



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 Ingeniera Forestal**

**“PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y DE
TRABAJABILIDAD DE *Carapa amorphocarpa* W. Palacios, EN
EL NOROCCIDENTE DEL ECUADOR.”**

AUTORA

Elina Paola Sotelo Narváez

DIRECTORA

Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja

IBARRA - ECUADOR

2016

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

**“PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y DE TRABAJABILIDAD DE *Carapa
amorphocarpa* W. Palacios, EN EL NOROCCIDENTE DEL ECUADOR”**

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

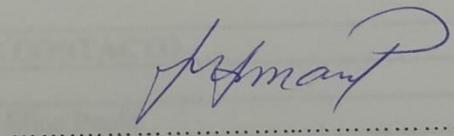
INGENIERA FORESTAL

APROBADO

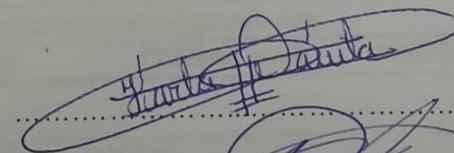
Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja
Directora de trabajo de titulación



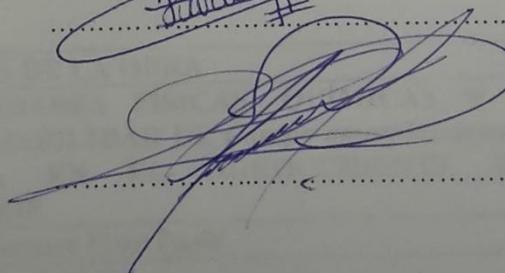
Ing. Walter Armando Palacios Cuenca
Tribunal de titulación



Ing. Karla Fernanda Dávila Pantoja, Mgs.
Tribunal de titulación



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



Ibarra - Ecuador

2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
Cédula de identidad:	040169665-3		
Apellidos y nombres:	Sotelo Narváez Elina Paola		
Dirección:	El Ángel		
Email:	paolasotelo.estudianteforestal@gmail.com		
Teléfono fijo:	06 2977 102	Teléfono móvil:	0987224644

DATOS DE LA OBRA	
Título:	PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y DE TRABAJABILIDAD DE <i>Carapa amorphocarpa</i> W. Palacios, EN EL NOROCCIDENTE DEL ECUADOR
Autora:	Sotelo Narváez Elina Paola
Fecha:	19 de julio del 2016
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
Programa:	Pregrado
Título por el que opta:	Ingeniera Forestal
Directora:	Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Elina Paola Sotelo Narváez, con cédula de ciudadanía Nro. 040169665-3; en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de titulación descrito anteriormente, hago la entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, Artículo 144.

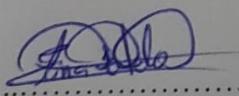
3. CONSTANCIA

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 asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 19 de julio del 2016.

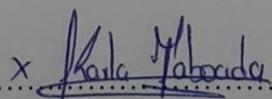
LA AUTORA:

ACEPTACIÓN:



.....

Elina Paola Sotelo Narváez
C.I.: 040169665-3



.....

Ing. Betty Mireya Chávez Martínez
JEFA DE BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE LA AUTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Elina Paola Sotelo Narváez, con cédula de ciudadanía Nro. 040169665-3; manifiesto la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de titulación denominado **“PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y DE TRABAJABILIDAD DE *Carapa amorphocarpa* W. Palacios, EN EL NOROCCIDENTE DEL ECUADOR”** que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera Forestal en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....
Elina Paola Sotelo Narváez

C.I.: 040169665-3

Ibarra, a los 19 días del mes de julio del 2016

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA -UTN

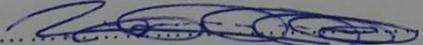
Fecha: 19 de julio del 2016

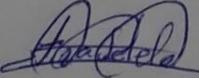
Elina Paola Sotelo Narváez: "PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y DE TRABAJABILIDAD DE *Carapa amorphocarpa* W. Palacios, EN EL NOROCCIDENTE DEL ECUADOR" / Trabajo de titulación. Ingeniera Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal Ibarra, 19 de julio del 2016. 72 páginas.

DIRECTORA: Ing. María Isabel Vizcaíno

El objetivo principal de la presente investigación fue: Proponer los usos posibles de *Carapa amorphocarpa*, en base las propiedades físicas, químicas y de trabajabilidad de su madera. Entre los objetivos específicos se encuentra: Describir las características organolépticas, determinar las propiedades físicas y químicas, determinar las propiedades de trabajabilidad e identificar los usos posibles de la especie.

Fecha: 19 de julio del 2016


Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja
Directora de Trabajo de Titulación


Elina Paola Sotelo Narváez
Autora

DEDICATORIA

La perseverancia es la clave de la vida, solo quien persiste logrará sus metas; dedico esta tesis principalmente a Dios por darme un hogar lleno de amor y valores, con unos padres maravillosos; Napoleón Sotelo y Yolanda Narváez, que han sido mi ejemplo de paciencia, constancia, responsabilidad y dedicación.

A mi hermano Jorge Napoleón, que ha sido mi fortaleza e inspiración diaria.

A mis tíos Guadalupe Narváez y Homero Pavón que han sido un pilar fundamental en mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la Virgen de la Caridad, por guiar y bendecir mi camino en el trayecto de mi vida estudiantil.

A mi directora la Ing. María Isabel Vizcaíno, a mis asesores Mgs. Karla Dávila, Mgs. Hugo Vallejos e Ing. Walter Palacios, por su tiempo invertido en el apoyo constante de esta investigación, a todos mis docentes por haberme compartido sus conocimientos e inculcar en mi amor y entrega hacia mi profesión.

A mi esposo Jefferson Guerra por ser mi apoyo y soporte incondicional en la culminación de mi carrera.

A mis primos Fernanda, Juan y Jorge Pavón Narvárez, Gabriela, Karina y Ramiro Guerra Narvárez, quienes han sido mis confidentes y aliados en este proceso de formación académica.

A los Ingenieros: Carlos Boada, Edgar Vázquez, Segundo Fuentes y Bolívar Montenegro por el apoyo técnico y legal en el desarrollo de éste trabajo de titulación.

A mis compañeros Julio Cuasquer, Wilmer Alcuacer y a mis amigo David Narvárez y Sr. Eugenio López por su colaboración y ayuda en el trayecto de esta investigación.

A todos mis familiares y amigos que siempre me motivaron, a alcanzar esta metan tan importante en mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Págs.
IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	iii
CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	v
REGISTRO BIBLIOGRÁFICO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 General	2
1.1.2 Específicos	2
1.2 PREGUNTAS DIRECTRICES.....	2
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1 FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	3
2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4

	Págs.
2.2.1	Propiedades de la madera4
2.2.1.1	Características organolépticas4
2.2.1.1.1	Color 4
2.2.1.1.2	Olor..... 5
2.2.1.1.3	Sabor..... 5
2.2.1.1.4	Brillo..... 5
2.2.1.1.5	Veteado..... 6
2.2.1.1.6	Grano 7
2.2.1.1.7	Textura..... 8
2.2.1.2	Propiedades físicas9
2.2.1.2.1	Contenido de humedad 9
2.2.1.2.2	Densidad de la madera..... 10
2.2.1.2.3	Contracción y expansión 11
2.2.1.2.4	Peso específico 13
2.2.1.3	Propiedades químicas de la madera.....13
2.2.1.4	Propiedades de trabajabilidad.....14
2.2.1.4.1	Cepillado..... 14
2.2.1.4.2	Lijado..... 16
2.2.1.4.3	Moldurado 17
2.2.1.4.4	Torneado 17
2.2.1.4.5	Taladrado 18
2.2.1.4.6	Defectos en la trabajabilidad de la madera 19
2.2.1.4.7	Calificación de las pruebas de trabajabilidad 20
2.2.2	Características de Carapa amorphocarpa.....21
2.2.3	Características tecnológicas del género Carapa.....21
2.2.4	Características tecnológicas de otras especies.....23
CAPÍTULO III.....25	
MATERIALES Y MÉTODOS.....25	
3.1	UBICACIÓN DEL SITIO25

	Págs.
3.1.1	Procedencia de las muestras25
3.1.2	Determinación de propiedades25
3.2	MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS25
3.2.1	Maquinaria, equipos e instrumentos25
3.2.2	Insumos y repuestos26
3.2.3	Material vegetativo26
3.3	METODOLOGÍA.....26
3.3.1	Selección y obtención del material26
3.3.1.2	Obtención del material experimental.....26
3.3.2	Descripción de las características organolépticas.....27
3.3.3	Determinación de las propiedades físicas y químicas27
3.3.3.1	Propiedades físicas27
3.3.3.1.1	Contenido de humedad en las maderas..... 28
3.3.3.1.2	Densidad 29
3.3.3.1.3	Contracción..... 31
3.3.3.2	Propiedades químicas34
3.3.4	Determinación de las propiedades de trabajabilidad34
3.3.4.1	Cepillado.....36
3.3.4.2	Lijado.....36
3.3.4.3	Moldurado37
3.3.4.4	Taladrado37
3.3.4.5	Torneado.....37
3.3.5	Identificación los usos posibles de la especie.....38
CAPITULO IV39
RESULTADOS39
4.1	CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS39

	Págs.
4.2	PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS39
4.2.1	Propiedades físicas39
4.2.1.1	Contenido de humedad39
4.2.1.2	Densidad40
4.2.1.3	Contracción.....41
4.2.2	Propiedades químicas43
4.3	PROPIEDADES DE TRABAJABILIDAD43
4.3.1	Cepillado.....43
4.3.1.1	Alimentación a favor del grano43
4.3.1.2	Alimentación en contra del grano.....45
4.3.2	Lijado.....47
4.3.2.1	Alimentación a favor del grano47
4.3.2.1.1	Homogeneizado47
4.3.2.1.2	Pulido..... 47
4.3.2.2	Alimentación en contra del grano.....48
4.3.2.2.1	Homogeinizado..... 48
4.3.2.2.2	Lija de 100 48
4.3.3	Moldurado49
4.3.3.1	Alimentación a favor del grano49
4.3.3.2	Alimentación en contra del grano.....49
4.3.4	Taladrado50
4.3.4.1	Ingreso del taladro50
4.3.4.2	Salida del taladro51
4.3.5	Torneado.....52
4.4	POSIBLES USOS52
CAPÍTULO V.....53	
DISCUSIÓN53	
5.1	CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS53

	Págs.
5.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	54
5.2.1 Propiedades físicas	54
5.2.1.1 Contenido de humedad	54
5.2.1.2 Densidad	54
4.3.2.3 Contracción.....	54
5.2.2 Propiedades químicas	55
5.3 PROPIEDADES DE TRABAJABILIDAD	55
5.4 POSIBLES USOS	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
6.1 CONCLUSIONES	57
6.2 RECOMENDACIONES	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Orientación de las probetas.....	35
--	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

	Págs.
Tabla 1. Relación entre el tipo de grano y el veteado	7
Tabla 2. Consideraciones para la calificación de las probetas, según el grado de defectos.	20
Tabla 3. Contenido de humedad.....	40
Tabla 4. Densidad básica.....	41
Tabla 5. Contracción volumétrica	42
Tabla 6. Relación T/R	43
Tabla 7. Cepillado a favor del grano	44
Tabla 8. Cepillado en contra del grano	46
Tabla 9. Lijado (60) a favor del grano	47
Tabla 10. Lijado (100) a favor del grano	47
Tabla 11. Lijado (60) en contra del grano	48
Tabla 12. Lijado (100) en contra del grano	48
Tabla 13. Moldurado a favor del grano.....	49
Tabla 14. Moldurado en contra del grano	49
Tabla 15. Defectos al ingreso del taladro.....	50
Tabla 16. Defectos a la salida del taladro.....	51
Tabla 17. Defectos del ensayo de torneado.....	52

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa del sitio de procedencia de las muestras	66
Anexo 2. Embalaje para evitar la pérdida de humedad	66
Anexo 3. Identificación del color con la tabla de Munsell	67
Anexo 4. Transición de albura y duramen	67
Anexo 5. Médula excéntrica	68
Anexo 6. Densidades en los diferentes estados de la madera	68
Anexo 7. Contracción	69

	Págs.
Anexo 8. Grano arrancado grado cinco, en cepillado	70
Anexo 9. Grano arrancado grado cuatro, en cepillado.....	70
Anexo 10. Comportamiento al ingreso del taladro	71
Anexo 11. Comportamiento a la salida del taladro.....	71
Anexo 12. Comportamiento ante el torneado	72

TITULO: “PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y DE TRABAJABILIDAD DE *Carapa amorphocarpa* W. Palacios, EN EL NOROCCIDENTE DEL ECUADOR”

Autora: Elina Paola Sotelo Narváez

Directora de trabajo de titulación: Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja

Año: 2016

RESUMEN

En el Ecuador la escasa información de la tecnología de la madera, ha producido una limitación en el uso de especies forestales, como es el caso de *Carapa amorphocarpa* (tangare); para enfrentar este problema, se desarrolló el presente estudio, que tuvo los siguientes objetivos: a) Proponer los usos posibles de *Carapa amorphocarpa*, en base las propiedades físicas, químicas y de trabajabilidad de su madera; b) describir las características organolépticas; c) determinar las propiedades físicas y químicas; d) determinar las propiedades de trabajabilidad; e) identificar los usos posibles de la especie.

La madera se obtuvo del cerro Golondrinas, ubicado en la provincia del Carchi al noroccidente del Ecuador; se seleccionó siete árboles, con DAP mayor a 30 cm, se extrajo trozas de 1,10 y 0,30 m de largo de la parte basal y media, se las codificó, embolsó y trasladó a las instalaciones de la Universidad Técnica del Norte.

