



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

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

**PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y TRABAJABILIDAD DE Fresno
(*Fraxinus americana* L.) PROVENIENTE DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL “LA
FAAVORITA”, SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS**

AUTOR

Jonathan Pablo Ruíz Castillo

DIRECTOR

Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.

IBARRA - ECUADOR

2020

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y TRABAJABILIDAD DE Fresno
(*Fraxinus americana* L.) PROVENIENTE DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL “LA
FAVORITA”, SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS

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

INGENIERO FORESTAL

APROBADO

Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.
Director de trabajo de titulación

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

Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.
Tribunal de trabajo de titulación



Ibarra – Ecuador

2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

| DATOS DE CONTACTO | |
|-----------------------|--|
| CÉDULA DE | 100383041-9 |
| NOMBRES Y | Jonathan Pablo Ruíz Castillo |
| DIRECCIÓN: | San Antonio de Ibarra – Barrio Bellavista bajo |
| EMAIL: | jonathanforestalr@gmail.com ; jpruizc@utn.edu.ec |
| TELÉFONO FIJO: | (06) 2 550 991 TELÉFONO MÓVIL: 099 230 6395 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|---|---|
| TÍTULO: | PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y TRABAJABILIDAD DE Fresno (<i>Fraxinus americana</i> L.) PROVENIENTE DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL “LA FAVORITA”, SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS |
| AUTOR: | Jonathan Pablo Ruiz Castillo |
| FECHA: | 07 de enero de 2020 |
| SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN | |
| PROGRAMA: | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA: | Ingeniera Forestal |
| DIRECTOR: | Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs. |

2. CONSTANCIA

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

Ibarra, 07 de enero de 2020

EL AUTOR:



Jonathan Pablo Ruíz Castillo

C.C.: 100383041 - 9



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

Yo, **Jonathan Pablo Ruíz Castillo**, con cédula de identidad Nro. **100383041-9**; 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, MECÁNICAS Y TRABAJABILIDAD DE Fresno (*Fraxinus americana* L.) PROVENIENTE DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL "LA FAVORITA", SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS**, que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Forestal en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor 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.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jonathan P. Ruíz Castillo", is written over a horizontal dotted line.

Jonathan Pablo Ruíz Castillo

C.C.: 100383041-9

Ibarra, a los 07 días del mes de enero del 2020

REGISTRO BIBIOGRÁFICO

Guía: FICAYA - UTN

Fecha: 07 de enero de 2020

Jonathan Pablo Ruíz Castillo **PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y TRABAJABILIDAD DE Fresno (*Fraxinus americana* L.) PROVENIENTE DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL “LA FAVORITA”, SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS;** Trabajo de titulación. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 07 de enero de 2020.

DIRECTOR: Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.

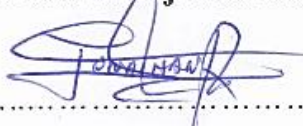
El objetivo principal de la presente investigación fue: Determinar las propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad de Fresno para brindar una gama de posibles usos de la madera de esta especie.

Fecha: 07 de enero de 2020



Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.

Director de trabajo de titulación



Jonathan Pablo Ruíz Castillo

Autor

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a:

Principalmente a mi madre Marina Castillo, por guiarme sabiamente, inculcarme conciencia y humildad, con sus esfuerzos sobrehumanos siempre estuvo ahí cuando la necesité.

A Nelson Erazo, por darme confianza, apoyo y enseñarme que los esfuerzos del pasado y presente, serán la recompensa del mañana.

A mis hermanas, Paola, Mayra y especialmente Mariela por su apoyo incondicional, guiándome para cumplir con mis sueños.

A mi querido amigo Henry Suarez, por fortalecerme física y mentalmente para el cumplimiento de mis objetivos personales.

A todas esas personas que directa o indirectamente participaron en este proceso.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a:

A la Universidad Técnica del Norte, por permitirme formarme en sus campus como Ingeniero Forestal.

A los ingenieros Carlos Arcos; Hugo Vallejos y Mario Añazco; por su valiosa colaboración como director y asesores del trabajo de titulación.

Al ingeniero Hugo Paredes por sus eficaces gestiones administrativas interinstitucionales MAE- UTN.

A la familia Vizcaíno, especialmente a la Ingeniera María Isabel Vizcaíno Pantoja, por ser el eje principal de esta investigación, ya que con su inmenso conocimiento fue una guía excepcional e indispensable para el desarrollo y culminación de esta investigación.

A los ingenieros Rolendio Montenegro y Manuel Rosero, por su colaboración en proceso de permisos de movilización y extracción de madera.

Por último y no menos importante a todas aquellas personas quienes me brindaron de alguna manera apoyo, Andrea, Edison, Rubén, Jhon, Cinthya y don Ramón Farías.

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|---|--------------|
| APROBADO..... | ii |
| AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE..... | iii |
| CESIÓN DE DERECHOS DE LA AUTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE..... | v |
| REGISTRO BIBIOGRÁFICO..... | vi |
| DEDICATORIA..... | vii |
| AGRADECIMIENTO..... | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xiii |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | xiv |
| ÍNDICE DE ECUACIONES..... | xvi |
| ABREBIATURAS..... | xvii |
| RESUMEN..... | xviii |
| ABSTRACT..... | xix |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 Objetivos..... | 2 |
| 1.1.1 General..... | 2 |
| 1.1.2 Específicos..... | 2 |
| 1.2 Preguntas directrices..... | 2 |
| CAPITULO II..... | 3 |
| 2 MARCO TEÓRICO..... | 3 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.1 | Fundamentación legal..... | 3 |
| 2.1.1 | Constitución de la República del Ecuador..... | 3 |
| 2.1.2 | Plan Nacional del Desarrollo 2017 – 2021..... | 3 |
| 2.1.3 | Código Orgánico Ambiental..... | 3 |
| 2.1.4 | Línea de investigación..... | 4 |
| 2.2 | Fundamentación teórica..... | 4 |
| 2.2.1 | Características de la madera..... | 4 |
| 2.2.2 | Propiedades físicas..... | 5 |
| 2.2.2.1 | Contenido de humedad..... | 5 |
| 2.2.2.2 | Peso específico..... | 5 |
| 2.2.2.3 | Densidad..... | 5 |
| 2.2.2.4 | Contracción..... | 6 |
| 2.2.3 | Propiedades mecánicas..... | 7 |
| 2.2.3.1 | Flexión Estática..... | 7 |
| 2.2.3.2 | Módulo de Ruptura (M.O.R)..... | 8 |
| 2.2.3.3 | Módulo de Elasticidad (M.O.E)..... | 8 |
| 2.2.3.4 | Compresión Paralela..... | 8 |
| 2.2.3.5 | Compresión Perpendicular..... | 9 |
| 2.2.3.6 | Cizallamiento..... | 9 |
| 2.2.4 | Propiedades de trabajabilidad..... | 10 |
| 2.2.4.1 | Cepillado..... | 10 |
| 2.2.4.2 | Lijado..... | 11 |
| 2.2.4.3 | Moldurado..... | 11 |
| 2.2.4.4 | Taladrado..... | 11 |
| 2.2.4.5 | Torneado..... | 12 |
| 2.3 | Características de <i>Fraxinus americana</i> L..... | 12 |
| 2.3.1 | Hábitat y distribución..... | 12 |
| 2.3.2 | Descripción botánica..... | 12 |
| 2.3.3 | Descripción de la madera..... | 13 |
| 2.3.4 | Usos..... | 13 |
| 2.4 | Maderas de densidad tipo “C”..... | 13 |
| 2.5 | Normas INEN, COPANT y ASTM..... | 14 |
| 2.6 | Estudios similares..... | 14 |

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO III..... | 16 |
| 3 MATERIALES Y MÉTODOS | 16 |
| 3.1 Ubicación del Sitio | 16 |
| 3.1.1 Fase de campo..... | 16 |
| 3.1.2 Fase de laboratorio..... | 16 |
| 3.2 Materiales, insumos, maquinaria, equipos y material vegetativo..... | 16 |
| 3.3 Metodología..... | 17 |
| 3.3.1 Sitio y obtención de material | 17 |
| 3.3.2 Obtención del material experimental..... | 17 |
| 3.3.3 Determinación de las propiedades físicas..... | 17 |
| 3.3.3.1 Contenido de humedad | 18 |
| 3.1.1.1. Densidad | 18 |
| 3.3.3.2 Contracción..... | 20 |
| 3.3.3.3 Dimensión longitudinal | 20 |
| 3.3.3.4 Dimensión radial..... | 21 |
| 3.3.3.5 Dimensión tangencial | 21 |
| 3.3.3.6 Contracción volumétrica total..... | 22 |
| 3.3.3.7 Relación tangencial / radial | 22 |
| 3.3.4 Determinación de las propiedades mecánicas | 23 |
| 3.3.4.1 Cizallamiento..... | 23 |
| 3.3.4.2 Compresión..... | 23 |
| 3.3.4.3 Flexión estática | 24 |
| 3.3.5 Determinación de las propiedades de trabajabilidad | 26 |
| 3.3.5.1 Cepillado..... | 27 |
| 3.3.5.2 Lijado..... | 29 |
| 3.3.5.3 Moldurado..... | 29 |
| 3.3.5.4 Taladrado | 30 |
| 3.3.5.5 Torneado..... | 30 |
| 3.3.5.6 Tallado | 30 |
| CAPÍTULO IV | 32 |
| 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 32 |

