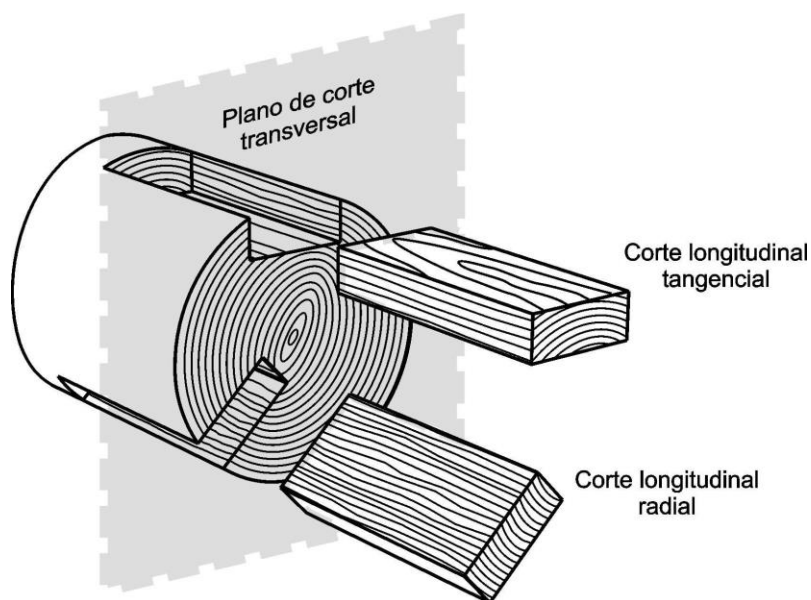


Figura 2. Plano de Cortes y Caras.
Fuente: Spavento et al., (2008).

Por ende, caracterizar y evaluar las propiedades de la madera de cualquier especie nos brinda información acerca de sus usos y potencialidades para las diferentes industrias, lo cual permite ampliar o mejorar el mercado existente para los productos que se ofertan de las especies forestales (Mediavilla, 2016).

2.2.2 Propiedades físicas.

2.2.2.1 Contenido de humedad

Es la cantidad de agua que contiene la madera, expresada en % de su peso en estado anhidro, el agua en la madera húmeda se encuentra en dos formas: una llamada agua libre es la que llena los vasos de la madera; fibras, meatos, etc. (Gutiérrez y Plaza, 1985 citado por Meneses O., 2011). Para Arroyo (1983), el contenido de humedad (CH) de la madera es dependiente de la temperatura y la humedad de la atmósfera circundante; en consecuencia, el CH de la madera variará con los cambios en las condiciones atmosféricas que la rodean. Todas las propiedades físicas de la madera son grandemente afectadas por las fluctuaciones en el CH. Para utilizar la madera en forma adecuada es imprescindible conocer su contenido de humedad, entender su localización y el movimiento del agua a través de ella.

Según La Junta de Cartagena, (1982) en el Manual de diseño para maderas del grupo andino, cuando se seca una madera el agua que primero se evapora es la que está en estado libre sin que se modifiquen sus propiedades quedando el agua de impregnación en el tejido leñoso. La máxima humedad que pueda contener una madera sin que exista agua libre se llama punto de saturación de las fibras (P.S.F). Si continúa la evaporación en la madera empieza a disminuir el agua de impregnación (higroscópica) con alteración de sus propiedades físicas y mecánicas.

Estudios de Olvera *et al.* (1998), indican que el CH tiene una gran influencia en las capacidades mecánicas de la madera, debido que, a menor CH, baja el PSF, por lo que la madera sufre cambios de forma y dimensionales, de tal manera aumentando la resistencia y la capacidad mecánica que son provocados por una disminución del agua contenida dentro de la misma.

El agua dentro de la madera se encuentra en forma de agua libre y agua higroscópica que son las que influyen directamente al contenido de humedad, (Martínez *et al.*, 2009):

- **Agua libre:** es la que ocupa las cavidades celulares, está limitada al número de poros existentes en el proceso de secado esta se pierde por evaporación.
- **Agua higroscópica:** ubicada en las paredes celulares, su pérdida es más lenta hasta lograr un equilibrio higroscópico.

Al cortar o aprovechar un árbol, la madera contiene gran volumen de agua en sus cavidades y paredes celulares, esta humedad oscila alrededor del 80%. En algunos casos, puede ser superior al 100%, es decir, el peso del agua contenida en el volumen de madera es superior al peso de ésta anhidra. Por ende, se debe considerar que el rango de humedad en la madera puede variar entre un 40% - 400 %. Esto se da generalmente en especies de crecimiento rápido, por lo tanto, de muy baja densidad, lo que implica paredes celulares delgadas y lúmenes o cavidades celulares muy anchas (CORMA, 2011).

Estudios de Baradit *et al.* (2013), indican que el llamado punto de saturación de fibras (PSF), es alrededor del 28 -30% de contenido de humedad el cual si supera o disminuye estos porcentajes se empiezan a notar defectos que suele presentar la madera.

2.2.2.2 Peso específico

El peso específico tiene gran importancia en la madera pues de ella dependen la mayor parte de sus propiedades físicas y tecnológicas, sirviendo en la práctica como una referencia para la clasificación de la madera. Es a partir del peso específico, que se puede apreciar la calidad de la madera; de él depende considerablemente su resistencia mecánica y se define como el peso de un material por unidad de volumen, representado generalmente en gramos por centímetro cúbico (Fuentes, 2001).

Se conoce como peso específico a la relación existente de peso de la madera, contenido de humedad y el volumen existente de agua a ciertas temperaturas, influyendo así en la capacidad de flexión en la madera, ya que a mayor peso específico mayor resistencia convirtiéndola en una relación directamente proporcional; también la relación entre la resistencia a la flexión y el peso específico es directa, mientras mayor es el peso específico mayor será la resistencia (Dudek y Werner, 1978).

Meneses (2013), explica que partiendo del peso específico se puede apreciar la calidad en la madera, se considera que el peso específico tiene relación con la composición química y el volumen por masa dándole a la madera la característica tecnológica que esta contiene.

2.2.2.3 Densidad

Se define densidad como la relación que existe entre la masa y el volumen. Tanto la masa como el volumen de la madera, varían en función de su contenido de humedad, por ello, cuando se hable de densidad en la madera, se debe hacer referencia para un determinado contenido de humedad, como puede ser, del 0% (densidad anhidra), del 12% (densidad normal) o a cualquier otra humedad de la madera (Roldán J.M., 2014).

Para Baradit et al., (2013), la densidad es conocida como el coeficiente existente entre la masa y el volumen de una madera, la cual tiene la capacidad de variar dependiendo de la humedad por lo que al aumentar la humedad la densidad sube y por ende crece.

Según las normas COPANT (1975) la densidad es la relación entre el peso y el volumen de la madera a un determinado CH. Esto da lugar a que la densidad sea calculada en cuatro diferentes estados.

- **Densidad en estado saturado.** - Es el cociente entre el peso y el volumen de la madera en estado saturado.
- **Densidad en estado seco al aire.** - Es el cociente entre el peso y el volumen que se encuentra con un contenido de humedad en equilibrio con el medio existente.
- **Densidad en estado anhidro.** - Es la relación entre el peso y el volumen de la madera seca al horno.
- **Densidad básica.** - Es el cociente entre el peso de la madera anhidra y el volumen en estado saturado correspondiente.

Aun cuando la densidad básica (DB), medida como la razón entre peso anhidro y el volumen en verde (pa/vv) ha sido repetidamente utilizada como un índice de las propiedades mecánicas de la madera. Hay limitados estudios de su efecto conjunto con caracteres anatómicos y valores de contracción sobre la resistencia mecánica de la madera. La densidad básica (pa/vv) de la madera es una característica hereditaria, que también es afectada por prácticas silvícolas (Zobel y Van Buijtenen, 1989).

Tabla 1*Clasificación de Madera Según la Densidad:*

Clase	Densidad (g/cm³)
Tipo A	> 0,71
Tipo B	> 0,55 y < 0,70
Tipo C	>0,40 y < 0,54
Tipo D	< 0,40

Fuente: INEN (2011)

2.2.2.4 Contracción

Es una propiedad generada directamente por el cambio de dimensión y volumen en la madera, producida por una variación en su CH, la contracción es dada cuando la madera es secada por debajo del PSF, se expresa en porcentaje (Dudek y Werner, 1978).

Las normas COPANT (1975) definen a la contracción como la propiedad que posee la madera de variar sus dimensiones y su volumen cuando su estado de humedad varía. Este dato se lo expresa en porcentaje (%).

Esta propiedad se define como la capacidad de la madera de cambiar sus dimensiones de acuerdo a la variación de la humedad, esto se da ya que la madera contiene polímeros los cuales se componen de grupos hidroxilos los cuales son capaces de atraer la humedad por medio de puentes de hidrogeno; no todas las maderas cambian o se contraen de igual manera ya que esto depende también de varios factores como: densidad de la especie, orientación de la micro fibrillas en su pared celular, diferencias de duramen y albura, la existencia de anillos de crecimiento, su velocidad de crecimiento y la edad que posea el árbol (Moya, 2010).

Aunque la magnitud de la contracción es muy variable según el tipo de madera, se aproxima a una media de 14% para la volumétrica; 7% para la tangencial y de 4% para la radial. La contracción se determina linealmente en las direcciones tangencial y radial, así como la volumétrica; la contracción axial casi nunca se calcula por su baja magnitud. Este cálculo se realiza tanto del estado verde hasta el anhidro, como del estado verde hasta cerca de 12% de CH (Fuentes, 2001).

Tabla 2*Clasificación de Contracciones de la Madera*

Valoración	Muy baja %	Baja %	Mediana %	Alta %	Muy alta %
Radial	0 – 2,0	2,1 – 3,0	3,1 – 4,0	4,1 – 5,0	$\geq 5,1$
Tangencial	0 – 3,5	3,6 – 5,0	5,1 – 6,5	6,6 – 8,0	$\geq 8,1$
Volumétrica Total	0 – 5,5	5,6 – 8,0	8,1 – 10,5	10,6 -13,0	$\geq 13,1$

Fuente: Bárcenas citado por Moya et al., (2010).

Tabla 3

Rangos de Clasificación de Contracción, Relación T/R

Rango %	Valoración
1,0 – 1,7	Baja
1,71 – 2,3	Alta
$\geq 2,3$	Muy alta

Fuente: Bárcenas citado por Moya et al., (2010).

La relación Tangencia/Radial (Ver Figura 3) o conocida como el coeficiente de anisotropía (T/R) es el cociente entre la contracción tangencial (T) y la contracción radial (R). Junto con los valores de contracción normal radial máxima (Cn-rdmáx) y contracción normal tangencial máxima (Cn-tgmáx), expresa la estabilidad que posee la pieza de madera y es un indicador de la armonía en la disminución de sus dimensiones a medida que se va secando (Moya, 2010).

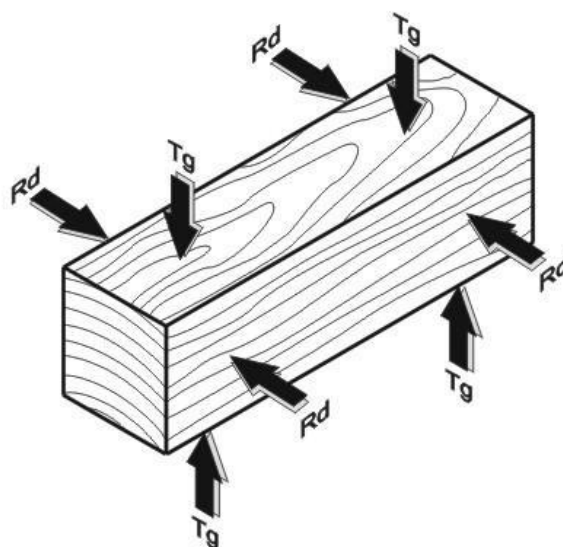


Figura 3. Relación T/R.
Fuente: Benetti F., (2015).

2.2.3 Propiedades Mecánicas

Una de las principales funciones de la madera en el tronco y las ramas del árbol vivo, es la de soporte mecánico. Una vez transformada la madera en algún producto, el soporte mecánico continúa desempeñando un papel fundamental en diversas cantidades de usos. Las propiedades mecánicas de la madera son las relacionadas con su comportamiento ante la acción de fuerza externa o interna (Echenique y Fernández, 1993).

- **Las fuerzas externas:** son aquellas fuera de las piezas de madera, que tienden a alterar su tamaño o forma.
- **Las internas:** son las generadas por cambios en el contenido de humedad, actúan en el interior de las piezas y producen deformaciones.

Las propiedades mecánicas de la madera son la expresión de su comportamiento bajo la aplicación de cargas o fuerzas. Este comportamiento puede sufrir variadas modificaciones, dependiendo del tipo de carga aplicada y de las diferencias básicas en la organización estructural de la madera. Existen tres tipos de esfuerzos primarios que pueden actuar sobre un cuerpo (Brown, 1980 citado por Arroyo, 1983).

- Si el esfuerzo trata de acortar las dimensiones o volumen del cuerpo es un esfuerzo de compresión;
- Si tiende a aumentar las dimensiones y volumen del cuerpo, será de tensión.
- El esfuerzo de corte resulta de las fuerzas que tiende a desplazar una porción de un cuerpo con respecto a otro, en dirección a un plano de contacto, es la flexión.

Los ensayos de propiedades mecánicas de la madera se realizan generalmente con el objetivo de proponer los usos posibles y dar al técnico los datos necesarios para el cálculo de estructura de maderas (Hoheisel, 1973).

2.2.3.1 Flexión Estática

La flexión estática ha sido considerada la principal propiedad mecánica para la evaluación de madera con fines estructurales ya que en ella se integran propiedades como la compresión, la tracción y el cizalle o cizallamiento (Cown, Herber y Ball, 1999).

Se considera a la flexión como la resistencia que ofrece una viga o probeta a una carga puntual aplicada en el centro de luz o a la distancia entre apoyos, en la cara tangencial más cercana a la médula de la misma (Benetti, 2015).

De acuerdo a Dudek y Werner (1978), la influencia del CH y densidad, para determinar esta propiedad es de la siguiente manera:

- La relación entre la resistencia a la flexión y el peso específico es directa; mientras mayor es el peso específico, mayor es la resistencia.
- La resistencia a la flexión es máxima a un C.H. de 3 a 5%, desde este índice hasta el punto de saturación de fibras la dimensión es lineal, por cada aumento del 1% el C.H. baja la resistencia en un 4%.
- Las fibras oblicuas también tienen su influencia y se ha determinado que con una desviación de 15 grados la resistencia baja en un 30%.

Castañeda (2013), menciona que se considera a la fuerza aplicada sobre una masa para el caso de una probeta, la cual descansa sobre dos o varios apoyos, los cuales soportan una carga uniforme que es repartida en su longitud total, la flexión estática ayuda a determinar la fuerza máxima que puede soportar dicho cuerpo (Ver Figura 4).

Baradit (2013) afirma que mediante esta propiedad se puede tomar decisiones al momento de utilizar la madera como material de construcción en cubiertas de casas, puertas y ventanas según sea la necesidad, para lo cual existen rangos de clasificación que se detallan en la Tabla 4.

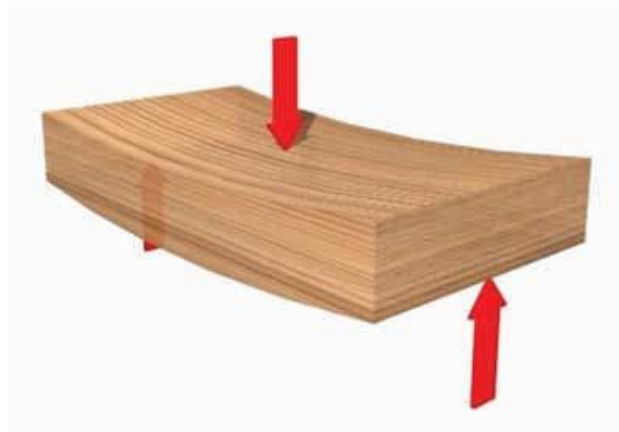


Figura 4. *Ensayo de Flexión de Estática.*
Fuente: CORMA, (2011).

Tabla 4*Rangos de Clasificación de Flexión Estática*

Criterio de clasificación	Esfuerzo (kgf/cm²)
Muy bajo	< 250
Bajo	252 - 500
Medio	501 - 750
Alto	751 - 1000
Muy alto	> 1001

Fuente: Lastra (1986).

- **Módulo de Ruptura (M.O.R.)**

Corresponde a la tensión unitaria máxima en flexión que soporta un material antes de que se produzca la falla. Cualquier incremento de carga sobre el mismo provocará su ruptura (Benetti, 2015).

Esfuerzo computado en el tope y el fondo de las fibras de una viga sometida a la carga máxima, es un valor aproximado de un verdadero esfuerzo, puesto que la fórmula para el cálculo; se basa en suposiciones válidas solamente hasta el límite proporcional. El módulo de ruptura es el esfuerzo desarrollado por la madera en el momento de la falla (Viteri, 1969).

Tabla 5*Clasificación de Esfuerzos MOR*

Clasificación	MOR (kgf/cm²)
Muy bajo	<500
Bajo	500 -1100
Medio	1101 – 1220
Alto	1221 – 1750
Muy alto	>1750

Fuente: Spavento et al., (2008).

- **Módulo de Elasticidad (M.O.E.)**

Es la medida de rigidez del material, su respectivo cálculo se basa en la razón entre el esfuerzo por unidad de superficie y la deformación por unidad de longitud experimentada por la probeta expuesta a flexión. Es aplicable solamente a condiciones de trabajo que se encuentren dentro de la zona elástica (Benetti, 2015).

Para Dudek y Werner (1978), el MOE representa a la fuerza necesaria para alargar 1 cm² de área al doble de su longitud.

Tabla 6

Clasificación de Esfuerzos MOE

Clasificación	MOE (kgf/cm²)
Muy bajo	<100000
Bajo	101000 - 120000
Medio	121000 - 150000
Alto	151000 - 200000
Muy alto	>200000

Fuente: Spavento et al., (2008).

2.2.3.2 Compresión Paralela

Es la resistencia como la respuesta a la acción de una fuerza que aplasta a una masa u objeto, la cual, si se encuentra en sentido perpendicular a las fibras, es mucho mayor y en sentido axial o paralelo será menor (Wangaard, 1950).

Karsulovic y Jose (1981), mencionan que la resistencia a la compresión depende en gran cantidad de grosor de las paredes celulares que componen las fibras.

A través de este ensayo se determina la resistencia que ofrece una columna a una carga aplicada en el sentido de la dirección de las fibras (IRAM 9551, 1985) (Ver Figura 5). Benetti (2015), afirma que el ensayo es diseñado para columnas y verificar la carga que soporta. Para lo cual se debe tomar en cuenta los parámetros de clasificación que se detallan en la Tabla 7.



Figura 5. *Ensayo de Compresión Paralela a la Fibra.*
Fuente: CORMA, (2011).

Tabla 7

Parámetros de Clasificación de Compresión Paralela

Criterio de clasificación	Esfuerzo (kgf/cm²)
Muy bajo	> 200
Bajo	201 - 300
Mediano	301 - 450
Alto	351 - 600
Muy alto	> 601

Fuente: Lastra, (1986).

La composición química influye en la resistencia a la compresión y si el contenido de lignina es mayor, mayor será la resistencia por lo que generalmente las especies de las zonas tropicales tienen mayor resistencia que de las zonas templadas. El C.H. influye en la resistencia, pues a mayor humedad mayor expansión de la madera. Del estado seco al horno hasta el P.S.F. disminuye la resistencia en proporción lineal por cada 1% de C.H. de aumento, disminuye la resistencia en un 5% y por ende si el peso específico es mayor, la madera tendrá mayor resistencia a la compresión (Dudek y Werner, 1978).

2.2.3.3 *Compresión Perpendicular*

La compresión perpendicular permite determinar la resistencia que opone la madera a una carga repartida (Ver Figura 6), la misma que es aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras en una de las caras radiales de la probeta (IRAM 9547, 1977).

Hay autores que mencionan que también influye el ángulo de los anillos de crecimiento y la dirección de la fuerza actuante, de 0 a 30% de C.H. la resistencia disminuye entre 2 y 3% por cada 1% de humedad. (Dudek y Werner 1978).

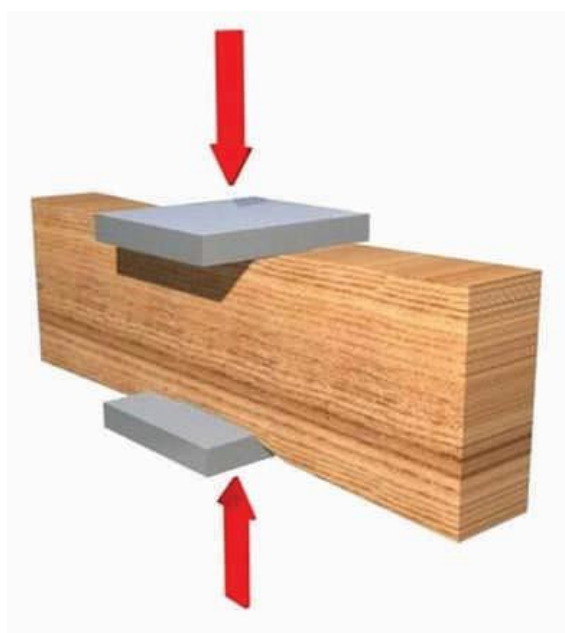


Figura 6. *Ensayo de Compresión Perpendicular a la Fibra.*
Fuente: CORMA, (2011).

2.2.3.4 *Cizallamiento*

Es la medida de la capacidad de la pieza para resistir fuerzas que tienden a causar deslizamiento de una parte de la pieza respecto de la otra. La resistencia al corte de la madera es directamente proporcional a su densidad, pero principalmente depende del sentido en que se aplica el esfuerzo en relación con los anillos de crecimiento (normalmente la rotura se determina en un plano tangencial) (Wiandy y Rowell, 1984).

Se define como la carga necesaria para producir una fractura o fallo en la interfaz de la unión de uno o diversos materiales hasta que se produzca la ruptura de la misma (Ver Figura 7). La clasificación de la resistencia al cizalle paralelo a la fibra de madera, según la propuesta por las normas ASTM es la siguiente Tabla 8:

Tabla 8

Clasificación de Resistencia al Cizallamiento.

Criterio de clasificación	Esfuerzo (kgf/cm²)
Muy bajo	< 40
Bajo	41 - 85
Mediano	86 - 120
Alto	121 - 171
Muy alto	> 175

Fuente: Norma ASTM D143-94 (2010).



Figura 7. *Ensayo de Cizallamiento o Cizalle.*
Fuente: CORMA, (2011).

La resistencia al cizallamiento es inversamente proporcional a su CH (0%-PSF), es decir que la resistencia es mayor con la disminución del contenido de Humedad, mientras que para la resistencia a la flexión y compresión es menor (CORMA, 2011).

2.2.4 Propiedades de Trabajabilidad

El maquinado de la madera (trabajabilidad) es una de las propiedades tecnológicas que influyen en la utilización o subutilización de las especies forestales maderables debido a

que determina el grado de facilidad o dificultad de su procesamiento al ser sometidas a las máquinas y herramientas, por lo que su conocimiento permite observar la calidad superficial que se obtendrá de la madera una vez estructurada y elaborada en un producto final (Serrano, 2000).