Las características organolépticas se identificaron en base a lo que indica la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1982). Para la determinación de las propiedades físicas se utilizó las normas de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT, 1972) y para las propiedades químicas el método 923.03 de la Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales (AOAC, 2002); mientras que, para las propiedades de trabajabilidad se consideró lo establecido por la Sociedad Americana de Prueba de Materiales (ASTM, 1999).

Dentro de los resultados de las características organolépticas se distinguió los siguientes colores: blanco, rosado, marrón rojizo muy pálido, marrón rojizo claro y marrón rojizo intenso. Veteado en bandas y arcos superpuestos; olor fuerte característico similar a fermentado; sabor amargo; brillo y textura media y grano recto. En las propiedades físicas se obtuvo un contenido de humedad de 63,82%, una contracción volumétrica total de 13,66% y una relación Tangencial/Radial de 2,24%; con respecto a la densidad los resultados son los siguientes: seca al horno 0,64 gr/cm³ y la densidad básica de 0,55 gr/cm³. El contenido de ceniza evaluado en las propiedades químicas es de 0,743% en albura y 0,677% en duramen. Con respecto a la trabajabilidad la madera es pobre para el cepillado y muy mala para el torneado, sin embargo, fácil de lijar, moldurar y taladrar. De tal manera que se considera los siguientes usos posibles de especie: construcción, tableros, pisos, marcos, revestimientos de madera, muebles, armarios, chapas decorativas e instrumentos musicales.

TITLE: “PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y DE TRABAJABILIDAD DE *Carapa amorphocarpa* W. Palacios, EN EL NOROCCIDENTE DEL ECUADOR”

Author: Elina Paola Sotelo Narváez

Director of labor titration: Ing. María Isabel Vizcaíno
Pantoja

Year: 2016

ABSTRACT

Ecuador has limited information about the wood's technology; it has produced a limitation on the use of forest species, such as *Carapa amorphocarpa* (Tangare); to face this problem we have developed this study, which has the following objectives: a) Proposing the possible uses of *Carapa amorphocarpa*, based on the physical, chemical and workability of its wood properties; b) describe the organoleptic characteristics; c) determine the physical and chemical properties; d) determining the properties of workability; e) identify possible uses of the species.

The wood was obtained from Cerro Golondrinas, located in the province of Carchi in northwest Ecuador; seven trees were selected, with more DAP to 30 cm, 1.10 and 0.30 logs m long and the average basal part, were coded, packed and moved to the premises of University (Técnica Del Norte).

The organoleptic characteristics were identified based on indicating the Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1982). The standards of the Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT, 1972) used for determining the physical properties and in the chemical properties of the 923.03 method of the Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 2002); for determining the working properties the American Society of Testing Materials (ASTM, 1999).

Inside of the results of the organoleptic characteristics were identified distinguishing the following colors: white, pink, pale reddish-brown, light reddish brown and deep red brown; white, pink, pale reddish-brown, light reddish brown and deep red brown: Within the result of the organoleptic characteristics distinguished the following colors. Veining in bands and overlapping arches; strong odor like fermented characteristic; bitter taste; brightness and medium texture and straight grain. In the physical properties a moisture content of 63.82%, total volumetric shrinkage of 13, 66% and Tangential / Radial ratio of 2.24% was obtained; with respect to the density results are as follows: baked dried 0.64 g / cm³ and basic density of 0.55 g / cm³. The ash content in the chemical properties evaluated is 0.743% 0.677% in sapwood and heartwood. Regarding workability is poor timber for brushing and very bad for turning, however, easy to sand, molding and drilling. So that is considered possible uses of the following species: construction, boards, floors, frames, paneling, furniture, cabinets, decorative veneers and musical instruments.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La utilización de los bosques en la historia y evolución de la humanidad, ha permitido que éstos sean materia prima para la construcción, transporte y combustible, además han proporcionado alimento y otros servicios ambientales. La industrialización a nivel mundial ha considerado principalmente al bosque, como una fuente de madera, de tal manera que se ha enfatizado la demanda de especies duras, fáciles de trabajar y estéticamente llamativas (Food and Agriculture Organization [FAO], 2012).

En el Ecuador, que es considerado un país mega-diverso, existe una gran variedad de especies forestales; no obstante, la carencia de información con respecto a tecnología de la madera limita su uso industrial, artesanal y doméstico, como es el caso de *Carapa amorphocarpa* (tangare), una especie recientemente clasificada por Walter Palacios, ubicada en el cerro Golondrinas, cuya madera es utilizada por los pobladores locales empíricamente para la construcción de casas y elaboración de muebles en general (Palacios, 2012).

La investigación determina las propiedades físicas, químicas y de trabajabilidad, ayudará a potenciar su uso, especialmente en el ámbito artesanal e industrial. Se ha depositado interés en *Carapa amorphocarpa* debido a que el género *Carapa*, incluye varias especies con alto valor comercial, como es el caso de *Carapa guianensis* (tangare), cuya madera es utilizada en la elaboración de muebles finos, puertas, ventanas, contramarcos, chapas decorativas y artesanías (Centro de Utilización y Promoción de Productos Forestales [CUPROFOR], 2001).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 General

Proponer los usos posibles de *Carapa amorphocarpa*, en base las propiedades físicas, químicas y de trabajabilidad de su madera.

1.1.2 Específicos

- Describir las características organolépticas.
- Determinar las propiedades físicas y químicas.
- Determinar las propiedades de trabajabilidad.
- Identificar los usos posibles de la especie.

1.2 PREGUNTAS DIRECTRICES

- ¿Cuáles son las características organolépticas?
- ¿Cuáles son las propiedades físicas y químicas?
- ¿Cuáles son las propiedades de trabajabilidad?
- ¿Cuáles serían los usos probables de la madera?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

El presente estudio se enmarca en la línea de investigación de la carrera “Producción y protección sustentable de los recursos forestales”, sustentada en el siguiente objetivo del Plan Nacional para el Buen Vivir (PNBV 2013 – 2017):

a) **Objetivo 7:** Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global.

Política: 7.4. Impulsar la generación de bioconocimiento como alternativa a la producción primario-exportadora”, **literal e:** Investigar los usos potenciales de la biodiversidad para la generación y aplicación de nuevas tecnologías que apoyen los procesos de transformación de la matriz productiva y energética del país, así como para la remediación y restauración ecológica” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2013, pag.221).

Varias especies del género *Carapa* son mencionadas en documentos de conservación y manejo; como es el caso de: *Carapa megistocarpa*, endémica de Ecuador, que está considerada en peligro debido a las altas tasas de deforestación en todo su hábitat durante los últimos 50 años (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], 2004); y de *Carapa guianensis*, que se encuentra en la lista de especies de aprovechamiento condicionado de la Norma Técnica Forestal 039 (2003), relativa al manejo forestal sustentable para aprovechamiento de madera en Bosque Húmedo, en el Ecuador, no obstante, fue considerada en la veda total de corto plazo de seis meses (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2012).

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1 Propiedades de la madera

La madera es un material orgánico que está conformada por tejidos que poseen cierta dureza, que forman la mayor parte del tronco y ramas (Cruz de León, 2011; Espinoza, Guevara & Puertas, 2013), posee características perceptibles con los sentidos, denominadas organolépticas (Messer, 2007). Es heterogénea, lo cual influye en sus propiedades físicas y mecánicas, las mismas que varían según la especie, edad, presencia de extractivos químicos, entre otros (Cruz de León, 2011).

Es importante conocer las propiedades de cada especie, debido a que contribuyen a mejorar el proceso en la industria, tal es el caso del moldurado, que proporciona acabados atractivos en la obtención de varios productos (Cluster Madeira, 2011), no obstante, ciertas características organolépticas están estrechamente relacionadas con las preferencias del mercado y a la vez con posibles usos de cada especie (Baraña, Craig, Cuciufo, De Flaco, & Penón, 2008).

2.2.1.1 Características organolépticas

Según Gonzales (2008), las características organolépticas son las que pueden ser percibidas por los órganos sensoriales, entre ellas están:

2.2.1.1.1 Color

El color es una característica muy importante para la identificación de maderas, así como también desde el punto de vista estético (Gática Sánchez, 2010), se origina por la pigmentación que aportan los compuestos de la madera, entre los que se puede citar: polisacáridos, lignina, resinas, gomas y derivados técnicos, entre otros (Diaz-Vaz, Lira, & Muñoz, 2003).

La madera por lo general presenta dos zonas delimitadas de colores diferentes; la albura, que es la parte externa que corresponde a la zona más nueva y el duramen que es más oscuro, se encuentra en la parte central (Bravo, Gimenez, & Moglia, 2014).

2.2.1.1.2 Olor

Es producido por sustancias químicas como resinas, aceites o gomas, estos se presentan más fuerte en material fresco, recién cortado y puede acentuarse con el humedecimiento del material maderable (Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena [CAM], 2009).

2.2.1.1.3 Sabor

El sabor está estrechamente vinculado al olor pues se supone que las sustancias responsables de ambos, son las mismas. Por otra parte, tiene importancia en relación al envasado de productos alimenticios que al estar en contacto con este tipo de maderas, pueden adquirir gustos desagradables (Gática Sánchez, 2010).

2.2.1.1.4 Brillo

El brillo es la capacidad de reflejar la luz, que poseen ciertas especies (Messer, 2007), depende parcialmente del ángulo de incidencia de la luz y del tipo de células expuesto en dicha superficie (CAM, 2009).

2.2.1.1.5 Veteado

El veteado consta de figuras originadas según los planos de corte, la madera las presenta debido a la influencia, del contraste entre leño temprano y leño tardío (CAM, 2009).

- a) Veteado originado por la disposición de los elementos del leño.- Es el diseño o dibujo que producen los elementos constitutivos del leño en las superficies longitudinales pulidas.
- b) Veteado originado por el color.- El color, resultante de la presencia de sustancias xilócromas en el lumen de o pared de las células produce falta de uniformidad en las piezas de madera
- c) Veteado originado por el grano y la textura del leño:
 - En líneas verticales o rayado.- Aparece en maderas con buena demarcación de los anillos de crecimiento (textura heterogénea) y se aprecia como líneas paralelas en un corte longitudinal radial.
 - Floreado.- Es propio de las Dicotiledóneas se origina por los mismos caracteres estructurales que el veteado rayado. Se aprecia como arcos en el corte longitudinal tangencial.
 - Arcos superpuestos.- Este tipo de veteado se produce en especies con porosidad circular y semicircular, para obtenerlo se corta el rollizo en chapas longitudinales tangenciales, dando al plano una inclinación de 10-15° respecto al eje vertical.
 - Jaspeado.- Lo determinan la presencia de radios leñosos grandes y abundantes. Se observa en el corte longitudinal radial y aparecen como manchas o pequeñas bandas que le otorgan un brillo muy atrayente.
 - Punteado.- Tiene el mismo origen que el anterior tipo de veteado, pero se observa en las caras longitudinales tangenciales, los radios se ven con la forma lenticular típica y son más visibles cuando son de colores más oscuros que el resto del tejido.
 - Espigado.- La causa determinante de este tipo de veteado es el grano entrecruzado.

- Ondeadado.- La causa determinante es el grano crespo radial. Se observan como ondulaciones transversales paralelas, rectas o algo arqueadas.
- Ojos de perdiz.- Se produce por la presencia de yemas durmientes en determinadas maderas, cuando estos pequeños nudos se cortan tangencialmente, en la superficie expuesta se observan áreas circulares reducidas en las cual el tejido leñoso está fuertemente distorsionado.

Relación entre el tipo de grano y el vetado, según el tipo de corte (tabla 1) (CAM, 2009):

Tabla 1. Relación entre el tipo de grano y el vetado

Grano	Vetado	Corte
Derecho a oblicuo	Rayado o floreado jaspeado apaisado	Radial, tangencial y rotativo.
Entrecruzado	Espigado	Radial y tangencial
Crespo	Ondeadado	Radial rotativo
Irregular	Ojos de perdiz	Radial tangencial

2.2.1.1.6 Grano

El grano está referido a la dirección que tienen las fibras respecto al eje del fuste. Para su determinación se considera la dirección de las fibras, observando el fuste en un plano tangencial, desde la base hacia la copa (Díaz-Vaz *et al.*, 2003).

Existen diferentes tipos de grano (Bravo *et al.*, 2014):

- a) Grano derecho.- se presenta en maderas cuyos elementos anatómicos verticales siguen una trayectoria paralela al eje vertical del árbol.
- b) Grano oblicuo.- los elementos anatómicos se desvían de la dirección del eje vertical del árbol, formando un ángulo agudo como en "caldén" o el "lapacho". Las maderas con este grano no producen vetados muy vistosos.

- c) Grano entrecruzado.- los elementos anatómicos presentan direcciones opuestas y alternas entre anillos de crecimiento contiguos o grupo de anillos. Las maderas con este grano son difíciles de trabajar (aserrar y cepillar).
- d) Grano crespo.- los elementos anatómicos verticales se presentan regularmente sinuosos u ondulados y siguen direcciones variadas con respecto al eje longitudinal del tronco, es el grano de mayor valor estético.

2.2.1.1.7 Textura

La textura está referida al tamaño y distribución de los elementos celulares dentro del incremento anual, para identificar textura se observa la sección transversal de la madera (Díaz-Vaz *et al.*, 2003).

Bravo *et al.* (2014) consideran la siguiente clasificación de textura:

- a) Textura homogénea.- es la escasa diferenciación entre leño temprano y tardío.
- b) Textura heterogénea.- es la marcada diferenciación entre leño temprano y tardío.