| | | |
|--|---|-----------|
| 4.1 | Propiedades físicas..... | 32 |
| 4.1.1 | Contenido de humedad | 32 |
| 4.1.2 | Densidad | 34 |
| 4.1.3 | Contracción..... | 34 |
| 4.2 | Propiedades mecánicas | 36 |
| 4.2.1 | Cizallamiento..... | 36 |
| 4.2.2 | Compresión paralela | 37 |
| 4.2.3 | Compresión perpendicular..... | 38 |
| 4.2.4 | Flexión estática | 38 |
| 4.3 | Propiedades de trabajabilidad..... | 40 |
| 4.3.1 | Cepillado..... | 40 |
| 4.3.2 | Lijado..... | 41 |
| 4.3.3 | Moldurado..... | 42 |
| 4.3.4 | Taladrado | 43 |
| 4.3.5 | Torneado..... | 43 |
| 4.3.6 | Tallado | 45 |
| 4.4 | Usos probables..... | 46 |
| CAPITULO V..... | | 48 |
| 5 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 48 |
| 5.1 | Conclusiones..... | 48 |
| 5.2 | Recomendaciones | 48 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | | 49 |
| ANEXOS..... | | 53 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Clasificación de la madera según la densidad..... | 6 |
| Tabla 2. Rangos de contracción de la madera..... | 6 |
| Tabla 3. Rangos de contracción de relación tangencial / radial..... | 7 |
| Tabla 4. Rangos de clasificación de flexión estática | 8 |
| Tabla 5. Rangos de clasificación de esfuerzos MOR y MOE..... | 8 |
| Tabla 6. Rangos de clasificación de cizallamiento | 9 |
| Tabla 7. Rangos de clasificación de flexión estática | 9 |
| Tabla 8. Especies de densidad tipo "C" | 13 |
| Tabla 9. Normas a emplearse | 14 |
| Tabla 10. Materiales e insumos..... | 16 |
| Tabla 11. Probetas para ensayos de propiedades mecánicas | 23 |
| Tabla 12. Probetas para ensayos de propiedades de trabajabilidad | 26 |
| Tabla 13. Rango de evaluación según Normas ASTM..... | 26 |
| Tabla 14. Rangos de evaluación para trabajabilidad en base a la presencia del defecto | 31 |
| Tabla 15. Rango de evaluación para trabajabilidad en base a la extensión del defecto..... | 31 |
| Tabla 16. Resultados generales de ensayos de propiedades físicas | 32 |
| Tabla 17. Resultados generales de ensayos de propiedades mecánicas..... | 36 |
| Tabla 18. Resultados generales de ensayos de trabajabilidad..... | 40 |
| Tabla 19. Usos de especies de densidad tipo "C" | 47 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1. Perfil de cuchilla de cepilladora | 11 |
| Ilustración 2. Probetas para propiedades físicas..... | 17 |
| Ilustración 3. Probetas para ensayo de flexión estática | 24 |
| Ilustración 4. Tipos de corte según la orientación en el tronco | 27 |
| Ilustración 5. Probetas para ensayos de cepillado | 27 |
| Ilustración 6. Ángulo de cuchillas de cepilladora | 28 |
| Ilustración 7. Probeta para ensayos de lijado | 29 |
| Ilustración 8. Comportamiento del contenido de humedad..... | 33 |
| Ilustración 9. Curva de desorción..... | 33 |
| Ilustración 10. Densidad de Fresno | 34 |
| Ilustración 11. Contracción de la madera | 35 |
| Ilustración 12. Esfuerzo máximo ante el cizallamiento | 36 |
| Ilustración 13. Esfuerzo al límite proporcional en compresión paralela | 37 |
| Ilustración 14. Esfuerzo al límite proporcional en compresión perpendicular..... | 38 |
| Ilustración 15. Esfuerzo al límite proporcional en flexión estática..... | 39 |
| Ilustración 16. MOR Y MOE en flexión estática..... | 39 |
| Ilustración 17. Defectos del ensayo de cepillado | 41 |
| Ilustración 18. Defectos del ensayo de lijado. Lija #60 | 41 |
| Ilustración 19. Defectos del ensayo de lijado. Lija #100 | 42 |
| Ilustración 20. Defectos del ensayo de moldurad..... | 42 |
| Ilustración 21. Defectos del ensayo de taladrado | 43 |
| Ilustración 22. Diferencia de peso de probetas..... | 44 |
| Ilustración 23. Defectos de ensayo de torneado | 44 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 24. Defectos del ensayo de tallado | 45 |
| Ilustración 25. Proceso del ensayo de tallado en Fresno | 46 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|---|----|
| Ec. 1. Contenido de humedad..... | 18 |
| Ec. 2. Densidad verde | 19 |
| Ec. 3. Densidad al ambiente | 19 |
| Ec. 4. Densidad anhidra | 19 |
| Ec. 5. Densidad básica | 19 |
| Ec. 6. Contracción longitudinal normal..... | 20 |
| Ec. 7. Contracción longitudinal total | 20 |
| Ec. 8. Contracción radial normal | 21 |
| Ec. 9. Contracción radial total | 21 |
| Ec. 10. Contracción tangencial normal..... | 21 |
| Ec. 11. Contracción tangencial total | 22 |
| Ec. 12. Contracción volumétrica total | 22 |
| Ec. 13. Relación tangencial / radial | 22 |
| Ec. 14. Esfuerzo máximo en cizallamiento..... | 23 |
| Ec. 15. Esfuerzo al límite proporcional en compresión paralela | 23 |
| Ec. 16. Esfuerzo al límite proporcional de compresión perpendicular | 24 |
| Ec. 17. Esfuerzo unitario en el límite proporcional de flexión estática..... | 25 |
| Ec. 18. Esfuerzo en el límite proporcional de flexión estática | 25 |
| Ec. 19. Módulo de ruptura de flexión estática | 25 |
| Ec. 20. Módulo de elasticidad de flexión estática | 25 |
| Ec. 21. Velocidad de alimentación de ensayo de cepillado..... | 28 |
| Ec. 22. Ancho de marca de cuchilla de ensayo de cepillado | 28 |

ABREBIATURAS

EELF: Estación Experimental “La Favorita”

EFLP: Esfuerzo al límite proporcional

EM: Esfuerzo máximo

MOR: Módulo de ruptura

MOE: Módulo de elasticidad

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

CH: Contenido de humedad

PSF: Punto de saturación de la fibras.

PV: Peso de la madera en verde.

PS: Peso de la madera seca (ambiente).

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

COPANT: Comisión Panamericana de Normas Técnicas.

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

ASTM: American Society for Testing and Materials (Asociación Americana de Ensayo de Materiales)

TÍTULO: PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y TRABAJABILIDAD DE Fresno (*Fraxinus americana* L.) PROVENIENTE DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL “LA FAVORITA”, SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS

Autor: Jonathan Pablo Ruíz Castillo

Director de trabajo de titulación: Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.

Año: 2020

RESUMEN

En la estación experimental “La Favorita” (EELF), ubicada en Santo Domingo de los Tsachilas, hace 30 años se realizaron ensayos de introducción de especies, de las que únicamente se han realizado mediciones de los parámetros dasométricos, entre estas el Fresno (*Fraxinus americana* L.); por lo que se planteó evaluar sus propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad. Para las fases de aprovechamiento y ensayos se emplearon las normas COPANT, INEN y ASTM. La preparación de las probetas y determinación de propiedades se realizaron en la central maderera y laboratorio de anatomías de madera y xiloteca ubicado en la granja experimenta Yuyucocha, así también en el laboratorio de análisis de suelos y materiales del Gobierno Provincial de Imbabura, además el ensayo de tallado se lo realizó en un taller artesanal en San Antonio de Ibarra. El contenido de humedad fue del 65,38%, con una densidad básica de $0,51\text{gr/cm}^3$, la contracción volumétrica total de 11,62% y relación tangencial radial de 2,28%, en cizallamiento un EM de $64,50\text{ Kgf/cm}^2$, mientras que para compresión paralela y perpendicular un EFLP de 247 Kgf/cm^2 y 316 Kgf/cm^2 respectivamente, y en lo que corresponde a flexión estática un EULP de $516,74\text{ kgf/cm}^2$, MOR de $536,26\text{ kgf/cm}^2$ y MOE de $10815,29\text{ Kgf/cm}^2$. La madera de *Fraxinus americana* L. se clasifica como de densidad media tipo “C”, una estabilidad baja en sus contracciones y contenido de humedad relativamente medio; no es resistente al esfuerzo de cizallamiento, flexión estática, compresión paralela, pero se considera resistente al esfuerzo de compresión perpendicular. Esta especie puede emplearse en la fabricación de todo tipo de mueblería lineal y clásica, utensillos de cocina, puertas, ventanas, y mangos de herramientas.

Palabras clave: Fraxinus, propiedades, físicas, mecánicas, trabajabilidad.

TOPIC: PHYSICAL, MECHANICAL, AND WORKABILITY PROPERTIES OF Fresno (*Fraxinus americana* L.) FROM “LA FAVORITA” EXPERIMENTAL STATION, IN SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS.

Author: Jonathan Pablo Ruíz Castillo

Thesis Director: Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.

Year: 2020

ABSTRACT

In “La Favorita” Experimental Station (EELF), located in Santo Domingo de los Tsáchilas, 30 years ago there were carried out introduction tests of species, of which only measurements of dasometric parameters have been made, among these species is Ash (*Fraxinus americana* L.); therefore, it was considered to evaluate its physical, mechanical properties and workability. COPANT, INEN and ASTM standards were used for the utilization and testing phases. The preparation of the specimens and determination of properties were carried out at the Timber Plant and the Wood Anatomy Laboratory and Xilothèque located in Yuyucocha Experimental Farm, also in the Materials Laboratory of Imbabura Provincial Government, and the woodcarving test was carried out in a craft workshop in San Antonio de Ibarra. The moisture content was 65,38% with a basic density of 0,51gr/cm³, the total volumetric contraction of 11,62% and radial tangential ratio of 2,28%, in shearing an EM of 64,50 Kgf/cm², while for parallel and perpendicular compression an EFLP of 247 Kgf/cm² and 316 Kgf/cm² respectively, and for static flexion an EULP of 516,74 kgf/cm², MOR of 536,26 kgf/cm² and MOE of 10815,29 Kgf/cm². The wood of *Fraxinus americana* L. is classified as medium density type “C”, with low stability in regard to its contractions, with a relatively medium moisture content; it is not resistant to shear, static flexion and parallel compression stress, but it is considered resistant to perpendicular compression stress. This species can be used in the manufacture of all types of furniture, kitchen utensils, doors, windows, and tool handles.