La trabajabilidad es una serie de procesos por los cuales debe pasar la madera, estas acciones comúnmente son mecanizadas o realizadas con máquinas manuales, las cuales están aptas para trabajar con la madera. Según el comportamiento que la madera se puede determinar el grado de dificultad al usarla y la calidad de la misma, en un producto final obtenido de la misma (Mediavilla, 2016).

Existen tres métodos para evaluar la calidad de la superficie de la madera que son: medida por la luz, medida por punzón (estilete); y, medida por observación visual. Los dos primeros métodos presentan las mejores condiciones, pero solamente aprecian un aspecto sobre el acabado o pulido de la superficie. El tercer método que habla sobre la observación se considera hasta ahora como el mejor método para apreciar todos los aspectos de la calidad de la superficie de una madera, todo este método se lo realiza de una manera cualitativa (Freiré, Martínez y Valarezo, 1972, citado por Meneses, 2011).

2.2.4.1 Cepillado

El cepillado es el proceso de elaboración de la madera, que consta de obtener superficies lisas mediante la acción de las cuchillas con movimiento lineal o circular (Jonhton, 1974, citado por Meneses 2011).

Cepillar o sacar una cara en limpio de la madera es un proceso básico en su transformación. Esta operación se efectúa en las primeras etapas de la línea de producción de los productos y permite obtener un grosor igual en todas las piezas y una superficie uniforme en las caras. El desbaste del material se efectúa con cuchillas que son colocadas en un cabezal que gira mientras la madera es arrastrada en la mesa del cepillo mediante unos rodillos (Martínez y Martínez, 1996).

Se considera uno de los procesos básicos en la transformación de la madera, el cual se efectúa en las primeras etapas de producción, este proceso permite obtener una superficie totalmente plana y uniforme en las caras de la pieza. Esta acción es realizada con una cepilladora o cepillo como se la conoce, el proceso es realizado por una serie de cuchillas

las cuales giran mientras la pieza de madera es arrastrada por rodillos, los cuales se encuentran en una superficie plana (Martínez Escobar et al., 2009, citado por Mediavilla, 2016).

La Junta del Acuerdo de Cartagena (1982), señala que el cepillado es una operación realizada por corte periférico y como en los demás ensayos de labrado se persiguen cuatro metas:

- Obtener calidad de superficie
- Obtener eficiencia de operación
- Limitar el consumo de energía
- Limitar el desgaste

Para determinar la trabajabilidad de la madera se debe tomar en cuenta la siguiente terminología (Ver Figura 8):

- **Ángulo de cara anterior.** - Es el ángulo dado por la inclinación de la cuchilla o cuchillas en el cabezal portacuchillas.
- **Ángulo de corte.** - Es el ángulo comprometido entre la cara anterior de la cuchilla o entre el bisel frontal y un plano que pasa por el filo de la cuchilla y el eje del cabezal portacuchillas.
- **Bisel frontal.** - Es el bisel que se hace sobre la cara anterior para reducir el ángulo de corte.
- **Ángulo libre.** - Es el ángulo comprendido entre la tangente que pasa por el filo de la cuchilla y el bisel posterior.
- **Ancho del igualado.** - Es el ancho que se produce en la zona inmediata al filo de las cuchillas al afilarlas para que generen un círculo de corte común.
- **Marcas de viruta.** - Son los segmentos de trocoides que se genera sobre la madera por el paso sucesivo de las cuchillas.
- **Profundidad de corte.** - Es el espesor de la madera que se va a remover.

1. Ángulo del bisel
2. Ángulo de hierro
3. Ángulo libre
4. Cara anterior
5. Ángulo de corte inicial
6. Bisel
7. Cara posterior
8. Ángulo de corte nuevo

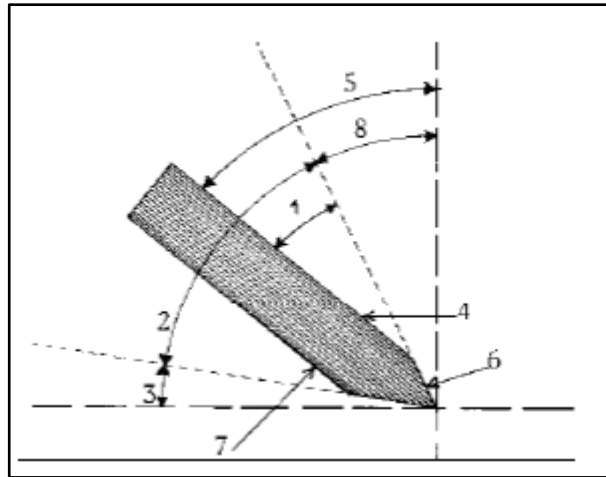


Figura 8. Perfil de una Cuchilla.

Fuente: Jonhton, (1974), citado por Meneses, (2011).

2.2.4.2 Lijado

El lijado es una operación que tiene como finalidad corregir los defectos de los procesos de cepillado, moldurado y taladrado, como: las marcas de viruta, huellas de cuchillas y posibles imperfecciones manifestadas como grano algodonoso o velloso, grano arrancado, o grano levantado en la madera para obtener superficies suaves mediante la acción del papel lija con movimiento lineal o circular. (Jonhton, citado por Meneses, 2011).

Las imperfecciones en el proceso de lijado generalmente varían de acuerdo con los defectos que tenga la superficie de la madera, los mismos que no pueden ser eliminados fácilmente, debido a esto es necesario utilizar lijas de espesor diferente. También, representa una de las últimas etapas en el proceso de maquinado de la superficie de las piezas de madera, antes de aplicar el acabado final. (Martínez y Martínez, 1996).

Según la Junta del Acuerdo de Cartagena (1985), los tipos de máquinas más vinculadas a la producción o maquinado de elementos de madera para la construcción son aquellos para lijar superficies planas, entre las máquinas cabe mencionar:

- Lijadoras de cilindros
- Lijadoras de banda múltiple
- Lijadoras de banda larga
- Lijadoras de disco
- Lijaduras de canto
- Pulidoras

- Lijadoras portátiles y
- Lijadoras de vibración

2.2.4.3 Moldurado

El moldurado es una operación que se realiza en los cantos de las piezas con el objetivo de dar un buen terminado y forma de la madera. (Flores y Muñoz, 1989).

El proceso del moldurado tiene un gran número de formas pues varía de acuerdo con la forma que tenga la herramienta de corte, pueden ser en secciones rectas, curvas o combinadas (Flores y Muñoz, 1989). El proceso de moldurado se da a marcos de puertas, ventanas, cantos o esquinas de muebles. En el maquinado de los perfiles se deberá obtener una superficie limpia y lista para someterse a la operación de lijado (Martínez y Martínez, 1996).

Tanto el moldurado como el cepillado es una operación de corte periférico, que permite dar a la madera perfiles muy variados a partir de las proyecciones de cuchillas de configuraciones variables, hay dos tipos de moldurados (Martínez y Martínez, 1996).

- *Moldurado longitudinal (Ver Figura 9).*
- *Moldurado transversal (en curva o recto). (Ver Figura 10).*

Los dos tipos son utilizados en ebanistería, pero el primero es utilizado con más frecuencia en obras de construcción (Martínez y Martínez, 1996).



Figura 9. *Moldurado Longitudinal.*
Fuente: Kapitel, (2019).

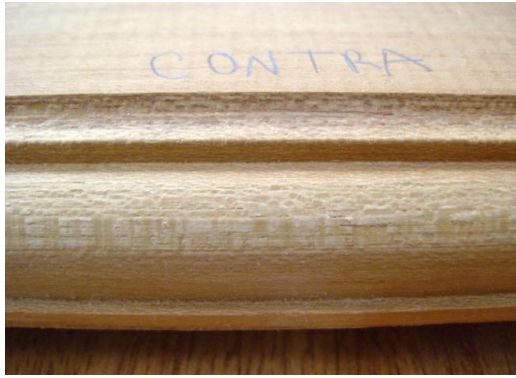


Figura 10. Moldurado Transversal.
Fuente: Gorea M., (2009).

2.2.4.4 Taladrado

El taladrado es el proceso que consiste en la realización de huecos sobre una pieza de madera, destinados a recibir tornillos, puntillas o cualquier otra pieza en forma de un cilindro (Herrera e Hidalgo s/f, citado por Meneses, 2011).

Los factores que afectan la calidad, el desgaste, la eficiencia y el gasto de energía en taladrarse son (Herrera e Hidalgo s/f, citado por Meneses, 2011).

- ***Factores relativos de la madera***

Son los factores de la madera que afectan al taladrado: propiedades físicas, mecánicas, características anatómicas, de la anisotropía de la madera y su contenido de humedad CH.

- ***Factores relativos a máquinas y brocas***

Existen diferentes tipos de taladro, desde el berbiquí (taladro antiguo manual utilizado en ebanistería) e inclusive la simple broca manual, hasta los taladros complejos, automáticos con cabezales múltiples verticales, horizontales y dispositivos angulares.

Los tipos de taladros más conocidos son: taladros portátiles, verticales de columna con un solo eje, múltiples verticales y horizontales.

- ***Condiciones de corte***

Velocidad de corte de la broca, puntilla u otros: una velocidad de giro excesiva para una potencia dada reduce la eficiencia, ya que limita la velocidad y su penetración; y, suelen producir quemaduras internas del hueco y desgaste acelerado de los filos.

Carga de penetración: El uso de cargas elevadas para lograr velocidades altas en la penetración, implica potencias suficientes para velocidades determinadas de giro, sobre todo en el caso de especies de alta densidad y otras que presentan problemas de corte neto, fricciones y dificultades de evaluación por fibrociudad, células largas y delgadas que cumplen la función de sostén del leño o resistencia mecánica. (Puertas, Guevara y Espinoza 2013).

Por lo tanto, dada la carga de penetración, la densidad de la especie y la potencia instalada, la velocidad de giro tendrá un valor, la carga de penetración implica una fuerza ejercida sobre una pieza de madera para crear un efecto o daño sobre la madera (Herrera e Hidalgo s/f citado por Meneses, 2011).

2.2.4.5 Torneado

Es una operación a través de la cual se obtiene una pieza cilíndrica de una pieza cuadrada. El torneado es importante cuando se tienen que fabricar artículos de madera como pies de lámparas, partes pequeñas de soporte de un mueble, patas de cama, entre otros (Moya, 2010). Flores y Muñoz, (1989), definen al torneado como el proceso mediante el cual se imprime un movimiento rotatorio a la pieza de madera que es puesta a disposición de cuchillas, cuyo ángulo de corte permite obtener productos de diferente tipo tales como pasamanos, patas para muebles, juguetes entre otros.

Los autores citados anteriormente señalan los defectos comunes en torneado en orden de importancia:

- *Grano astillado*
- *Grano arrancando*
- *Grano velloso*

Los parámetros que influyen en el torneado básicamente son:

- *Ángulo de corte*
- *Velocidad de giro*
- *Velocidad de penetración (depende de la madera).*

La falta de cohesión transversal, en relación con la resistencia, produce astillamiento, arrancado, entre otros.

Por lo general, las maderas de grano fino dan buenos resultados, pero desgastan las cuchillas y el avance es lento; la madera blanda y de grano grueso presenta dificultades para un torneado satisfactorio a menos que se tenga un ángulo apropiado, buen filo, velocidad de la herramienta suficiente y una lenta velocidad de alimentación (Flores y Muñoz, 1989).

2.2.5 Defectos más comunes del maquinado o trabajabilidad de la madera

De acuerdo con Flores y Fuentes (2001), los defectos más comunes en el maquinado de la madera son los siguientes:

- **Grano astillado o arrancado:** Es una condición de aspereza que presenta la madera, cuando las fibras se desprenden de la superficie trabajada, dejando huella en forma de muy pequeños agujeros (Ver Figura 11).
- **Grano apelmusado o veloso:** Es una condición de aspereza de la superficie de la madera, en la que pequeñas partículas o grupos de fibras que no fueron cortadas por la herramienta de corte (fresa, cuchilla, broca, etc.) sobresalen de la superficie general de la tabla sin desprenderse, permaneciendo adheridas a ella (Ver Figura 12).
- **Grano levantado:** Es una condición de aspereza de la superficie de la madera, en la que una parte de la fibra de la madera se levanta sobre la superficie general de la pieza trabajada (Ver Figura 13).
- **Marcas de astilla:** Son huellas (abolladuras) poco profundas en la superficie de la tabla, causadas por virutas que permanecen adheridas al cabezal porta cuchillas del cepillo debido a que no son eliminadas por el escape del mismo. Este defecto es exclusivo del ensayo de cepillado.
- **Grano rasgado:** Son fibras cortadas transversalmente por la herramienta de corte, dejando una superficie áspera, este defecto se presenta en los ensayos de moldurado, torneado y taladrado que se combina con los principales tipos de grano mencionados.

- **Rayones:** Marcas semejantes a un rasguño, ocasionado por la lija, presentándose exclusivamente en el ensayo de lijado.



Figura 11. *Forma de grano arrancado en probeta de Liquidámbar.*
Fuente: Autor



Figura 12. *Forma de grano vellosa en probeta de Liquidámbar.*
Fuente: Autor



Figura 13. *Forma de grano levantado en probeta de Liquidámbar.*
Fuente: Autor



Figura 14. *Combinación de los tres tipos de grano en probeta de Liquidámbar.*

Fuente: Autor

2.2.6 Características de *Liquidambar styraciflua* L.

2.2.5.1 Habitat y distribución

Liquidambar styraciflua, conocido como el sweetgum americano y en su traducción al castellano se lo conocería como chicle dulce, es un árbol común de hoja caduca que se encuentra en América del Norte y Central. El género Liquidámbar se extendió por todo el mundo durante el período Terciario o Era Cenozoica y apareció por primera vez durante el período Mioceno (hace 23 millones de años aproximadamente) (Berry, 1920). El género Liquidámbar se trasladó recientemente de la familia Hamamelidaceae a la familia Altingiaceae.

Liquidámbar se desarrolla en las tierras bajas a lo largo de la costa atlántica desde Connecticut hasta Florida. En el sureste, la especie también crece en las tierras altas y extiende su área de distribución al oeste del río Mississippi. En América Central, crece a mayor altura en los bosques nubosos. El mejor crecimiento de Liquidambar ocurre en arcillas aluviales húmedas y fondos de ríos francos, pero el árbol tiene potencial de crecimiento en sitios de tierras altas más secas (Kormanik 1990).

Liquidámbar, crece en México y los países centroamericanos de Guatemala, Belice, El Salvador, Honduras y Nicaragua (Kormanik, 1977). La distribución de la misma se extiende en parte de Europa, en un Asia Menor (Anatolia-Turquía) y al este de la misma (Webb et al., 1984). Existen limitados estudios en donde la presencia de esta especie se evidencia en países como Colombia, Chile y Ecuador dentro del proyecto ITTO PD25/93 auspiciado por la Organización Internacional de Maderas Tropicales (Aguirre C., 2000).

2.2.5.2 Descripción botánica

Forma. Árbol (sub)caducifolio de 20 a 40 m (hasta 60 m) de altura con un diámetro a la altura del pecho de hasta 42 cm (algunos individuos llegan a tener 1.5 m). En cultivo de 15 a 20 m de altura (Linnaeus, 1753).

Copa alargada (estrecha) o piramidal (cuando jóvenes); copa redonda y amplia (cuando maduros). Hojas en espiral, simples; láminas más anchas que largas, de 4 a 11 cm de largo y 5 a 15 cm de ancho, 3-5-lobadas, los lóbulos triangulares, con el margen aserrado. Olor a trementina

Tronco recto, ramas alternas, ascendentes y delgadas. Corteza. Externa angostamente fisurada, suberificada, moreno-grisácea. Interna de color crema amarillento cambiando a pardo, ligeramente amarga, fibrosa. De la corteza fluye un líquido resinoso. Grosor total: 5 a 10 mm.

Flor(es). En panículas terminales o axilares sobre ramas cortas laterales, de 5 a 10 cm de largo, pubescentes. Flores unisexuales muy pequeñas, sin perianto.

Fruto(s). Cápsulas pequeñas en cabezuelas de 2.5 a 4 cm de diámetro, en pedúnculos de 5 a 6.5 cm de largo, glabro; cabezuelas globosas, equinadas, leñosas, morenas a negro brillantes; fruto una cápsula bivalvada, dehiscente por el ápice.

Semilla(s). El fruto contiene unas cuantas semillas, de 6 a 8 mm de largo, aladas, morenas.

Sistema radical ampliamente extendido y algo profundo. Raíces pivotantes y rastreras, extensas, leñosas y duras. Sexualidad. Monoico y polígamodioico (posee flores hermafroditas en algunos árboles). Número cromosómico: $2n = 32$.

2.2.5.3 Descripción de la madera

La madera de Liquidámbar es difusa porosa, y solo las últimas filas de células en un anillo de crecimiento son significativamente diferentes de las formadas previamente en los últimos años de crecimiento. Esta consistencia en las células de la madera durante todo el año sugiere que un aumento en la tasa de crecimiento no debería cambiar significativamente las propiedades de la madera. Estudios anteriores han observado que el manejo intensivo

tiene poco impacto en las propiedades mecánicas de la madera porosa difusa (Bendtsen y Senft 1986, Jett y Zobel 1975).

La uniformidad del Liquidámbar y otras maderas porosas difusas es ideal para fabricar compuestos de madera a partir de pequeñas piezas de madera. Cada pieza pequeña de madera de Liquidámbar debe funcionar de manera muy similar a otras piezas de dimensiones similares. La baja densidad de Liquidámbar es favorable cuando el calor y la presión se utilizan para volver a combinar trozos de madera más pequeños en un compuesto de madera más grande (Bendtsen y Senft 1986, Jett y Zobel 1975,).

El Liquidámbar exhibe una fisiología diferente en su desarrollo al crecer en tipos de suelo más arenosos, normalmente exhibe un fuerte dominio apical que disminuye con la edad, y esta disminución se produce más rápidamente en suelos más secos que retienen menor agua. (Kormanik 1990). Liquidámbar tiene una mayor probabilidad de rotura superior que otras especies de madera dura cuando crece en suelos arenosos (Gresham et al., 1991).

Los nombres comunes con los cuales se conocen a la especie son chicle dulce, chicle rojo, chicle de savia, blíster, chicle de hoja estrellada, chicle, chicle de sicómoro, madera de goma, ocoztotl, madera de cocodrilo, pino de color avellana (sweetgum, redgum, sapgum, blisted, starleaf gum, gum, sycamore gum, gumwood, ocozolt, alligator-wood, hazel pine) y liquidámbar, árbol del ámbar (Loewe, 2003)

2.2.5.4 Usos

La corteza y la resina de Liquidámbar se han utilizado a lo largo de la historia registrada. La Biblia menciona la resina de goma dulce en una receta de perfume (Moisés, 1500 A.C, citado por Jeffries, 2008). Más recientemente, la resina de Liquidámbar fue la inspiración para el poliestireno. Aunque no se tuvo en cuenta en el pasado, hoy en día la madera de Liquidámbar se utiliza para chapas, paletas, compuestos y pulpa de madera (Jeffries, 2008).

2.2.5.5 Propiedades físicas

La madera de Liquidámbar es atractiva, moderadamente pesada y con textura uniforme. Es moderadamente duro y rígido. En comparación con otras maderas duras del

sur de E.E.U.U., el Liquidámbar está por encima de la media en cuanto a las propiedades físico-mecánicas por la densidad, dureza y flexibilidad que posee. El duramen requiere un tratamiento especial antes de poder pegar con mejores resultados (Jeffries 2008).

2.2.7 Normas INEN, COPANT y ASTM

En la siguiente Tabla 9 se detallan las normas que se utilizó para la determinación de las propiedades tecnológicas de la madera de esta especie.

Tabla 9

Normas empleadas: INEN, COPANT y ASTM.

Norma	Año	Detalle
INEN 1158	2011	Selección de árboles y colección de muestras; árboles rectos, sin bifurcaciones, sanos, cilíndricos.
INEN 1159	2011	Tumba y extracción de bloques, tumba técnica, obtener de dos a cuatro bloques de 1,50 metros a partir de 2,40 de la base del árbol.
INEN 1164	2011	Determinación de contracciones de la madera.
COPANT 459	1972	Acondicionamiento de probetas para ensayos de propiedades físicas
COPANT 460	1972	Determinación del contenido de humedad. Acondicionamiento de probetas para ensayos de propiedades mecánicas y trabajabilidad
COPANT 461	1972	Determinación de densidad
ASTM-D143-94	2010	Ejecución y evaluación de ensayos de propiedades mecánicas
ASTM-D1666-87	1992	Ejecución y evaluación de ensayos de trabajabilidad

Fuente: Normas INEN, COPANT y ASTM.

La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), es una de las organizaciones internacionales de desarrollo de normas más grandes del mundo, en la cual intervienen productores, usuarios y consumidores, entre otros, de todo el mundo, para crear normas de consenso voluntarias.

Las normas de ASTM se crean usando un procedimiento que adopta los principios del Convenio de barreras técnicas al comercio de la Organización Mundial del Comercio. Las normas ASTM se usan en investigaciones y proyectos de desarrollo, sistemas de calidad, comprobación y aceptación de productos y transacciones comerciales por todo el mundo.

Estas normas abarcan áreas tales como metales, pinturas, plásticos, textiles, petróleo, construcción, energía, el medio ambiente, productos para consumidores, productos electrónicos, dispositivos y servicios médicos.

La Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT), es una asociación civil sin fines de lucro, que funciona con plena autonomía y sin término de duración. Agrupa a los Organismos Nacionales de Normalización (ONN) de las Américas.

COPANT es el referente de normalización técnica y evaluación de la conformidad de los países de las Américas y sus pares internacionales, promueve el desarrollo, identificando necesidades y satisfaciéndolas con excelencia, calidad y prontitud. Estas normas se aceptan y se usan para facilitar el comercio entre países americanos y otros países del mundo, preocupándose por mejorar las prácticas en tecnología, calidad, medio ambiente, innovación y otros temas vinculados.

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), es la entidad nacional encargada de formular las Normas Técnicas Ecuatorianas teniendo como concepto básico satisfacer las necesidades locales y facilitar el comercio nacional e internacional.

El interés de INEN está en incrementar la infraestructura de la calidad en Normalización, Reglamentación Técnica y Evaluación de la Conformidad orientada al desarrollo de los sectores productivos y servicios.

Todas estas organizaciones se manejan bajo entandares de calidad, seguridad, avance tecnológico, adaptabilidad de procesos y demás, sustentándose en estándares internacionales como ISO, IEC, ANSI, ALADI, entre otras más, que promueven a los distintos procesos de producción, investigación y desarrollo.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del sitio

La investigación tuvo dos fases: una que se realizó en campo y otra en laboratorio.

3.1.1 Fase de campo

La obtención de material vegetativo (árboles = madera) para la investigación se lo realizó en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón Santo Domingo, parroquia Alluriquín, Sector de Chiriboga en la Estación Experimental “La Favorita” predios de propiedad de la Universidad Técnica del Norte; con una altitud entre 1600-2200 msnm, y con una precipitación media anual de 3000 mm, y una temperatura de 16°C. (Ruiz,2020).

3.1.2 Fase de laboratorio

Las propiedades físicas se realizaron en predios pertenecientes a la Universidad Técnica del Norte (UTN) en el Laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca de la Granja Experimental Yuyucocha y los ensayos correspondientes a trabajabilidad se efectuaron en la Central Maderera de igual manera situada en la Granja Experimental Yuyucocha la cual se localiza, en la Av. José Espinoza de los Monteros, parroquia Caranquí, ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura.