2.2.1.1.8 Anillos de crecimiento

Son bandas concéntricas o subconcéntricas visibles en el corte trasversal del tronco, que son consecuencia del crecimiento secundario del árbol, donde se encuentra una médula (Díaz-Vaz *et al.*, 2003), que puede ser central o excéntrica; la razón de la excentricidad se atribuye principalmente cuando el árbol soporta un esfuerzo predominante a causa de vientos, ramificación disimétrica o de la pendiente del terreno (Martinez & Vignote, 2006).

2.2.1.2 *Propiedades físicas*

Entre las principales propiedades físicas de la madera, que influyen en su uso tecnológico constan: contenido de la humedad, la densidad, la contracción y la expansión (Espinoza *et al.*, 2013):

2.2.1.2.1 Contenido de humedad

Para comprender el contenido de humedad en la madera, es necesario conocer, que en ella se encuentra agua en tres formas: libre, higroscópica y de constitución, no obstante, únicamente las dos primeras influyen, en el contenido de humedad; el agua libre, que se pierde fácilmente, se encuentra en los poros, vasos y lumen de las fibras, y el agua higroscópica, que se elimina a través del proceso de secado, está presente dentro de las paredes celulares (Centro de Transferencia Tecnológica [CTT], 2007; Cruz de León, 2011; Espinoza *et al.*, 2013).

El contenido de humedad está en base a la relación de masa de agua contenida en una pieza y masa de la pieza anhidra, y se expresa en porcentaje (Pérez & Cuevas como se citó en Díaz, 2005; CCT, 2007), para obtener una pieza anhidra se la coloca en una estufa a 100 o 120°C (Díaz, 2005).

Para estimar el contenido de humedad se ha usado la siguiente fórmula (Cuevas citado por Díaz, 2005; CCT, 2007; Cruz de León, 2011):

$$CH \% = \frac{Ph - Pa}{Pa} \times 100$$

Donde:

CH%: Contenido de humedad.

Ph: Peso húmedo, en gramos.

Pa: Peso anhidrido, en gramos.

Para que la madera no presente ningún deterioro, deberá presentar un contenido de humedad entre el 10 o 15% (Cruz de León, 2011).

2.2.1.2.2 Densidad de la madera

La densidad de la madera es la relación entre masa y volumen, está expresada en g/cm^3 (Pérez & Cuevas citados por Díaz, 2005; Espinoza *et al.*, 2013). La madera se presenta cinco densidades, detalladas a continuación (CTT, 2007):

- a) Densidad anhidra: masa y volumen de la madera en estado anhidro.
- b) Densidad normal: masa y volumen de la madera con un contenido de humedad entre 10 y 12%
- c) Densidad básica: masa anhidra y volumen con humedad de 30%.
- d) Densidad nominal: masa anhidra y volumen con un contenido de humedad del 12%.
- e) Densidad de referencia: con masa y volumen, en iguales valores de humedad.

Los mismos autores, emplean la siguiente fórmula para calcular la densidad:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

Las propiedades de resistencia y rigidez de la madera son definidas mediante la siguiente clasificación según la densidad básica (Norma Ecuatoriana de la Construcción [NEC], 2014):

A: Entre 0.71 y 0.90 (muy resistente)

B: Entre 0.56 y 0.70 (resistente)

C: Entre 0.40 y 0.55 (poco resistente)

2.2.1.2.3 Contracción y expansión

La contracción y expansión a la variación de dimensiones en las diferentes caras que presenta la pieza de madera; radial, tangencial y longitudinal, esto sucede cuando la madera contiene una humedad por debajo del punto de saturación de las fibras. Entonces cuando la madera seca adquiere humedad y sus dimensiones aumentan, nos referimos a expansión, y cuando la madera pierde humedad y sus dimensiones disminuyen decimos que se presenta una contracción (Espinoza *et al.*, 2013).

Según el caso la contracción y expansión se expresa como porcentaje de las dimensiones en estado saturado, se diferencian varios casos de contracción (Espinoza *et al.*, 2013):

- a) Tangencial: las variaciones son perpendicular a los radios de la madera.
- b) Radial: variación en el sentido de sus radios.
- c) Relación tangencial y radial: estabilidad de la madera ante los cambios dimensionales por la pérdida del agua higroscópica o decremento del contenido de humedad entre el plano tangencial y radial.
- d) Volumétrica: se refiere a los cambios dimensionales tanto en sentido radial, tangencial y longitudinal.

Estudios realizados por Díaz (2005), afirman que la contracción tangencial, es mayor que la radial, debido a la disposición de las fibras, en cada una de ellas.

La contracción ocasiona imperfecciones en la madera como rajaduras o torceduras, las cuales se presentarán según el método de secado y la susceptibilidad de la especial a mencionado proceso (Pérez citado por Díaz, 2005).

El mismo autor propone una la siguiente clasificación de las maderas, según el porcentaje de contracción volumétrica:

Gran contracción: 20 a 15,1 %

Contracción media: 15 a 10,1 %

Pequeña contracción: 10 a 5 %

Díaz (2005), utiliza la siguiente fórmula para estimar los valores de la contracción:

$$C = \frac{Di - Df}{Di} \times 100$$

Donde:

C: Contracción en %.

Di: Dimensión inicial en mm.

Df: Dimensión final en mm.

La JUNAC (1982), propone la siguiente fórmula:

$$EoC \% = \frac{CHF - CHI}{PSF} \times \frac{K}{100}$$

Donde:

E: Expansión

C: Contracción.

CHF: Contenido de humedad final.

CHI: Contenido de humedad inicial.

PSF: Punto de saturación de las fibras.

K: Coeficiente de contracción total, radial o tangencial.

2.2.1.2.4 *Peso específico*

El peso específico es la relación entre el peso de la madera que presente un contenido de humedad determinado y el volumen del agua a una temperatura específica (Manual de Diseño del Acuerdo de Cartagena citado por Meneses, 2011), además es una característica primordial para definir otras características de la madera, como es la densidad, además considera que se puede clasificar a la madera según los valores de su respectivo peso específico, en pesadas y livianas (Cruz de León, 2011).

Existe una relación directa entre la resistencia a la flexión y el peso específico, entonces a mayor peso específico mayor resistencia (Dudek citado por Meneses, 2011).

Villalón (1992), utiliza la siguiente fórmula para determinar el peso específico:

$$PEB = \frac{PS}{VV}$$

Donde:

PEB: Peso específico básico.

PS: Peso en seco.

VV: Volumen en verde.

2.2.1.3 Propiedades químicas de la madera

La madera presenta dos formas de composición: elemental y química. Cuando nos referimos a la composición elemental, consideramos los valores aproximados que esta posee de diferentes elementos, como son: carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y otras sustancias minerales (Paz, 2008; Cruz de León, 2011).

La composición química está dada por los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina, y además por otros compuestos extractivos como látex, resinas, taninos, aceites, gomas, entre otros (Barahona, 2005; Paz, 2008; Cruz de León, 2011). Para analizar cuantitativamente, los componentes mencionados, es necesario separarlos a través de solventes y respectivos procesos, en un laboratorio especializado (Paz, 2008).

Además en la ceniza de la madera se encuentran pequeñas cantidades de elementos minerales, como; calcio, potasio y magnesio. El volumen de ceniza raramente es menor a 0,2% o mayor al 1% en relación a su peso (Paz, 2008).

2.2.1.4 Propiedades de trabajabilidad

Las características de trabajabilidad de la madera indican su aptitud, ante varios procesos ejecutados a través de determinadas maquinarias y herramientas, que la modifican u acoplan a ciertas condiciones y formas, que le permitan convertirse en un producto final, proporcionándole un uso apropiado, en el cual le permita satisfacer las necesidades e índices de calidad que presenta o exige el mercado (Rico, 1974; Serrano citado por Meneses, 2011).

La JUNAC, citada por Keenan y Tejada (1987) asegura que es de relevante importancia, conocer específicamente las características de cada especie, para definir y proponer usos adecuados, de tal manera que se evite la subutilización de varias de ellas.

2.2.1.4.1 Cepillado

El cepillado es un proceso de transformación efectuado en las etapas iniciales del procesamiento de la madera, que desbastan el material con cuchillas (Martínez & Martínez como se citó en Meneses, 2011), con el fin de eliminar alguna

irregularidad, mejorar el aspecto final, lograr caras lisas y un grosor uniforme en las piezas (Villalba, 2010).

La reacción de la madera ante el cepillado varía según las propiedades de cada especie, también se puede mejorar a través de las revoluciones por minuto del cabezal, tipo de cuchilla con diferentes aleaciones, número de marcas de cuchilla por centímetro, ángulos de corte de las cuchillas, velocidad de alimentación de la madera y afilado de las cuchillas (Martínez y Martínez citados por Meneses, 2011).

- a) **Ángulo de cara anterior.**- Es el ángulo de la inclinación de la cuchilla en el portacuchillas.
- b) **Ángulo de corte.**- Es el ángulo comprometido entre la cara anterior de la cuchilla, con el plano que pasa por el filo de la misma y el eje del cabezal portacuchillas.
- c) **Bisel Frontal.**- Es el bisel que se hace sobre la cara anterior para reducir el ángulo de corte.
- d) **Ángulo Libre.**- Es el ángulo comprendido entre la tangente que pasa por el filo de la cuchilla y el bisel posterior.
- e) **Ancho del Igualado.**- Se produce en la zona inmediata al filo de las cuchillas al afilarlas para que generen un círculo de corte común.
- f) **Marcas de Viruta.**- Son los segmentos de trocoides que se genera sobre la madera por el paso de las cuchillas.
- g) **Profundidad de Corte.**- Espesor de la madera que se va a remover.

CUPROFOR (2001) aplica la siguiente fórmula en este proceso:

$$\frac{MC}{P} = \frac{RPM \times C}{V \times 12}$$

Donde:

MC/P: Marcas de cuchilla por pulgada.

RPM: Revoluciones por minuto del eje de cuchillas.

C: Número de cuchillas del cabezal.

V: Velocidad de alimentación (pies/minutos).

2.2.1.4.2 Lijado

El lijado es el conjunto de movimientos lineales o circulares del papel lija, que pueden ser manuales o mecanizados, este proceso corrige varias imperfecciones del cepillado, como es el caso de la rugosidad, marcas de viruta, entre otras (Espinoza *et al.*, 2013), y es una de las últimas etapas en el procesamiento de la madera, como consecuencia considera que la pieza está apta para aplicar revestimientos, como laca o barniz (Jonhton citado por Meneses, 2011).

Las características de las lijas a emplear deben estar acorde con la especie y el tipo de defectos que presente la pieza, como es el caso de la cantidad de perforaciones de la malla por pulgada cuadrada, (Martínez y Martínez citados por Meneses, 2011).

Espinoza *et al.* (2013) consideran necesarias las siguientes recomendaciones:

- a) Operario calificado para identificar los tipos de superficie y el equipo necesario.
- b) El lijado se debe ejecutar en función a las características de la madera en cuanto al grano y textura.
- c) Para empezar el lijado utilizar la lija de grano grueso (lija N° 80). Enseguida volver a lijar, pero con lija de grano fino (lija N° 150). Finalmente con la lija N° 220.
- d) Para madera de densidad media usar lija N° 60, 120 y 180.
- e) Para madera de alta densidad usar hasta lija N° 220.
- f) Tener cuidado en el mantenimiento de las máquinas contra el descalibrado.
- g) Lijar en dirección de la fibra, con un pequeño movimiento oscilante transversal para así facilitar la evacuación del polvo de la lija.

2.2.1.4.3 Moldurado

El moldurado es una operación que se aplica generalmente en los bordes de la madera, con objetivos de acabado, protección y decoración (CTT, 2007; Flores & Muñoz, 1989). Este proceso es ejecutado mediante una moldurera, máquina tupí o una ruteadora, se coloca un cortador con la forma del perfil que se desea obtener, como son los casos de cantos de mesas, pasa manos de escaleras, rodones, marcos, machihembrados, entre otros (Espinoza et al., 2013).

Las molduras comúnmente comercializadas se clasifican en tres grupos (CTT, 2007):

- a) Molduras interiores.- Se utilizan en forma horizontal o vertical para el revestimiento interior de tabiques y en aplicaciones tales como cielos y pisos.
- b) Molduras exteriores.- Son utilizadas en forma horizontal, para el revestimiento exterior de tabiques.
- c) Molduras decorativas.- Son de carácter decorativo tales como; balaustres, cornisas, cuarto rodón, esquineros, guardapolvos, junquillos, pilastras y tapajuntas.

Espinoza y otros (2013) mencionan las siguientes recomendaciones:

- a) Utilizar cuchillas o fresas con pastillas de carburo de tungsteno.
- b) No procesar madera contra hebra debido a que se producirán defectos.
- c) Elaborar molduras y contra molduras en piezas de puertas para poder trabajar mejor las uniones o los ensambles.
- d) La velocidad de giro mínimo de 10 000 RPM para el porta cuchillas de tupí o moldurera.

2.2.1.4.4 Torneado

El torneado es un efecto producido por la acción del torno, que imprime un movimiento rotatorio a la pieza de madera, generando perfiles y formas, como es

el caso de los pasamanos (Jonhton citado por Flores & Muñoz, 1989; Espinoza *et al.*, 2013).

El ángulo de corte, velocidad de giro y penetración, dependen de los requerimientos del producto y características de la especie, en este proceso se pueden identificar defectos como grano astillado, grano arrancado, grano rugoso y grano veloso (Flores & Muñoz, 1989). Los mismos autores afirman que las maderas de grano fino tienen buenos resultados, pero desgastan las cuchillas y el avance es lento; mientras que la madera blanda y de grano grueso presenta dificultades para un torneado satisfactorio.