Key words: Fraxinus, properties, physical, mechanical, workability

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales constituyen un porcentaje activo de recurso maderable en diferentes países, sean esta nativas o exóticas, que engloba una amplia gama de fines o usos, lo que genera un vacío de información en cuanto a posibilidades de suplir la demanda de producto forestal en el País. El Fresno (*Fraxinus americana* L.) también conocido como Fresno blanco, Fresno americano o Ceniza, nativo del Este de Norte América, crece naturalmente desde la Isla del Cabo Breton, hasta Florida en el este, y al Sur desde Minnesota hasta Texas (Schlesinger, 1990); ha sido introducido en países como Perú y Colombia, utilizado mayormente en ornamentación, por lo que genera un rango limitado de su potencial maderable (Canchari, 2017); la madera en su lugar de origen es utilizada para la fabricación de varios productos como: puertas, chapas, botes y postes (USDA, 2019); además Iowa-University (2019), indica que se la utiliza en muebles finos y equipos deportivos.

En Ecuador su uso principal es ornamental, se lo puede encontrar en parques, avenidas y en ocasiones en sistemas agroforestales (Minga y Verdugo, 2016). En la EELF existe una plantación madura de Fresno, en la que debido a su avanzada edad, los individuos se caen naturalmente, al no ser apeados técnicamente se reduce la materia prima aprovechable, sumada a este inconveniente la madera se emplea para readecuación de las construcciones presentes en la estación.

El desconocimiento de las propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad de la madera de esta especie, genera un limitante para el uso adecuado del recurso forestal, por tal motivo se pretende generar una fuente de información para el uso y manejo técnico de este recurso y de esta manera reducir el consumo de la industria secundaria y terciaria de especies nativas de los bosques tropicales.

Es preciso mencionar que las propiedades de la madera varían de acuerdo a las condiciones climáticas, edáficas y manejo silvicultural (Vázquez, 2015), por lo que en el presente estudio, se evaluó las propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad de Fresno, mediante el cálculo del contenido de humedad, densidad y contracción; además del comportamiento de la madera frente a los esfuerzos de cizallamiento, comprensión y flexión, así como las propiedades de trabajabilidad para determinar los usos potenciales de la madera.

1.1 Objetivos

1.1.1 General

Evaluar las propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad de Fresno (*Fraxinus americana* L.) proveniente de la “Estación Experimental La Favorita”.

1.1.2 Específicos

- Calcular el contenido de humedad, densidad y contracción.
- Analizar el comportamiento de la madera frente a los esfuerzos de cizallamiento, compresión y flexión.
- Determinar las propiedades de trabajabilidad y usos posibles de la madera de esta especie.

1.2 Preguntas directrices.

- ¿Cuáles son las propiedades físicas de *Fraxinus americana* L.?
- ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de *Fraxinus americana* L.?
- ¿Cuáles son las propiedades de trabajabilidad de *Fraxinus americana* L.?

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentación legal

2.1.1 Constitución de la República del Ecuador

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

2.1.2 Plan Nacional del Desarrollo 2017 – 2021.

La investigación se enmarca en el **Objetivo 3** Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones, principalmente enfocada en la **política 3.5** que impulsa la economía urbana y rural, fundamentada en el uso sostenible y agregador de valor de recursos renovables, propiciando la corresponsabilidad social y el desarrollo la Bioeconomía, y la **política 3.6** que impulsa la generación de bioconocimiento como alternativa a la producción primario-exportadora, así como el desarrollo de un sistema de bioseguridad que precautele las condiciones ambientales que pudieran afectar a las personas y otros seres vivos (SENPLADES, 2017)

2.1.3 Código Orgánico Ambiental.

En el numeral 9 del **Art. 3** se menciona establecer mecanismos que promuevan y fomenten la generación de información ambiental, así como la articulación y coordinación de las entidades públicas, privadas y de la sociedad civil, también en el **Art. 17** recalca la importancia de que el estado deberá contar con datos científicos y técnicos sobre la biodiversidad y el ambiente, los cuales deberán ser actualizados permanentemente. El Ministerio del Ambiente (MAE) como Autoridad Ambiental Nacional deberá recopilar y

compilar dichos datos en articulación con las instituciones de educación superior públicas, privadas y mixtas, al igual que con otras instituciones de investigación.

En los objetivos del Estado respecto a la biodiversidad en el numeral 8 del **Art. 30**, indica que es de vital importancia promover la investigación científica, el desarrollo y transferencia de tecnologías, la educación e innovación, el intercambio de información y el fortalecimiento de las capacidades relacionadas con la biodiversidad y sus productos, para impulsar la generación del bioconocimiento. Además en el **Art. 119** menciona que las plantaciones forestales y sistemas agroforestales de producción constituirán medios para aliviar la presión sobre los bosques naturales, por la demanda de madera y sus derivados.

En el **Art. 133** La Autoridad Nacional Forestal y la Autoridad Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, la Autoridad Única del Agua y la Autoridad de Ciencia Tecnología e Innovación y Saberes Ancestrales, identificarán y propondrán iniciativas para la investigación científica, innovación y desarrollo tecnológico y extensión forestal en base a sus competencias, además en el **Art. 137** se menciona que la Autoridad Ambiental Nacional y la Autoridad Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, en sus respectivos ámbitos de competencia, diseñarán e implementarán planes, programas o proyectos especiales en el territorio para brindar a los actores forestales información, asistencia técnica y servicios de extensión en materia de manejo forestal sostenible, prevención y control de plagas forestales, restauración ecológica, reforestación con fines de conservación y plantaciones de producción (COA, 2017).

2.1.4 Línea de investigación

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

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Características de la madera

La madera es un material de origen vegetal y renovable, está constituido por fibras de celulosa (50%) entrelazadas con lignina (30%) y productos orgánicos (20%) como almidón, taninos, azúcares, grasas, sales minerales y resinas (Alvarado, 2016); es un material utilizado para la fabricación de cierto productos debido a sus propiedades las cuales brindan un rango mínimo de factores limitaciones (Aguilar & Guzowski, 2011). Sus principales características son la anisotropía e higroscopía.

2.2.2 Propiedades físicas

2.2.2.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad (CH) en la madera hace referencia a la capacidad de absorber y liberar cierta cantidad de agua, para de esta manera alcanzar un equilibrio entre la humedad relativa en el sitio y su propio contenido de humedad (Seco, 2003); expresada en kg/m^3 que representan su porcentaje de peso anhidro, puede estar en estado líquido o gaseoso (Cisternas, 1994).

El conocimiento del CH de la madera, es de gran importancia para múltiples aplicaciones prácticas de ella, especialmente en usos al exterior. La madera que se utilice debe corresponder a la más adecuada para servir en cada ambiente (Pérez *et al.*, 2011).

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

- a. **Agua libre:** es la que ocupa las cavidades celulares, está limitada al número de poros existentes en el proceso de secado, esta se pierde por evaporación.
- b. **Agua higroscópica:** ubicada en las paredes celulares, su pérdida es más lenta y también es conocida como ligada.

Baradit *et al.* (2013), señalan que el llamado punto de saturación de fibras (PSF), es alrededor del 28-30% de CH y que si se disminuye estos porcentajes, la madera empieza a presentar defectos, por lo que afecta así a su trabajabilidad.

2.2.2.2 Peso específico

Relación existente de peso de la madera con un determinado CH y el volumen de agua a cierta temperatura, que influye directamente a la resistencia a la flexión, ya que a mayor peso específico, mayor resistencia convirtiéndola en una relación directamente proporcional (Dudek y Werner, 1978).

El espesor de las paredes, el tamaño de las células y el número de clases celulares constitutivas de cada una de las especies, son de gran importancia para poder determinar su peso específico (Piqué y de Cartagena, 1984).

2.2.2.3 Densidad

Se define como la relación entre su masa y su volumen, y es necesario referirla a un determinado contenido de humedad, generalmente el 12 %; La densidad de las maderas es muy

variables, según su densidad se pueden clasificar en: muy ligera, ligera, semipesada, pesada, muy pesada (Cisternas, 1994). El mismo autor clasificó a la densidad de la siguiente manera:

- a. **Densidad de referencia:** relación entre la masa y el volumen de la probeta, se determina por un CH en común para este tipo de humedad se definen:
 - **Densidad normal:** relación entre la masa y el volumen con un contenido de humedad igual al 12 %.
 - **Densidad en estado anhidro:** relación entre la masa y el volumen de la probeta madera seca al horno.
- b. **Densidad básica:** relación entre el volumen de la probeta en estado anhidro y el volumen en estado saturado.
- c. **Densidad nominal:** relación entre la masa de la probeta en estado anhidro y el volumen de la probeta al contenido de humedad.

Se conoce que la densidad es el resultado de la masa sobre el volumen que varía en base a la humedad, si esta crece la densidad también (COPANT citado por Díaz, 2005).

Tabla 1

Clasificación de densidad de la madera según el INEN

| Clase | Densidad(g/cm ³) |
|--------|------------------------------|
| Tipo A | > 0,711 |
| Tipo B | >0,55 y <0,70 |
| Tipo C | >0,40 y <0,54 |
| Tipo D | <0,40 |

Fuente: INEN (2011)

2.2.2.4 Contracción

Indica el cambio de volumen y dimensiones de la madera, causadas por la alteración del contenido de humedad; esta se visualiza cuando la madera es seca por debajo de punto de saturación de las fibras (PSF), se expresa en porcentaje (Dudek y Werner citado por Mediavilla, 2016).

Pazos y Sotelo (1999) mencionan que las contracciones de la madera se pueden explicar en función del contenido de lignina, para generar así una resistencia a la misma.