Las propiedades mecánicas se realizaron en los laboratorios de análisis de suelos y materiales pertenecientes al Gobierno Provincial de Imbabura (GPI) las cuales permitieron determinar las características mecánicas y de resistencia que tiene la madera, el laboratorio de suelos del GPI, se halla ubicada en la calle José Mejía Lequerica, parroquia El Sagrario, ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura.

3.2 Materiales, equipos, maquinaria, material vegetativo e insumos

Cada fase de la investigación tuvo el uso de varios materiales, equipos e instrumentos mismos que se enlistan en la tabla 10.

Tabla 10

Descripción de materiales, equipos e instrumentos

Materiales	Maquinaria y equipos	Insumos	Material vegetativo
Cinta diamétrica	Balanza digital	Aceite de dos tiempos	Muestra botánica
Cinta métrica	Brújula	Brújula	Probetas de madera
Formones	Calibrador digital	Cinta diamétrica	
Formulario	Canteadora	Cinta métrica	
Machete	Cepilladora	Gasolina	
	Cierra circular	Spray de pintura	
	Despuntadora	Plástico de embalaje	
	Estufa		
	Lijadora manual		
	Molduradora (tupi)		
	Motosierra		
	Prensa Universal		
	Taladro en banco		
	Torno		

Fuente: Autor.

3.3 Metodología

3.3.1 Obtención de aprobación para corta de árboles por investigación.

Previo a la fase de campo, se realizó el procedimiento legal para la corta de árboles, el cual debe ser tomado en cuenta antes de efectuar algún tipo de intervención al bosque o hacia cualquier tipo de plantación, se debe verificar la situación legal del predio a ser intervenido, contactar con los entes reguladores; dirigir una solicitud en formato informe, hacia la entidad encargada, la cual debe contener todos los datos referentes al investigador y a la institución a la que va dirigida, al igual que toda la información solicitada por dicha entidad (Ver Anexo C5).

Una vez enviada la solicitud se debe realizar un pago por el tema de investigación al estado (Ver anexo C1), el ente regulador emitirá la factura correspondiente al tema de solicitud del investigador (Ver Anexo C2). Realizados los pasos anteriores el ente regulador procede a emitir la aprobación o permiso de investigación, el cual permite efectuar la corta de los árboles con fines de investigación (Ver Anexo C3).

La entidad encargada de la parte legal y ambiental de cada ciudad o provincia estará a cargo del Ministerio de Ambiente o en algunos casos será el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

3.3.2 Obtención de guía de movilización.

Para la obtención de la guía de movilización se debe tener en cuenta que todos los papeles estén en regla para la corta o aprovechamiento legal de los árboles. Una vez cortados los árboles se debe dimensionar según sea la necesidad o especificaciones dentro de la investigación, posteriormente se emite una solicitud al ente regulador con las especificaciones, se adjunta un cuadro resumen con la cantidad de madera y dimensiones a ser movilizadas.

La solicitud debe ser adjuntada con una copia de cedula y certificado de votación del conductor, que va a trasladar la madera y una copia de la matrícula del vehículo en el que se va a transportar la madera, de ser la misma persona el conductor y dueño del vehículo solo se emite dichas copias de documentos personales; en el caso de contratar un vehículo y conductor diferentes, es necesario adjuntar una copia más de la cédula y certificado de votación del dueño del automotor para la verificación de la documentación.

La guía o permiso de movilización para investigaciones, empresas o trabajos independientes, permite trasladar la madera desde el punto de aprovechamiento de la madera hasta las instalaciones correspondientes bajo un permiso especial (Ver Anexo C4) para los diversos fines.

3.4 Sitio y obtención de material

La fase de campo y de obtención de material para los ensayos fue efectuado en La Estación Experimental “La Favorita”.

3.4.1 Selección de árboles

Se seleccionó siete árboles o individuos con las mejores características fenológicas, dasométricas y fitosanitarias según la Norma INEN 1158 como se detalla en la tabla 11.

3.4.2 Tumba de árboles; dimensionado y preparación de bloques

Aplicando la norma INEN 1159, empleando la ayuda de una motosierra se tumbaron los siete árboles seleccionados, de los cuales se extrajo trozas de 2,50 m de largo a partir del DAP de los árboles. Posteriormente se realizó el dimensionado o escuadre de cada uno de los bloques a 1,50 x 0,25 x 0,25 m cuidando la dirección radial, tangencial y oblicua; así como se muestra en la Figura 15.

Los bloques se clasificaron según el número de árbol aprovechado y troza dimensionada; brindando una codificación única a cada uno de los individuos la cual se realizó con un spray de color verde utilizando las siglas A# (árbol #), B# (bloque #) y F# (físicas#) esto último solo para el caso de los bloques destinados a las propiedades físicas.

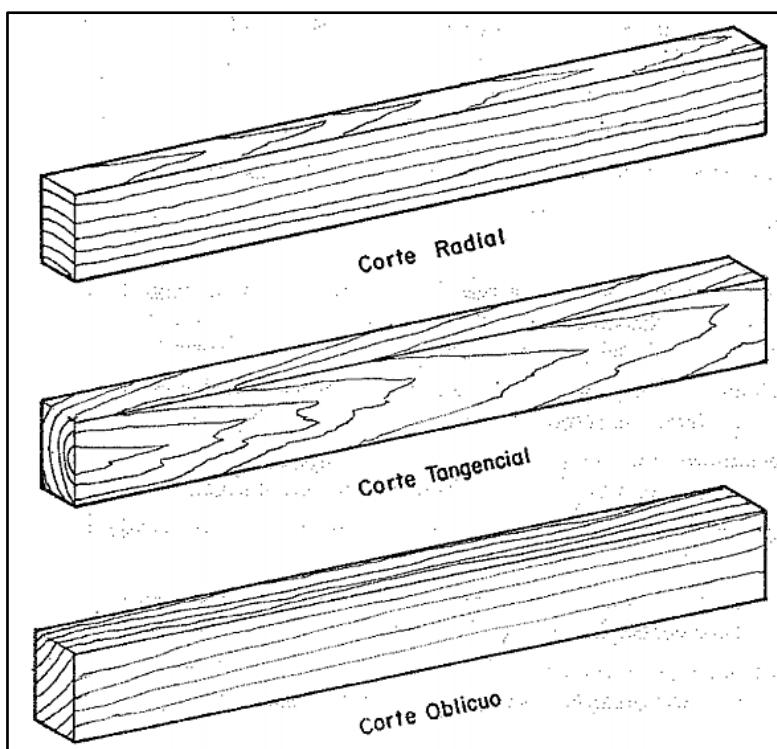


Figura 15. Cortes para obtención de probetas.

Fuente: Norma COPANT 459 (1972).

3.4.3 Embalaje, extracción y transporte de bloques

Una vez realizada la codificación respectiva se procedió a embalar cada bloque destinado al ensayo de las propiedades físicas, esto se lo realizó en el mismo sitio de aprovechamiento dentro de la plantación mediante el uso de un material sintético el cual es un plástico especial que permite retener la humedad de los bloques para su estudio.

Los bloques de madera se extrajeron del lugar de aprovechamiento en dos instancias, la primera desde la plantación, los cuales fueron llevados por tracción animal, se lo realizó con el uso de una mula y un caballo hacia la zona de estadía en la Estación Experimental “La Favorita”, para posteriormente ser trasladada a la vía de tercer orden cruzando el puente de la misma estación mediante tracción humana con carga al hombro especialmente los bloques destinados al estudio de las propiedades físicas.

El transporte o traslado de los bloques de madera se lo realizó en un camión de carga pesada particular, previamente registrado; la carga y descarga del camión se la realizó mediante tracción humana; la carga de los bloques al vehículo de transporte tardo un tiempo promedio de una hora, todo el proceso de carga se lo realizó en la vía de tercer orden perteneciente a la Estación Experimental “La Favorita”.

Una vez cargado el camión con los bloques de madera se trasladó hacia la Central Maderera y al Laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca, instalaciones de la granja Experimental Yuyucocha en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura, a los 8 días posteriores a su aprovechamiento. por la obtención de la guía y la distancia del punto de extracción al punto de desarrollo de los ensayos.

3.4.4 Obtención del material experimental

En la central maderera, siguiendo las normas INEN, ASTM y COPANT se realizó la preparación de los bloques para verificar su orientación y realizar la transformación de bloques a probetas. Se procedió a una recodificación y etiquetación del material vegetal según el número de árbol, orientación de las fibras de la madera y el número de la probeta.

3.4.5 Determinación de las propiedades físicas

Se aplicó las normas INEN y COPANT, para el dimensionado de probetas, obteniendo probetas de 10 x 5 x 5 cm, de siete árboles en sentido radial/tangencial, extrayendo siete probetas por árbol con un total de 49 probetas, normas que se muestran en la Tabla 11 y se representan en la Figura 16.

Tabla 11

Cuadro de normas para propiedades físicas.

Norma	Año	Detalle
INEN 1158	2011	Selección de árboles y colección de muestras; árboles rectos, sin bifurcaciones, sanos, cilíndricos.
INEN 1159	2011	Tumba y extracción de bloques, tumba técnica, obtención de dos a cuatro bloques de 1,50 metros a partir de 2,50 de la base del árbol.
INEN 1160	2011	Método de determinación de contenido de humedad (probetas 10 x 5 x 5 cm).
COPANT 459	1972	Acondicionamiento de probetas para ensayos de propiedades físicas
COPANT 461	1972	Método de determinación del contenido de humedad. Acondicionamiento de probetas para ensayos (probetas de 10 x 5 x 5 cm).
COPANT 462	1972	Método de determinación de contracción (probetas de 10 x 5 x 5 cm).

Fuente: INEN, (2011) y COPANT, (1972).

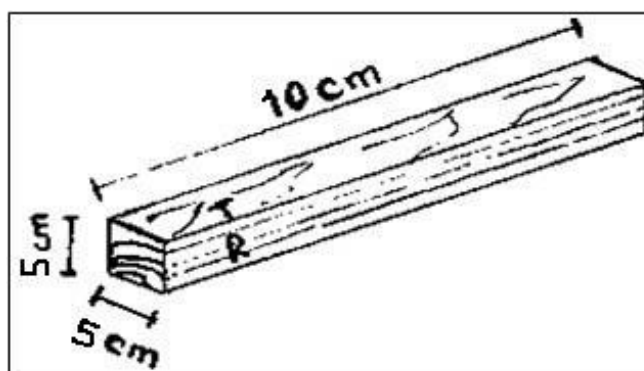


Figura 16. Probetas Para la Determinación de Propiedades Físicas.

Fuente: Norma COPANT 459 (1972) e INEN (2011).

3.4.5.1 Contenido de humedad

Esta propiedad se determinó según las Norma COPANT 460. En donde se utilizó siete probetas libres de defectos de cada árbol, en sección transversal, bien orientadas de tal forma que se distingan dos caras radiales y dos caras tangenciales.

- **Procedimiento**

Las probetas fueron dimensionadas, etiquetadas y pesadas en una balanza electrónica, en condición verde (peso húmedo o verde), las probetas permanecieron alrededor de 60 días aproximadamente en estado ambiente (peso seco al ambiente), durante los 60 días se pesaron las probetas cada 24 horas para verificar la variación de peso hasta que todas las probetas no varíen en su peso, hasta obtener dos pesos consecutivos iguales. Posteriormente se colocó todas las probetas en una estufa eléctrica (peso seco al horno), provista de termo regulador a una temperatura inicial de 60° C hasta llegar a la temperatura de 103 ± 2 °C durante 72 horas y se tomó pesos parciales cada 12 horas hasta obtener dos pesos consecutivos iguales, al final se procedió a retirar las probetas.

Para la estimación del contenido de humedad se empleó la siguiente fórmula:

$$CH\% = \frac{PV - PSH}{PSH} \times 100$$

Fuente: Norma COPANT 460 (1972)

Donde:

CH = Contenido de humedad expresada en porcentaje (%).

PV = Peso de la probeta en estado verde expresado en gramos (g).

PSH = Peso de la probeta en estado seco al horno expresado en gramos (g).

3.4.5.2 Densidad

Esta propiedad se determinó según la norma COPANT 461, se utilizó siete probetas por árbol con las siguientes dimensiones: 10 cm de longitud y de 5 cm x 5 cm de sección transversal, orientadas de tal forma que se distingan dos caras radiales y dos caras tangenciales, con un total de 49 probetas.

- **Procedimiento:**

Para determinar la densidad se tomó en cuenta las tres condiciones: madera en condición (verde, seca al aire, seca al horno) y se analizó la densidad básica.

- **Madera en condición verde**

Para determinar la densidad en estas condiciones, las probetas fueron almacenadas en plástico de embalaje, las cuales se pesaron en una balanza electrónica obteniendo el peso verde (PV). En las mismas probetas se realizó la medición con el calibrador o pie de Rey en las seis caras, con el fin de determinar el volumen verde, posterior se realizó los cálculos de la densidad en esta condición.

Para la estimación de la densidad verde se empleó la siguiente fórmula:

$$DV = \frac{PV}{VV} \text{ g/cm}^3$$

Fuente: Norma COPANT 461 (1972)

Donde:

DV = Densidad de la probeta en condición verde expresada en g/cm³.

PV = Peso de la probeta en estado verde expresado en gramos (g).

VV = Volumen de la probeta en estado verde expresado en cm³.

- **Madera en estado de seco al aire**

Las probetas se dejaron al ambiente durante varios días aproximadamente 45 días, hasta obtener dos pesos consecutivos iguales. Se registraron valores periódicos hasta obtener un peso constante y obtener el peso seco al aire (P.S.A).

Para la estimación de la densidad seca al aire se empleó la siguiente fórmula:

$$DSA = \frac{PSA}{VSA} \text{ g/cm}^3$$

Fuente: Norma COPANT 461 (1972).

Donde:

DSA = Densidad de la probeta en condición seca al aire expresada en g / cm³.

PSA = Peso de la probeta en estado seco al aire expresado en gramos.

VSA = Volumen de la probeta en estado seco al aire expresado en g / cm³.

- **Madera en estado seco al horno (anhidra)**

Con las probetas en estado seco al horno se tomaron los respectivos pesos y las medidas tangenciales, radiales y longitudinales con el calibrador digital para obtener el volumen aplicando la fórmula de la densidad

Para los cálculos de densidad en los tres estados de las probetas (verde, seco al aire y seco al horno) se realizó mediante las siguientes fórmulas:

$$DA = \frac{PSH}{VSH} \text{ g/cm}^3$$

Fuente: Norma COPANT 461 (1972).

Donde:

DA = Densidad de la probeta en estado anhidro expresada en g/ cm³.

PSH = Peso de la probeta en estado seco al horno expresado en gramos.

VSH = Volumen de la probeta en estado seco al horno expresado en cm³.

3.4.5.3 Densidad básica

Se tomó el peso en estado seco al horno de las 49 probetas y se lo relacionó con el volumen en estado verde.

$$DB = \frac{PSH}{VV} \text{ g/cm}^3$$

Fuente: Norma COPANT 461 (1972).

Donde:

DB = Densidad básica expresada gr/ cm³.

PSH = Peso de la probeta en estado seco al horno expresado en gramos (g).

VV = Volumen de la probeta en estado verde expresado en cm³.

3.4.5.4 Contracción

En base a la norma INEN 1164 se determinó la contracción, utilizando 49 probetas de dimensiones 10 x 5 x 5 cm con orientación tangencial / radial.

Procedimiento:

- Se señalaron todas las probetas en las seis caras con el fin de mostrar las posiciones correctas para realizar las mediciones.
- Se tomó los datos de la medición con el calibrador digital en las tres dimensiones de las probetas.

3.4.5.5 Dimensión longitudinal

Se realizó la toma de dos medidas perpendiculares, en las caras radial y tangencial, la cual fue desde la base inferior hacia la superior de las probetas.

$$CLN (\%) = \frac{DLV - DSLA}{DLV} \times 100$$

Fuente: Norma INEN 1164, (2011).

Donde:

CLN% = Contracción longitudinal normal de la probeta en condición verde al seco al ambiente, expresada en porcentaje (%)

DLV = Dimensión longitudinal de la probeta en estado verde expresada en milímetros (mm)

DLSA = Dimensión longitudinal de la probeta en condición seco al ambiente, expresado en milímetros.

$$CLN (\%) = \frac{DLV - DSLH}{DLV} \times 100$$

Fuente: Norma INEN 1164, (2011).

Donde:

CLN%= Contracción longitudinal total de la probeta de estado verde a estado anhidro expresada en (%).

DLV= Dimensión longitudinal de la probeta en estado verde expresada, en milímetros (mm).

DLSH= Dimensión longitudinal de la probeta en estado anhidro, expresado en milímetros (mm).

3.4.5.6 Dimensión radial

Esta medición se realizó desde la separación existente entre las diferentes caras tangenciales con una distancia de 3 cm de las bases hacia el centro de los dos extremos de la probeta.

$$CRN (\%) = \frac{DRV - DRSA}{DRV} \times 100$$

Fuente: Norma INEN 1164, (2011).

Donde:

CNR%= Contracción en sentido radial normal de la probeta en condiciones verde y también seco al ambiente expresada en porcentaje (%).

DVR= Dimensión radial en estado verde de la probeta expresada en mm.

DRSA= Dimensión radial de la probeta en seco al ambiente, expresado en mm.

$$CRT (\%) = \frac{DRV - DRSH}{DRV} \times 100$$

Fuente: Norma INEN 1164, (2011).

Donde:

CTR%= Contracción radial total de la probeta de estado verde al estado anhidro

DVR= Dimensión radial de la probeta en verde expresada en mm.

DRSH= Dimensión radial de la probeta anhidra expresada en mm.

3.4.5.7 Dimensión tangencial

Esta medición se realizó desde la separación existente entre las diferentes caras radiales con una distancia de 3 cm de las bases hacia el centro de los dos extremos de la probeta.

$$CTN (\%) = \frac{DTV - DTSA}{DTV} \times 100$$

Fuente: Norma INEN 1164, (2011).

Donde:

CTN%= contracción en sentido tangencial normal de la probeta en verde en estado al ambiente.

DTV= Dimensión tangencial de la probeta en estado verde en mm.

DTSA= Dimensión tangencial de la probeta en condición seco al aire, expresado en mm.

$$CTT (\%) = \frac{DTV - DTSH}{DTV} \times 100$$

Fuente: Norma INEN 1164, (2011).

Donde:

CTT%=Contracción tangencial total de la probeta de verde a anhidra.

DTV= Dimensión tangencial de la probeta en verde expresada en mm.

DTSH= Dimensión tangencial de la probeta anhidra expresado en mm.

3.4.5.8 Dimensión volumétrica total

Se conoce como la relación de la contracción en las caras radiales y las tangenciales por cada probeta, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Cvt = Clt + Ctt + Crt$$

Fuente: Norma INEN 1164, (2011).

Dónde:

Cvt= Contracción volumétrica total de la probeta de estado verde, al estado anhidro, en porcentaje.

Crt= Contracción radial total de la probeta, en (%).

Ctt= Contracción tangencial total de la probeta, expresada en (%).

3.4.5.9 Relación tangencial / radial

Es la relación entre la contracción tangencial y radial con el fin de analizar la estabilidad dimensional de las probetas.

$$T/R = \frac{CTT}{CRT}$$

Fuente: Norma INEN 1164, (2011).

Donde:

T/R= Relación tangencial radial.

CTT= Contracción tangencial total de la probeta, en (%).

CRT= Contracción radial total de la probeta en (%)

3.4.6 Determinación de las propiedades mecánicas

Se realizó en probetas secas al aire. Aplicando la norma COPANT 459 para la obtención de las probetas de los distintos ensayos y en base a la norma ASTM D143-09, se realizó los ensayos con las siguientes especificaciones de dimensionado y dirección de las probetas como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12

Probetas para ensayos de propiedades mecánicas

Ensayo	Orientación	Dimensión probetas(cm)	Número de probetas
Cizallamiento	T/R	10 × 10 × 3	35
Compresión paralela	T/R	10 × 5 × 5	49
Compresión perpendicular	T - R - O	10 × 5 × 5	105
Flexión estática	T - R - O	76 × 5 x 5	105

Fuente: COPANT 459 y ASTM D143-09

Todas las pruebas mecánicas se realizaron en los laboratorios del GPI utilizando una prensa hidráulica semiautomática marca Lafert de origen estadounidense la cual ejerce una presión con una potencia de 1.0 HP; para cada ensayo se calibro la maquina según el requerimiento necesario, es importante tomar las medidas y pesos de varias probetas para realizar un cálculo de área el cual se ingresa en el sistema de la maquina al igual que el peso se realiza una media para ingresar en el sistema, la prensa hidráulica calcula automáticamente los límites de esfuerzo máximo que soporta el material al ser sometido a los diferentes tipos de esfuerzos mecánicos.

3.4.6.1 Cizallamiento

El ensayo de cizallamiento se realizó según la Norma ASTM D143-94, realizando una sola repetición por probeta, utilizando cinco probetas por árbol con un total de 35, los esfuerzos máximos los determina la maquina en MPA los cuales deben ser convertidos a kgf antes de proceder a utilizar la siguiente fórmula:

$$EM = \frac{P}{S} \text{ kgf/cm}^2$$

Fuente: Norma ASTM D143 - 94 (2010).

Donde:

EM = Esfuerzo máximo, expresado en (kgf/cm²).

P = Presión en (kgf)

S = Superficie en (cm²).

3.4.6.2 Compresión

- **Compresión paralela**

Consiste en encontrar las deformaciones y la falla de las probetas sometidas a una aplicación de una carga paralela al grano a una velocidad constante. Se ensayó con 49 de probetas, con siete muestras por árbol, de dimensiones (10 x 5 x 5) cm con orientación T/R según la Norma ASTM 143 – 94, los esfuerzos máximos fueron definidos por la prensa hidráulica.

$$E.F.L.P. = \frac{P1}{bxh} \text{ kgf/cm}^2$$

Fuente: Norma ASTM D143 – 94 (2010).

Donde:

E.F.L.P. = Esfuerzo en el límite proporcional, expresado en (kgf/cm²).

P1 = Carga en el límite proporcional en (kgf)

b = Ancho de la probeta en (cm).

h = Altura del bloque metálico en (cm).

- **Compresión perpendicular**

Consiste en exponer a las probetas de madera al esfuerzo máximo para encontrar las deformaciones o fallas al ser sometidas a la aplicación de una carga perpendicular al grano a una velocidad constante. Se utilizó 105 de probetas, de dimensiones (10 x 5 x 5) cm, según la Norma ASTM 143 – 94, los esfuerzos máximos fueron definidos por la prensa hidráulica.

$$E.F.L.P. = \frac{P2}{bxh} \text{ kgf/cm}^2$$

Fuente: Norma ASTM D143-94 (2010)

Donde:

E.F.L.P. = Esfuerzo en el límite proporcional en (kgf/cm²).

P2 = Carga en el límite proporcional en (kgf)

b = Ancho de la probeta en (cm).

h = Altura del bloque metálico en (cm).

3.4.6.3 Flexión estática

Se sometió a las probetas a la carga máxima que pueden soportar verificando las deformaciones y las fallas al ser sometidas a una carga a una velocidad constante. Con un total de 105 probetas de dimensiones (76 x 5 x 5) cm, según la norma ASTM D143-09, provenientes de siete árboles, cinco probetas por cada orientación, de tal forma que se distingan caras radiales, tangenciales y oblicuas o longitudinales, como se señala en la figura 17.