Para ejecutar este proceso se necesitan piezas cilíndricas, en las que se pueden aplicar un torneado paralelo o perpendicular a las fibras, para lo cual existen diferentes tipos de torno (Espinoza *et al.*, 2013):

- a) Torno simple.- Se fija a las piezas de madera en dos ejes y trabaja pieza por pieza, con herramientas manuales.
- b) Tornos mecánicos.- Trabajan con elementos cortantes fijos, actúan en la madera a través de un sistema de acercamiento.

2.2.1.4.5 Taladrado

Según Herrera e Hidalgo (como se citó en Pozo & Terán, 1997) el taladrado es la realización de huecos en una pieza de madera. La herramienta que produce esta acción es denominada taladro, su manipulación es sencilla, consta de dos movimientos: el de rotación de la broca y el de avance de penetración de la broca, que se mueve verticalmente, posee una escala para regular la profundidad (Espinoza *et al.*, 2013).

El mismo autor propone las siguientes recomendaciones para este proceso:

- a) La potencia del equipo debe ser suficiente para maderas duras, densas y difíciles.

- b) Equipo con variador de velocidades de giro para adecuar las características de la materia prima a la capacidad más eficiente.
- c) Utilizar brocas que se adecuen al tipo de materia prima (material adecuado) y a la característica de los productos.
- d) Afilar la broca en equipos de precisión,
- e) Regular el sistema «gavilán» que permite a centrar la broca para mejor perforado, ayuda a calibrar la perforación.
- f) Considerar las tolerancias en el corte para encajar bien las piezas, no muy ajustados ni muy holgados.

2.2.1.4.6 Defectos en la trabajabilidad de la madera

Es importante conocer los defectos más comunes en los procesos de trabajabilidad de la madera, tales como (Flores & Fuentes como se citó en Meneses, 2011; Espinoza *et al.*, 2013):

- a) Grano astillado.- Las fibras se desprenden de la superficie dejando huella en forma de pequeños agujeritos (Flores & Fuentes como se citó en Meneses, 2011). Esto se debe a la existencia de elementos de falla como radios y parénquima (Espinoza *et al.*, 2013).
- b) Grano velloso.- Es la aspereza de la superficie de la madera en la que pequeñas partículas o grupos de fibras que no fueron cortadas sobresalen de la superficie general de la tabla sin (Flores & Fuentes como se citó en Meneses, 2011).
- c) Grano levantado.- Es la aspereza de la superficie, en la que una parte del anillo de crecimiento u otra sección de madera se levanta sobre la superficie general de la pieza trabajada (Flores & Fuentes como se citó en Meneses, 2011). Este defecto se debe a deficiencias en el seccionamiento de las fibras (Espinoza *et al.*, 2013).
- d) Marcas de astilla: Son la consecuencia de la falta de cohesión transversal entre las fibras (Espinoza *et al.*, 2013). Según Flores y Fuentes (como se citó en

Meneses, 2011) este defecto presenta huellas poco profundas en la superficie de la tabla.

- e) 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 (Flores & Fuentes como se citó en Meneses, 2011).
- f) Rayones: Según los mismos autores son marcas semejantes a un rasguño, ocasionado por la lija, presentándose exclusivamente en el ensayo de lijado.
- g) Rugosidad.- Espinoza *et al.* (2013) afirma que este defecto es causado por la acción del filo con cierto ángulo con respecto a la orientación del grano. La fibras y los poros después del paso del filo vuelven a su forma original, pero sobresaliendo las puntas cortadas en forma biselada debido a la diferencia de posición.

2.2.1.4.7 Calificación de las pruebas de trabajabilidad

Las probetas con las que se evalúa la trabajabilidad se califican en grados de defectos de 1 a 5, de acuerdo a las siguientes consideraciones (tabla 2) utilizadas por Flores (como se citó en Meneses, 2011):

Tabla 2. Consideraciones para la calificación de las probetas, según el grado de defectos.

Grado	Calificación	Descripción
1	Excelente	Libre de defectos
2	Buena	Con defectos superficiales que pueden eliminarse con lija del número 100.
3	Regular	Con defectos marcados que pueden ser eliminados utilizando una lija gruesa del número 60 y después una lija final del número 100.
4	Pobre	Con defectos severos que para eliminarse requiere cepillar de nuevo la pieza de madera.
5	Muy pobre	Con defectos muy severos, que para eliminarlos es necesario sanear la pieza de madera.

2.2.2 Características de *Carapa amorphocarpa*

La especie puede alcanzar hasta 25 m de altura y 60 cm de Diámetro a la Altura del Pecho (DAP), presenta raíces tablares agudas, su corteza externa es pardusca, ligeramente áspera y la interna rosada-rojiza, posee copa oblonga y densa, con hojas paripinnadas, la inflorescencia consta de una panícula estrecha, el fruto es una cápsula redondeada-amorfa que contiene semillas pegadas a la columna central, irregulares en forma y tamaño. Está ubicada en las faldas del cerro Golondrinas al noroccidente del Ecuador, con un hábitat restringida, entre los 2000 y 2300 m.s.n.m. La floración se presenta entre los meses de marzo y abril; frutos maduros se los encuentra entre los meses de agosto y septiembre (Palacios, 2012).

2.2.3 Características tecnológicas del género *Carapa*

Carapa es uno de géneros económicamente más importantes en la familia *Meliaceae* (Morales, 1997), esto se debe a que sus especies tienen una buena aceptación en el mercado, por ser excelente madera en la construcción, la elaboración de muebles, enchapes decorativos, artículos torneados, pisos, contrachapados, entre otros (Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza [CATIE], s.f.).

La madera de *Carapa* presenta una transición gradual entre la albura y el duramen, generalmente de color gris rosáceo y café claro respectivamente, presenta un brillo medio, su textura es entre media a ligeramente gruesa y el grano varía de recto a levemente entrecruzado, posee un vetado semi-pronunciado debido al tamaño de los poros y anillos de crecimiento, los vetados que presenta son: arcos superpuestos, satinado y jaspeado (CATIE, s.f.; CUPROFOR, 2001).

Las especies de *Carapa* tienen características y usos similares, por lo tanto es conveniente describir, una de las más investigadas y utilizadas en la industria como es *Carapa guianensis* (CUPROFOR, 2001).

Esta especie se emplea en sistemas agroforestales con cultivos mixtos (arroz, maíz, yuca), setos, sombra para cultivos (UICN, s.f.), además, de ella se aprovechan productos forestales no maderables, como son: la obtención de aceite a partir de la semilla, que es empleado en alumbrado casero e industrialmente para la manufactura de jabón; la corteza contiene un alcaloide, llamado carapín, que es empleado en medicina para curar la disentería, diarrea y reumatismo; la decocción de la corteza y las semillas se emplea para tratar la tos, picaduras de insectos, la malaria, las quemaduras de la piel, las inflamaciones, e igualmente como cicatrizante y desinfectante (SIB, 2009).

No obstante, en Ecuador el volumen anual de madera autorizado por el MAE para aprovechamiento de *Carapa guianensis* es de 6 629 m³ (Palacios, datos no publ.) debido al uso y características tecnológicas de su madera (SIB, 2009).

Esta especie presenta una porosidad difusa, considerando su distribución existen solitarios, múltiples radiales y diagonales, posee un parénquima axial escaso vasicéntrico y apotraqueal en fajas marginales, sus radios son multiseriados, presenta fibras libriformes y septadas (Arévalo, Tejada, & Vinueza, s.f.; CUPROFOR, 2001).

La madera de *Carapa guianensis* está en el rango de maderas pesadas, debido a su densidad básica es de 0,49 g/cm³ (CHUDNOFF, citado por CUPROFOR, 2001), además su densidad en estado verde es de 1,11 g/cm³, seca al aire 0,59 g/cm³ y seca al horno 0,55 g/cm³ (MAE, 2014). La especie tiene una estabilidad dimensional, con respecto al secado al horno, debido a que su contracción no presenta variaciones significativas (CUPROFOR, 2001), sin embargo el secado al aire libre de esta madera es moderadamente difícil (Universidad Nacional de Colombia [UNC], s.f.). Los valores de la contracción volumétrica es de 11,95% y la relación tangencial radial (T/R) es de 1,61% (MAE, 2014).

El contenido de sílice que posee es bajo, por lo cual este componente no interviene en el desafilado de la sierra, no obstante se para un buen aserrado se recomiendan las siguientes consideraciones (CUPROFOR, 2001):

- Paso entre dientes: 11/ 2" a 13 /4"
- Altura del diente: 113 del paso
- Angulo de ataque: 29°
- Angulo de incidencia: 15°
- Angulo de hierro: 46°
- Ancho de diente 0 traba: 0.120" (118" aproximado)
- Forma de diente: Pico de loro

La trabajabilidad de *Carapa* varía entre fácil a moderadamente difícil, sin embargo, en comparación con otros géneros de *Meleaceae* es más difícil de trabajar y cortar, como es el caso de *Swietenia* (UNC, s.f.).

Carapa guianensis presenta un comportamiento pobre en el cepillado, debido a que tiene un alto porcentaje de grano veloso y arrancado (CUPROFOR, 2001); sin embargo, en otras investigaciones se considera que esta madera es fácil de cepillar (The International Tropical Timber Organization [ITTO], s.f.).

En base a que en el ensayo de moldurado el 68% de piezas evaluadas no presento grado veloso ni rasgado, se afirma que la especie tiene un comportamiento regular con respecto al moldurado, mientras que en el taladrado y torneado el 92% no tenía estos defectos (CUPROFOR, 2001). No obstante el lijado en esta especie es excelente (UNC, s.f.; CUPROFOR, 2001).

2.2.4 Características tecnológicas de otras especies

Entre las especies económicamente más importantes de la familia *Meliaceae* se encuentran *Cedrela odorata* (cedro) y *Swietenia macrophylla* (caoba) (Morales, 1997).

Cedrela odorata posee una densidad básica de 0,42 gr/cm³; contracción volumétrica total de 10,2% y una relación Tangencial/Radial de 1,7%; con respecto a su trabajabilidad se la considera muy fácil de trabajar en el proceso de cepillado, lijado, moldurado, taladrado y torneado, por lo tanto es empleada en ebanistería,

cajonería, tableros contrachapados, molduras, obras internas, carpintería, cajas para cigarros puros y entablados (ITTO, s.f.).

Swietenia macrophylla presenta una densidad básica de 0,52 gr/cm³; se la considera apta para ensayos de lijado y moldurado, en pocos casos en el cepillado el grano salta y se produce el defecto de grano arrancado, de madera similar en el taladrado presenta algunos defectos, no son muy significativos; se la utiliza para vivienda en general, tableros, pisos, marcos, escaleras, revestimientos, muebles de lujo, armarios, madera contrachapada, chapas decorativas, raquetas de tenis, construcción naval, instrumentos musicales como guitarra, artesanías, molduras (ITTO, s.f.).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL SITIO

3.1.1 Procedencia del material vegetativo

Se obtuvo del cerro Golondrinas (*Ver anexo 1*), que pertenece a los cantones: Espejo, Mira y Tulcán, de la provincia del Carchi, al noroccidente del Ecuador; con una altitud de 2 849 msnm (Gobierno Provincial del Carchi [GPC], 2015), temperatura ente 12 y 18 °C (Lara, 2006) y precipitación anual entre 2000 y 2500 mm (GPC, 2015). Según el Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2012) el cerro se considera bosque siempreverde montano del norte y centro de la cordillera oriental de los Andes.

3.1.2 Determinación de propiedades

Los ensayos de las propiedades físicas y de trabajabilidad, se realizaron en el laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca y en la Central Maderera, ubicadas en la Granja Experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte; mientras que las propiedades químicas se determinaron en el laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos de la Facultad de ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la misma institución.

3.2 MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS

3.2.1 Maquinaria, equipos e instrumentos

- Motosierra
- Estufa
- Calibrador o pie de rey
- Balanza de precisión
- Cepillo regruesador

- Moldurera o machimbradora
- Taladro de pedestal, con accesorio de aplicación de peso constante
- Lijadora de rodillo
- Canteadora
- Sierra despuntadora
- Sierra circular
- Torno
- Gurbias

3.2.2 Insumos y repuestos

- Cuchillas
- Embalaje
- Lija en rollo

3.2.3 Material vegetativo

- Probetas de madera, de forma y tamaño según los ensayos

3.3 METODOLOGÍA

3.3.1 Selección y obtención del material vegetativo

Se eligió siete árboles con un DAP superior a 0,30 m, con las mejores características fitosanitarias y fenotípicas (COPANT 1972), de los que se extrajo trozas de 1,10 y 0,30 m de largo de la parte basal y media y se las codificó y se las embolsó para evitar la pérdida de humedad (*Ver anexo 2*), posteriormente se las trasladó a los laboratorios.

3.3.2 Selección y obtención del material experimental

Se dimensionó, orientó y codificó las probetas y muestras respectivamente, las dimensiones varían de acuerdo al ensayo y normas a aplicar.

3.3.3 Descripción de las características organolépticas

Se empleó muestras de 10 x 14 x 2 cm y se evaluaron los siguientes aspectos (JUNAC 1981):

- Color: con la tabla de Munsell de Suelos de definió el color para cada muestra (*Ver anexo 3*).
- Transición de albura a duramen: se diferenció la variación de estas partes del fuste.
- Sabor: se distinguió un sabor característico.
- Olor: se identificó un olor característico de la especie.
- Brillo: se determinó la capacidad de la madera de reflejar la luz.
- Veteado: Se distinguió el tipo de figura que forman la disposición de los elementos constitutivos del leño.
- Grano: Se identificó el tipo de grano en la cara tangencial.
- Textura: Se identificó la distribución, proporción y tamaño relativo de los elementos leñosos en la cara radial y tangencial.