Tabla 2

Clasificación de contracciones de la madera

| Valoración | Tangencial | Radial | Volumétrica Total |
|------------|------------|---------|-------------------|
| Muy baja | 0 – 3,5 | 0 – 2,0 | 0 – 5,5 |

| | | | |
|----------|------------|------------|-------------|
| Baja | 3,6 – 5,0 | 2,1 – 3,0 | 5,6 – 8,0 |
| Mediana | 5,1 – 6,5 | 3,1 – 4,0 | 8,1 – 10,5 |
| Alta | 6,6 – 8,0 | 4,1 – 5,0 | 10,6 -13,0 |
| Muy alta | $\geq 8,1$ | $\geq 5,1$ | $\geq 13,1$ |

Fuente: Barcenas citado por Moya *et al.* (2010)

Tabla 3

Rangos de clasificación de contracción, relación T/R

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

Fuente: Barcenas citado por Moya *et al.* (2010)

2.2.3 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de la madera son las relacionadas con su comportamiento ante la acción de fuerza externa o interna. La madera debido a su soporte mecánico, desempeña un papel esencial en una gran cantidad de usos (Echenique y Fernández citado por Tirira y Stalin, 2013).

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

2.2.3.1 Flexión Estática

Resistencia que ofrece una viga o probeta a una carga puntual aplicada en el centro de luz o distancia entre apoyos, en la cara tangencial más cercana a la médula de la misma (IRAM citado por Benetti, 2015).

Castañeda (2013) menciona que también se considera a la fuerza aplicada sobre una masa (probeta) que descansa sobre dos apoyos o varios puntos, los cuales soportan una carga uniforme que es repartida en su longitud total, la flexión estática ayuda a determinar la fuerza máxima que puede soportar dicho cuerpo, y Baradit (2013) menciona que mediante esta propiedad se puede tomar decisiones al momento de la utilización de madera como material de construcción en cubiertas de casas, puertas y ventanas.

Tabla 4*Rangos de clasificación de Flexión estática*

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

Fuente: Lastra 1986 citado por Gómez (2008)**2.2.3.2 Módulo de Ruptura (M.O.R)**

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

2.2.3.3 Módulo de Elasticidad (M.O.E)

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

Tabla 5*Clasificación de esfuerzos MOR y MOE*

| MOR (kgf/cm²) | MOE (kgf/cm²) | Clasificación |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| <500 | <100000 | Muy bajo |
| 500 -1100 | 101000 - 120000 | Bajo |
| 1101 – 1220 | 121000 - 150000 | Medio |
| 1221 – 1750 | 151000 - 200000 | Alto |
| >1750 | >200000 | Muy alto |

Fuente: Spavento *et al.* (2008)**2.2.3.4 Compresión Paralela**

Resistencia que ofrece una masa (probeta) a una carga aplicada en el sentido de la dirección de las fibras, IRAM citado por Benetti (2015). Ensayo aplicado especialmente para columnas.

Tabla 6*Rangos de clasificación de compresión paralela.*

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

Fuente: Lastra 1986 citado por Gómez (2008)**2.2.3.5 Compresión Perpendicular**

Es la resistencia que opone la madera a una carga repartida aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras en una de las caras radiales de la probeta (IRAM citado por Benetti, 2015). Además Dudek 1978 citado por Tirira (2013) indican que también influye el ángulo de los anillos de crecimiento y la dirección de la fuerza actuante, de 0 a 30% de contenido de humedad la resistencia disminuye entre 2 y 3% por cada 1% de humedad.

2.2.3.6 Cizallamiento

Carga necesaria para producir una fractura en la interfaz de la unión de uno o varios materiales hasta que se produzca la ruptura de la misma. La clasificación de la resistencia al cizalle paralelo a la fibra de madera, según la clasificación propuesta por las normas ASTM es:

Tabla 7*Clasificación de resistencia al cizallamiento*

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

Fuente: Norma ASTM D143-94 (2010)

2.2.4 Propiedades de trabajabilidad

La trabajabilidad es el comportamiento que tiene la madera ante la aplicación de una serie de procesos en los cuales se utiliza maquinaria o instrumentos, mismos que lo moldean y transforman en un producto; Mediavilla (2016) y Benetti (2015) mencionan que el grado de dificultad y calidad del producto, determinará el grado de trabajabilidad.

2.2.4.1 Cepillado

Es uno de los procesos primordiales en la trabajabilidad de la madera, consta de la obtención de superficies lisas a partir de la utilización de instrumentos o herramientas con cuchillas, con movimiento lineal o circular (Mediavilla, 2016).

Para determinar la trabajabilidad de la madera se debe tomar en cuenta la siguiente terminología (Jonhton citado por Meneses, 2011).

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

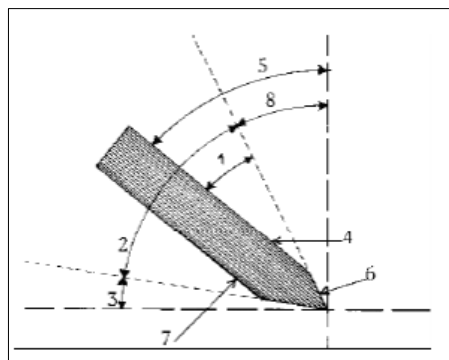


Ilustración 1. Perfil de una cuchilla

Fuente: Jonhton 1974 citado por Mediavilla (2016)

2.2.4.2 *Lijado*

Es un proceso, mediante el cual por medio de la acción lineal o circular de papel lija, a través de una máquina se pretende obtener superficies suaves y lisas; el grado de aplicación y repeticiones de este proceso dependerá de los defectos que tenga la superficie de la madera, debido a esto es necesario utilizar lijas de espesor diferente (Cueto y Castillo, 1996).

2.2.4.3 *Moldurado*

El moldurado es el proceso que consiste en dar una forma decorativa o funcional a una determinada pieza, normalmente en el borde de la misma, a través de instrumentos o herramientas con cuchillas de diferentes formas y dimensiones que dan una forma diferente a la original (Muñoz y Flores citado por Mediavilla, 2016).

2.2.4.4 *Taladrado*

Es el proceso que consiste en la realización de huecos sobre una pieza de madera, destinados a recibir tornillos, puntillas o cualquier otra pieza en forma de un cilindro.

Herrera e Hidalgo citado por Meneses (2011) mencionan que los factores que afectan la calidad, el desgaste, la eficiencia y el gasto de energía en taladrarse son:

- a. **Factores relativos a la madera:** cuatro son los factores de la madera que afectan al taladrado: propiedades físicas, mecánicas, características anatómicas, de la anisotropía de la madera y su contenido de humedad CH.
- b. **Factores relativos a máquinas y brocas:** existen diferentes tipos de taladro, los más conocidos son: taladros portátiles, verticales de columna con un solo eje, múltiples verticales y horizontales.
- c. **Condiciones de Corte:** se consideran las siguientes
 - Velocidad de corte: una velocidad de giro excesiva para una potencia dada reduce la eficiencia, ya que limita la velocidad y su penetración; y, suelen producir quemaduras internas del hueco y desgaste acelerado de los filos.
 - Carga de penetración: El uso de cargas de penetración elevadas para lograr velocidades de penetración elevadas, sobre todo en el caso de especies de alta densidad y otras que presentan problemas de corte neto, fricciones y dificultades de evaluación por fibrociencia (células largas y delgadas que cumplen la función de sostén del leño o resistencia mecánica), implica potencias suficientes para velocidades determinadas de giro. Por lo tanto, dada la carga de penetración, la especie y la potencia instalada, la velocidad de giro tendrá un valor (Puertas *et al.*, 2013).

2.2.4.5 Torneado

Es una operación a través de la cual se aplica una sujeción de una pieza por sus extremos y a través del desgaste con herramientas con filo, se produce el cambio de forma del producto original, el torneado es importante al momento de fabricar artículos cilíndricos.

Los defectos comunes en torneado en orden de importancia son:

- Grano astillado
- Grano arrancado
- Grano veloso

Los parámetros que influyen en el torneado básicamente son:

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

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

2.3 Características de *Fraxinus americana* L.

2.3.1 Hábitat y distribución

La especie es nativa del Este de América del Norte, distribuida desde Nueva Escocia a Florida, Nebraska y Texas, soporta temperaturas de -34°C a 27°C, depende de la estación en la que se encuentre, y una precipitación de entre 760 a 1520 mm anuales, tiene una alta tolerancia a las heladas y una tolerancia media a las sequías (Schlesinger, 1990).

2.3.2 Descripción botánica

Fraxinus americana L. pertenece a la familia Oleácea, género *Fraxinus*, el cuál abarca 43 especies determinadas por Wallander (2001) en todo el mundo, árbol de rápido crecimiento, hasta 30 metros de altura y 50 cm de DAP, tronco cilíndrico, corteza color pardo a gris, levemente fisurada a agrietada, copa ovalada, redonda o piramidal, hojas caducas, compuestas, pinnadas, de 5 a 9 foliolos de 6 a 13 cm de largo y de 2 a 3 cm de ancho, lanceolados.

Árbol deciuo, con fustes separados hembra y macho. Su fruto es una sámara de 3 a 5 cm de largo, ala sin recurrencia a la semilla, persiste en el árbol luego de caer las hojas, la semilla de 1,5 a 2 cm con un ala pardo pálido de 1,5 a 3 cm de longitud, que le sirve para su distribución. Flores dispuestas en panículas, sin corola, con el cáliz persistente en el fruto, se vale de anemofilia para polinizar sus flores, dotadas de unidades reproductivas dióicas, vive alrededor de 100 años (Edward *et al.*, 1993).

2.3.3 Descripción de la madera

Madera clara, de albura blanquecina y duramen que varía de amarillo pálido a marrón claro, grano recto, vetado en arcos superpuestos, presenta un buen comportamiento al maquinado (Perez *et al.* 2005).