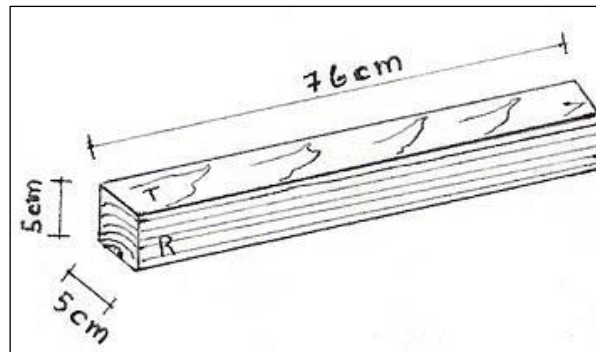


Figura 17. *Probetas para Ensayos de Flexión Estática.*
Fuente: Norma ASTM D143-09 (2010).

- **Procedimiento**

Se realizó el dimensionado de las probetas en los tres planos (radial, tangencial y longitudinal); se midió las probetas con calibrador y metro para luego fijar a cada una de las probetas sobre los apoyos a una distancia de 15 cm de los extremos, para obtener una luz de 42 cm. Cada una de las probetas se colocó de tal manera que, al aplicar la carga en su respectiva cara o dirección, ésta sea aplicada exactamente en el centro de la probeta. Se usó como elemento de carga un cabezal de metal de 2 cm de área.

- **Esfuerzo unitario de las fibras al límite proporcional**

Se calculó utilizando las siguientes fórmulas:

$$E.U.L.P = \frac{1.5 \times L \times P1}{b \times h^2} \text{ kgf/cm}^2$$

Fuente: Norma ASTM D143-09 (2010).

Dónde:

E.U.L.P. = Es el esfuerzo unitario en el límite proporcional expresado en (kgf/cm²).
P1 = Es la carga en el límite proporcional en (kgf/cm²).

1,5 = Constante.
L = Luz de la probeta en (cm).
b = Corresponde al ancho de la probeta en (cm).
h² = Corresponde a la altura de la probeta en (cm²).

$$E.F.L.P = \frac{P1}{b \times d} \text{ kgf/cm}^2$$

Fuente: Norma ASTM D143 - 09 (2010).

Dónde:

E.F.L.P. = Es el esfuerzo en el límite proporcional, expresado en (kgf/cm²).
P1 = Es la carga en el límite proporcional en (kgf).
b = Es el ancho de la probeta en (kgf).
d = Es el espesor de la probeta en (cm).

- **Módulo de ruptura (M.O.R)**

$$M.O.R = \frac{1.5 \times L \times P2}{b \times h^2} \text{ kgf/cm}^2$$

Fuente: Norma ASTM D143 - 09 (2010).

Donde:

MOR = Es el esfuerzo unitario máximo expresado en (kgf/cm²).
P2 = Es la carga máxima obtenida en (kgf/cm²).
1,5 = Constante.
L = Luz de la probeta en (cm).
b = Corresponde al ancho de la probeta en (cm).
h² = Corresponde a la altura de la probeta en (cm²).

- **Módulo de elasticidad (M.O.E)**

$$M.O.E = \frac{0,25 \times L^3 \times P1}{b \times h^3 \times Y^3} \text{ kgf/cm}^2$$

Fuente: Norma ASTM D143 - 09 (2010).

Donde:

MOE = Módulo de elasticidad expresado en (kgf/cm²).
P1 = Carga en el límite proporcional en (kgf/cm²).
0,25 = Constante.
L³ = Luz de la probeta en (cm³).
b = Corresponde al ancho de la probeta en (cm).
h³ = Altura de la probeta en (cm³).
Y³ = Deflexión en el límite proporcional en (cm³).

3.4.7 Determinación de las propiedades de trabajabilidad

Para los ensayos de trabajabilidad se utilizó las siguientes normas ASTM D 1666-87 (1999) que se detallan a continuación en la Tabla 13:

Tabla 13

Probetas y ensayos de propiedades de trabajabilidad

Ensayo	Orientación	Dimensión probetas (cm)	Número de probetas
Cepillado	T - R - O	100 × 10 × 6	105
Lijado	T - R - O	100 × 10 × 5	105
Moldurado	T - R - O	100 × 10 × 5	105
Taladrado	T - R - O	100 × 10 × 5	105
Torneado	T/R	15 × 5 × 5	35
Tallado	T/R	120 x 20 x 18	2

T: Tangencial; R: Radial; O: Oblicuo

Fuente: Norma ASTM D 1666- 87 (Reaprovada en 2004).

Es preciso indicar que para los ensayos de cepillado, lijado, moldurado y taladrado se utilizó 105 probetas en total, y se realizó cada ensayo uno después del otro.

Para la evaluación de las probetas se realizó una inspección visual, donde se identificó fibras y granos. La magnitud de defectos en las probetas se calificó con la siguiente escala:

- Grado 1: Excelente, (E) la probeta debe estar totalmente libre de defectos
- Grado 2: Bueno, (B) acepta fibra levantada de 10 a 20%.
- Grado 3: Regular, (R) acepta fibra levantada hasta en un 30% y presencia de grano desgarrado.
- Grado 4: Malo, (M) acepta fibra levantada hasta en un 40%, y en grano desgarrado se acepta hasta un 30%.
- Grado 5: Muy Malo, (Mm) la fibra levantada se encuentra sobre un 40% y grano desgarrado supera el 30%.

Las probetas utilizadas para los ensayos fueron debidamente orientadas según su dirección en el tronco (Ver figura 18). Todos los ensayos se realizaron en madera seca al aire con un contenido de humedad aproximado del 12 %.

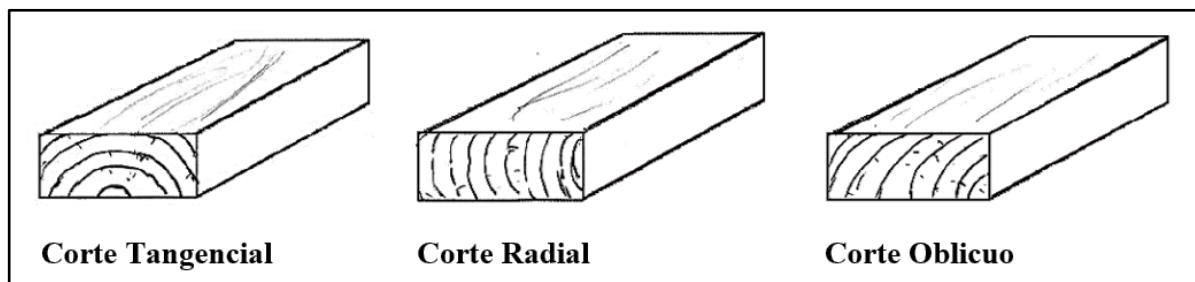


Figura 18. Tipos de Corte Según la Orientación.

Fuente: Norma ASTM D 1666- 87 (1999).

3.4.7.1 Cepillado

Para este ensayo se utilizó los siete árboles previamente seleccionados. El número de probetas empleadas fueron las siguientes: cinco probetas en corte tangencial, cinco probetas en corte radial y cinco probetas en corte oblicuo; cada corte de las probetas se lo realizó de los siete arboles respectivamente obteniendo un total de 105 probetas, los datos se registraron en una matriz para llevar el control del ensayo.

- **Maquinaria**

En el ensayo se utilizó la cepilladora de marca DAFIGO, motor de 3.7 H.P. (3485 rpm), mandril de 9 cm, mesa de 1.85m de largo y 35cm de ancho, porta cuchillas de 35cm; con tres cuchillas de acero, con un ángulo de corte rápido de 35 grados que tiene un alimentador de velocidad (motor) de 1.5 H.P. (1740 rpm).

- **Dimensión de probetas**

Las dimensiones de las probetas utilizadas para este ensayo fueron las siguientes: 100 cm de longitud, 10 cm de ancho y 6 cm de espesor (Ver Figura 19).

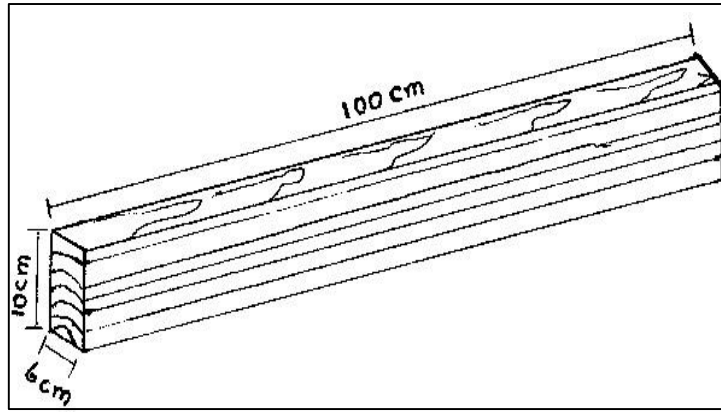


Figura 19. Dimensión de las Probetas Para Ensayos de Cepillado.
Fuente: Norma ASTM D 1666- 87 (1999).

- **Procedimiento**

Para el reconocimiento de las probetas se codificaron indicando, número de árbol, orden y orientación de la probeta luego se marcó con una flecha en el extremo de cada probeta para indicar la dirección de alimentación a favor y en contra del grano, se realizó dos pasadas a favor y dos en contra del grano de cada probeta.

Una vez terminado el ensayo se evaluó defectos como el grano velloso, el grano arrancado y el grano levantado (astillado) respectivamente, se midió con el calibrador las probetas para verificar la disminución del grano en el espesor.

- **Cálculo**

Se determinó la velocidad de alimentación mediante un cronómetro y comparando, las velocidades marcadas en el alimentador con las velocidades obtenidas.

$$\begin{array}{l} 6,97\text{seg.} \text{-----} .1\text{m} \\ 60\text{seg.} \text{-----} X = \text{Val.} \end{array}$$

$$\text{Val.} = \frac{60 \times 1}{6,97} = 8,60 \text{ m/min}$$

Fuente: Normas ASTM 1666-87 (1999).

El ancho de marca se determinó con la máquina ajustada a una velocidad de alimentación de 8,60 m/min.

3.4.7.2 Lijado

Para el ensayo se utilizó las mismas probetas que en el cepillado (105 probetas en total) probetas que de espesor tenían aproximadamente 5,4 cm después del ensayo de cepillado. El ensayo de lijado se realizó en dos fases:

El primer proceso de lijado (remoción con lija N°60) se lo realizó con la finalidad de obtener una superficie lisa a partir de una superficie brusca, consecuencia del maquinado previo cepillado.

En el segundo proceso se realizó la remoción con la lija N°100, el propósito de este ensayo fue determinar la eficiencia, calidad superficial y tipos de defectos ocasionados con los dos tipos de lijas.

- **Maquinaria**

Para el ensayo se utilizó una lijadora manual Nordstand de seis velocidades con un tamaño de disco adaptable desde 125-180 mm; con una potencia de 1.400 W, con un peso aproximado de 4,04 kg., con una reacción de 0 a 3000 RPM en corto tiempo con una gran maniobrabilidad debido al disco orbital y manija que posee.

- **Dimensiones de probetas**

Se utilizó probetas con las siguientes dimensiones: (100 x 10 x 5) cm (Ver figura 20).

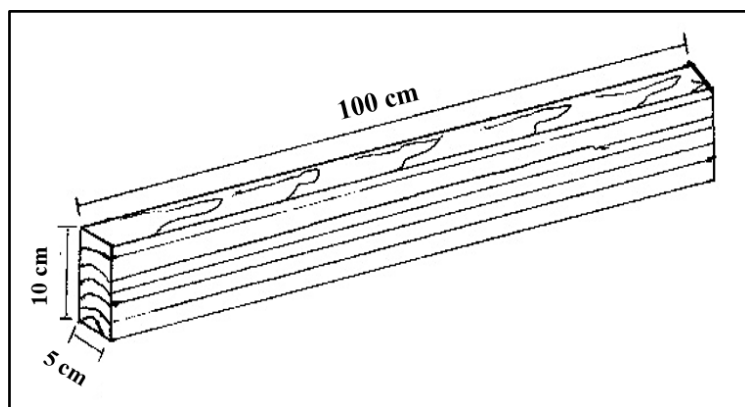


Figura 20. Dimensión de Probeta Destinada a Ensayos de Lijado.

Fuente: Norma ASTM D 1666- 87 (1999).

- **Procedimiento**

Para el ensayo del lijado con la ayuda de un calibrador se midió en la parte media de la probeta para una posterior medida al finalizar el ensayo, se realizó dos pasadas a favor y en contra del grano, se evaluó los defectos del ensayo y la verificación de la reducción o eliminación de los defectos del ensayo anterior y, por último, se midió nuevamente la probeta para verificar el desgaste y registrarlo en la matriz de evaluación de defectos.

3.4.7.3 Moldurado

Para este ensayo se utilizó las mismas probetas del lijado, cinco en corte radial, cinco en corte tangencial y cinco en corte oblicuo, 15 probetas por árbol (105 probetas en total). Estas probetas fueron previamente canteadas, cepilladas y lijadas, para obtener una superficie uniforme, para evitar defectos en los cantos.

- **Maquinaria**

Se utilizó una fresadora manual marca Dewalt DW616 de 1 ¾ H.P., Router de 120 V, con una capacidad de 24500 RPM, con cambio de fresas (cuchillas) acorde a la necesidad del ejecutor.

- **Dimensiones de probetas**

En este ensayo se utilizó probetas de (100 x 10 x 5) cm de longitud, ancho y espesor respectivamente. (Ver figura 21).

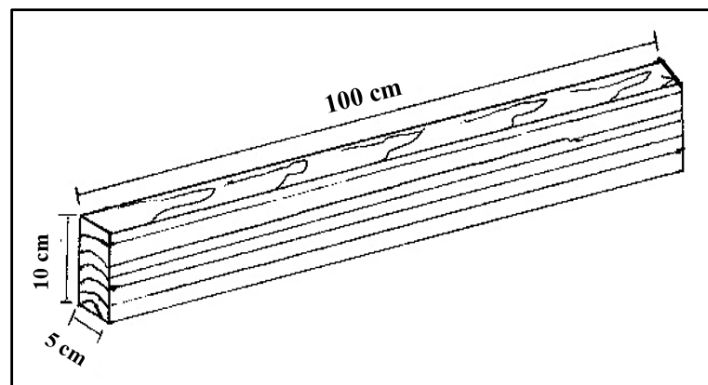


Figura 21. Dimensión de Probeta Destinada a Ensayos de Moldurado.

Fuente: Norma ASTM D 1666- 87 (1999).

- **Procedimiento**

Para el ensayo de moldurado se utilizó con una fresadora manual, con dos tipos de fresas, una fresa para el filo con una y otra en fresa para la parte intermedia de la probeta. Se realizó pasadas en los cantos, y en la parte media de la probeta, para obtener resultados a favor y en contra del grano, se tomó el tiempo de alimentación de la fresadora, se calificó de acuerdo al grado de defecto de la probeta a favor y en contra del grano.

3.4.7.4 Taladrado

Para este ensayo se utilizó las mismas probetas después del moldurado, cinco en corte radial, cinco en corte tangencial y cinco en corte oblicuo, 15 probetas por árbol (105 probetas en total).

- **Dimensiones de la probeta**

Se utilizó quince probetas por árbol, debidamente orientadas: cinco tangenciales, cinco oblicuas y cinco radiales, de (100 x 10 x 5) cm de longitud, ancho y espesor respectivamente (Ver figura 22).

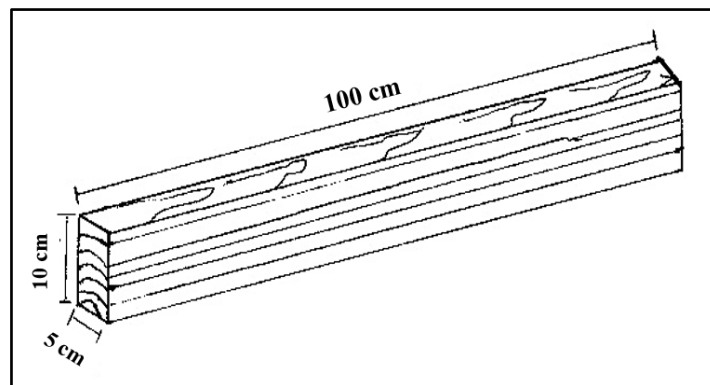


Figura 22. Dimensión de Probeta Destinada a Ensayos de Moldurado.

Fuente: Norma ASTM D 1666- 87 (1999).

- **Procedimiento**

Con la ayuda de una plantilla se ubicó los puntos a taladrarse, se realizó dos ensayos por probeta, uno a cada extremo, a una distancia de 10 cm de los extremos y a 4.5 cm de los cantos, se aplicó una carga manualmente para realizar la penetración y verifico los defectos después de cada penetración de la broca. La calidad de grados de defectos se realizó de acuerdo a la Norma ASTM D-1666-87.

3.4.7.5 Torneado

Para este ensayo se utilizaron probetas diferentes debidamente orientadas, realizando un corte radial/tangencial, cinco cortes por árbol (35 probetas en total).

- **Maquinaria**

Para realizar el ensayo se utilizó un torno manual marca INVICTA de punta móvil, motor de 2H. P, 1720 rpm, se utilizó tres clases de gubias una de 2 cm, 1 cm, 0, 5 cm de ancho totalmente rectas.

- **Dimensiones de la probeta**

Se utilizó cinco probetas por árbol, en las caras radiales, tangenciales con las siguientes dimensiones de 15 x 5 x 5 cm (**Ver figura 23**).

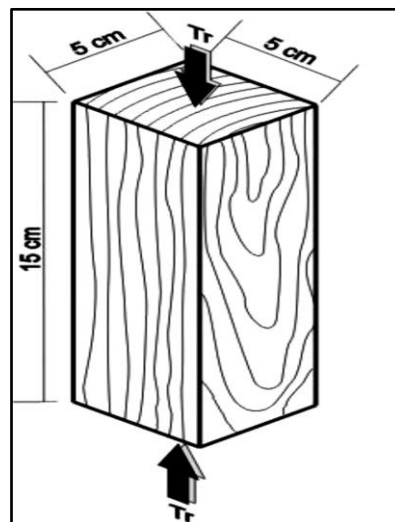


Figura 23. *Probeta para ensayos de torneado.*
Fuente: Norma COPANT 459 (1972).

- **Procedimiento**

Cada probeta codificada y dimensionada adecuadamente se colocó en la máquina tornadora, con la gubia de 2 cm se empezó a darle forma a la probeta, luego con las dos gubias siguientes se definió la forma de la probeta, una en forma de carrete, uva y botella, comúnmente mencionadas por los carpinteros. La calidad de grados de defectos se evaluó de acuerdo a la Norma ASTM D1666-87 tomando en cuenta: grano arrancado, grano vellosos y grano levantado. El porcentaje de afectación de defectos se realizó por medición

directa en las zonas afectadas de cada probeta, auxiliándose de una lupa para identificar los tipos de defectos que se presentaran en las probetas.

3.4.7.6 Tallado

- **Dimensiones de la probeta**

Se utilizó dos bloques de 120 cm de longitud, 20 cm de ancho y 18 cm de espesor. Las dimensiones de tallado dependerán del escultor o tallador para trabajar en las medidas estándar, debido a que puede adaptarse la metodología a diferentes medidas.

- **Procedimiento**

Las probetas fueron trasladadas al Instituto de Artes Plásticas Daniel Reyes en San Antonio de Ibarra, para ser talladas con diferentes técnicas; matriz, volumen, estilizado y relieve. Para la evaluación se llenó una ficha de calificación de acuerdo a la Norma ASTM D-166687 del comportamiento de la madera ante este proceso de transformación.

Para realizar el ensayo la madera debe estar completamente seca, todas las herramientas, gubias y formones totalmente filas.

El tallado debe ser efectuado por una persona con experiencia que maneje y conozca de madera debido a los posibles defectos que pueden presentarse y la evaluación será en base al comportamiento de la misma que detallará la persona encargada de realizar el ensayo.

3.3.1 Evaluación de los ensayos

3.3.1.1 Defectos a considerar

La evaluación de los ensayos se realizó de acuerdo a lo establecido por la Norma ASTM-D 1666-64 (reaprobada en 2004), en la cual se consideran los siguientes defectos: grano astillado, grano apelmusado, grano levantado, marcas de astilla, grano rasgado, grano

comprimido y rayones, en base a la presencia y severidad de los defectos antes señalados, visualizando la probeta con luz natural y clasificándolos de la siguiente manera:

GRADO 1: Excelente: Libre de defectos.

GRADO 2: Buena: Con defectos superficiales que pueden eliminarse con una lija fina del No. 100.

GRADO 3: Regular: Con defectos marcados que pueden eliminarse al utilizar una lija gruesa del No. 60 y después una fina del No. 100.

GRADO 4: Pobre: Con defectos severos que para eliminarlos se requiere trabajar nuevamente la pieza de madera.

GRADO 5: Muy pobre: Con defectos muy severos que para eliminarlos se requiere sanear la pieza de madera trabajada.

3.3.1.2 Evaluación de acuerdo a la extensión y severidad del defecto.

La evaluación de las probetas, también se llevó a cabo de acuerdo al procedimiento utilizado por Zavala (1976). En este tipo de evaluación se tomó en cuenta la ausencia o presencia de defectos, y en este último caso se evaluó la extensión de los defectos otorgándole un grado en base a la superficie total de la probeta (Tabla 14).

Tabla 14

Clasificación en base a la extensión del defecto.

GRADO	EXTENSIÓN DEL DEFECTO (%)
1	0 a 1
2	1 a 2
3	2 a 3
4	3 a 4
5	≥ 4 a 5

Fuente: Norma ASTM D1666-87 (1992).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de Propiedades Físicas

4.1.1 Contenido de Humedad

Se determinó un CH promedio de 69,01 % lo que permite deducir que la madera de esta especie tiene una capacidad higroscópica media, la desviación estándar de la media indica que los datos están medianamente agrupados y algo dispersos según el coeficiente de variación calculado, además el error estándar de la media asevera que el conjunto de datos muestra valores que no superan a uno, por lo cual existe un error estándar bajo como se muestra en la Tabla 15 y la Figura 24.

Tabla 15.

Estadística Descriptiva del Contenido de Humedad

Estimador estadístico	Unidad	Media	Suma	Desviación estándar	Error estándar	CV	
Contenido de humedad	Promedio	%	69,01	483,08	4,02	1,52	5,82

Fuente: Autor.

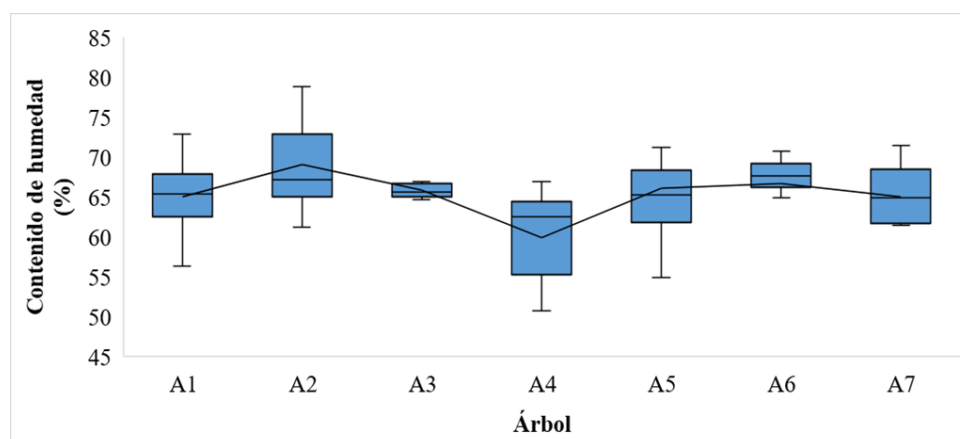


Figura 24. Comportamiento del Contenido de Humedad.