Además se consideró la descripción de la tajada, en este proceso se utilizó una rodaja de la parte media del fuste, de 5 cm de espesor, se evaluó forma, ancho y orientación de los anillos de crecimiento, además, el espesor de albura y duramen.

3.3.4 Determinación de las propiedades físicas y químicas

3.3.4.1 *Propiedades físicas*

Normas para los ensayos

Las propiedades físicas se realizaron según los estándares de las normas COPANT (1972):

COPANT 458 Selección y colección de muestras.

COPANT 459 Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos.

- COPANT 460** Métodos de determinación de contenido de humedad (probetas de 10 x 3 x 3 cm).
- COPANT 461** Método de determinación de densidad (probetas de 10 x 3 x 3 cm)
- COPANT 462** Método de determinación de contracción (Probetas de 10 x 3 x 3 cm).

3.3.3.1.1 Contenido de humedad en las maderas

Se utilizó siete probetas por cada árbol de la parte media y basal, libres de defectos, orientadas de tal forma que se distinguían dos caras radiales y dos caras tangenciales (COPANT 460, 1974).

Se pesaron las probetas en condición verde (peso húmedo), y se determinó el peso en estado anhidro, para lo cual; se colocó las probetas en estado verde al ambiente por el tiempo de 11 días, hasta que alcanzaron una estabilidad en su peso, consecutivamente se las colocó en una estufa eléctrica provista de termo regulador a una temperatura inicial de 40 ° C durante dos días y se pesaron.

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

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

Donde:

CH: Contenido de humedad, expresado en %.

PV: Peso de la probeta en estado verde, expresado en gr.

PSH: Peso de la probeta en estado seco al horno, expresado en gr.

3.3.3.1.2 Densidad

Se utilizó las mismas probetas del ensayo anterior (COPANT 461, 1972), se consideró el contenido de humedad de las probetas: para madera en condición verde, seca al aire, seca al horno.

a) Madera en condición verde

Las probetas fueron almacenadas en fundas plásticas y se pesaron en una balanza de precisión, posteriormente se realizó la medición con el calibrador en las seis caras.

Los cálculos se realizaron mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

DV: Densidad de la probeta en condición verde, expresada en gr/cm^3 .

PV: Peso de la probeta en estado verde, expresado en gr.

VV: Volumen de la probeta en estado verde, expresado en cm^3 .

b) Madera en estado seco al aire

Se pesó la madera seca al aire, consecutivamente los valores se estimaron a través de la siguiente fórmula:

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

Donde:

DSA: Densidad de la probeta en condición seca al aire, expresada en gr/cm^3 .

PSA: Peso de la probeta en estado seco al aire, expresado en gr.

VSA: Volumen de la probeta en estado seco al aire, expresado en cm^3 .

c) Madera en estado seco al horno

Se pesó la madera seca al horno, consecutivamente los valores se estimaron a través de la siguiente fórmula:

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

Donde:

DA: Densidad de la probeta en estado anhidro, expresada en gr/cm^3 .

PSH: Peso de la probeta en estado seco al horno, expresado en gr.

VSH: Volumen de la probeta en estado seco al horno, expresado en cm^3 .

d) Densidad Básica

Con los datos obtenidos para las anteriores densidades, se aplicó el siguiente cálculo:

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

Donde:

DB: Densidad básica, expresada gr/cm^3 .

PSH: Peso de la probeta en estado seco al horno, expresado en gr.

VV: Volumen de la probeta en estado seco verde, expresado en cm^3 .

3.3.3.1.3 Contracción

Se aplicó las normas COPANT 462 (1972). Las probetas se direccionaron de modo que una de las caras opuestas entre sí sea una superficie tangencial a los anillos de crecimiento, de tal manera que las otras dos caras resultan ser una superficie radial.

Se señaló las probetas en las seis caras y se midió el calibrador en las tres dimensiones de las probetas.

Para estimar la contracción se aplicó las siguientes fórmulas:

a) Contracción radial

Se midió las caras radiales, se aplicaron las siguientes fórmulas:

$$C R N(\%) = \frac{D R V - D R S A}{D R V} \times 100$$

Donde:

C R N: Contracción en sentido radial normal de la probeta en condición verde al estado seco al aire, expresada en %.

D R V: Dimensión radial en estado verde de la probeta, expresada en mm.

D R S A: Dimensión radial de la probeta en condición seca al aire, expresada en mm.

$$C R T(\%) = \frac{D R V - D R S H}{D R V} \times 100$$

Donde:

C R T: Contracción radial total de la probeta del estado verde al estado seco al horno, expresada en %.

D R V: Dimensión radial de la probeta en estado verde, expresada en mm.

D R S H: Dimensión radial de la probeta en estado seco al horno, expresada en mm.

b) Contracción tangencial

Se midió las caras tangenciales, se empleó las siguientes fórmulas:

$$C T N(\%) = \frac{D T V - D T S A.}{D T V} \times 100$$

Donde:

C T N: Contracción en el sentido tangencial normal de la probeta en condición verde al estado seco al aire, expresada en %.

DTV: Dimensión tangencial de la probeta en estado verde, expresada en mm.

D R S A: Dimensión tangencial de la probeta en condición seca al aire, expresada en mm.

$$C T T(\%) = \frac{D T V - D T S H}{D T V} \times 100$$

Donde:

C T T: Contracción tangencial total de la probeta del estado verde al estado seco al horno, expresada en %.

D T V: Dimensión tangencial de la probeta en estado verde, expresada en mm.

D T S H: Dimensión tangencial de la probeta en estado seco al horno, expresado en mm.

c) Contracción longitudinal

Se tomó las medidas en forma de cruz por los puntos centrales de la probeta, perpendicular a las caras y se aplicó las siguientes fórmulas:

$$C L N(\%) = \frac{D L V - D L S A}{D L V} \times 100$$

Donde:

C L N: Contracción longitudinal normal de la probeta en condición verde al seco al aire, expresada en %.

D L V: Dimensión longitudinal de la probeta en estado verde expresada en mm.

D L S A: Es la dimensión longitudinal de la probeta en condición seca al aire, expresada en mm.

$$C L T(\%) = \frac{D L V - D L S H}{D L V} \times 100$$

Donde:

C L T: Contracción longitudinal total de la probeta del estado verde al estado seco al horno, expresada en porcentaje.

D L V: Dimensión longitudinal de la probeta en estado verde expresada, en milímetros.

D L S H: Es la dimensión longitudinal de la probeta en estado seco al horno, expresado en milímetros.

d) Contracción volumétrica total

Es la relación de la contracción en todas las caras de las probetas, la fórmula para este cálculo fue la siguiente:

$$C V T = C R T + C T T - \frac{C R T \times C T T}{100}$$

Donde:

C V T: Contracción volumétrica total de la probeta del estado verde al estado seco al horno, expresada en %.

C R T: Contracción radial total de la probeta, expresada en %.

C T T: Contracción tangencial total de la probeta, expresada en %.

e) Relación tangencial radial

Esta relación se estimó con el fin de analizar la estabilidad dimensional de las probetas, este valor se calculó con la siguiente fórmula:

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

Donde:

T/R: Relación tangencial radial.

CTT: Contracción tangencial total de la probeta, expresada en %.

CRT: Contracción radial total de la probeta, expresada en %.

3.3.4.2 *Propiedades químicas*

Para este ensayo se extrajó astillas de albura y duramen, posteriormente se envió al laboratorio de análisis químicos, físicos y microbiológicos de la Universidad Técnica del Norte, donde se empleó el método AOAC 923.03

3.3.5 **Determinación de las propiedades de trabajabilidad**

Se empleó tres probetas por cada corte (tangencial, radial y oblicuo) de cinco árboles, las que fueron codificadas según el número de árbol y la orientación del corte, con dimensiones iniciales para los ensayos de cepillado de 100 x 10 x 6 cm; las mismas probetas se utilizaron después para el ensayo de lijado, moldurado y

taladrado. Para los ensayos de torneado se emplearon seis probetas por cada árbol con las siguientes dimensiones de 5 x 5 x 15 cm.

Las probetas se evaluaron mediante una inspección visual, de tal manera que se identifique el grano levantado, arrancado y velloso. Dependiendo de la magnitud de los defectos las probetas se clasificaron sobre la base de la siguiente escala (ASTM D 1666-87, 1999):

- Grado 1: Excelente, no acepta ningún tipo de defecto. La fibra levantada alrededor de los nudos sólo se observa con luz oblicua.
- Grado 2: Bueno, acepta fibra levantada entre un 10 a 20% del área inspeccionada.
- Grado 3: Regular, acepta fibra levantada hasta en un 30%. Mínima presencia de grano desgarrado.
- Grado 4: Malo, acepta fibra levantada hasta en un 40%. Grano desgarrado se acepta hasta un 30% del área inspeccionada.
- Grado 5: Muy Malo, la fibra levantada se encuentra sobre un 40%. Grano desgarrado se presenta sobre un 30%. Las probetas deberán estar seca al aire, con un contenido de humedad aproximado del 12 % (± 2 %), y estarán direccionadas según la orientación en el tronco (*Fig. 2*).

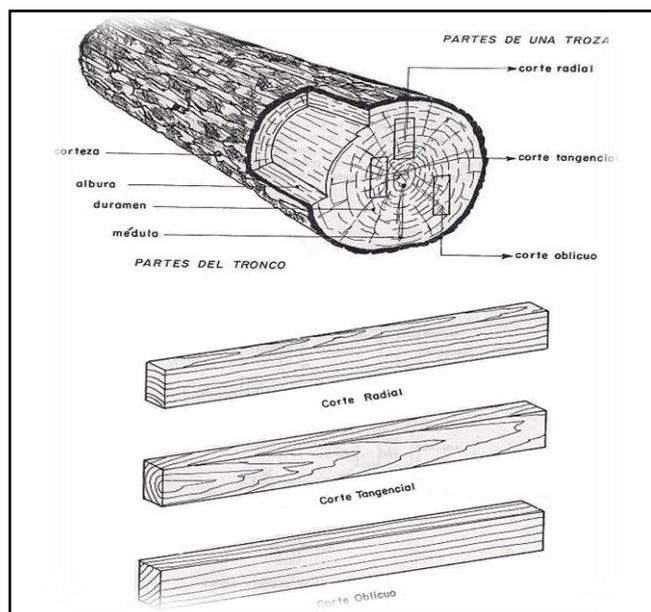


Figura 1. Orientación de las probetas.

3.3.5.1 Cepillado

En este 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 rápido, con un ángulo de corte de 35 grados, alimentador de velocidad (motor) 1.5 H.P 1740 rpm y formularios.

Se marcó cada probeta con una flecha en el extremo de cada cara, para indicar la dirección de alimentación a favor y en contra del grano, y con la ayuda de un cronómetro se tomó los tiempos para determinar la velocidad de alimentación con la siguiente fórmula:

$$Val = \frac{D}{T}$$

Donde:

V a l: Velocidad de alimentación.

D: Distancia

T: Tiempo.

3.3.5.2 Lijado

Se utilizó la lijadora de banda, giro de rodillo de 656,25 RPM, diámetro del tambor porta lija 24 cm fuerza motriz 2H.P 3400 RPM, velocidad de corte de giro de lija, 5,58m/seg, velocidad de avance o alimentación 0,063m/seg.

Se realizó una homogeneización con lija N°60, con la finalidad de obtener una superficie lisa a partir de una superficie brusca, consecuencia del maquinado previo (cepillado), posteriormente se aplicó el segundo lijado de pulido con la lija N°100, efectuando dos pasadas; a favor y en contra del grano con cada lija. Inmediatamente se determinó la temperatura de la lija mediante un termómetro para saber el grado de fricción, también se evaluó la velocidad de desgaste y velocidad de

ensuciamiento, esto relacionado con la eliminación fácil o difícil de las partículas de madera.

3.3.5.3 Moldurado

Las nueve probetas de cada árbol, fueron previamente cepilladas, lijadas y canteadas, para obtener una superficie plana y uniforme, especialmente a lo largo del canto. Luego del canteado, las probetas tuvieron las siguientes dimensiones: 100 x 9 x 5 cm.

Para este ensayo se utilizó dos cuchillas: una sobresalida, que es la que realiza el corte; y la otra, escondida que sirve como contrapeso. Se midió el ángulo de corte con respecto al filo (45°) de la cuchilla sobresalida y el centro del radio, las pasadas se efectuaron en los cantos de la probeta, para obtener resultados a favor y en contra del grano, que permitieron obtener el tiempo de alimentación y lograr un ancho de marca de cuchilla de 1 milímetro.

3.3.5.4 Taladrado

Se aplicó el siguiente procedimiento:

- Los puntos a taladrarse se señalaron con la ayuda de una plantilla.
- 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 constante de 15 kg, sobre la probeta, para realizar la penetración y se cronometró el tiempo que tardó la broca en pasar de un lado a otro.
- La calidad de grados de defectos se evaluó de acuerdo a la Norma ASTM D-1666-87 (1999).