2.3.4 Usos

Utilizado en su país de origen en plantaciones de árboles en la calle y en parques, uso en recintos comerciales y grandes, jardines, residenciales urbanas, madera comúnmente utilizada para la fabricación de herramientas, muebles finos debido a su buena calidad, chapas decorativas, tableros de partículas y artículos deportivos (Perez *et al.* 2005).

2.4 Maderas de densidad tipo “C”

Son las especies cuya densidad básica es mayor a 0,40 g/cm³ y menor a 0,54 g/cm³, son maderas livianas (INEN, 2011).

Tabla 8

Especies de densidad tipo “C”

| Nombre común | Nombre científico | Familia |
|--------------|-----------------------------|---------------|
| Ceibo | <i>Ceiba pentandra</i> L. | BOMBACACEAE |
| Copal | <i>Dacryodes</i> sp. | BURSERACEAE |
| Cuángare | <i>Virola reidii</i> | MYRISTICACEAE |
| Guadaripo | <i>Nectandra guararipo</i> | LAURACEAE |
| Higuerón | <i>Ficus</i> sp. | MORACEAE |
| Sande | <i>Brosimum utile</i> | MORACEAE |
| Tangaré | <i>Carapa Guianensis</i> | MELIACEAE |
| Laguno | <i>Vochysia macrophylla</i> | VOCHYSIACEAE |

Fuente: INEN (2011)

2.5 Normas INEN, COPANT y ASTM

En la tabla 9 se detalla las normas que se utilizó para determinar las propiedades de la madera de esta especie.

Tabla 9

Normas a emplearse

| Norma | Año | Detalle |
|---------------|------|---|
| INEN 1158 | 1983 | Selección de árboles y colección de muestras; árboles rectos, sin bifurcaciones, sanos, cilíndricos. |
| INEN 1159 | 1983 | Tumba y extracción de bloques, tumba técnica, obtener de dos a cuatro bloques de 1,50 metros a partir de 2,60 de la base del árbol. |
| INEN 1164 | 1983 | Determinación de contracciones de la madera. |
| COPANT 459 | 1972 | Acondicionamiento de probetas para ensayos de propiedades físicas |
| COPANT 460 | 1972 | Determinación del contenido de humedad. Acondicionamiento de probetas para ensayos de propiedades mecánicas y trabajabilidad |
| COPANT 461 | 1972 | Determinación de densidad |
| ASTM-D143-94 | 2010 | Ejecución y evaluación de ensayos de propiedades mecánicas |
| ASTM-D1666-87 | 1992 | Ejecución y evaluación de ensayos de trabajabilidad |

2.6 Estudios similares

Se tiene conocimiento de estudios similares en otros países, de los que a continuación se menciona algunos, el realizado en Perú por Veintemilla y Darling, en el 2014, con el tema: Determinación de las características anatómicas y propiedades físicas de la madera de las especies *Erismia uncinatum* warm y *Dacryodes peruviana* (loes.) h.j. lam proveniente de la provincia de Tambopata - Madre de Dios; en el que obtuvo resultados en propiedades físicas para *Dacryodes peruviana* (loes.) h.j. lam; englobándola como tipo "C"

En Colombia, Triana *et al.* en el (2008) realizaron el ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE PALOSANGRE (*Brosimum rubescens* TAUB.), PROCEDENCIA: LETICIA, AMAZONAS, a pesar de ser una especie de densidad tipo "C" determinaron resultados distintos a los obtenidos en esta investigación.

En Ecuador, realizado por Elina Paola Sotelo Narváez, 2016, de tema: "PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y DE TRABAJABILIDAD DE *Carapa amorphocarpa* W. Palacios, EN EL NOROCCIDENTE DEL ECUADOR." En la que se determina propiedades físicas y trabajabilidad distintas a la especie estudiada.

Villaseñor y Sotomayor (2015) realizaron el estudio en la Caracterización dinámica de la madera de *Fraxinus americana* y *Fraxinus uhdei*, en el que determinaron la densidad de las dos especies con fines de determinar la frecuencia natural de vibración, el módulo de elasticidad dinámico, el factor de calidad y el índice material de la madera, encuentran su utilidad como indicadores de calidad y parámetros de diseño, obteniendo una DB de 0,63 y 0,62 para *F. americana* y *F. uhdei*.

Además el estudio realizado por Tirira Meneses Olay Stalin en el 2013, el tema IDENTIFICACIÓN DE USOS PROBABLES DE Pinus pátula Schlect.et Cham. CON BASE EN LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO- MECÁNICAS Y DE TRABAJABILIDAD DE LA MADERA EN ILTAQUI- COTACACHI- IMBABURA, rigiéndose en las mismas normas para selección de individuos, temba, extracción de bloques, obtención del material experimenta y ejecución y evaluación de ensayos, estas son: INEN, COPANT y ASTM.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del Sitio

La investigación tuvo dos fases: campo y laboratorio, las cuales se desarrollaron en diferentes etapas; (Ver anexo 1C).

3.1.1 Fase de campo

Se realizó en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón Santo Domingo, parroquia Aulliriquín, sector Chiriboga, en la Estación Experimental La Favorita; con altitud entre 1600-2200 msnm, precipitación media anual de 3000 mm, y temperatura media de 16°C.

3.1.2 Fase de laboratorio

Las propiedades físicas de la madera, se realizaron en el laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca de la Granja Experimental Yuyucocha, de la Universidad Técnica del Norte (UTN), y para los ensayos de trabajabilidad en la Central Maderera de la misma institución. Las propiedades mecánicas se realizaron en el laboratorio de análisis de suelos y materiales del Gobierno Provincial de Imbabura (GPI).

3.2 Materiales, insumos, maquinaria, equipos y material vegetativo.

Tabla 10

Materiales e insumos.

| Materiales | Insumos | Maquinaria y equipos | Material vegetativo |
|-------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Cinta diamétrica | Aceite de dos tiempos | Balanza digital | Muestra botánica |
| Cinta métrica | Brújula | Brújula | Probetas de madera |
| Formones | Cinta diamétrica | Calibrador digital | |
| Formulario | Cinta métrica | Canteadora | |
| Machete | Gasolina | Cepilladora | |
| | Pintura spray | Cierra circular | |
| | Plástico de embalaje | Despuntadora | |
| | | Estufa | |
| | | Lijadora manual | |
| | | Molduradora | |
| | | Motosierra | |
| | | Prensa universal | |
| | | Tatadro manual | |
| | | Torno | |

3.3 Metodología

3.3.1 Sitio y obtención de material

- a. **Selección de árboles:** Según la Norma INEN 1158, se seleccionó siete árboles, con las mejores características fenotípicas (sanos, tronco recto y sin deformaciones).
- b. **Tumba de árboles y extracción de bloques:** En base a la norma INEN 1159, se tumbó los siete árboles, se extrajo trozas de 2,5 m de longitud a partir del DAP, se escuadró las trozas, se obtuvo bloques que fueron embalados y trasladados hacia la zona de acopio en la EELF y posteriormente al camino carrosable para su transporte hacia la Granja Experimental “Yuyucocha” de la ciudad de Ibarra.
- c. **Transporte:** Los bloques se trasladaron a la Central Maderera y Laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca, Ubicado en la “Granja Experimental Yuyucocha”, a los 30 días posteriores al aprovechamiento por la distancia desde el punto de extracción y laboratorios.

3.3.2 Obtención del material experimental

En la central maderera, mediante las normas INEN, ASTM y COPANT, se transformó de bloques a probetas, el material se codificó y etiquetó según el número de árbol, orientación de las fibras en la madera y número de probeta.

3.3.3 Determinación de las propiedades físicas

Según las normas COPANT 459, se obtuvo 49 probetas de dimensiones 10×5×5 cm, de siete árboles en sentido tangencial/radial.

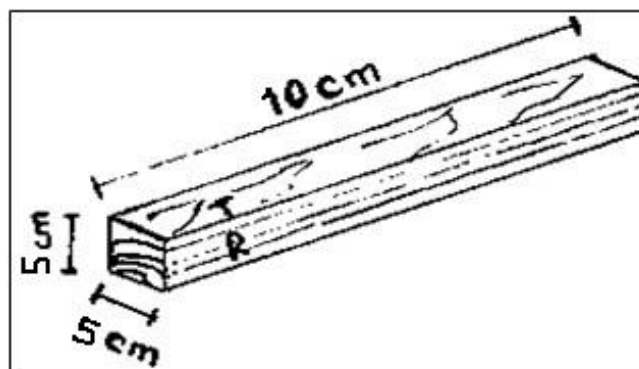


Ilustración 2. Probetas para propiedades físicas

Fuente: Norma COPANT 459 (1972)

3.3.3.1 *Contenido de humedad*

Se determinó mediante la norma COPANT 460, se utilizaron siete probetas por cada árbol, total 49, libres de defectos y con orientación tangencial / radial.

a) **Procedimiento**

Las probetas se etiquetó, midió y pesó en condición verde, posteriormente se dejó 45 días en estado ambiente, monitoreándolas cada 24 horas hasta que las probetas obtengan un peso consecutivo similar, se realizó la segunda toma de datos, luego se colocó en una estufa eléctrica con regulador de temperatura a 103 ± 2 °C por el lapso de 24 horas y se tomaron pesos parciales cada seis horas hasta tener dos pesos consecutivos iguales y posterior a eso se efectuó la tercera toma de datos.

Ecuación para la estimación del CH%:

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

Ec. 1

Fuente: Norma COPANT 460 (1972)

Donde:

CH%= contenido de humedad expresado en porcentajes (%)

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

PSH= peso de la probeta en estado anhidro expresado en gramos (g)

3.1.1.1. *Densidad*

Se determinó mediante la norma COPANT 461, se usó siete probetas por cada árbol, total 49, en sentido tangencial / radial.

a) **Procedimiento**

Se consideró las condiciones de la madera (verde, seca al aire, anhidra) y se analizó la densidad básica.