Fuente: Autor.

El contenido de humedad de liquidámbar en estado verde es de 79% para el duramen y 137% para la albura (Forest Service, 1999). Datos que se asemejan a los obtenidos en la presente investigación tomando en cuenta una relación albura-duramen como una misma y la diferencia de años presente en cada investigación, porque los arboles a mayor edad

presentan una mayor lignificación, por ende, tienen una diferenciación en la cantidad de agua que poseen, así notándose una variación pequeña entre las misma especie, a pesar de ser una especie que se encuentra en el mismo tipo de densidad que la estudiada, pues presenta una mayor retención de agua debido a su composición estructural o al lugar en donde se desarrolló.

La pérdida o reducción de humedad desde el estado verde al estado seco al ambiente, fue determinada en 45 días, pero se continuo con la toma de datos (peso) hasta los 60 días aproximadamente para verificar que la estabilización del peso sea constante (tabla 16), en este transcurso de tiempo se presentaron mínimas alteraciones, debido a la elevación en la humedad relativa por la presencia de lluvias estacionarias del 12 al 20 de septiembre, así como se representa en la figura 25.

Tabla 16.

Peso Promedio de Estado Verde a Estado Seco al Ambiente.

Árbol	Peso Verde (g)	Peso Seco Ambiente (g)
A1	276,86	169,29
A2	274,86	169,29
A3	273,86	168,43
A4	272,29	166,86
A5	271,29	165,29
A6	270,86	162,86
A7	270,86	163,57

Fuente: Autor.

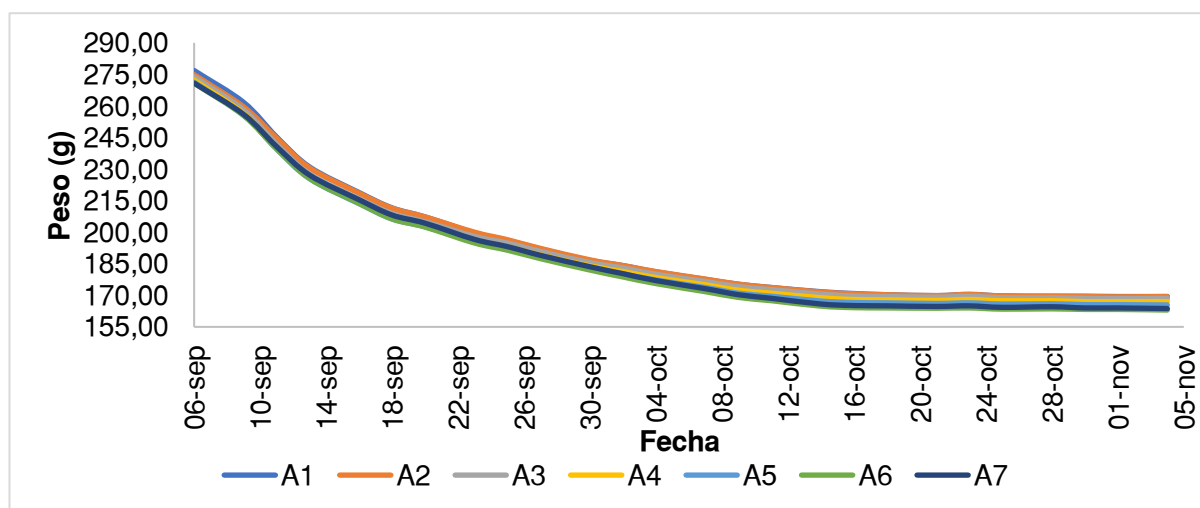


Figura 25. Curva de Desorción.

Fuente: Autor.

4.1.2 Densidad

Se obtuvo una densidad básica de $0,50 \text{ gr/cm}^3$, por lo cual según la clasificación de maderas del INEN, (2011) se encuentra en el rango de las maderas medias a blandas tipo “C”, de tal manera la desviación estándar de la media indica que los datos están agrupados y homogéneos según el coeficiente de variación, además que el error estándar de la media muestra un sesgo estadístico muy bajo para los resultados obtenidos como se muestran en la tabla 17 y el comportamiento en la figura 26.

Tabla 17.

Estadística Descriptiva de la Densidad.

Estimador estadístico		Unidad	Media	Suma	Desviación estándar	Error estándar	CV
Densidad	Básica	gr/cm³	0,50	3,51	0,01	0,00	2,05

Fuente: Autor.

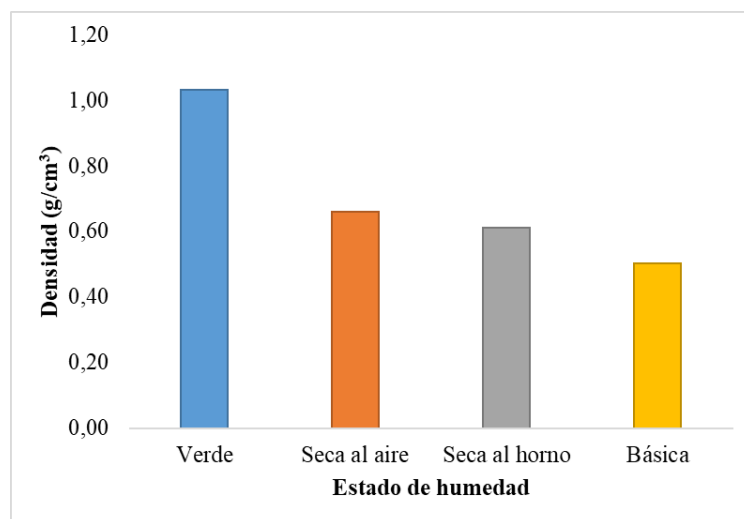


Figura 26. Comportamiento de la Densidad.

Fuente: Autor.

Jeffries (2008), al estudiar árboles con 9 años de edad, encontró que la madera de esta especie, contiene una densidad básica promedio de 0.56 g/cm^3 . Las diferencias encontradas por Jeffries pueden explicarse debido a la edad de los árboles utilizados en el estudio y la calidad del sitio en donde estos se desarrollaron. En general, la masa específica de la madera tiende a reducir con la edad, razón por la cual existe una diferencia mínima en la densidad básica obtenida en este estudio.

Carpenter y Hopkins (1966), al estudiar el comportamiento de la densidad básica en la parte superior del tronco en comparación con la inferior para la madera *Liquidambar styraciflua*, de 50 años en Mississippi, Estados Unidos, encontraron un valor promedio de densidad básica de 0,51 g/cm³. Al igual que Mattos et al. (2001), encontraron una masa específica básica de 0,52 g/cm³, para madera *Liquidambar styraciflua* a los 16 años de edad. Lo cual ratifica la relación inversa entre lignificación de la madera y la edad del árbol, para determinar la densidad de la madera.

El Forest Products Laboratory, (FPL, 2010), obtuvo una densidad básica de 0,46 g/cm³ para *Liquidambar* sp., un valor cercano al obtenido en esta investigación, confirmando el mediano a rápido crecimiento de la especie.

4.1.3 Contracción

Dentro de los análisis de contracción, esta especie presenta una compresión radial de 4,60% (alta), tangencial de 13,54% (muy alta), relación volumétrica total 17,51% (muy alta), y una relación Tangencial/Radial de 3,03% (muy alta), debido al comportamiento de las fibras, así la desviación estándar indica que los datos están agrupados y homogéneos, según el coeficiente de variación calculado; se afirma que la media es representativa en función del bajo valor del error estándar, comportamiento que se muestra en la Tabla 18 y la Figura 27.

Tabla 18.

Estadística Descriptiva de Contracción

Estimador estadístico	Unidad	Media	Suma	Desviación estándar	Error estándar	CV	
Contracción	Longitudinal	0,35	2,43	0,18	0,07	50,82	
	Radial	4,60	32,22	0,47	0,18	10,23	
	Tangencial	%	13,54	94,76	0,51	0,19	3,75
	Volumétrica		17,51	122,60	0,73	0,28	4,16
	Relación T/R		3,03	21,19	0,17	0,07	5,69

Fuente: Autor.

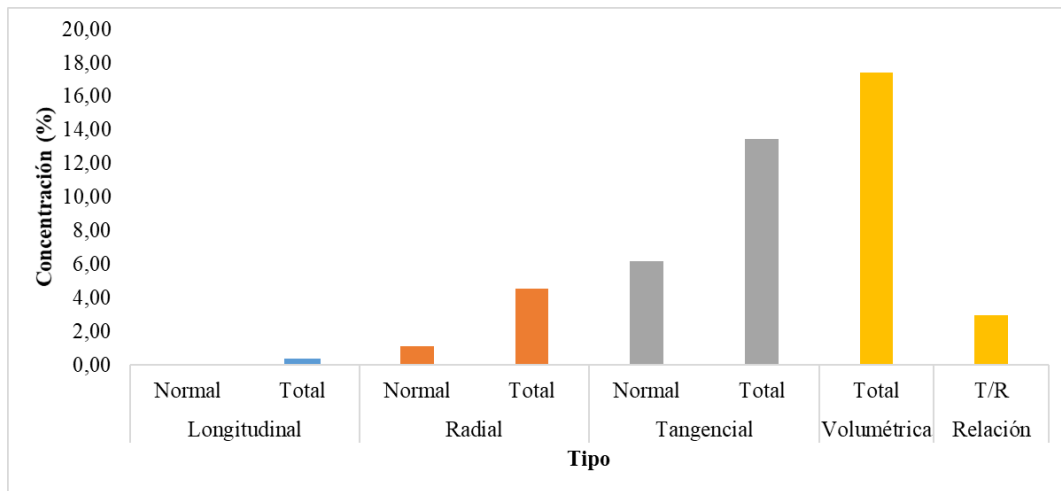


Figura 27. Comportamiento de la Contracción.

Fuente: Autor.

La variación dimensional de la madera para Oliveira (2007), varía según la especie, pero en promedio los valores de contracción oscilan entre, radial 2 - 9%, tangencial 4 - 20% y longitudinal 0,1 – 0,3%, con contracción volumétrica total que varía de 8 - 26%. Lo cual se ratifica dentro del estudio presente debido a que está dentro de los rangos y en algunos casos supera los parámetros de contracción.

Para Freitas *et al.*, (2015), en cuanto a la estabilidad dimensional, la madera dentro de su estudio de *Liquidambar sp.*, obtuvo valores promedio de contracción radial 5,53%, tangencial 15,24%, longitudinal 1,28% y volumétrica de 21,79%, valores que se asemejan a los obtenidos en la presente investigación ya que *liquidambar styraciflua L.* en Ecuador presenta una compresión radial alta, tangencial muy alta, una relación volumétrica total muy alta, que confirman la calidad de la madera ante esfuerzos mecánicos con una mínima variación por la diferencia de edad de los árboles ensayados.

La contracción en la madera para el Forest Products Laboratory (2010), de *Liquidambar sp.*, las contracciones alcanzaron para radiales 5,3%, tangenciales 10,2% y volumétricas 15,8% respectivamente. Las cuales tiene similitud a las obtenidas dentro de la presente investigación que muestra resultados más altos en algunos casos por la edad de los árboles en los que se ensayó.

4.2 Resultados de Propiedades Mecánicas

4.2.1 Compresión paralela

El ensayo muestra un esfuerzo al límite proporcional de 160,03 kgf/cm², considerado bajo; la desviación estándar indica que los datos están dispersos según el coeficiente de variación calculado; se afirma que la media es representativa en función del bajo valor del error estándar, comportamiento que se muestra en la Tabla 19 y Figura 28.

Tabla 19.

Estadística Descriptiva de Compresión Paralela

Estimador estadístico	Unidad	Media	Suma	Desviación estándar	Error estándar	CV
Compresión paralela	EFLP (kgf/cm ²)	160,03	1120,23	4,51	1,71	2,82

Fuente: Autor.

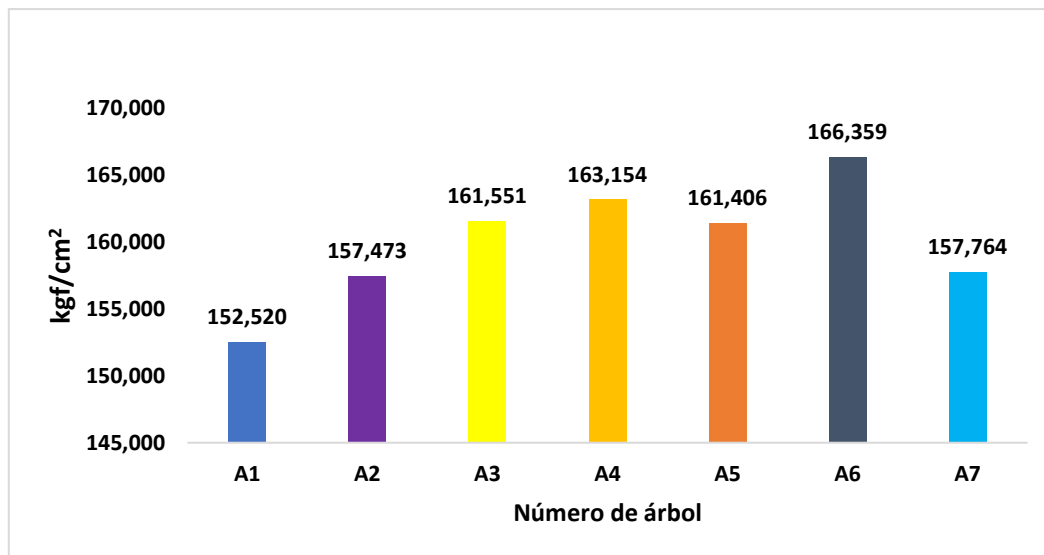


Figura 28. Comportamiento de la Compresión Paralela.

Fuente: Autor.

Jeffries (2008), menciona que sus resultados al estudiar las propiedades de compresión paralela de liquidámbur han sido menores al promedio, obteniendo una resistencia a la compresión promedio de casi 35,000 kPa (356,90 kgf/cm²), esto es significativamente menor, lo cual se confirma por la densidad media que presenta la madera y que en muchos de los casos representa un beneficio por la elasticidad que posee.

El libro de Maderas ([Wood Handbook], 1999) en otras investigaciones ha demostrado que el liquidámbur posee una resistencia promedio de 45,000 kPa (458,87 kgf/cm²) en

compresión paralela al grano, dato que es esencial a la hora de definir si la resistencia va destinada a la construcción como en el uso de pilares para casas, por lo cual el uso no va destinado para todas las áreas de construcción.

4.2.2 Compresión perpendicular

Con un EFLP de 323,15 kgf/cm², valor considerado medio, además la desviación estándar de la media indica que los datos están uniformes y según el coeficiente de variación, poco dispersos, se afirma que la media es representativa en función del bajo valor del error estándar, comportamiento que se muestra en la Tabla 20 y la Figura 29.

Tabla 20.

Estadística Descriptiva de Compresión Perpendicular.

Estimador estadístico	Unidad	Media	Suma	Desviación estándar	Error estándar	CV
Compresión perpendicular	EFLP (Kgf/cm ²)	323,15	2262,06	10,42	3,94	3,22

Fuente: Autor.

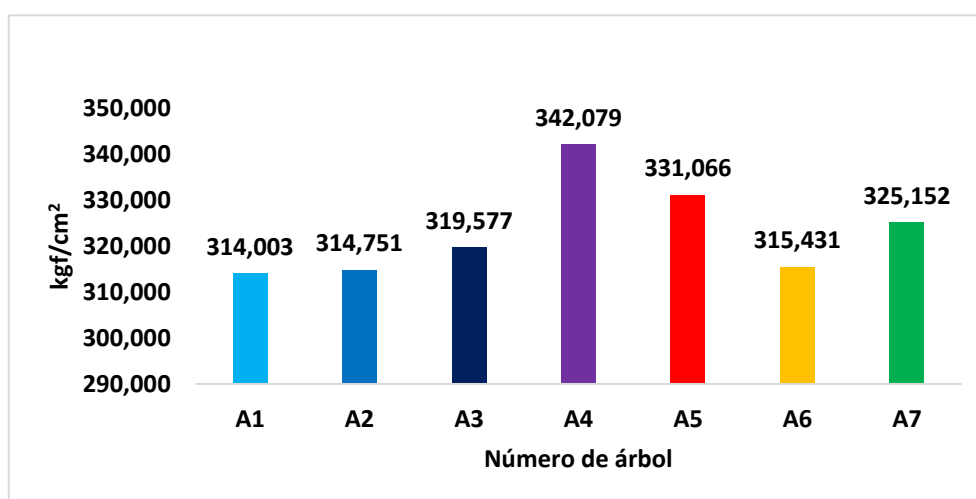


Figura 29. *Comportamiento de la Compresión Paralela.*

Fuente: Autor.

El U.S. Forest Product Laboratory (2010), señala que material debe estar seco al aire con los resultados ajustados a un 12% de CH para evitar errores. Dentro de su investigación obtuvieron un EFLP de 43,6 kg/cm² valores considerados bajos, mismos valores que dentro de esta investigación se tornan diferentes por brindar un esfuerzo medio el cual se ve relacionado a la gran compresión que pueden sufrir las fibras sin llegar a sufrir deformaciones graves, lo cual va encaminado a un excelente uso dentro de las vigas para techos.

4.2.3 Flexión Estática

Presenta valores altos en los que respecta a soporte a flexión perpendicular a fibra, un esfuerzo al límite proporcional de 831,84 kgf/cm²; MOR de 1073,89 kgf/cm²; MOE de 12325, 87 kgf/cm² además con un coeficiente de variación que indica que los datos son relativamente dispersos en una parte del ensayo, debido a que la norma no especifica que se realice una diferenciación entre albura y duramen, el coeficiente de variación es alto lo cual dependerá de la muestra de madera tomada como se muestra en los datos de la Tabla 21 y Figura 30.

Tabla 21.

Estadística Descriptiva de Flexión Estática.

Estimador estadístico	Unidad	Media	Suma	Desviación estándar	Error estándar	CV
Flexión estática	(Kgf/cm ²)	831,84	5822,89	52,81	19,96	6,35

Fuente: Autor.

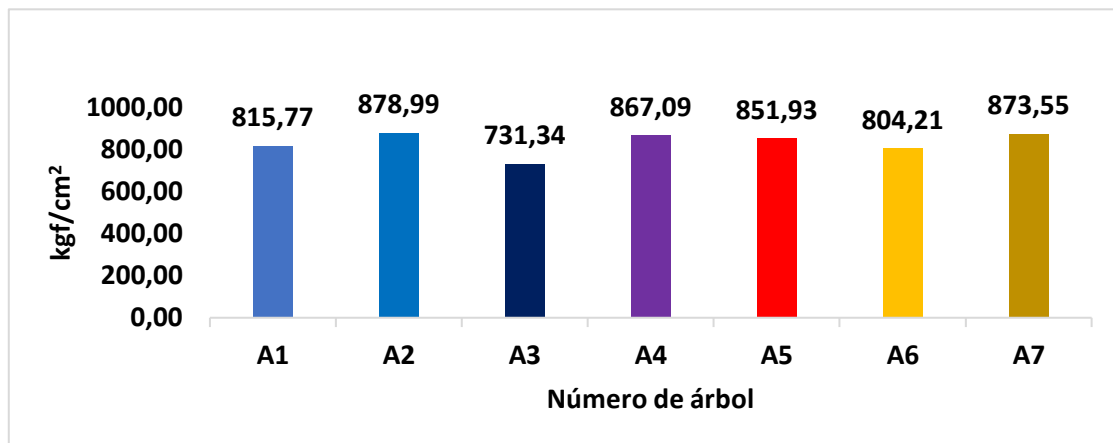


Figura 30. *Comportamiento de la Flexión Estática.*

Fuente: Autor.

Investigaciones afines han demostrado que la madera de liquidámbar tiene un módulo elástico de más de 11,300.000 kPa (11522,73 kgf/cm²) en resistencia a la flexión (Wood Handbook 1999). Al poseer tanta elasticidad y un punto de ruptura leve ratifica la flexibilidad que posee la madera a pesar de la densidad y dureza que esta posee.

Dentro del estudio de Jeffries (2008), se puede apreciar que la rigidez de la madera aumenta con un patrón similar a la resistencia a la compresión, en donde la rigidez muestra valores más altos con un promedio de más de 191,000 kPa (19476,48 kgf/cm²), valores que

resultaron ser más altos debido a que la flexión se probó en madera de árboles de 9 años de edad, lo que se confirma dentro de este estudio debido a que los resultados obtenidos a la resistencia y flexión de la madera son medios a altos, por ende la madera puede ser destinada a la construcción dentro del uso de vigas para techos.

4.2.4 Cizallamiento

Se determinó un esfuerzo máximo (EM) de 88,65 kgf/cm², valor considerado medio, según la tabla de resistencia al cizallamiento de la norma ASTM; además de una desviación estándar y un coeficiente de variación que indican que los datos están poco dispersos, además se afirma que la media es representativa en función del bajo valor del error estándar, comportamiento que se muestra en la Tabla 22 y Figura 31.

Tabla 22.

Estadística Descriptiva de Cizallamiento.

Estimador estadístico	Unidad	Media	Suma	Desviación estándar	Error estándar	CV
Cizallamiento	EM (Kgf/cm ²)	88,65	620,57	4,51	1,71	5,09

Fuente: Autor.

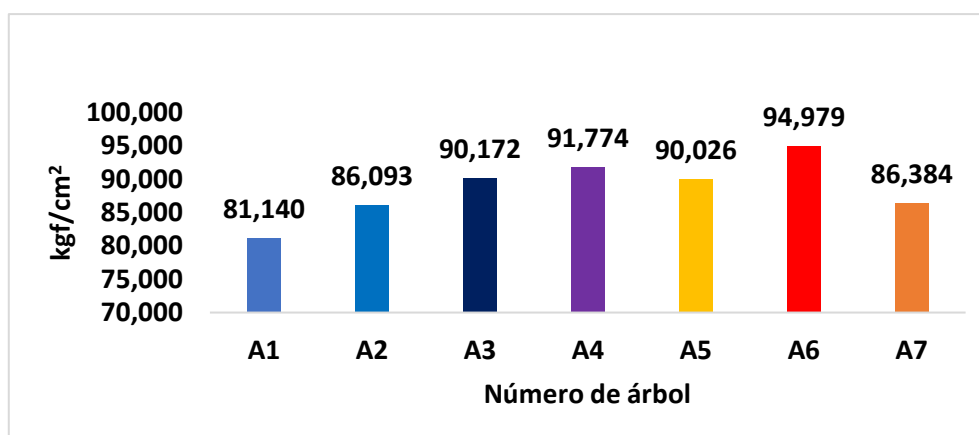


Figura 31. *Comportamiento de la Madera ante el Cizallamiento.*

Fuente: Autor.

Para Jeffries (2008), las fibras más largas pueden doblarse más que las fibras más cortas debido a una mayor relación de aspecto. La mayor proporción de pandeo en muestras más bajas probablemente se deba a relaciones de aspecto más altas de las fibras, obteniendo 8500 kPa (86,68 kgf/cm²) ante el esfuerzo de cizallamiento, datos muy parecidos a los que

se obtuvo ante este esfuerzo, demostrando un comportamiento de resistencia y flexión de las fibras.