3.3.5.5 Torneado

Para este ensayo se empleó un torno manual marca INVICTA de punta móvil, motor de 2H.P, 1720 rpm velocidad variable con correa y poleas, volteo de 40cm de diámetro, soporte con guía escalonada para ángulos de 0 grados, 15 grados y 40

grados. Se utilizó dos clases de gubias: una de 2 cm de ancho, con un radio de curvatura exterior de 1 cm (arista) y afilada en el lado convexo, con un ángulo de hierro de 30 grados, para así obtener ángulos de corte de 0° y 15 °; la segunda gubia de 2 cm de ancho, y un radio de curvatura exterior de 1 cm (arista) y afilada en la parte cóncava con un ángulo de hierro de 40°, para obtener un ángulo de corte de 40°. Se aplicó el siguiente procedimiento:

- Se realizó el ensayo en la misma probeta con los diferentes ángulos de corte tales como: 0°, 15° y 40°.
- Para lograr un ángulo de corte de 40° se debió ensayar tangencialmente por encima de la probeta con la gubia afilada en la parte convexa.
- Para obtener un ángulo de corte de 15° se ensayó radialmente en la probeta con la gubia afilada en la parte cóncava con una inclinación necesaria.
- Finalmente para obtener un ángulo de corte de 0° se ensayó radialmente en la misma probeta con la gubia afilada en la parte cóncava.
- Se determinó el tiempo de penetración con la ayuda de un cronómetro esto con el fin de que el tiempo sea similar para los tres tipos de corte.

3.3.6 Identificación de los usos posibles de la especie

Se comparó a *Carapa amorphocarpa* con *Carapa guianensis*, *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla*; además se consideró los usos citados por Palacios (2012) y se propusieron los usos posibles para la especie, para lo cual se consideró principalmente: la densidad básica, las características organolépticas (color y veteado) que inciden en la estética y la contracción normal.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

El color de la albura varía entre blanco a rosado y marrón rojizo muy pálido; con transición al duramen a marrón rojizo claro y marrón rojizo intenso (*Ver anexo 4*); presenta un veteado en bandas y arcos superpuestos; el olor fue fuerte característico similar a fermentado; sabor amargo; además se evidenció un brillo y textura media y grano recto.

Las tajadas presentaron entre 1,6 y 2,4 anillos de crecimiento en un centímetro lineal, el promedio de espesor de albura se encontró entre 2,07 y 2,66 cm, el duramen entre 12,22 y 32,80 cm, y la corteza entre 0,9 y 1,25 cm. La médula fue excéntrica (*Ver anexo 5*).

4.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

4.2.1 Propiedades físicas

4.2.1.1 Contenido de humedad

Los valores promedios del contenido de humedad que se presentan en la tabla 3 se encuentran distribuidos en dos rangos según la prueba de t de Student al 95% de probabilidad estadística; por lo tanto se determinó un contenido de humedad medio de 63,82% que es representativo, de acuerdo al valor del error estándar; mientras que con la desviación estándar se deduce que los porcentajes del contenido de humedad de las probetas no fueron dispersos y a través del coeficiente de variación se infirió que los datos son homogéneos.

Tabla 3. Contenido de humedad

Contenido de Humedad		
Árbol	Media	Rangos
A6	68,13	A
A2	64,65	B
A5	64,31	B
A4	63,07	B
A1	62,80	B
A7	62,43	B
A3	61,33	B
Media	63,82	
Suma	446,72	
Desviación estándar	2,21	
Error estándar	0,83	
CV	3,46	

Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narváez

4.2.1.2 Densidad

En la tabla 4 se observa los valores de la densidad básica formando tres rangos al realizar la comparación con la t de Student, al 95% de probabilidad estadística; destacándose una densidad básica media de 0,55 gr/cm³ que es representativa según el valor del error estándar; a través del cálculo de la desviación estándar se infiere que los valores de las probetas no son dispersos y en base a los coeficientes de variación se determinó que los datos son estadísticamente homogéneos.

Tabla 4. Densidad básica

Densidad Básica		
gr/cm³		
Árbol	Media	Rangos
A7	0,56	A
A2	0,55	B
A4	0,55	B
A3	0,55	BC
A5	0,54	C
A1	0,54	C
A6	0,54	C
Media	0,55	
Suma	3,84	
Desviación estándar	0,01	
Error estándar	0,001	
CV	1,59	

Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narváez

La especie presenta una densidad media en estado verde de 0,9 gr/cm³, en cambio seca al aire es de 0,68 gr/cm³ y seca al horno se evidenció un valor de 0,64 gr/cm³ (Ver anexo 6).

4.2.1.3 Contracción

Los valores de la tabla 5 muestran la contracción volumétrica total en tres rangos que oscilan entre 12,03 y 14,63 % según la prueba de t de Student, al 95% de probabilidad estadística. En base al valor del error estándar se apreció una contracción volumétrica de 13,66%; además, con el valor de la desviación estándar se afirma que los porcentajes de contracción de las probetas se encontraban agrupadas y en función al coeficiente de variación se consideró que son muy homogéneas.

Tabla 5. Contracción volumétrica

Contracción Volumétrica		
Total (%)		
Árbol	Media	Rangos
A3	14,63	A
A2	14,47	A
A1	14,21	A
A4	13,71	AB
A6	13,39	B
A5	13,15	B
A7	12,03	C
Media	13,66	
Suma	95,59	
Desviación estándar	0,90	
Error estándar	0,34	
CV	6,60	

Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narváez

Los resultados obtenidos en los ensayos de la contracción longitudinal, radial y tangencial se presentan en el anexo 7.

Los valores que se muestran en la tabla 6 indican la relación tangencial radial (T/R) en tres rangos que van desde 2,84 hasta 1,9% en base a la prueba de t de Student al 95% de probabilidad estadística; mientras que el valor del error estándar permite inferir que la media de la relación es representativa con un total de 2,24%; según la desviación estándar presenta porcentajes agrupados y en base al coeficiente de variación son relativamente homogéneos.

Tabla 6. Relación T/R

Contracción		
Relación T/R (%)		
Árbol	Media	Rangos
A4	2,84	A
A5	2,54	AB
A6	2,32	B
A7	2,15	BC
A2	2,02	C
A1	1,91	C
A3	1,90	C
Media	2,24	
Suma	15,68	
Desviación estándar	0,35	
Error estándar	0,13	
CV	15,54	

Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narváez

4.2.2 Propiedades químicas

El contenido de ceniza determinado en albura fue del 0,743% y en duramen de 0,677%.

4.3 PROPIEDADES DE TRABAJABILIDAD

4.3.1 Cepillado

4.3.1.1 Alimentación a favor del grano

En base a los resultados expuestos en la tabla 7 se evidenció que en este ensayo la madera tuvo algunas complicaciones; debido a que cuatro probetas presentaron grano arrancado hasta en grado cinco (muy malo) (*Ver anexo 8*).

Tabla 7. Cepillado a favor del grano

A FAVOR DEL GRANO										
Orientación de las probetas	Grano arrancado									
	Grado 1		Grado 2		Grado 3		Grado 4		Grado 5	
	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*
Oblicuo	3	16,67	5	10,00	5	11,00			2	20,50
Radial	2	6,50	4	10,00	6	12,50	2	12,50	1	10,00
Tangencial	4	9,25	3	8,00	5	17,60	2	10,00	1	15,00
Orientación de las probetas	Grano levantado						Grano veloso			
	Grado 1		Grado 2		Grado 3		Grado 1		Grado 2	
	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*
Oblicuo	6	15,00	6	19,17	3	15,00	12	32,08	3	31,67
Radial	8	9,38	6	17,50	1	10,00	13	35,42	2	15,00
Tangencial	8	17,13	4	23,75	3	23,33	14	33,57	1	30,00

NPA*: Número de probetas afectadas.

PPA*: Porcentaje promedio de afectación.

Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narváez

4.3.1.2 Alimentación en contra del grano

En este ensayo se evidenció menores defectos con relación a lo evaluado a favor del grano; no obstante, se observó ocho probetas con grano arrancado en grado cuatro (malo) (*Ver anexo 9*).

Tabla 8. Cepillado en contra del grano

EN CONTRA DEL GRANO										
Orientación de las probetas	Grano arrancado									
	Grado 1		Grado 2		Grado 3		Grado 4		Grado 5	
	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*
Oblicuo	7	12,71	1	10,00	4	10,75	3	15,00		
Radial	2	20,00	4	10,00	5	10,60	4	15,00		
Tangencial	2	6,00	8	12,50	4	16,25	1	5,00		
Orientación de las probetas	Grano levantado						Grano vellosa			
	Grado 1		Grado 2		Grado 3		Grado 1		Grado 2	
	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*
Oblicuo	10	14,10	3	16,67	2	25	13	33,08	2	50,00
Radial	7	20,00	4	15,00	4	17,5	8	37,50	7	33,57
Tangencial	11	13,91	4	15,00			15	31,00		

NPA*: Número de probetas afectadas.

PPA*: Porcentaje promedio de afectación.

Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narváez

4.3.2 Lijado

4.3.2.1 Alimentación a favor del grano

4.3.2.1.1 Homogeneización

En la tabla 9 se muestran detallados los resultados de este ensayo, en la cual se observó grano levantado en grado dos (bueno) con seis probetas afectadas.

Tabla 9. Lijado (60) a favor del grano

A FAVOR DEL GRANO								
Orientación de las probetas	Grano arrancado		Grano levantado				Grano veloso	
	Grado 1		Grado 1		Grado 2		Grado 1	
	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*
Oblicuo	15	13,21	15	20,77			15	45,38
Radial	15	13,75	10	19,44	5	16,67	15	46,25
Tangencial	15	10,42	14	16,67	1	0,00	15	45,42

NPA*: Número de probetas afectadas.

PPA*: Porcentaje promedio de afectación.

Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narváez

4.3.2.1.2 Pulido

Todas las probetas evaluadas presentaron grano arrancado, levantado y veloso en grado uno (excelente), siendo el grano veloso en que presentó mayor afectación (tabla 10).

Tabla 10. Lijado (100) a favor del grano

A FAVOR DEL GRANO						
Orientación de las probetas	Grano arrancado		Grano levantado		Grano veloso	
	Grado 1		Grado 1		Grado 1	
	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*
Oblicuo	15	10,00	15	19,67	15	29,00
Radial	15	8,13	15	16,33	15	27,67
Tangencial	15	10,00	15	16,00	15	24,67

NPA*: Número de probetas afectadas.

PPA*: Porcentaje promedio de afectación.

Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narváez

4.3.2.2 Alimentación en contra del grano

4.3.2.2.1 Homogeneización

Todas las probetas evaluadas presentaron grano arrancado, levantado y veloso, en grado uno (excelente) (tabla 11).

Tabla 11. Lijado (60) en contra del grano

EN CONTRA DEL GRANO						
Orientación de las probetas	Grano arrancado		Grano levantado		Grano veloso	
	Grado 1		Grado 1		Grado 1	
	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*
Oblicuo	15	8,93	15	19,62	15	40,38
Radial	15	8,75	15	15	15	38,75
Tangencial	15	10,00	15	20,00	15	38,18

NPA*: Número de probetas afectadas.

PPA*: Porcentaje promedio de afectación.

Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narváez

4.3.2.2.2 Pulido

Se evidenció grano arrancado, levantado y veloso en grado uno (excelente), con diferentes porcentajes, como se detalla en la tabla 12.

Tabla 12. Lijado (100) en contra del grano

EN CONTRA DEL GRANO						
Orientación de las probetas	Grano arrancado		Grano levantado		Grano veloso	
	Grado 1		Grado 1		Grado 1	
	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*
Oblicuo	15	7,33	15	17,67	15	21,33
Radial	15	7,13	15	15,31	15	27,00
Tangencial	15	6,67	15	15,67	15	19,67

NPA*: Número de probetas afectadas.

PPA*: Porcentaje promedio de afectación.

Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narváez

4.3.3 Moldurado

4.3.3.1 Alimentación a favor del grano

En este ensayo se evidenció grano arrancado, levantado y veloso en grado uno (excelente); en diferentes afectaciones (tabla 13).

Tabla 13. Moldurado a favor del grano

A FAVOR DEL GRANO						
Orientación de las probetas	Grano arrancado		Grano levantado		Grano veloso	
	Grado 1		Grado 1		Grado 1	
	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*
Oblicuo	8	3,38	15	10,93	15	13,67
Radial	13	4,15	15	14,13	15	13,67
Tangencial	13	4,31	15	13,40	15	14,67

NPA*: Número de probetas afectadas.

PPA*: Porcentaje promedio de afectación.

Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narváez

4.3.3.2 Alimentación en contra del grano

En la tabla 14 se muestra el comportamiento de las probetas ante el moldurado en contra del grano, se evidenció tres probetas con grano levantado en grado dos (bueno).

Tabla 14. Moldurado en contra del grano

EN CONTRA DEL GRANO								
Orientación de las probetas	Grano arrancado		Grano levantado				Grano veloso	
	Grado 1		Grado 1		Grado 2		Grado 1	
	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*
Oblicuo	11	2,64	12	12,50	1	15,00	15	15,33
Radial	10	4,40	12	14,62	2	15,00	15	16,00
Tangencial	10	3,30	13	14,23			15	16,67

NPA*: Número de probetas afectadas.

PPA*: Porcentaje promedio de afectación.

Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narváez

4.3.4 Taladrado

4.3.4.1 Ingreso del taladro

En la tabla 15 se presentan los defectos presentes en el ingreso del taladro, únicamente se observó grano arrancado y levantado en grado uno (excelente) y dos (bueno) (Ver anexo 10).

Tabla 15. Defectos al ingreso del taladro

INGRESO DEL TALADRO								
Orientación de las probetas	Grano arrancado				Grano levantado			
	Grado 1		Grado 2		Grado 1		Grado 2	
	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*
Oblicuo	11	6,73	2	3,50	4	7,50	11	32,00
Radial	8	3,00			7	11,00	7	15,00
Tangencial	9	2,56	2	4,00	2	12,50	12	12,50

NPA*: Número de probetas afectadas.

PPA*: Porcentaje promedio de afectación.

Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narváez

4.3.4.2 Salida del taladro

En la salida del taladro se evidenció grano arrancado y levantado como se puede observar en la tabla 16; con relación a la entrada del taladro en la salida se presentan defectos más notorios (*Ver anexo 11*).