- **Madera en estado verde** Para saber la densidad en esta condición, las probetas se embalaron en plástico, se usó una balanza para saber el peso en verde (PV). Se midió con un calibrador pie de rey en tres secciones, para obtener valores de las tres caras de la probeta y así determinar el volumen en verde.

Ecuación para determinar la densidad en verde:

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

Ec. 2

Fuente: Norma COPANT 461 (1972)

Donde:

DV= densidad de la probeta en verde expresada en g/cm³

PV= peso de la probeta en verde expresado en (g)

VV= volumen de la probeta en verde expresada en cm³.

- **Madera en estado seco al aire** Se dejó las probetas al ambiente por varios días hasta que las probetas alcanzaron pesos consecutivos iguales:

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

Ec. 3

Fuente: Norma COPANT 461 (1972)

Donde:

DSA= Densidad de la probeta en condición ambiente expresada en g/cm³

PSA= Es el peso de la probeta en estado ambiente expresado en gramos.

VSA= Volumen de la probeta en estado ambiente expresado en g/cm³

- **Madera en estado anhidro:** Se tomó medidas tangenciales, radiales y longitudinales, para obtener el volumen a través de la ecuación de densidad:

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

Ec. 4

Fuente: Norma COPANT 461 (1972)

Donde:

DSH= Densidad anhidra expresada en g/cm³

PSH= Es el peso de la probeta en estado anhidro expresado en gramos (g)

VSH= Volumen de la probeta en estado anhidro expresado en cm³

- **Densidad básica** Se tomó el peso en estado anhidro y se lo relacionó con el volumen en estado verde.

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

Ec. 5

Fuente: Norma COPANT 461 (1972)

Donde:

DB= Densidad básica expresada g/cm³

PSH= Peso de la probeta en estado anhidro expresado en gramos (g)

VV= Volumen de la probeta en estado seco, verde expresado en cm³

a) Procedimiento

- Se codificó las tres caras de cada probeta, en las que se observa las posiciones donde se realizó la medición.
- Las probetas se midieron con calibrador en las tres dimensiones.
- Para los ensayos se empleó las probetas en condición seca al aire.

3.3.3.2 Contracción

En base a la norma INEN 1164, se utilizó 49 probetas de dimensiones 5×5×10, con orientación tangencial / radial.

3.3.3.2.1 Procedimiento

- Se señalaron las probetas en las seis caras con la finalidad de indicar las posiciones donde debe realizarse la medición.
- Se procedió a medir con el calibrador digital en las tres dimensiones de las probetas.

3.3.3.3 Dimensión longitudinal

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

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

Ec. 6

Fuente: Norma INEN 1164 (1983)

Donde:

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

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

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

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

Ec. 7

Fuente: Norma INEN 1164 (1983)

Donde:

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

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

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

3.3.3.4 Dimensión radial

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

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

Fuente: Norma INEN 1164 (1983)

Ec. 8

Donde:

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

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

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

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

Fuente: Norma INEN 1164 (1983)

Ec. 9

Donde:

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

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

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

3.3.3.5 Dimensión tangencial

Se usó el mismo procedimiento que en dimensión radial, y se midió en las dos caras radiales.

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

Fuente: Norma INEN 1164 (1983)

Ec. 10

Donde:

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

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

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

$$CTT (\%) = \frac{DTV - DTSH}{DTV} \times 100 \quad \text{Ec. 11}$$

Fuente: Norma INEN 1164 (1983)

Donde:

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

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

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

3.3.3.6 *Contracción volumétrica total*

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

$$C_{vt} = C_{lt} + C_{tt} + C_{rt} \quad \text{Ec. 12}$$

Fuente: Norma INEN 1164 (1983)

Dónde:

C_{vt}= Contracción volumétrica total de la probeta de estado verde, al estado anhidro, en porcentaje.

C_{rt}= Contracción radial total de la probeta, en (%).

C_{tt}= Contracción tangencial total de la probeta, expresada en (%).

3.3.3.7 *Relación tangencial / radial*

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

$$T/R = \frac{CTT}{CRT} \quad \text{Ec. 13}$$

Fuente: Norma INEN 1164 (1983)

Donde:

T/R= Relación tangencial radial.

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

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

3.3.4 Determinación de las propiedades mecánicas

Mediante la norma COPANT 459 se obtuvo las probetas para los distintos ensayos y en base a la norma ASTM D143-09, se realizó los ensayos.

Tabla 11

Probetas para ensayos de propiedades mecánicas

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

T: Tangencial; R: Radial; O: Oblícuo

3.3.4.1 Cizallamiento

Se realizó una sola repetición en las 105 probetas de dimensiones de 10x10x3 cm, y para el cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

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

Ec. 14

Fuente: Norma ASTM D143-94 (2010)

Donde:

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

P = Presión en (kgf)

s = Superficie en (cm²).

3.3.4.2 Compresión

a. Compresión paralela

Se utilizó 35 probetas con orientación tangencial / radial, de dimensiones 5x5x10 cm. En una prensa hidráulica con pantalla digital, se las colocaron las probetas de manera que las fuerzas actuaron en forma paralela a la fibra, y se determinó mediante la siguiente ecuación:

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

Ec. 15

Fuente: Norma ASTM D143-94 (2010)

Donde:

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

P1 = Carga en el límite proporcional en (kgf)

b = Ancho de la probeta en (cm).

h = Altura del bloque metálico en (cm).

b. Compresión perpendicular

Con un total de 105 probetas de dimensiones 5x5x10 cm, se utilizó una prensa hidráulica con pantalla digital, en la que se las colocó las probetas perpendicularmente, se aplicó la presión, y se la determinó el esfuerzo máximo con la siguiente ecuación:

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

Ec. 16

Fuente: Norma ASTM D143-94 (2010)

Donde:

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

P1 = Carga en el límite proporcional en (kgf)

b = Ancho de la probeta en (cm).

h = Altura del bloque metálico en (cm).

3.3.4.3 Flexión estática

Se encontró las deformaciones y la falla de las probetas sometidas a una aplicación de una carga a una velocidad constante, con un total de 105 probetas de dimensiones 5x5x76 cm.

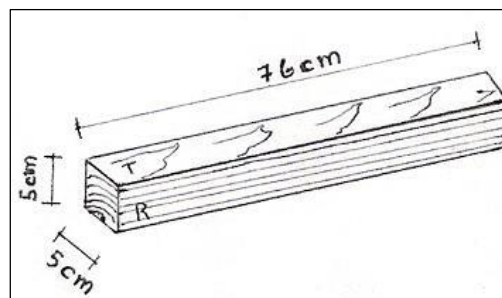


Ilustración 3. Probetas para ensayo de flexión estática

Fuente: Norma ASTM D143-09 (2010)

a. Procedimiento

Se obtuvo probetas en las tres orientaciones: radial, tangencial y oblicua; se midió y señaló las probetas, luego se fijó las probetas sobre los apoyos a una distancia de 15 cm de los extremos, para obtener una luz de 46 cm. Cada una de las probetas se colocó de tal manera que

al aplicar la carga en su cara tangencial, ésta sea aplicada exactamente en el centro. Se usó como elemento de carga un cabezal de metal cuadrado de 900 mm de área.

b. Esfuerzo unitario de las fibras al límite proporcional

Se calculó con las siguientes fórmulas:

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

Ec. 17

Fuente: Norma ASTM D143-09 (2010)

Dónde:

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

P1 = Es la carga en el límite proporcional en (kgf/cm²).

1,5 = Constante.

L = Luz de la probeta en (cm).

b = Corresponde al ancho de la probeta en (cm).

h² = Corresponde a la altura de la probeta en (cm²).

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

Ec. 18

Fuente: Norma ASTM D143-09 (2010)

Dónde:

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

P1 = Es la carga en el límite proporcional en (kgf).

b = Es el ancho de la probeta en (cm).

d = Es el espesor de la probeta en (cm).

a. Módulo de Ruptura (M.O.R)

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

Ec. 19

Fuente: Norma ASTM D143-09 (2010)

Donde:

MOR = Módulo de ruptura expresado en (kgf/cm²).

P2 = Es la carga máxima obtenida en (kgf/cm²).

1,5 = Constante.

L = Luz de la probeta en (cm).

b = Corresponde al ancho de la probeta en (cm).

h² = Corresponde a la altura de la probeta en (cm²).

b. Módulo de Elasticidad (M.O.E)

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

Ec. 20

Fuente: Norma ASTM D143-09 (2010)

Donde:

MOE = Módulo de elasticidad expresado en (kgf/cm²).

P1 = Carga en el límite proporcional en (kgf/cm²).

0,25 = Constante.

L³ = Luz de la probeta en (cm³)

b = Corresponde al ancho de la probeta en (cm).

h³ = Altura de la probeta en (cm³)

Y³ = Deflexión en el límite proporcional en (cm³)

3.3.5 Determinación de las propiedades de trabajabilidad

Para los ensayos de trabajabilidad se utilizó las normas ASTM D 1666-87, la cual indica la utilización de las probetas que se detallan en la tabla 12 y la evaluación en base a la tabla 13. Es preciso indicar que para los ensayos de cepillado, lijado, moldurado y taladrado se utilizó 105 probetas, y se realizó ensayo después del otro.