Webb et al. (1964), cuando se tensa en compresión paralela al grano a la madera, normalmente presenta cuatro patrones de falla; Escoba, cizallamiento, aplastamiento y división. En otras investigaciones se ha demostrado que las fibras de liquidámbar son más cortas a mayores alturas en el árbol, razón por la cual se encuentra las diferencias en esta investigación debido a que se tomó muestras cercanas a la base del árbol teniendo otro comportamiento de las fibras y el esfuerzo al cizallamiento.

4.3 Resultados de Propiedades de Trabajabilidad

El maquinado o trabajabilidad de la madera de *Liquidámbar* presenta una respuesta alta a cada uno de los ensayos efectuados, por ende, el comportamiento de la madera demuestra la calidad que esta tiene para ser trabajada de manera artesanal e industrial.

Tabla 23.

Cuadro Resumen de Ensayos de Trabajabilidad.

Dirección	Ensayo	Grano Arrancado	Grano Levantado	Grano Velloso	Total
A favor	Cepillado	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Excelente	Excelente
	Lijado 60	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Excelente a bueno
	Lijado 100	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
	Moldurado	Excelente a bueno	Bueno	Excelente a bueno	Excelente a bueno
	Taladrado	Excelente a bueno	Excelente	Excelente	Excelente
En contra	Cepillado	Excelente a bueno	Bueno	Excelente a bueno	Excelente a bueno
	Lijado 60	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Excelente a bueno
	Lijado 100	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
	Moldurado	Excelente a bueno	Bueno	Excelente a bueno	Excelente a bueno
	Taladrado	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Excelente a bueno
No Aplica	Torneado	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Bueno	Excelente a bueno
No Aplica	Tallado	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente

Fuente: Autor.

4.3.1 Cepillado

El ensayo se lo realizó a favor y en contra del grano de cada probeta, con una velocidad de alimentación promedio de 12,56 s/m, de donde se obtuvo valores representativos en los diferentes comportamientos ante el tipo de grano arrancado, levantado y veloso. Comportamientos que se muestran en las figuras 32 y 33 respectivamente.

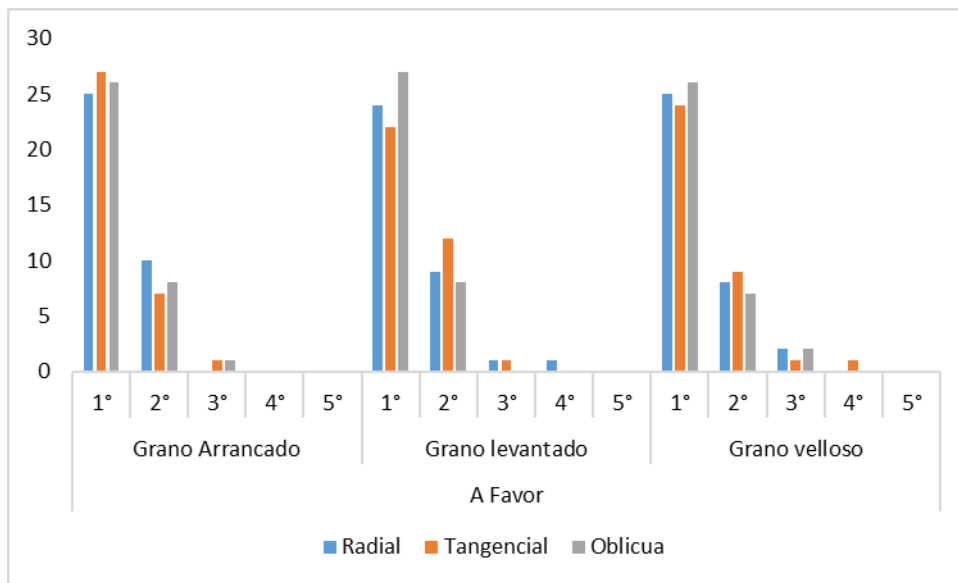


Figura 32. Defectos del Ensayo de Cepillado a Favor del Grano.
Fuente: Autor.

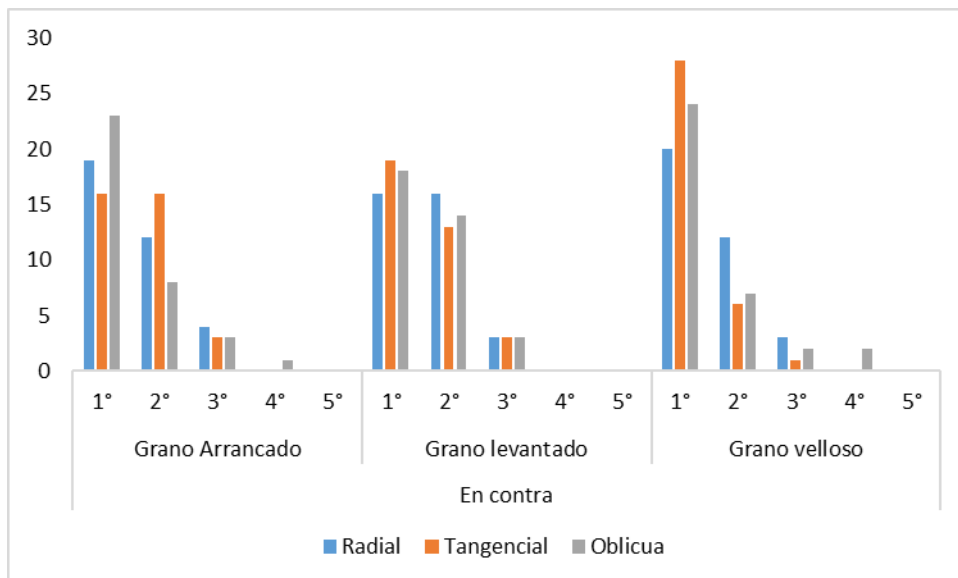


Figura 33. Defectos del Ensayo de Cepillado en Contra del Grano.
Fuente: Autor.

Los resultados obtenidos dentro del ensayo muestran como la presencia de defectos acorde a su orientación y tipo de grano, en Grado 1 es alta, media para Grado 2, baja para Grado 3 y muy baja para Grado 4 tanto a favor como en contra del grano, siendo así una madera que presenta defectos pequeños a la hora de trabajar, los cuales pueden ser corregidos en posteriores procesos de maquinado.

El ensayo de cepillado es un punto de partida crucial para el desarrollo de los diferentes procesos de trabajabilidad en la madera, los defectos presentes como grano levantado, velloso y arrancado son manejables o permisibles de eliminar al aplicar el siguiente proceso el cual implica el lijado, por lo cual se puede asegurar que la madera de esta especie es recomendable y eficaz para aplicar el cepillado por la calidad de la misma.

4.1.1 Lijado

El ensayo se lo realizó en dos etapas, con el uso de lija N 60 y lija N 100; en donde el primer ensayo muestra la disminución de defectos de una manera general y el segundo ensayo permite verificar la disminución de los defectos presentados en anteriores procesos.

- **Lija N 60**

Dentro del ensayo realizado con lija N 60 a favor del grano de las probetas, presentan valores altamente significativos de Grado 1, medios en Grado 2 en grano arrancado, levantado y velloso respectivamente (Ver figura 34).

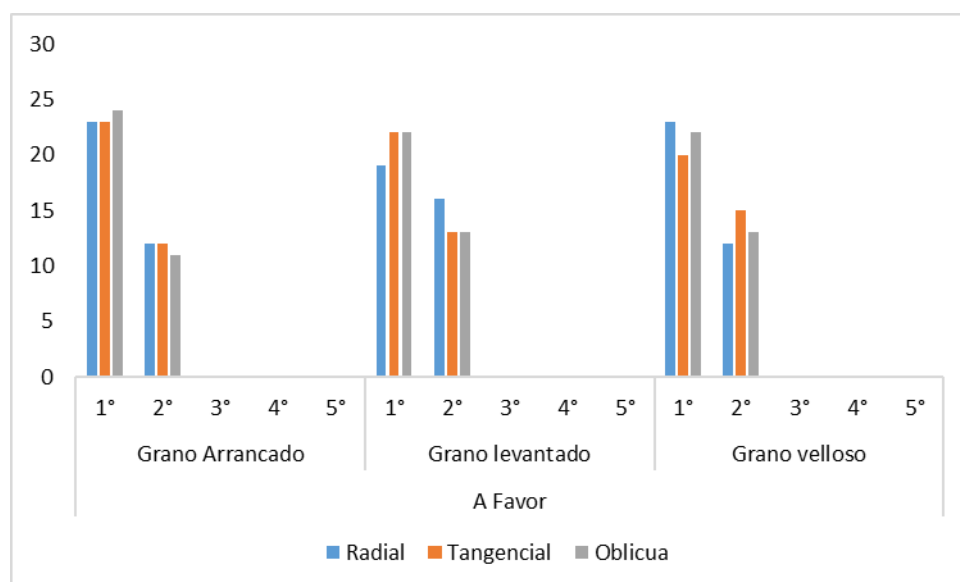


Figura 34. Defectos del Ensayo de Lijado (Lija N 60).

Fuente: Autor.

Mientras que, en contra del grano de cada probeta, presentan valores altos en Grado 1 y valores medios en Grado 2 en grano arrancado, levantado y veloso respectivamente. (Ver Figura 35).

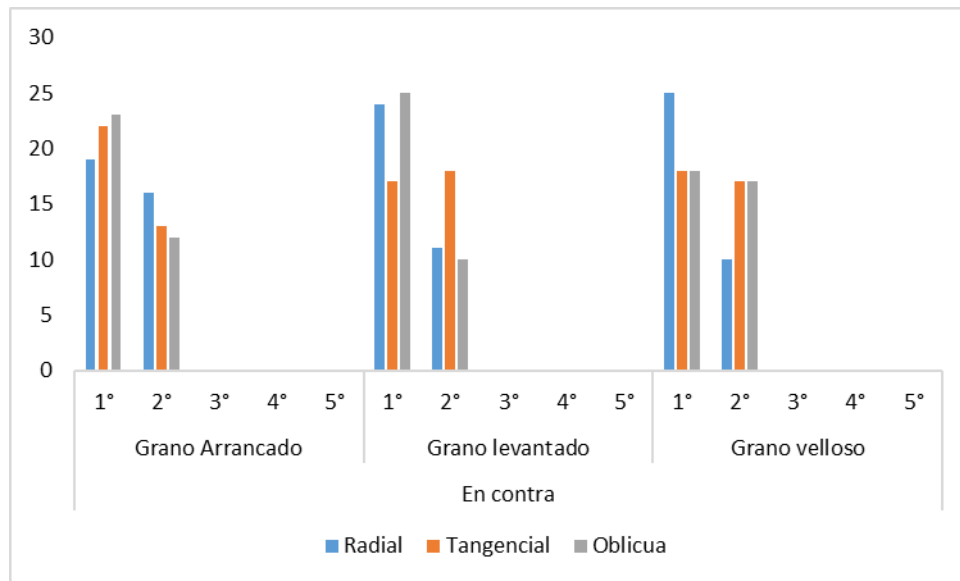


Figura 35. Defectos del Ensayo de Lijado (Lija N 60).

Fuente: Autor.

La madera mostró un comportamiento muy favorable ante este tipo de ensayo, a pesar de utilizar una maquina manual que no consta con un soporte fijo o estable y una lija de bajo grano N 60, en donde no presenta defectos graves.

- **Lija N 100**

En la segunda fase del ensayo con lija N 100, tanto a favor como en contra del grano de cada probeta mostró valores altos de Grado 1, en todos los grados de calificación de defectos de grano arrancado, levantado y veloso, mostrándose una amplia reducción en los defectos de los anteriores ensayos, conducta que se muestra en la figura 36 y 37.

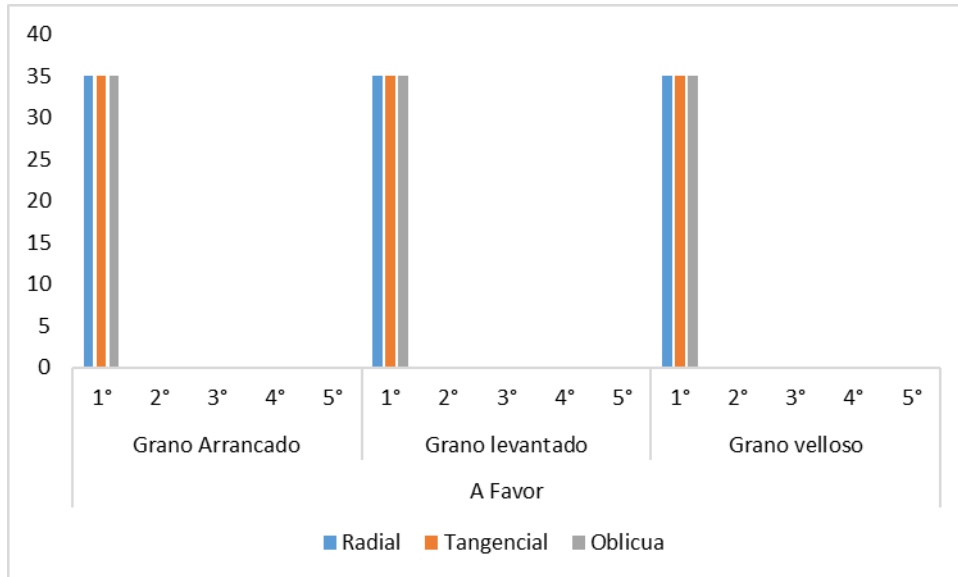


Figura 36. Defectos del Ensayo de Lijado a Favor del Grano (Lija N 100).
Fuente: Autor.

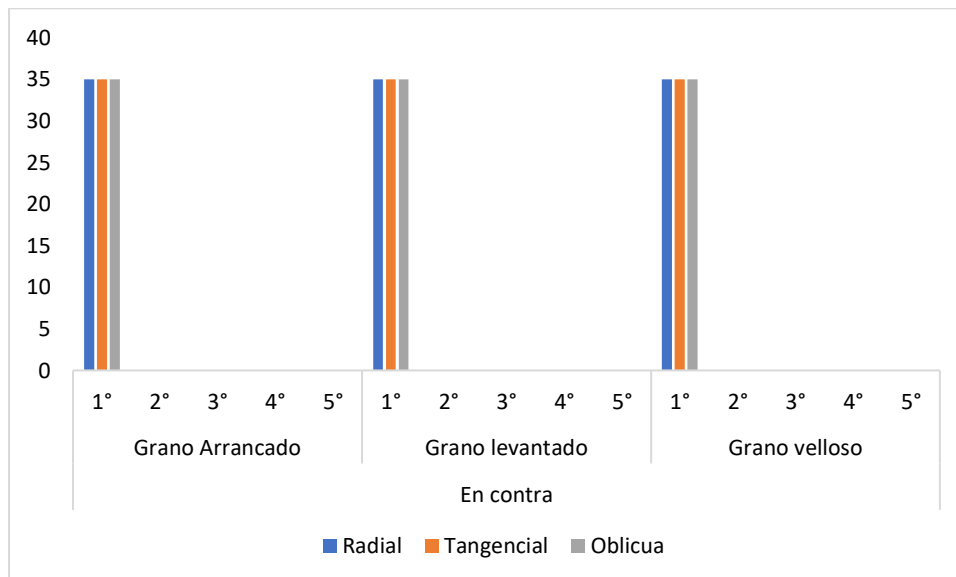


Figura 33. Defectos del Ensayo de Lijado en Contra del Grano (Lija N 100).
Fuente: Autor.

Una vez finalizados los ensayos la madera mostró un comportamiento excelente y favorable, en donde al ser evaluada en cada uno de los grados de calificación los resultados permiten aseverar que la madera de esta especie es buena para ser trabajada debido al poro fino presentado durante las pruebas.

Parte de los acabados de la madera es el ensayo de lijado el cual es un punto crucial para determinar la calidad que tiene la misma, este ensayo mostró un acabado alto con defectos sumamente bajos, los cuales ayudan a definir que la madera sirve para ser trabajada en la mueblería o como parte de los acabados de la misma.

4.1.2 Moldurado

Se realizó el ensayo a favor y en contra del grano de cada una de las probetas, en donde se utilizó una máquina tupi manual o fresadora, misma que tuvo un comportamiento excelente de Grado 1, en Grado 2 un comportamiento medio y muy bajo en Grado 3 para grano arrancado, levantado y vellosa a favor del grano, valores que se muestran en la figura 38.

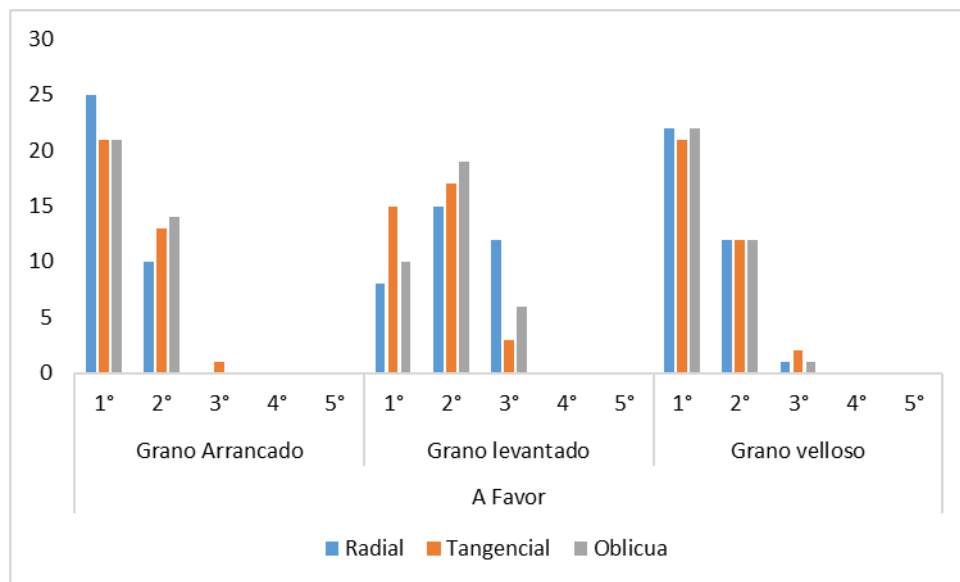


Figura 38. Defectos del Ensayo de Moldurado.

Fuente: Autor.

Mientras que, en contra del grano, el Grado 1 tuvo valores muy notorios o altos, mientras que Grado 2 obtuvo valores medios en grano arrancado y veloso, en cuanto a Grado 2 los valores significativos estuvieron en grano veloso.

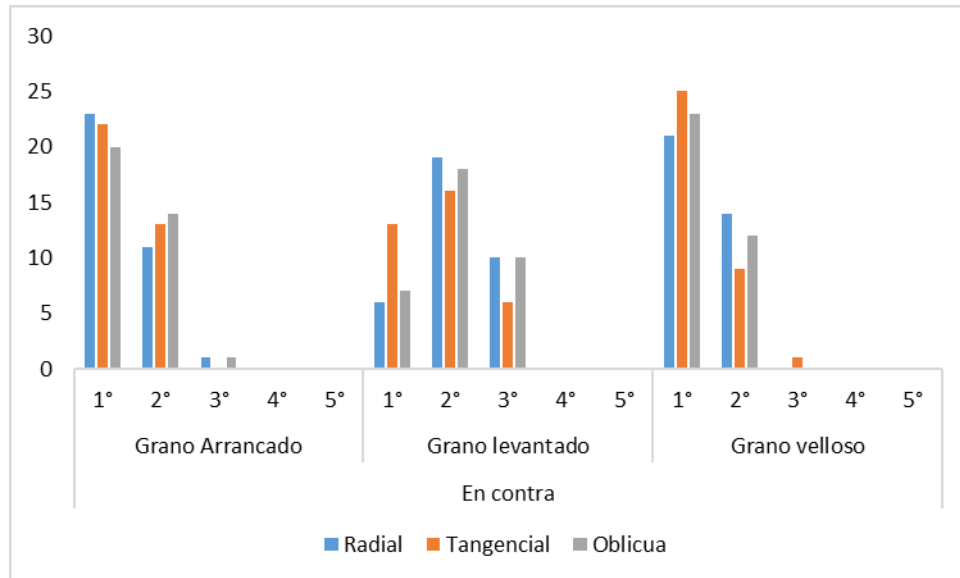


Figura 34. Defectos del Ensayo de Moldurado.
Fuente: Autor.

Para Species Plantarum 2, (1753) la madera pesada y dura es fácil de trabajar con máquinas y herramientas de carpintería. En base a lo mencionado se puede indicar que la velocidad a la que trabaja la maquinaria influye directamente en la aparición de los diferentes defectos, a pesar de ser una madera de densidad media liquidámbar presentan comportamientos muy homogéneos ante los ensayos manuales de trabajabilidad.

4.1.3 Taladrado

El ensayo se realizó con un taladro fijo o de banco el cual brindó un soporte estable, menor movimiento y la reducción de defectos durante la ejecución del ensayo, tanto en la entrada como en la salida de la broca, lo cual se aprecia en los grados de defectos los cuales alcanzaron Grado 1 en el grano arrancado, levantado y velloso; mientras que los valores de Grado 2 son muy bajos en los tres tipos de grano evaluados, comportamiento que se aprecia en la figura 40.

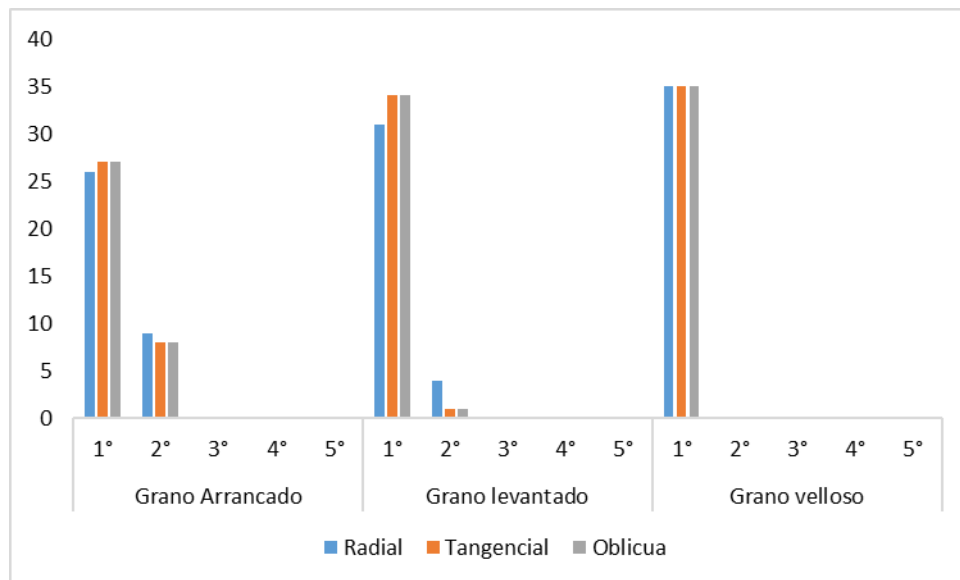


Figura 40. Defectos del Ensayo de Taladrado.

Fuente: Autor.