Tabla 16. Defectos a la salida del taladro

SALIDA DEL TALADRO						
Orientación de las probetas	Grano arrancado					
	Grado 2		Grado 3		Grado 4	
	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*
Oblicuo	5	11,00	9	10,00		
Radial	6	15,83	5	13,00	2	40,00
Tangencial	5	12,00	8	17,50		
Orientación de las probetas	Grano levantado					
	Grado 2		Grado 3		Grado 4	
	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*	NPA*	PPA*
Oblicuo	6	38,33	4	42,50	4	61,25
Radial	6	15,83	6	40,00	3	31,67
Tangencial	5	49,00	5	51,00	5	65,00

NPA*: Número de probetas afectadas.

PPA*: Porcentaje promedio de afectación.

Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narvéez

4.3.5 Torneado

En el ensayo de torneado la madera presentó dificultades muy significativas, debido a que se observó grano arrancado hasta en grado cinco (muy malo), además en relación al tamaño de las piezas la afectación es alta (tabla17) (Ver anexo 12).

Tabla 17. Defectos del ensayo de torneado

Grano arrancado								
Orientación de las probetas	Grado 1		Grado 2		Grado 3		Grado 4	
	NPA	PPA	NPA	PPA	NPA	PPA	NPA	PPA
Oblicuo	1	5,00	1	20,00			8	10,83
Radial			2	10,00	2	15,00	3	15,00
Tangencial	3	21,67	2	7,50	2	15,00	1	15,00
Orientación de las probetas	Grano arrancado		Grano levantado				Grano velloso	
	Grado 5		Grado 1		Grado 2		Grado 1	
	NPA	PPA	NPA	PPA	NPA	PPA	NPA	PPA
Oblicuo			9	18,89	1	20,00	10	25,00
Radial	2	30,00	7	18,57	3	18,33	10	25,63
Tangencial			8	13,50	2	15,00	10	20,50

NPA: Número de probetas afectadas.

PPA: Porcentaje promedio de afectación.

Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narváez

4.4 POSIBLES USOS

Considerando los resultados de la investigación y la similitud con las propiedades de *Swietenia macrophylla*, se propusieron los siguientes usos (ITTO, s.f.): tableros, pisos, marcos, escaleras, revestimientos, muebles lineales, armarios, contrachapado, raquetas de tenis e instrumentos musicales; además, en base a los usos que le dan los moradores del cerro Golondrinas según Palacios (2012) y a la densidad básica que presentó de la especie también se la considera apta para la construcción.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1 CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

La madera de *Carapa* presenta una transición gradual entre albura y duramen, de color gris rosáceo a café claro (CATIE, s.f.; CUPROFOR, 2001), mientras que en *Carapa amorphocarpa* la transición varía de blanco, rosado y marrón rojizo muy pálido a marrón rojizo claro y marrón rojizo intenso; a la densidad de cada especie, debido a que maderas más densas absorben mayor cantidad de agua (Espinoza *et al.*, 2013).

En el género *Carapa* comúnmente se observa un vetado de arcos superpuestos (CATIE, s.f.; CUPROFOR, 2001) al igual que en *Carapa amorphocarpa*, no obstante, en el género también se registran veteado satinado y jaspeado (CATIE, s.f.; CUPROFOR, 2001), además en *Carapa amorphocarpa* se observó veteado en bandas, la diferencia de veteado se atribuye a la disposición, tamaño, forma, color y abundancia de los elementos anatómicos de cada especie (Espinoza *et al.*, 2013).

Según el CATIE (2001) el género *Carapa* posee un brillo medio, característica que coincide con *Carapa amorphocarpa*; Según Espinoza, Guevara y Puertas (2013) el brillo en la madera se debe a la presencia de elemento minerales de la estructura anatómica.

Las tajadas presenta entre 1,6 a 2,4 anillos de crecimiento en un centímetro lineal; la médula es excéntrica, debido al esfuerzo al que se encontraban sometidos los árboles, por la pendiente del terreno (Martínez & Vignote, 2006), en base a la deficiente información del análisis de tajada, anillos de crecimiento y médulas, dentro de la familia *Meliaceae*, estos datos son referencia para futuras investigaciones.

5.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

5.2.1 Propiedades físicas

5.2.1.1 Contenido de humedad

Carapa amorphocarpa presenta un contenido de humedad de 63,82%, no obstante, *Carapa guianensis* de 117,25% (MAE, 2014), esta diferencia se puede atribuir principalmente a la distribución geográfica de cada especie debido a que este valor incrementa con la humedad relativa de una determinada zona y decrece con la temperatura (Espinoza *et al.*, 2013).

5.2.1.2 Densidad

Carapa guianensis posee una densidad básica de 0,49 g/cm³ (MAE, 2014; CHUDNOFF, citado por CUPROFOR, 2001); mientras que *Carapa amorphocarpa* presenta una densidad básica de 0,55 gr/cm³; esta variación se puede atribuir a las características anatómicas de cada especie debido a que según Espinoza, Guevara y Puertas (2013) las maderas de densidad alta presentan células con lumen pequeño y pared celular gruesa, lo contrario a las maderas livianas.

4.3.2.3 Contracción

La especie en estudio posee una contracción volumétrica total de 13,66% mayor al valor de 11,9% que presenta *Carapa guianensis* (MAE, 2014; ITTO, s.f.), esta variabilidad se puede atribuir a la relación de la densidad con el grosor de las paredes celulares debido a que según García (2005) las densidades más altas absorben más agua, de tal manera que se producen mayores contracciones e hinchamientos, además esto justifica que *Carapa amorphocarpa* presente una relación Tangencial/Radial de 2,24%, lo cual indica su inestabilidad dimensional, mientras que según la ITTO (s.f.) *Carapa guianensis* posee 1,83% y según el MAE (2014) la estabilidad de la misma especie es de 1,71%, valores inferiores a la especie en estudio la cual es más densa a la especie en comparación.

5.2.2 Propiedades químicas

El contenido de ceniza determinado en albura fue del 0,743% y en duramen de 0,677%, que están dentro del rango del 0,2 al 1% propuesto por Paz (2008), y al no existir otros estudios similares dentro de la familia *Meliaceae*, estos datos serán referencia para futuras investigaciones.

5.3 PROPIEDADES DE TRABAJABILIDAD

Para la discusión de las propiedades de trabajabilidad se ha considerado a *Carapa guianensis* (0,49 gr/cm³) y a dos especies con densidades similares a la especie en estudio; *Cedrela odorata* (0,42 gr/cm³) y *Swietenia macrophylla* (0,52 gr/cm³); cabe recalcar que las especies pertenecen a la misma familia.

La madera de *Carapa amorphocarpa* se considera difícil de cepillar debido a que presenta grano arrancado en grado cinco, similar a *Swietenia macrophylla* que según la ITTO (s.f.) en casos aislados el grano salta y da lugar al defecto de grano arrancado; sin embargo, difiere con *Carapa guianensis* y *Cedrela odorata* que son fáciles de cepillar (ITTO, s.f.); no obstante, CUPROFOR (2001) contradice a la ITTO (s.f.) debido a que afirma que *Carapa guianensis* presenta dificultades en este proceso con respecto a grano veloso y arrancado, es probable que estas diferencias se atribuyan a la maquinaria utilizada.

En el lijado la madera se presentó un comportamiento muy favorable, debido a que no presentó defectos significativos, esto coincide con *Carapa guianensis*, *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* que se liján fácilmente (ITTO, s.f.; UNC, s.f.).

Además *Carapa amorphocarpa* se considera fácil de moldurar, al igual que *Carapa guianensis* (CUPROFOR, 2001; ITTO, s.f.), *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* que han reaccionado muy favorablemente (ITTO, s.f.).

En los ensayos de taladrado la madera de *Carapa amorphocarpa* mostró un buen comportamiento al ingreso del taladro, no obstante, al evaluar la salida se identificó varios defectos, esto coincide con *Swietenia macrophylla* que presenta algunos

defectos en este ensayo, mientras que las *Carapa guianensis* y *Cedrela odorata* se consideran fáciles ante este proceso (ITTO, s.f.).

En el ensayo de torneado la madera se mostró muy pobre, debido a los defectos y porcentajes de afectación que presenta, mientras que, según CUPROFOR (2001) el 92% de piezas evaluadas de madera de *Carapa guianensis* no presentan defectos significativos y la considera excelente para tornear, esto se puede atribuir a la dureza y densidad de cada especie.

5.4 POSIBLES USOS

Las propiedades de trabajabilidad se consideraron como secundarias, pues gracias al avance de la tecnología, se pueden reducir posibles defectos con el uso de maquinaria con mayor número de cuchillas y/o mandriles a diferentes velocidades.

Se evidenció que *Swietenia macrophylla*, con una densidad de $0,52 \text{ gr/cm}^3$ (ITTO, s.f.), es tecnológicamente similar a *Carapa amorphocarpa*; debido a que coincide en la mayoría de ensayos, a excepción del torneado; debido a esta similitud, la especie en estudio se puede incluir en el grupo de las maderas económicamente más importantes de la familia *Meliaceae*; sin embargo, esta tendrá un uso más limitado debido al deficiente comportamiento en el proceso de torneado.

A pesar de la favorable trabajabilidad que presenta la especie, su utilidad se limita debido a la distribución geográfica que posee, considerando que según Palacios (2012) *Carapa amorphocarpa* posee un hábitat restringida y únicamente se la ha encontrado en el cerro Golondrinas, por esta razón su aprovechamiento no podría ser muy factible.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

La madera de *Carapa amorphocarpa* es de color blanco, rosado y marrón rojizo muy pálido con transición gradual a marrón rojizo claro y marrón rojizo intenso; presenta un veteado en bandas y arcos superpuestos; el olor es fuerte característico similar a fermentado; sabor amargo, brillo y textura media, además posee grano recto.

El contenido de humedad de la especie en estudio es de 63,82%, su densidad básica es de 0,55 gr/cm³; con respecto a la contracción volumétrica total presenta un valor de 13,66%, y una estabilidad dimensional de 2,24%. En cuanto al contenido de ceniza de la especie en albura es de 0,743% y en duramen de 0,677%.

La madera de *Carapa amorphocarpa* se considera pobre para el cepillado y muy mala para el torneado, sin embargo, muy fácil de trabajar con respecto a los demás ensayos.

Los usos posibles de la madera de *Carapa amorphocarpa* son: construcción, tableros, pisos, marcos, revestimientos de madera, muebles, armarios, chapas decorativas e instrumentos musicales.

6.2 RECOMENDACIONES

Realizar un estudio de las propiedades anatómicas de la madera, para complementar la información obtenida en esta investigación.

Realizar el ensayo de cepillado con diferente maquinaria, con el fin de confirmar las dificultades observadas.

Realizar ensayos de propiedades mecánicas y de secado de la especie, debido a que en base al valor que presentó la densidad básica, la madera de *Carapa amorphocarpa* se podría utilizar estructuralmente.

Realizar estudios de producción, abundancia, frecuencia y factibilidad del aprovechamiento de la especie en estudio, debido a su limitada distribución geográfica.

Realizar un estudio dendro-cronológico de la especie, para correlacionar la edad de los individuos con las propiedades físicas y de trabajabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arévalo, A., Tejada, M., & Vinueza, M. (s.f.). *Manual de descripción general de especies de bosques secundarios*. Esmeraldas: ITTO.
- ASTM. (1999). *Standards, methods of testing small clear specimens of timber*. Philadelphia.
- Barahona, G. L. (2005). *Variación de la composición química en albura, duramen y altura de madera pulpable de Eucalyptus globulus proveniente de monte alto y monte bajo*. Chile: UC.
- Barañao, J. J., Craig, E., Cuciufu, E., De Flaco, P., & Penón, E. A. (2008). *Manual de identificación de maderas*. Argentina: UNL.
- Bravo, S., Gimenez, A. M., & Moglia, J. G. (2014). *Microscopía de la madera*. Chile: UNSE.
- Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza (CATIE). (s.f.). *Carapa guianensis*. Recuperado el 19 de mayo de 2015, de file:///C:/Users/ESTUDIO/Downloads/carapa_guianensis.pdf
- Centro de Transferencia Tecnológica (CTT). (2007). *Manual de la construcción de viviendas de madera*. Morelia: UMNH.
- Centro de Utilización y Promoción de Productos Forestales (CUPROFOR). (2001). *Propiedades y usos de cedro macho (Carapa guianensis Aubl.)*. Honduras: ALIN.
- Cluster Madeira. (2011). *Propiedades de la madera*. Recuperado el 18 de mayo de 2015, de http://www.clustermadeira.com/pdf/4_propiedades_madera.pdf
- COPANT. (1972). *Normas para ensayos en madera*. Argentina.
- Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM). (2009). *Guía de identificación de maderas aserradas*. Colombia: PBX.

- Cruz de León, A. (2011). *Consideraciones tecnológicas en la protección de madera*. Morelia: UMNH.
- Díaz, P. P. (2005). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de Nothofagus glauca (hualo) proveniente de la zona de Cauquenes*. Talca: UT.
- Díaz-Vaz, J. E., Lira, N., & Muñoz, S. (2003). *Análisis de conservación y estructura celular de la madera de seis canoas monóxilas del centro sur de Chile*. Magallania.
- Espinoza, M., Guevara, C., & Puertas, P. (2013). *Manual de transformación de madera*. Perú: AIDER.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2012). *El estado de los bosques del mundo*. Roma. FAO.
- Flores, C., & Muñoz, C. (1989). *Determinación de los usos posibles de alnus acuminata H.B.K. y Freziera canenses H.B.K., en base al estudio de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad*. Ibarra: UTN.
- García, A. N. (2005). *Contribución de las propiedades físicas de la madera de Pinus greggi proveniente de dos plantaciones en Hidalgo*. Tulancingo de Bravo Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Gática Sánchez, N. L. (2010). *Monografías.com*. Recuperado el 24 de mayo de 2015, de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/estructura-macro-y-microscopica-madera/estructura-macro-y-microscopica-madre.pdf>
- Gobierno Provincial del Carchi (GPC). (2015). *Bosque protector Golondrinas*. Recuperado el 20 de junio de 2015, de <http://www.tulcanonline.com/index.php/turismo/canton-espejo/bosque-protector-golondrinas.html>
- Gonzales, E. V. (2008). *Identificación organoléptica y macroscópica de maderas comerciales*. Perú: CITE.

- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2012). *Situación de los recursos genéticos forestales en Ecuador*. Quito.
- International Tropical Timber Organization (ITTO). (s.f.). *Cedro, Cigarbox Cedar (Cedrela odorata)*. Recuperado el 11 de mayo del 2016, de <http://www.tropicaltimber.info/es/specie/cedro-cedrela-odorata/#lower-content>
- International Tropical Timber Organization (ITTO). (s.f.). *Mahogany, Caoba, Mara (Swietenia macrophylla)*. Recuperado el 11 de mayo del 2016, de <http://www.tropicaltimber.info/es/specie/mahogany-swietenia-macrophylla/#lower-content>
- International Tropical Timber Organization (ITTO). (s.f.). *Tangare, Anidroba (Carapa guianensis)*. Recuperado el 11 de mayo del 2016, de <http://www.tropicaltimber.info/es/specie/tangare-carapa-guianensis/#lower-content>
- Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC). (1981). *Descripción general y anatómica de 105 maderas del grupo andino*. Lima.
- Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC). (1982). *Manual de diseño para maderas del r andino*. Lima.
- Keenan, F., & Tejada, M. (1987). *Maderas tropicales como material de construcción en los países del grupo andino de América del sur*. Bogotá: CIID.
- Lara, M. B. (2006). *El bosque protector "Mirador de las Golondrinas", un potencial para el desarrollo del turismo y la conservación del bosque nublado en el Ecuador*. Ecuador: UTE.
- Meneses, O. S. (2011). *Identificación de usos probables de Punus patula Schlect.et Cham. con base en la determinación de la spropiedades físico-mecánicas y*

de trabajabilidad de la madera en Italqui-Cotacachi-Imbabura. Ibarra: UTN.

Messer, O. A. (2007). *Comportamiento en flexión de vigas laminadas que incorporan pino oregón*. Chile: UBB.

Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2014). *Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales*. Quito.

Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2012). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental*. Quito.

Morales, M. E. (1997). *El género Carapa AUBL. (Meliaceae) en Colombia*. Recuperado el 24 de mayo de 2015, de file:///C:/Users/ESTUDIO/Downloads/17440-55451-1-PB.pdf

Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). (2014). *Estructuras de madera*. Ecuador: MIDUVI.

Palacios Cuenca, W. A. (en prep.). *Árboles amenazados del Chocó*. UTN.

Palacios Cuenca, W. A. (2012). Cuatro especies nuevas de árboles del Ecuador. *Caldasia*, 75-85.

Paz, F. J. (2008). *Determinación de la composición química de la madera obtenida del primer clareo en árboles de melina (Gmelina arborea Roxb.), de una plantación proveniente de del departamento de Izabal*. Guatemala: USCG.

Pozo, P. X., & Terán, I. M. (1997). *Usos posibles del tachuelo Trichosoertrum galioffi Karst. en base a sus propiedades físico.mecánicas, preservación y trabajabilidad*. Ibarra: UTN.

Rico, J. E. (1974). *Estudio tecnológico de tres especies maderables del trópico americano HUra crepitans L., Brosimun costaricanon Leibm. y Ceiba pentandra (L) Gaertn*. Turrialba: IICA.

- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir*. Quito.
- Sistema de información botánica (SIB). (2009). *Carapa guianensis*. Recuperado el 21 de juni de 2015, de <http://www.biodiversidad.co/fichas/353>
- TAPPI. (1991). *Technical Association of the Pulp and Paper Industry*. Atlanta.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (2004). *Carapa megistocarpa*. Recuperado el 20 de junio de 2015, de <http://www.iucnredlist.org/details/45488/0>
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (s.f.). *Especies para restauración; Carapa guianensis*. Recuperado el 21 de junio de 2015, de http://www.especiesrestauracion-uicn.org/data_especie.php?sp_name=Carapa%20guianensis
- Universidad Nacional de Colombia (UNC). (s.f.). *Guino tangare*. Recuperado el 26 de mayo de 2015, de <http://www.unalmed.edu.co/~lpforest/PDF/Guino.pdf>
- Universidad de la República de Uruguay (UDELAR). (2010). *Estructura y química de la madera*. Recuperado el 25 de mayo de 2015, de http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/01_quimica_y_estructura_de_la_madera/qyedlm4.pdf
- Villalba, H. (2010). *Materiales de uso técnico para madera*. Recuperado el 18 de mayo de 2015, de https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/02/materiales_madera.pdf
- Villalón, H. (1992). *Peso específico básico aparente y humedad de la madera de 26 especies dematorral del norte de México*. México: UANL.

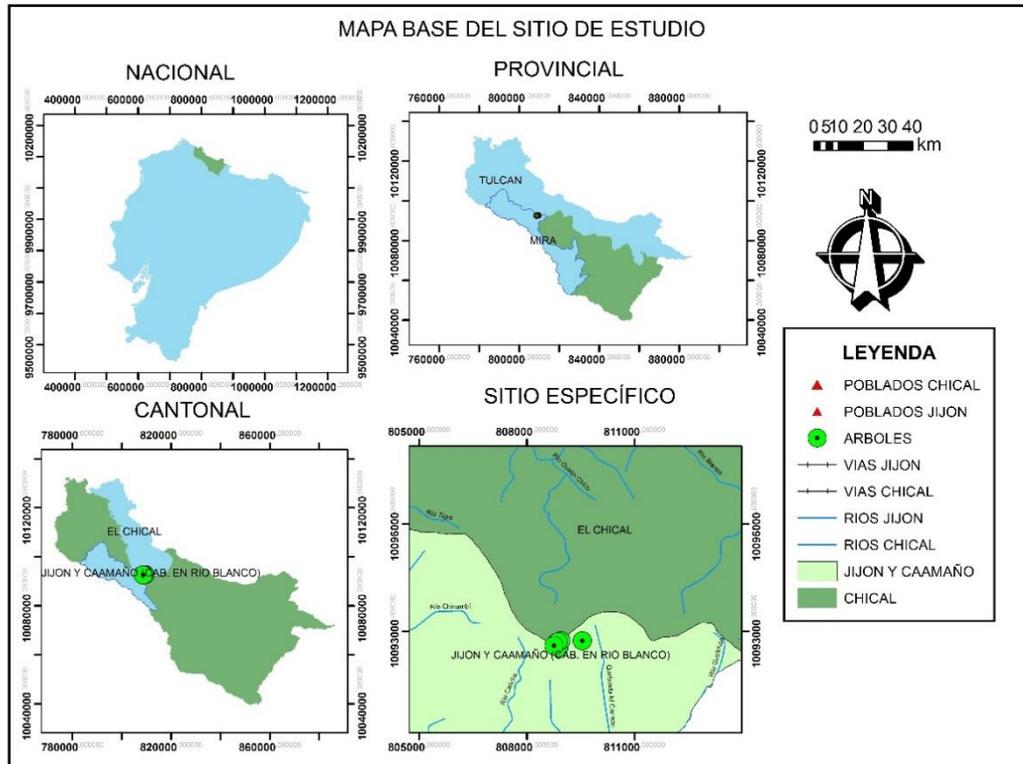
LISTA DE ABREVIATURAS

(ADM)	Ancho de marca
(CH)	Contenido de humedad
(CHF)	Contenido de humedad final
(CHI).	Contenido de humedad inicial
(C)	Contracción
(CTN)	Contracción en el sentido tangencial normal
(CRN)	Contracción en sentido radial normal
(CLN)	Contracción longitudinal normal
(CLT)	Contracción longitudinal total
(CRT)	Contracción radial total
(CTT)	Contracción tangencial total
(CVT)	Contracción volumétrica total
(DB)	Densidad básica expresada
(DSA)	Densidad en condición seca al aire
(DV)	Densidad en condición verde
(DA)	Densidad en estado anhidro
(DAP)	Diámetro a la altura del pecho
(Df)	Dimensión final
(Di)	Dimensión inicial
(DLSA)	Dimensión longitudinal en condición seca al aire
(DLSH)	Dimensión longitudinal en estado seco al horno
(DLV)	Dimensión longitudinal en estado verde expresada en milímetros
(DRSA)	Dimensión radial en condición seca al aire
(DRSH)	Dimensión radial en estado seco al horno, expresado en milímetros
(DRV)	Dimensión radial en estado verde
(DRV)	Dimensión radial en estado verde expresada
(DRSA)	Dimensión tangencial en condición seca al aire
(DTSH)	Dimensión tangencial en estado seco al horno
(DTV)	Dimensión tangencial en estado verde expresada

(E)	Expansión
(MC/P)	Marcas de cuchilla por pulgada
(NC°)	Número de cuchillas del cabezal
(NC°)	Número de Cuchillas en la porta cuchillas
(Pa)	Peso anhídrido
(PSA)	Peso en estado seco al aire
(PSH)	Peso en estado seco al horno
(PV)	Peso en estado verde expresado
(PS)	Peso en seco
(PEB)	Peso específico básico
(Ph)	Peso húmedo
(PSF)	Punto de saturación de las fibras
(T/R)	Relación tangencial radial
(RPM)	Revoluciones por minuto del eje de cuchillas
(Val)	Velocidad de alimentación
(VGC)	Velocidad de giro de la porta cuchillas
(VSA)	Volumen en estado seco al aire
(VSH)	Volumen en estado seco al horno
(VV)	Volumen en estado verde

ANEXOS

Anexo 1. Mapa del sitio de procedencia de las muestras



Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narváez

Anexo 2. Embalaje para evitar la pérdida de humedad



Anexo 3. Identificación del color con la tabla de Munsell



Anexo 4. Transición de albura y duramen



Anexo 5. Médula excéntrica



Anexo 6. Densidades en los diferentes estados de la madera

Estimadores estadísticos	Árbol	Proc.	DENSIDAD			
			DV	DSA	DSH	DB
			gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
Media	A1	Basal	0,92	0,67	0,63	0,54
	A1	Medio	0,84	0,66	0,64	0,55
	A2	Basal	0,94	0,69	0,66	0,56
	A2	Medio	0,89	0,69	0,64	0,55
	A3	Basal	0,88	0,66	0,64	0,54
	A3	Medio	0,89	0,68	0,65	0,55
	A4	Basal	0,88	0,67	0,64	0,55
	A4	Medio	0,93	0,68	0,65	0,56
	A5	Basal	0,90	0,67	0,63	0,54
	A5	Medio	0,89	0,67	0,63	0,55
	A6	Basal	0,91	0,64	0,60	0,51
	A6	Medio	0,89	0,69	0,65	0,56
	A7	Basal	0,91	0,70	0,64	0,56
	A7	Medio	0,91	0,70	0,64	0,56
Media			0,90	0,68	0,64	0,55
Suma			12,57	9,48	8,94	7,68
Desviación estándar			0,03	0,02	0,01	0,01
Error estándar			0,01	0,01	0,00	0,00
CV			2,79	2,33	2,05	2,35

DV: Densidad en estado verde.

DSA: Densidad seca al aire.

DSH: Densidad seca al horno.

DB: Densidad básica.

Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narváez

Anexo 7. Contracción

Estimadores estadísticos	Árbol	Proc.	CONTRACCIÓN %					
			Longitudinal		Radial		Tangencial	
			Normal	Total	Normal	Total	Normal	Total
Media	A1	Basal	0,08	0,94	1,94	5,48	4,21	9,54
	A1	Medio	0,22	0,52	1,58	4,81	3,88	9,57
	A2	Basal	0,16	0,56	1,71	5,56	3,76	9,86
	A2	Medio	0,09	0,30	1,15	4,60	3,81	9,93
	A3	Basal	0,16	0,49	1,79	5,51	3,65	10,12
	A3	Medio	0,08	0,29	1,70	5,28	4,40	9,42
	A4	Basal	0,20	0,25	1,09	4,39	3,42	9,83
	A4	Medio	0,23	0,63	0,88	3,67	3,97	10,37
	A5	Basal	0,49	0,76	1,28	3,89	4,01	9,40
	A5	Medio	0,21	0,31	1,19	4,29	3,81	9,49
	A6	Basal	0,44	0,58	1,59	4,24	4,46	10,15
	A6	Medio	0,25	0,34	0,81	4,34	3,15	8,86
	A7	Basal	0,31	0,60	1,43	3,95	3,10	8,43
	A7	Medio	0,24	0,42	1,32	4,30	1,90	8,05
Media			0,23	0,50	1,39	4,59	3,68	9,50
Suma			3,18	6,98	19,46	64,31	51,54	133,05
Desviación estándar			0,12	0,20	0,34	0,63	0,65	0,66
Error estándar			0,05	0,08	0,13	0,24	0,25	0,25
CV			53,92	39,83	24,73	13,81	17,75	6,95

Elaborado por: Elina Paola Sotelo Narváez

Anexo 8. Grano arrancado grado cinco, en cepillado



Anexo 9. Grano arrancado grado cuatro, en cepillado



Anexo 10. Comportamiento al ingreso del taladro



Anexo 11. Comportamiento a la salida del taladro



Anexo 12. Comportamiento ante el torneado