Tabla 12

Probetas para ensayos de propiedades de trabajabilidad

| Ensayo | Dimensión probetas (cm) | Orientación | Número de probetas |
|-----------|-------------------------|-------------|--------------------|
| Cepillado | 100×10×6 | T - R - O | 105 |
| Lijado | 100×10×5 | T - R - O | 105 |
| Moldurado | 100×10×5 | T - R - O | 105 |
| Taladrado | 100×10×5 | T - R - O | 105 |
| Torneado | 15×5×5 | T/R | 35 |
| Tallado | 44×24×4 | T - R - O | 7 |

T: Tangencial; R: Radial; O: Oblícuo

Fuente: ASTM (1992)

Para la evaluación de las probetas, se realizó una identificación visual, donde se verificó la existencia de fibras y granos. La magnitud de defectos en cada probeta se calificó de la siguiente manera:

Tabla 13

Normas Rango de evaluación según norma ASTM

| Grado | Calificación | Descripción |
|---------|--------------|--|
| Grado 1 | Excelente | La probeta no debe tener defecto alguno. |

| | | |
|---------|----------|---|
| Grado 2 | Bueno | Se captará de 10 a 20% de fibra levantada. |
| Grado 3 | Regular | Se aceptará fibra levantada hasta en un 30% con grano desgarrado. |
| Grado 4 | Malo | Se aceptará fibra levantada hasta en un 40%, con grano desgarrado se acepta hasta un 30%. |
| Grado 5 | Muy Malo | La fibra levantada estará sobre un 40% y grano desgarrado supera el 30%. |

Fuente: ASTM (1992)

Las probetas fueron debidamente orientadas (tangencial, radial y oblicua) según la dirección en el tronco, como se aprecia en la ilustración 4. Los ensayos se realizaron en madera con un contenido de humedad estable.

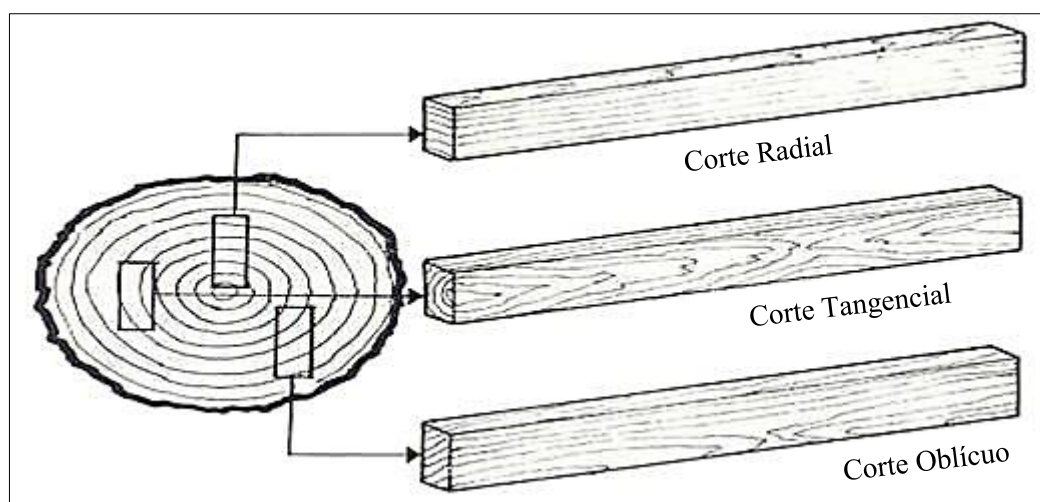


Ilustración 4. Tipos de corte según la orientación en el tronco

Fuente: COPANT 459 (1972)

3.3.5.1 Cepillado

Para este ensayo se utilizó 105 probetas en total, 35 por cara orientación, cinco por cada árbol.

a. Dimensiones de las Probetas

Las dimensiones de las probetas utilizadas para este ensayo fueron 100×10×6 cm.

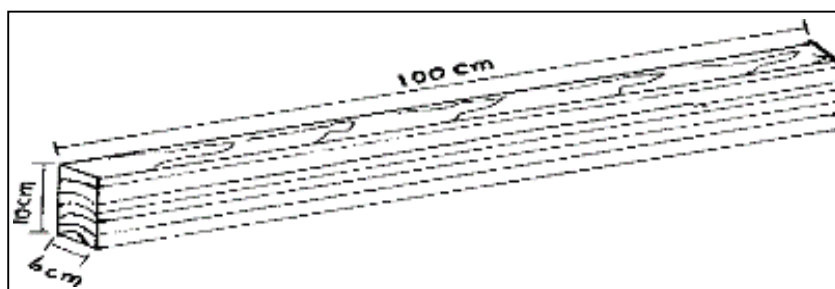


Ilustración 5. Probetas para ensayos de cepillado

Fuente: Norma COPANT 469 (1972)

b. Procedimiento

Para el reconocimiento las probetas, se codificaron de manera que se observe el número de árbol, orientación y dirección del árbol, luego se marcaron con una flecha en el extremo de cada probeta para indicar la dirección a favor y en contra del grano, se realizó dos repeticiones a favor y dos en contra del grano para ver el comportamiento de la madera.

En este ensayo se utilizó tres cuchillas con un ángulo de corte de 45°.

c. Cálculo

Se determinó la velocidad de alimentación mediante la identificación de las características de la máquina y mediante un cronometro, por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Val. } \frac{=t \times \text{vuelta}}{6,9} = \text{m/min.} \quad \text{Ec. 21}$$

Fuente: Norma ASTM D1666-87 (1992)

El ancho de marca de la cuchilla se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Ancho de marca (A. D. M)} = \frac{A \times B}{C \times T} \quad \text{Ec. 22}$$

Fuente: Norma ASTM D1666-87 (1992)

Dónde:

A= Revoluciones por minuto en el cabezal

B= Numero de cuchillas en el cabezal

C= Velocidad de avance (m/min)

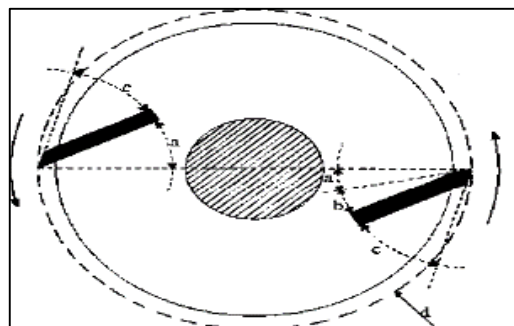


Ilustración 6. Ángulo de cuchillas de cepilladora

Fuente: Norma ASTM D1666-87 (1992)

Dónde:

- a**= Ángulo de corte
- b**= Ángulo de bisel
- c**= Ángulo hierro
- d**= Círculo cortante

3.3.5.2 Lijado

Para el ensayo se utilizó las mismas probetas que el cepillado, 105 probetas en total. El ensayo se realizó en dos fases:

- La primera fase con lija (N° / 60), se lo realizó para tener una superficie lisa a partir de una superficie irregular originada de los procesos que se realizan antes del cepillado.
- La segunda fase con la lija (N° / 100), con el propósito de determinar la eficiencia, calidad superficial y tipos de defectos que ocasionaran los dos tipos de lijas.

a. Dimensiones de probetas

Se utilizaron probetas de 100×10×5 cm.

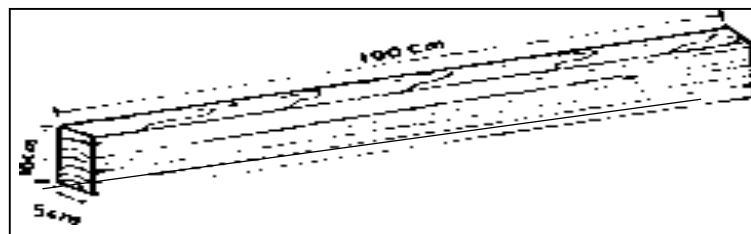


Ilustración 7. Probeta para ensayos de lijado

Fuente: Norma COPANT 459 (1972)

b. Procedimiento

Con un calibrador se midió la parte media de la probeta para al final del proceso saber el desgaste de la probeta, se realizó dos repeticiones, según el estado de está a favor y en contra del grano, mediante un termómetro se determinara la temperatura de la lija para así conocer la fricción, además se midió la velocidad de desgaste de la lija y la cantidad de residuo, esto relacionado con la eliminación fácil o difícil de las partículas, por último se evaluó nuevamente la probeta y se realizó el cálculo.

3.3.5.3 Moldurado

Para este ensayo se utilizó las mismas probetas del lijado, (105 probetas).

a. Dimensiones de Probetas

Se utilizó probetas de 100×10×5 cm.

b. Procedimiento

Se utilizó una fresadora manual, con una broca circular de $\frac{3}{4}$ de pulgada, se efectuó dos repeticiones en los filos, y en la parte media de la probeta, para tener resultados a favor y en contra del grano, se calificó de acuerdo al grado de defecto de la probeta, así mismo a favor y en contra del grano.

3.3.5.4 Taladrado

a. Dimensiones de la probeta

Se usó las mismas probetas del ensayo anterior.

b. Procedimiento

Se ubicó los puntos a taladrarse en la probeta, se realizó dos ensayos por probeta, uno a cada extremo, a una distancia de 5 cm de los extremos y a 5 cm de los filos, se aplicó una carga manual para realizar la penetración y se cronometró el tiempo de penetración de la broca.

3.3.5.5 Torneado

a. Dimensiones de la probeta

Se utilizó 35 probetas en total, en las caras radial/tangencial con dimensiones 15×5×5 cm.

b. Procedimiento

Se utilizó un torno manual, se empleó tres clases de fierros, dos gubias y una sesga, se empezó por dimensionar la probeta, codificarla y señalarla para luego colocar en el torno, con la gubia más grande se dio forma cilíndrica a la probeta, luego con la gubia delgada y sesga se dio forma y diseño a la probeta. La calidad de grados de defectos se realizó de acuerdo a la Norma ASTM D- 1666-87, en la que se calificó en base ha: grano arrancado, grano velloso y grano levantado.

3.3.5.6 Tallado

a. Dimensiones de la probeta

Se usó siete piezas de 40×24×4 cm.

b. Procedimiento

Las piezas fueron dimensionadas y trasladadas a la parroquia San Antonio de Ibarra, a un taller de tallado y escultura, en el que se realizó los procesos: calcado de motivo, vaciado (broca de $\frac{1}{8}$ de pulgada), desbastado, forjado, pulido, lijado y acabado. Para la evaluación de defectos, se elaboró una ficha de evaluación, donde se tomó en cuenta la suavidad de la madera,

que el fierro no se corra, facilidad de desbaste, pulido, comportamiento del grano, defectos de secado, si permite trabajar a favor y en contra de la fibra.

c. Evaluación de acuerdo a la presencia y severidad del defecto.