En otro tipo de especie de *Liquidámbur* sp. la industria del mueble es la más sobresaliente en el uso de esta madera, pues las terminaciones se mantienen suaves y atractivas; al igual que un ensamblaje fuerte y de alta calidad (Loewe, 2003), razón por la cual la disminución de defectos fue evidente y notable, ratificando que la maquinaria o la técnica con la que se realice el ensayo determinara la calidad de la madera y el tipo de acabados que se le pueda dar.

4.1.4 Torneado

Para el ensayo se utilizó un torno industrial y tres formones, dos tipos de gubias, una delgada (1cm), una gruesa (3cm) y una zigzag (1cm), en el cual se evidencia un comportamiento de Grado 1 excelente y Grado 2 mostrando características muy buenas a buenas, y en un pequeño porcentaje regular ubicadas en Grado 3 (Ver figura 41).

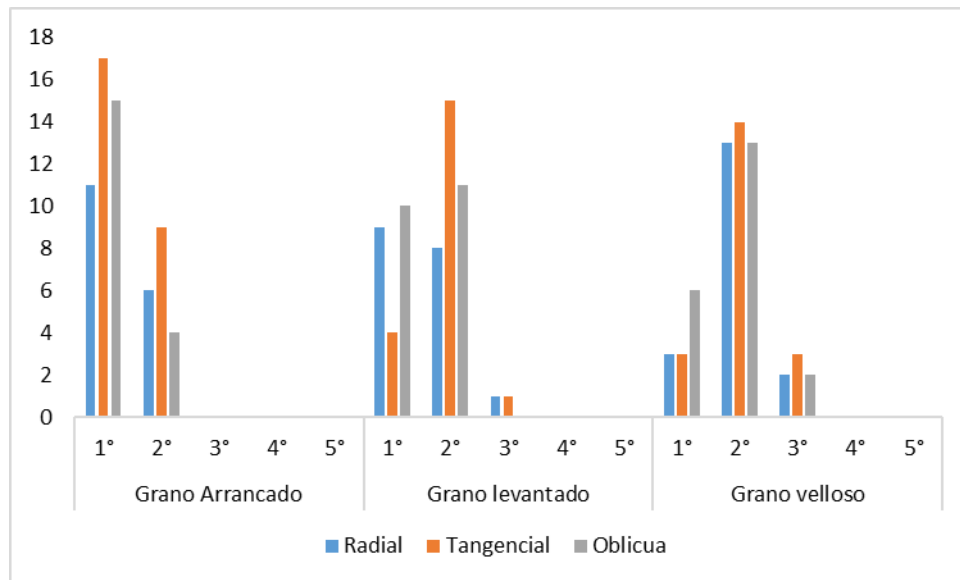


Figura 41. Defectos del Ensayo de Torneado.

Fuente: Autor.

La madera presenta un comportamiento excelente, ya que el defecto que más relevancia o peso tiene al momento de realizar un trabajo o ensayo de torneado es el grano arrancado, debido a que no se lo puede corregir con facilidad durante el proceso de torneado; lo cual es el caso contrario para el grano velloso o levantado, que pueden ser corregidos o eliminados con una lija de porosidad fina.

4.1.5 Tallado

El ensayo de tallado fue realizado en el Instituto de Artes Plásticas “Daniel Reyes”, en donde se aplicó escultura con motosierra, tallado en alto relieve, efectuado por un artesano escultor de San Antonio de Ibarra y las pruebas realizadas con láser se las hizo en el instituto en donde se comprobó que la madera de esta especie es altamente favorable para trabajos con maquinaria para tallado y para lo referente a escultura a mano es favorable en un punto medio en humedad.

En una entrevista personal de lo efectuado en el Instituto de Artes Plásticas “Daniel Reyes” el docente Carlos Castillo, menciona que los defectos de secado de la madera complican un poco el trabajo por el desperdicio de madera que se genera para poder realizar los tallados manuales, indica que se puede trabajar con esta especie en piezas sin problema alguno, además señala que el olor de la madera es dulce y agradable.

El docente Carlos Castillo anteriormente ha trabajado en ensayos de tallado con la carrera de Ingeniería Forestal de la UTN por lo cual maneja los conceptos y la calificación de las normas ASTM. De la experiencia obtenida al trabajar con la madera de liquidámbar menciona que esta especie es ideal para realizar piezas decorativas de tallado, muebles, artesanías, piezas para herramientas, trabajos industriales por la porosidad fina del grano, explica también que para realizar tallados y ensambles de madera es aconsejable realizar primero pruebas de secado.

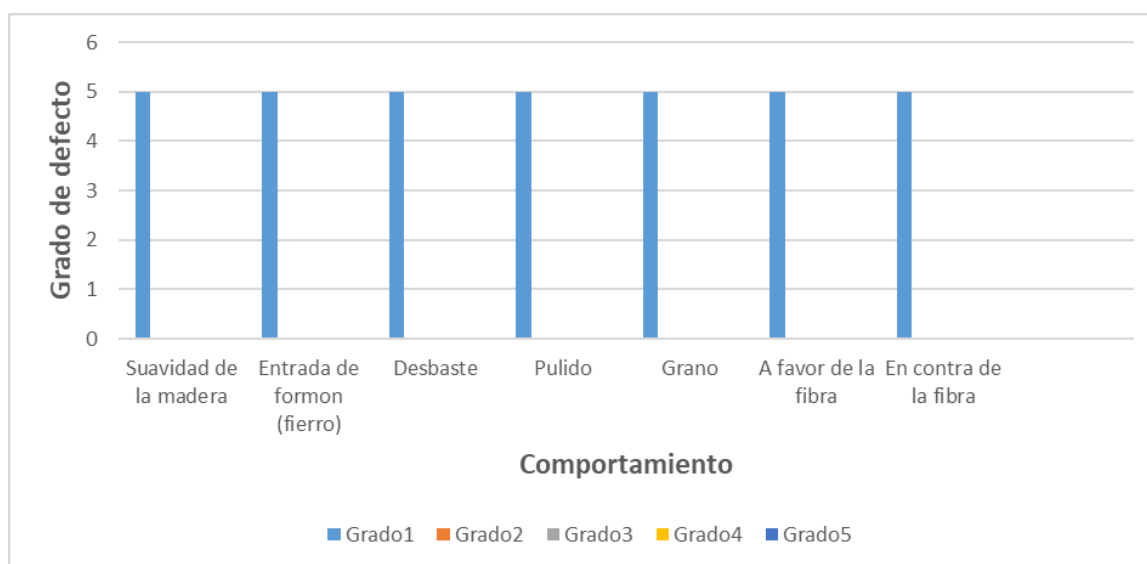


Figura 35. Defectos del Ensayo de Tallado.
Fuente: Autor.

Ruiz 2020, menciona en su investigación que la madera de *Fraxinus udhei* es recomendable para realizar tallados, esculturas y mueblería; al ser una madera de densidad media y una porosidad fina, permite que los costos de los acabados sean menores. En base a los resultados obtenidos en la presente investigación y a la comparación con otras especies de densidad media; se puede apreciar que liquidámbar cumple con estándares altos, como una calidad alta en acabados de trabajos manuales, una porosidad fina, una trabajabilidad o maquinado excelente y una densidad media, lo cual ayuda a reducir costos en los acabados y detalles, a diferencia de otros tipos de madera comúnmente utilizadas como: *Pinus patula*, *Cupresus macrocarpa*, *Cedrelinga cateniformis*, *Cordia alliodora*, *Alnus acuminata* y *Alnus nephalensis*,

4.2 Usos

Lineaus en 1753, menciona que *Liquidambar styraciflua* L. se utilizaba en la elaboración de artesanías, instrumentos musicales, torneados, leña, en construcciones, instrumentos de agricultura, muebles, cerrillos y la resina se usaba en perfumería e inciensos.

Según Luppold y Bumgardner (2004), citados por Wiemann en 2010; la madera de *Liquidambar styraciflua* L. se utiliza para muebles, materiales compuestos, paletas y productos de papel, y tiene un mercado más diverso que las maderas blandas. Debido a que casi toda la madera se produce en el sureste de los Estados Unidos.

En investigaciones a fines a la especie y en base a la presente investigación realizada se puede apreciar los siguientes usos para la madera de liquidámbar en su desarrollo en Ecuador:

Dentro de la experiencia y los resultados obtenidos con la madera de *Liquidambar styraciflua* L., las propiedades físicas nos ayudan a comprobar que tiene un comportamiento similar o superior en algunos casos en comparación con las especies que crecen en los países de donde proviene y debido a que su madera es de densidad media y la capacidad de contracción que posee, puede emplearse en una parte de la construcción, industrialmente con ciertos fines y en diversos trabajos artesanales.

Profundizando en las propiedades mecánicas se logró apreciar que es una madera pesada y dura lo cual facilita el trabajo con máquinas y herramientas de carpintería. Por la resistencia y flexibilidad que posee puede ser empleada en obras de construcción, como vigas, parte de cubiertas, en pisos, entre otros, con la dirección de corte adecuada.

En la construcción como parte de cubiertas puede ser empleada en tablas, tablones, listones, alfajías y demás. Para lo referente a pisos puede ser empleada de madera artesanal para entablados, piezas decorativas, pisos mixtos o de manera industrial como parquet, en sus diferentes aplicaciones, pisos flotantes, en tablillas, piezas macizas, entre otras. Dentro las vigas se aconseja utilizar vigas de 4m de longitud y de secciones transversales de 15 x 20 cm debido a los resultados obtenidos en las pruebas mecánicas y por la edad de los árboles.

Dentro de la trabajabilidad o maquinado de la madera puede usarse para muebles, durmientes, decoración de interiores, decoración de exteriores, chapas, contrachapeado, cajas, tableros por la fineza del poro, entre otros dentro de la industria y puede ser empleada en la parte artesanal como piezas decorativas, como instrumentos musicales, tallados, torneados, mueblería fina entre otros.

Otros usos radican en la resina que posee, en la corteza y las hojas. Debido a que se podría extraer bálsamo de la corteza para emplearse en el campo de la medicina, en el área de cosméticos e higiene, debido al aroma que posee la misma madera. Todos estos posibles usos se los podría aplicar previo, estudios respectivos que no se consideraron en esta investigación.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La madera de *Liquidambar styraciflua* L. presenta una estabilidad media en sus contracciones radiales y tangenciales respectivamente, con un C.H. medio, además de poseer una densidad básica media, clasificándose como madera de tipo “C”, la cual se destina a una parte de la construcción, una parte de la industria y para aplicaciones artesanales.
- La resistencia, flexibilidad y compresibilidad que presenta *Liquidambar styraciflua* L. es alta, con un comportamiento optimo ante los diferentes esfuerzos mecánicos, por lo cual puede emplearse en techos, cubiertas, pisos, tableros, pallets, decoración de interiores y exteriores.
- La trabajabilidad o maquinado de la madera de *Liquidambar styraciflua* L. muestra una calidad alta de la misma, finura para ser trabajada y acabados altos por la porosidad fina del grano, por lo cual puede ser empleada en la fabricación y manufacturación de muebles, artesanías, línea de hogar, instrumentos musicales, decoraciones, entre otros.

5.2 Recomendaciones

- Realizar estudios complementarios para obtener información sobre durabilidad natural, secado, preservación, pruebas acústicas y propiedades químicas.
- Estudiar otras propiedades mecánicas complementarias, como tracción, torsión, extracción de clavos y dureza, que ratifiquen más beneficios de la especie.
- Efectuar un estudio complementario para la industria de pulpa papel.
- Realizar estudios similares con árboles de menor edad (de 9 a 15 años), para comparar propiedades tecnológicas de la madera y evaluar la posibilidad de un aprovechamiento en menor tiempo.
- Promover investigaciones con material vegetal de liquidámbar el cual permita realizar plantaciones con fines maderables u ornamentales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acosta, M. (1961). *Los bosques del Ecuador y sus productos*.
- Aguirre, C., y Vizcaíno, M. (2010). *Aplicación de estimadores estadísticos y diseños experimentales en investigaciones forestales*. Editorial universitaria-Ibarra.
- Arroyo, J. (1983). *Propiedades Físico-Mecánicas de la Madera*. Universidad de Andes, Facultad de Ciencias Forestales.
- ASTM D 1666-87. (1999). *Normas, métodos de prueba de pequeños especímenes claros de madera*. Libro Anual de Normas ASTM, (vol. 04.09). Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
- ASTM D 1666. (2004). "*Standard Test Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood Base Materials*" Reapproved. In: Annual Book of ASTM Standard. American Society for Testing and Materials.
- Baradit, E., Niemz, P., y Fernández, A. (2013). Propiedades físico-mecánicas de algunas maderas nativas chilenas coníferas y latifoliadas por ultrasonido. *Maderas, ciencia y tecnología*, 15(2), 235-244.
- Bárcenas et al. (2005). Relación estructura-propiedades de la madera de angiospermas mexicanas. *Universidad y Ciencia*, 21(42), 45-55.
- Benetti F., (2015). *Estudio de la durabilidad natural y de las propiedades tecnológicas de la madera de Ligustrum lucidum WT Aiton*. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.

- Bonner, F.T. (1974). *Semillas de Plantas Leñosas en los Estados Unidos*. Servicio Forestal. USDA. (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). Manual de Agricultura N° 450.
- Castañeda J. B. (2013). *Estudio de propiedades físico mecánicas (corte y flexión) de la especie de madera tropical teca (Tectona grandis) en el sistema de laminado pegado estructural*. [tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UN. <http://bdigital.unal.edu.co/9476/>
- COPANT. (1972-1975). *Comisión panamericana de normas técnicas para ensayos tecnológicos de las propiedades físicas, mecánicas y preservación de la madera*.
- Corporación Chilena de la Madera (CORMA). (2011). *Manual de Construcción de Viviendas en Maderas, publicado en www.corma.cl*
- Cown D., Herbert J. y Ball R. (1999). Características de Modelado de la Madera *Pinus radiata*. Parte 1: Propiedades mecánicas de pequeños claros. *Revista de Ciencias Forestales de Nueva Zelanda*. 29(2): 203-213.
- Cuasquer J. (2017). *Descripción anatómica y organoléptica de tres especies maderables de la zona de Intag noroccidente de Ecuador*. [tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital UTN. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7791>
- Cruz de león J., (2010). *Consideraciones tecnológicas en la protección de madera*. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).
- Chavesta M. (2006). *Separata de capacitación sobre identificación de maderas*. Universidad Nacional Agraria La Molina, 21 p.

- Dudek, J. y Werner T., (1978). New parameters of the deformed Woods-Saxon potential for $A= 110-210$ nuclei. *Journal of Physics G: Nuclear Physics*, 4(10), 1543.
- De la Paz Pérez-Olvera C., y Dávalos-Sotelo R., (2008). Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y bosques*, 14(3), 43-80.
- Echenique, M. R. y Fernández, F. R., (1993). *Ciencia y Tecnología de la Madera*. Textos Universitarios. Universidad Veracruzana. 140 p.
- Fowhells, H. (1965). *Silvicultura de Árboles Forestales de los Estados Unidos*, Washington U.S.D.A. (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) Servicio Forestal. Manual de Agricultura N° 271.
- Fuentes L. M. E., (1990). Propiedades físico-mecánicas de cinco especies de encino (*Quercus* spp.) del Estado de Puebla. *División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo*. 54 p.
- Flores S. y Muñoz C. (1989). *Determinación de los usos posibles de *Alnus acuminata* H.B.K. y *Freziera canencens* H.B.K., en base al estudio de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad*.
- Flores V. R. y Fuentes L., (2001). Maquinado de dos especies de encino *Quercus affinis* Q. *crassifolia*. *Ciencias Forestales en México. Instituto Nacional de investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria*, 85(24): en prensa.
- Gorena M. 2009. *Adecuación de normas de trabajabilidad en la madera de Teca (*Tectona grandis* Linn.F.) a los equipos de carpintería de la ESFOR*. Universidad Mayor de San Simón – Escuela de Ciencias Forestales.

- Grimm, W. D., (1962). *El libro de Árboles*. Pennsylvania. EE. UU. 461p.
- Gutiérrez V. H., & Silva J. (2002). *Información técnica para el procesamiento industrial de 134 especies maderables de Bolivia*. Serie Técnica XII. FAO-PAFBOL.
- INEN., (2011). *Sistema de clasificación y calificación de madera aserrada proveniente de Bosques Húmedos Tropicales*.
- INEN., (2011). *Instituto Ecuatoriano de Normalización (1158, 1159, 1160, 1161, 1162, 1164)*.
- Jeffries T. M., (2008). *Relaciones de tasa de crecimiento y propiedades mecánicas en Sweetgum, Liquidambar styraciflua*. [Tesis de maestría, Universidad Virginia Tech].
Repositorio Institucional VTechWorks.
<https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/31225>
- Junta del Acuerdo de Cartagena ([JUNAC], 1980). *Normas y Métodos para ensayos Tecnológicos. Estudio de la tecnología e Ingeniería de la madera*. Subproyecto N° 1
- Junta del Acuerdo de Cartagena ([JUNAC], 1985). *Estudio Integral de la Madera para la Construcción*. Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de Recursos Forestales Tropicales.
- Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC). Del Pacto Andino. 1982. *Factores que afectan la Trabajabilidad de 105 maderas de los Bosques tropicales del Grupo Andino*.
- Koch P., (1985). *Utilización de Maderas Duras que Crecen en Sitios de Pino del sur*. Manual de Agricultura N° 605. U.S.D.A. Servicio Forestal, 3 volúmenes.

- Kormanik P.P., Bryan W.C., Schultz R.C., (1977). Influencia de Endomycorrhizae en el Crecimiento de Plántulas de Sweetgum de ocho Árboles Madre. *Ciencias Forestales*. 23(4): 500 – 505.
- Kormanik P.P., (1990). *Sweetgum, Silvics of North America USDFS Agricultural Handbook 654 Washington D.C.*
- Martínez y Martínez. (1996). *Características de cepillado y lijado de 33 especies de madera. México: Técnicos Académicos*. Departamento de Productos Forestales y Conservación de Bosques.
- Martínez J., Siza, J. (2008). *Propiedades físico-mecánicas del eucalipto y aplicación al diseño estructural de una vivienda parte de una granja integral, ubicada en el IASA. Facultad de Ingeniería Civil*. [tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Ejercito]. Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2050>
- Mediavilla, F. (2016). *Propiedades físicas, químicas y de trabajabilidad de la madera de *Alnus nepalensis* d. don en Intag, zona Andina del Ecuador*. [tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital UTN. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5352>
- Meneses, O. (2011). *Identificación de usos probables de *Pinus patula schlect.et cham.* con base en la determinación de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la madera en Iltaqi- Cotacachi- Imbabura*. [tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital UTN. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1982>

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (MAE). (2010). *Aprovechamiento de los Recursos Forestales 2007-2009*.

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (MAE). (2011). *Aprovechamiento de Recursos Forestales en el Ecuador y Procesos de Infracciones y Decomiso*.

Moisés (circa 1500 a. C.). *Éxodo 30:34. Santa Biblia, Edición de referencia maestra. Heirloom Bible Publishers, Inc. Wichita Kansas 1964*.

Moya, R. (2010). Efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo en algunas propiedades de la madera de teca (*Tectona grandis*). *Revista Árvore*, 34(6), 1109-1118.

NEC. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción. In*.

Lastra, J., (1986). *Compilación de las propiedades físico-mecánicas y usos posibles de 178 maderas de Colombia. Asociación Colombiana de Ingenieros Forestales (ACIF). Bogotá. 257 Pág.*

Loewe, V. (2003). *Liquidámbar (Liquidambar Styraciflua L). Una Alternativa para Producir Madera de Alto Valor. Nogal Negro, Liquidámbar y Tulipero, Nuevas Alternativas para Producir Maderas de Alto Valor*, 85.

Olvera C., Rafael A., Isaías A., y Sotelo R., (1998). Estudio anatómico de la madera de cinco especies del genero *Quercus* (Fagaceae) del estado de Veracruz. *Madera y Bosques*, 4(2), 45-65.

Pacheco M., Diego M, y García P., (2017). Atlas de Histología vegetal y animal. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales 1(90)*, 76-77.

- Peralta Nancy (2009). *La industria maderera nacional, incidencia tributaria en su proceso productivo y de comercialización hasta el año 2009*. [tesis de posgrado, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador]. UASB-DIGITAL, Repositorio Institucional del Organismo de la Comunidad Andina, CAN. <http://hdl.handle.net/10644/2695>
- Perlin J., (1989). *Un viaje por el bosque*. Cambridge MA: Primera Prensa de la Univesidad de Harvard.
- Piqué, J., & de Cartagena, J. d. A. (1984). *Manual de diseño para maderas del grupo andino*.
- Programa Nacional de las Naciones Unidas. (2008). *Proyecto de “Desarrollo de capacidades de los encargados de la formulación de políticas para el abordaje del cambio climático”*.
- Roldán J.M., (2014). *Influencia de la Humedad y Densidad en la Dureza como Propiedad Físico-Mecánica de la Madera*. Universidad de Valladolid.
- Ruiz, J. (2020). *Evaluar las propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad de Fresno (Fraxinus americana L.) proveniente de la “Estación Experimental La Favorita”*. [tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital UTN. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10121>
- Seco, J., (2003). *Manual de clasificación de madera: AITIM*.
- Serrano, J.R., (2000). *Trabajabilidad de la madera Cartago, C.R*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de ingeniería Forestal – Instituto Nacional de aprendizaje, Núcleo de tecnología de los materiales, Industria de la madera y afinas. 49 p.
- Spavento, E., María, E., Keil, F. M. S., y Darío, G. (2008). *Propiedades mecánicas de la madera*. Curso de Xilotecología. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.

- Linnaeus, C., (1753). *Species plantarum*. (vol 2).
- Vásquez A., (12 de junio de 2019). Plantaciones de la Estación Experimental “La Favorita”.
(Vega K. Entrevistador) Chiriboga. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.
- Vásquez E., (13 de diciembre de 2019). Plantación de Liquidámbar styraciflua de la Estación Experimental “La Favorita”. (Vega K. Entrevistador) Granja Experimental Yuyucocha. Ibarra, Ecuador.
- Vásquez E., (2007). *La Industria Forestal en el Ecuador*.
- Villalba H., (2016). *Tecnología Industrial I*. In (pp. 1-7).
- Viteri C., (1970). *Informe de las propiedades Mecánicas de la Madera*, curso de Post- grado, Instituto Forestal Latinoamericano, Mérida, Venezuela.
- Webb D.B., Wood P.J., Smith J.P., Henman G.S., (1984). *Una Guía para la Selección de Especies para Plantaciones Tropicales y Sub-tropicales*. Silvicultura Tropical N° 15.
- Wiemann, M. C., (2010). *Características y disponibilidad de maderas comercialmente importantes*. Madison: Servicio Forestal, Cap. 2, p. 1-45 (Informe técnico general del USDA FPL, 190).
- Wiandy J. E. y Rowell R. M., (1984). *La Química de la Resistencia de la Madera, En: La Química de la Madera Sólida*. Washington, D.C. Sociedad Americana de Química.
- Zamora E., Vázquez O., Pérez A., Cano R., Aparicio A., y Fernández E. (2007). *Variación natural de la densidad de la madera en Pinus montezumae Lamb. en tres altitudes del parque nacional la Malinche*.
- Zobel, B. y Van Buijtenen, J., (1989). “*La variación de la madera, sus causas y control*”, Springer Series in Wood Science, Nueva York. Cap. 3 y 5.

ANEXOS

Anexo A: Tablas

Propiedades físicas

Anexo 1A. Estadística descriptiva de ensayo de contenido de humedad

Estimador estadístico	Unidad	Media	Suma	Desviación estándar	Error estándar	CV
Contenido de SA	%	69,01	483,08	4,02	1,52	5,82
humedad SH	%	105,39	737,73	4,77	1,80	4,53

Fuente: Autor

Anexo 2A. Estadística descriptiva de ensayo de densidad

Estimador estadístico	Unidad	Media	Suma	Desviación estándar	Error estándar	CV	
Densidad	Verde	gr/cm ³	1,03	7,21	0,01	0,00	1,00
	Seca al aire	gr/cm ³	0,66	4,61	0,02	0,01	3,02
	Seca al horno	gr/cm ³	0,61	4,28	0,02	0,01	2,99
	Básica	gr/cm ³	0,50	3,51	0,01	0,00	2,05

Fuente: Autor

Anexo 3A. Estadística descriptiva de ensayo de contracción

Estimador estadístico	Unidad	Media	Suma	Desviación estándar	Error estándar	CV
Longitudinal	Normal	0,07	0,52	0,06	0,02	78,97
	Total	0,35	2,43	0,18	0,07	50,82
Radial	Normal	1,19	8,34	0,26	0,10	21,74
	Total	4,60	32,22	0,47	0,18	10,23
Tangencial	Normal	6,24	43,70	0,60	0,23	9,65
	Total	13,54	94,76	0,51	0,19	3,75
Volumétrica	Total	17,51	122,60	0,73	0,28	4,16
Relación	T/R	3,03	21,19	0,17	0,07	5,69

Fuente: Autor

Propiedades mecánicas

Anexo A4. Estadística descriptiva de ensayo de cizallamiento

Estimador estadístico	Unidad	Media	Suma	Desviación estándar	Error estándar	CV
Cizallamiento	EM (Kgf/cm ²)	88,65	620,57	4,51	1,71	5,09

Fuente: Autor

Anexo A5. Estadística descriptiva de ensayo de compresión paralela

Estimador estadístico	Unidad	Media	Suma	Desviación estándar	Error estándar	CV
Compresión paralela	EFLP (Kgf/cm ²)	160,03	1120,23	4,51	1,71	2,82

Fuente: Autor

Anexo A6. Estadística descriptiva de ensayo de compresión perpendicular

Estimador estadístico	Unidad	Media	Suma	Desviación estándar	Error estándar	CV
Compresión perpendicular	EFLP (Kgf/cm ²)	323,15	2262,06	10,42	3,94	3,22

Fuente: Autor

Anexo A7. Estadística descriptiva de ensayo de flexión estática

Estimador estadístico	Unidad	Media	Suma	Desviación estándar	Error estándar	CV
Flexión estática	(Kgf/cm ²)	831,84	5822,89	52,81	19,96	6,35

Fuente: Autor

Propiedades de trabajabilidad

Anexo 8A. Resultados generales del ensayo de cepillado

Ensayo	Defectos	Grano Arrancado	Grano Levantado	Grano Velloso	Total
Cepillado	Grado 1	136	126	147	409
	Grado 2	61	72	49	182
	Grado 3	12	11	11	34
	Grado 4	1	1	3	5
	Grado 5	0	0	0	0

Fuente: Autor

Anexo 9A. Resultados generales del ensayo de lijado (#60)

Ensayo	Defectos	Grano Arrancado	Grano Levantado	Grano Velloso	Total
Lijado (#60)	Grado 1	134	129	126	389
	Grado 2	76	81	84	241
	Grado 3	0	0	0	0
	Grado 4	0	0	0	0
	Grado 5	0	0	0	0

Fuente: Autor

Anexo 10A. Resultados generales del ensayo lijado (#100)

Ensayo	Defectos	Grano Arrancado	Grano Levantado	Grano Velloso	Total
Lijado (#100)	Grado 1	210	210	210	630
	Grado 2	0	0	0	0
	Grado 3	0	0	0	0
	Grado 4	0	0	0	0
	Grado 5	0	0	0	0

Fuente: Autor

Anexo 11A. Resultados generales del ensayo de moldurado

Ensayo	Defectos	Grano Arrancado	Grano Levantado	Grano Velloso	Total
Moldurado	Grado 1	132	59	134	325
	Grado 2	75	104	71	250
	Grado 3	3	47	5	55
	Grado 4	0	0	0	0
	Grado 5	0	0	0	0

Fuente: Autor

Anexo 12A. Resultados generales del ensayo de taladrado

Ensayo	Defectos	Grano Arrancado	Grano Levantado	Grano Velloso	Total
Taladrado	Grado 1	80	99	105	284
	Grado 2	25	6	0	31
	Grado 3	0	0	0	0
	Grado 4	0	0	0	0
	Grado 5	0	0	0	0

Fuente: Autor

Anexo 13A. Resultados generales del ensayo de torneado

Ensayo	Defectos	Grano Arrancado	Grano Levantado	Grano Velloso	Total
Torneado	Grado 1	43	23	12	78
	Grado 2	19	34	40	93
	Grado 3	0	2	7	9
	Grado 4	0	0	0	0
	Grado 5	0	0	0	0

Fuente: Autor

Anexo 14A. Resultados del ensayo de tallado

Ensayo	Defectos	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4	Grado 5
Tallado	Suavidad de la madera	5				
	Entrada de formon (fierro)	5				
	Desbaste	5				
	Pulido	5				
	Grano	5				
	A favor de la fibra	5				
	En contra de la fibra	5				
	Total		35			

Fuente: Autor

Anexo B: Fotografías

B1. Sitio y obtención del material



Inspección con técnicos del MAE.



Marcación e identificación de árboles.



Plantación de *Liquidambar styraciflua* L.



Tumba.



Troceado.



Codificación y marcación de bloques.



Escuadre y orientación de bloques.



Embalado de bloques.



Extracción de madera por tracción animal.



Extracción de madera por tracción humana.



Puesta de bloques cerca al camino principal.



Carga y transporte de madera.



Arribo y descarga de madera.



Apilado de madera (Granja de Yuyucocha).

B2. Propiedades físicas



Madera embalada de *Liquidambar styraciflua* L.



Preparación y escuadrado de bloques de madera.



Transformación de bloque a probetas.



Probetas para ensayos de propiedades físicas.



Codificación y medición de probetas.



Pesaje de probetas.



Secado al aire libre.



Secado al horno (anhídrido).

B3. Propiedades Mecánicas



Probetas para los diversos ensayos.



Limpieza y calibración de prensa hidráulica.



Ensayo de compresión paralela.



Punto de ruptura y fallo de la madera.



Ensayo de compresión perpendicular.



Compresión máxima de la fibra.



Ensayo de flexión estática.



Resistencia y punto de ruptura.



Probetas para ensayo de cizallamiento.



Ensayo de cizallamiento.

B4. Propiedades de Trabajabilidad



Probetas para los diferentes ensayos.



Cepillado de probetas.



Ensayo de lijado.



Evaluación de defectos presentados.



Ensayo de moldurado.



Orientación a favor y en contra del grano.



Ensayo de taladrado.



Evaluación de defectos de taladrado.



Gubias o formones para ensayos.



Ensayo de Tallado.



Probetas destinada al ensayo de torneado.



Resultado de probetas torneadas.

C2. Factura emitida por el Ministerio de Ambiente de Pichincha.



Ministerio del Ambiente
Ministerio del Ambiente - Planta Central
Dirección Matriz: El Giron Madrid E12-102 y Andalucía - Quito * Ecuador Teléfono: 3987600, Correo: facturacion-electronica@ambiente.gob.ec
Sucursal: El Giron Madrid E12-102 y Andalucía
SERVICIO DE RENTAS INTERNAS
CONTRIBUYENTE ESPECIAL : SI Obligado a llevar contabilidad:SI
Fecha de Emisión: 2019-08-30 00:00:00

RUC.:	1760010460001
COMPROBANTE ELECTRONICO	
AMBIENTE:PRODUCCION	EMISIÓN:NORMAL
FACTURA	
No.	001-002-73830
NÚMERO DE AUTORIZACIÓN 3008201901176001046000120010020000738305566778815	
FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN 2019-08-30 16:19:30	
CLAVE DE ACCESO	
 <small>3008201901176001046000120010020000738305566778815</small> 3008201901176001046000120010020000738305566778815	
Guía Remisión:	

Cliente: VEGA CRUZ KEVIN ANDRES	RUC / CI: 1005096043
Correo: vegakevin2013@gmail.com	Teléfono: 0985847870
Dirección: SANTO DOMINGO	

CODIGO	CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO	DESCUENTO	TOTAL
1	1	Pago por uso de servicios dentro de áreas protegidas y parques naturales-2019	20.0000	0.0000	20.0000
SUBTOTAL				0.0000	20.0000

IMPUESTO	TARIFA	BASE IMPONIBLE	IMPORTE
IVA 0%	0%	20.0000	0.00
IVA 12.00%	12.00%	0.0000	0.0000
ICE			0.0000
TOTAL			20.00

DEPOSITOS:	REFERENCIA	FECHA
	553338452	2019-08-30

Adicional:

Forma de Pago: OTROS - SISTEMA FINANCIERO

C3. Autorización de investigación científica.

MINISTERIO DEL AMBIENTE



AUTORIZACION DE INVESTIGACION CIENTÍFICA

N° 006-2019-IC-FAU-DPASDT/MAE

FLORA..X., FAUNA.....

El Ministerio del Ambiente, en uso de las atribuciones que le confiere el Código Orgánico Ambiental autoriza a:

Recolector	Registro Seneseyt	C.I./ Pasaporte	Nacionalidad
Kevin Andrés Vega Cruz	Estudiante Pre Grado UTN	1005096043	Ecuatoriana

Para que lleven a cabo la investigación científica “**Estudio Tecnológico de la Madera de *Liquidambar styraciflua L.* proveniente de Plantaciones Establecidas en la Estación Experimental La Favorita**”.

De acuerdo a las siguientes especificaciones:

1. Solicitud de: Ing. José Gabriel Carvajal Benavides. Director de Trabajo de Titulación. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Escuela de Ingeniería Forestal.
2. Auspicio de Institución Científica Nacional: Universidad Técnica del Norte. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca.
3. Contraparte del Ministerio del Ambiente: Coordinador de Patrimonio Natural, Responsable de Vida Silvestre de la Dirección Provincial del Ambiente Santo Domingo de los Tsáchilas establecidas en la parte inferior de esta Autorización.
4. Inicio y final de investigación: 17 de julio del 2019 a 18 de marzo del 2020
5. Entrega de informe final: 20 de marzo del 2020
6. Valoración técnica del proyecto: Ing. Luis Reyna Rodríguez-Responsable de Vida Silvestre
7. Para la movilización de todas las muestras colectadas en esta autorización el investigador, deberá contar con la respectiva orden de movilización de **FLORA** emitida por la Dirección Provincial del Ambiente Santo Domingo de los Tsáchilas.
8. Esta Autorización **NO HABILITA EXPORTACIÓN DE FLORA/FAUNA O MICROORGANISMOS**, sin la correspondiente autorización de la Dirección Nacional de Biodiversidad o cada uno de los Centros de Tenencia y Manejo de Flora/Fauna (Herbarios/ Museos de Historia Natural) que cuente con patente vigente emitida por la Autoridad Ambiental.
9. Las muestras recolectadas no podrán ser utilizadas en actividades de bioprospección **NI ACCESO AL RECURSO GENÉTICO**.
10. De los resultados que se desprendan de esta investigación, no podrán ser utilizados para estudios posteriores de Acceso a Recurso Genéticos sin la previa autorización del Ministerio del Ambiente, Unidad de Acceso al Recurso Genético.

Complementos autorizados y no autorizadas para llevar a cabo la investigación en campo

11. Recolectar semillas, estacas, chupones y plántulas de especies de flora nativa/silvestres amenazadas y no amenazadas para su posterior propagación y mantenimiento ex situ
12. Propagar las semillas, estacas, chupones y plántulas recolectadas
13. Conservar germoplasma vegetal nativo/silvestre por medio de técnicas de propagación estandarizadas
14. Estudiar el desarrollo y características de horticultura de las especies propagadas
15. Establecer y optimizar métodos para la propagación y mantenimiento de las especies recolectadas
16. Difundir la importancia de la conservación de las especies nativas/silvestres
17. Determinar los factores que causan la extinción y reducción de las poblaciones de especies nativas silvestres
18. No se autoriza la recolección de especies listadas en Apéndices CITES
19. No se Autoriza la recolección de especies perteneciente a la Familia Orquideaceae

La falta de entrega de los resultados finales en los formatos indicados será causa suficiente para que el Investigador no pueda continuar con las actividades de investigación en el país.



20. No se Autoriza la recolección de especies vegetales dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas

Obligaciones del investigador

- 21. Citar en las publicaciones científicas, tesis o informes técnicos científicos el número de Autorización de Investigación Científica otorgada por el Ministerio del Ambiente, con el que se recolecto el material biológico.
- 22. Entregar al Ministerio del Ambiente-Dirección Nacional de Biodiversidad, (02) dos copias del informe final impreso en formato PDF, (incluyendo una versión digital), de los resultados de la autorización otorgada. (Solicitar formato Informe Final en la DNB).
- 23. Ajustar el o los certificados del depósito o recibo de las muestras, emitidas por las instituciones científicas ecuatorianas con patente vigente como internaciones depositarias de material biológico.
- 24. Adjuntar los recibidos de entrega de informes finales en cada una de las Direcciones Provinciales donde se realizó la investigación.
- 25. Entregar copias del material fotográfico que puedan ser utilizados para difusión. (se respetara los derechos de autor).
- 26. Lista taxonómica de las especies de fauna debidamente identificadas, objeto de la autorización de recolecta con sus respectivas coordenadas. geo referenciales (Solicitar Formato en la Dirección Nacional de Biodiversidad).
- 27. Depositar una muestra del material recolectado en el Laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca-Universidad Técnica del Norte.
- 28. Las muestras a ser depositadas deberán ser preservadas, curadas de lo contrario, se deberá sufragar los gastos que demanden la preparación del material para su ingreso a la colección correspondiente.

Del incumplimiento de las obligaciones dispuestas en los numerales 20, 21, 22, 23 y 24 se responsabiliza: Señor Kevin Andrés Vega Cruz-Estudiante de la Escuela de Ingeniería Forestal/ Universidad Técnica del Norte.

SE AUTORIZA LA INVESTIGACIÓN EN LA PROVINCIA, CANTON Y AREAS PROTEGIDAS:

Provincia
Santo Domingo de los Tsáchilas

SE AUTORIZA EL ESTUDIO DE MUESTRAS BIOLÓGICAS CON EL PROPÓSITO DE:

- 29. Contar con un registro de propagación exitosa de semillas, estacas, chupones y plántulas las especies nativas/silvestres recolectadas
- 30. Registrar el desarrollo fenológico de semillas, estacas, chupones y plántulas las especies nativas/silvestres recolectadas
- 31. Desarrollar un documento protocolo de técnicas de propagación de semillas, estacas, chupones y plántulas las especies nativas/silvestres recolectadas
- 32. Generación información de documentos técnicos-científicos replicable para otros viveros
- 33. Establecer plantas madres de especies nativas/silvestres, las cuales sean identificables para el control de la Autoridad Ambiental
- 34. Estrategia comunicacional sobre educación ambiental para ciudadanía en general con el fin de conservar las especies de flora nativa/silvestre del Ecuador continental
- 35. Mapa de distribución de las especies recolectadas

SE AUTORIZA LA UTILIZACIÓN DE LOS SIGUIENTES MATERIALES Y/O EQUIPOS PARA LA REALIZACIÓN DE ESTA INVESTIGACION.


Materiales y Equipos

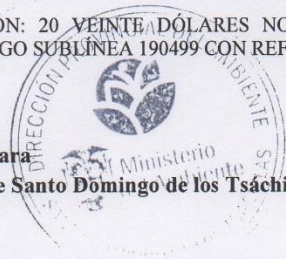
La falta de entrega de los resultados finales en los formatos indicados será causa suficiente para que el investigador no pueda continuar con las actividades de investigación en el país.

Materiales y Equipos	
Brújula	Estufa
Cintas métrica y diamétrica	Formones
Aceite dos tiempos	Lijadora
Gasolina	Machete
Pintura spray	Moldurera
Plástico para embalar	Motosierra
Balanza	Prensa hidráulica
Calibrador	Taladro
Canteadora	Torno
Higroscopio	Cepillo
Sierra circular	Muestras botánicas
Despuntadora	Probetas de madera

OBLIGACIONES Y CONDICIONES PARA LA VIGENCIA DE ESTA AUTORIZACIÓN:

36. ESTA AUTORIZACIÓN FACULTA LA COLECCIÓN/ MANIPULACIÓN DE ESPECIMENES VIVOS, MISMO QUE PODRÁN SER UTILIZADOS COMO MATERIAL PARENTAL PARA MANEJO COMERCIAL.
37. LOS INVESTIGADORES DEBERÁN REALIZAR SUS INTERVENCIONES EN CAMPO BAJO UN MANEJO RESPONSABLE Y ÉTICO CON LOS ESPECÍMENES ASÍ COMO CON LOS EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS DURANTE LA INVESTIGACIÓN.
38. PARA EL INGRESO AREAS DE PROPIEDAD PRIVADA LOS INVESTIGADORES DEBERAN CONTAR CON LA AUTORIZACIÓN DEL RESPECTIVO PROPIETARIO.
39. NO SE AUTORIZA LA UTILIZACIÓN DE ARMAS DE FUEGO, EXPLOSIVOS O SUBSTANCIAS VENENOSAS COMO METODOLOGIA DE ESTA INVESTIGACION.
40. ESTA AUTORIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA PODRÁ SER RENOVADA ANUALMENTE PREVIO AL CUMPLIMIENTO DE LAS OBLIGACIONES CONTRAIDAS POR EL INVESTIGADOR, ENTREGA Y APROBACIÓN DE INFORMES PARCIALES O FINALES EN LAS FECHAS INDICADAS.
41. SE SOLICITARÁ PRÓRROGA QUINCE DÍAS ANTES DE LA FECHA DE VENCIMIENTO QUE INDICA ESTE DOCUMENTO.
42. TODO USO INDEBIDO DE ESTA AUTORIZACIÓN, ASÍ COMO EL INCUMPLIMIENTO DE ASPECTOS LEGALES, ADMINISTRATIVOS O TÉCNICOS ESTABLECIDOS EN LA MISMA, SERÁN SANCIONADOS DE ACUERDO AL CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE Y AL TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA Y DEMAS NORMATIVA PERTINENTE.
43. EL INCUMPLIMIENTO DE CUALQUIERA DE ESTAS DISPOSICIONES ASÍ COMO EL USO INDEBIDO DE ESTE DOCUMENTO, O EL INCUMPLIMIENTO DE LAS DISPOSICIONES LEGALES, ADMINISTRATIVAS O TÉCNICAS ESTABLECIDAS EN LA MISMA, SERÁN SANCIONADOS CONFORME AL CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE, TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA Y CON LA SUSPENSIÓN INMEDIATA DE LA PRESENTE AUTORIZACIÓN.
44. TASA POR AUTORIZACIÓN: 20 VEINTE DÓLARES NO REEMBOLSABLES DEPOSITADOS EN LA CUENTA 0010000785, CÓDIGO SUBLÍNEA 190499 CON REFERENCIA N° 653338452 DE BANEQUADOR.


Ing. Leslie Marcela Cevallos Guevara
Directora Provincial del Ambiente Santo Domingo de los Tsáchilas




JL/LR 2019/07/17
 C.c.: Coordinador de Patrimonio Natural
 Responsable de Vida Silvestre

La falta de entrega de los resultados finales en los formatos indicados será causa suficiente para que el investigador no pueda continuar con las actividades de investigación en el país.

C4. Guía de Movilización de Madera para investigación.

GUÍA DE MOVILIZACIÓN DE ESPECÍMENES DE VIDA SILVESTRE, ELEMENTOS CONSTITUTIVOS, MUESTRAS BIOLÓGICAS Y PRODUCTOS MADEREROS

	GUÍA DE MOVILIZACIÓN DE ESPECÍMENES DE VIDA SILVESTRE Y PRODUCTOS MADEREROS	N° 15-2019	
		Autorización N° 15	Permiso Investigación : N° 006-2019-IC-FAU-DPASDT/MAE
DATOS DEL SOLICITANTE			
N. Cédula del solicitante /Pasaporte		1005096043	
Nombres y Apellidos del solicitante:		Kevin Andrés Vega Cruz	
N° de C.I / Pasaporte		Nombres y Apellidos	Nacionalidad
1002115770		Napoleón Patricio Gualpa Naranjo	Ecuatoriana
1.- ORIGEN: Santo Domingo de los Tsáchilas		2.- DESTINO: Universidad Técnica del Norte	
Provincia	Santo Domingo de los Tsáchilas	Provincia	Imbabura
Cantón	Santo Domingo	Cantón	Ibarra
Parroquia	San José de Alluriquin	Parroquia	Caranqui
Tipo de transporte a utilizar	Terrestre	Nombre de la unidad de Manejo:	Laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca -UTN
FECHA DE MOVILIZACIÓN			
Válido desde:		Válido hasta:	
Fecha de movilización: (salida)	24 de agosto del 2019	Fecha de movilización:	25 de agosto del 2019

Nombre científico	Nombre común	Descripción	Cantidad	Estado	
				Bueno	Malo
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidambar, sweetgum	Bloques (L 1,50m. x A 0,25m. x E 0,25m.)	30	X	


 Firma
 Ing. Luis Reyna Rodríguez
 Responsable Unidad Patrimonio Natural

Dirección Provincial del Ambiente Santo Domingo de los Tsáchilas

C5. Ejemplo de solicitud para obtención de permiso de investigación científica.

SOLICITUD DE PERMISO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA, COLECCIÓN Y TRANSPORTE DE MADERA



PROYECTO:

Nombre del Trabajo de Titulación o Proyecto



Mes/Año

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE “UTN”



APELLIDOS Y NOMBRES DEL ESTUDIANTE:

FACULTAD:

CARRERA:

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

FECHA:

- 1 **Nombre del proyecto:**
- 2 **Área precisa donde se llevará a cabo la investigación:**
Provincia:

Cantón:

Parroquia:

Sector:
- 3 **Justificación:**
- 4 **Objetivos:**
4.1 General:
4.2 Específicos:
- 5 **Sitios de muestreo y toma de muestras:**
- 6 **Justificación de la cantidad de especies y especímenes a colectarse:**

Nro.	PRODUCTO	ESPECIE	Cantidad	DIMENSIONES			VOLUMEN (m ³)
				Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	
Árboles							
#	Bloques	<i>Nombre científico</i>	#	#	#	#	#
TOTAL			#				#

- 7 **Método de transporte de los especímenes:**
- 8 **Museo o herbario en el cual se depositarán los duplicados:**
- 9 **Tipo y forma del manejo de hábitat:**
- 10 **Materiales y equipos:**
- 11 **Resultados esperados:**
- 12 **Impactos ambientales potenciales del proyecto:**
- 13 **Cronograma de trabajo.**

HOJA DE VIDA

DATOS PERSONALES:

NOMBRE

DOCUMENTO DE IDENTIDAD

FECHA DE NACIMIENTO

LUGAR DE NACIMIENTO

ESTADO CIVIL

CIUDAD

DIRECCIÓN

TELÉFONO

E-MAIL

FORMACIÓN ACADÉMICA:

Estudios Primarios:

Estudios Secundarios:

Universitarios:

TALLERES Y CURSOS

REFERENCIAS FAMILIARES