Se realizó como lo establece la Norma ASTM 1666-87 en base a la presencia y severidad de los defectos antes señalados (Ver tabla 14 y 15), y se observó la probeta con luz natural.

Tabla 14

Clasificación con base a la presencia del defecto

| Grado | Descripción |
|--------------|---|
| Grado 1 | Excelente: Libre de defectos. |
| Grado 2 | Buena: Con defectos superficiales que pueden eliminarse con una lija fina del No. 100. |
| Grado 3 | Regular: Con defectos marcados que pueden eliminarse al utilizar una lija gruesa del No. 60 y después una fina del No. 100. |
| Grado 4 | Pobre: Con defectos severos que para eliminarlos se requiere trabajar nuevamente la pieza de madera. |
| Grado 5 | Muy pobre: Con defectos muy severos que para eliminarlos se requiere sanear la pieza de madera trabajada. |

Fuente: Norma ASTM D1666-87 (1992)

Tabla 15

Clasificación en base a la extensión del defecto

| Grado | Extensión del defecto |
|--------------|------------------------------|
| 1 | 0 |
| 2 | 1/5 |
| 3 | 2/5 |
| 4 | 3/5 |
| 5 | $\geq 4/5$ |

Fuente: Norma ASTM D1666-87 (1992)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Propiedades físicas

En la tabla 16 se aprecia los resultados generales de los tres ensayos.

Tabla 16

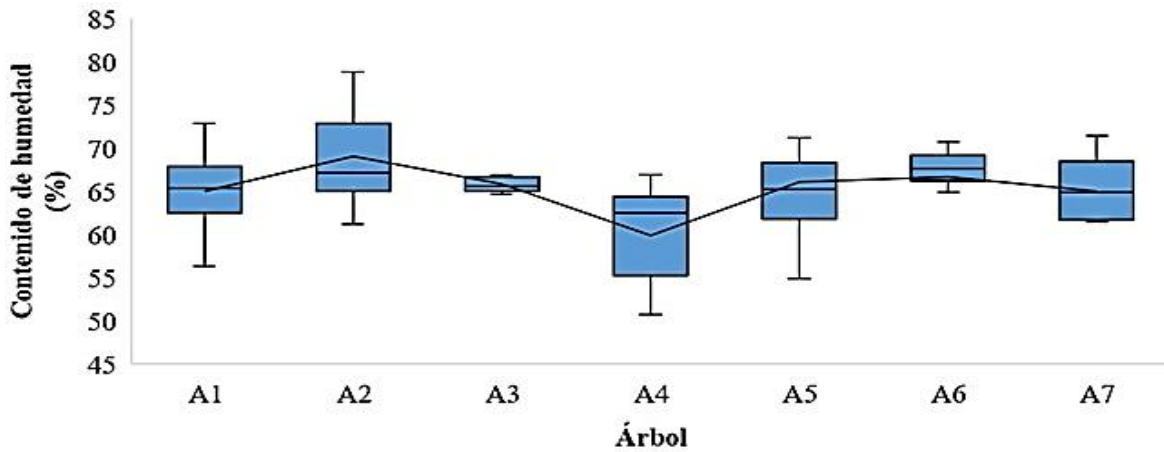
Resultados generales de ensayos de propiedades físicas

| Ensayo | Valor | Calificación | |
|----------------------|---------------------------|--------------|----------|
| Contenido de humedad | 65,38 (%) | Medio | |
| Densidad | 0,51 (g/cm ³) | Tipo "D" | |
| L | 0,06 (%) | Mediana | |
| R | 3,71 (%) | Mediana | |
| Contracción | T | 8,21 (%) | Muy alta |
| | VT | 11,62 (%) | Alta |
| | T/R | 2,28 (%) | Alta |

L: Longitudinal; R: Radial; T: Tangencial; VT: Volumétrica total; T/R: tangencial/radial

4.1.1 Contenido de humedad

Se determinó un CH promedio de 65,38% lo que permite inferir que esta madera tiene una mediana capacidad higroscópica, la desviación estándar de la media indica que los datos están relativamente agrupados y muy homogéneos según el coeficiente de variación calculado, además el error estándar de la media asevera que la media es representativa del conjunto de datos (Ver anexo 1A).

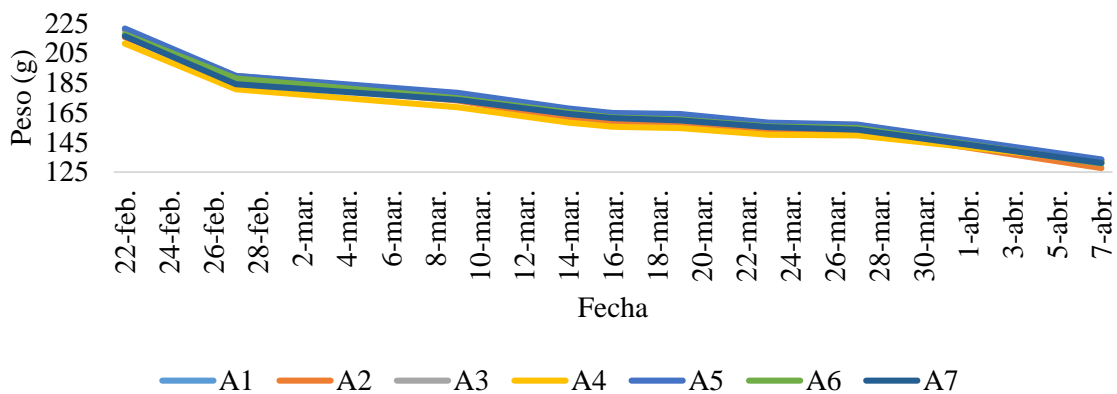


A1: Árbol 1. A2: Árbol 2. A3: Árbol 3. A4: Árbol 4. A5: Árbol 5. A6: Árbol 7.

Ilustración 8. Comportamiento del contenido de humedad

Spavento *et al.* (2008) determinaron un CH mayor para *Fraxinus pennsylvanica* cultivada en Buenos Aires – Argentina a los 12 años de edad de 131%; la variación posiblemente se debe a la diferencia de edades, a mayor edad presentan mayor lignificación, en consecuencia poseen menor cantidad de agua. Así como también Morvely Veintemilla y Wilson Darling (2014), determinaron un CH mayor para *Dacryodes peruviana* 73.35 %, a pesar de ser una especie que se encuentra en el mismo tipo de densidad que la estudiada, presenta una mayor retención de agua debido a su composición estructural, como lo menciona (Piqué y de Cartagena, 1984).

La pérdida de humedad de estado verde a seco a estado ambiente, fue en 45 días, en la que se presentaron dos alteraciones, debido a la elevación en la humedad relativa por la presencia de lluvias del 18 al 30 de marzo (Ver Ilustración 9).



A1: Árbol 1. A2: Árbol 2. A3: Árbol 3. A4: Árbol 4. A5: Árbol 5. A6: Árbol 7.

Ilustración 9. Curva de desorción

4.1.2 Densidad

Se obtuvo una densidad básica de $0,51 \text{ gr/cm}^3$, que según el INEN (2011) se encuentra en el rango de las maderas medias tipo “C”, la desviación estándar de la media indica que los datos están relativamente dispersos y muy homogéneos según el coeficiente de variación, además el error estándar de la media muestra que la media es representativa del conjunto de los datos (Ver anexo 2A).

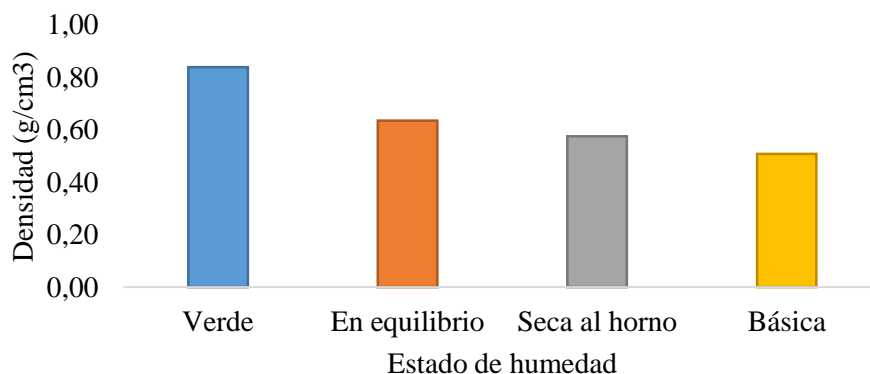


Ilustración 10. Densidad de Fresno

Spavento *et al.* (2008) indican una DB de $0,67 \text{ gr/cm}^3$ para *Fraxinus pennsylvanica* englobándose en el tipo “B”, esto debido a que a que los árboles se aprovecharon a los 12 años, los cuales contenían mayor CH, mismo que es un indicador directo de la densidad de la madera, Además Urias, (1996) determinó una densidad básica para *Fraxinus udhei* de $0,60 \text{ gr/cm}^3$ como material destinado para la obtención de pulpa. Así como también Candelaria y Cueto, (1996) en México determinaron una DB de 0,53 para la misma especie, en la que se aprecia la heterogeneidad de densidades en el mismo género, ya sea por factores externos o internos de cada especie, Además Veintemilla y Darling (2014), determinaron una DB de 0,43 para *Dacryodes peruviana*; aprovechada a una edad similar.

Ante esto Goche *et al.* (2011) mencionan que la densidad de la madera de una especie depende de varios factores como: disponibilidad de nutrientes, agua, luz, socios; e inclusive si se desarrollan sitios y condiciones similares, sus densidades varían de un árbol a otro.

4.1.3 Contracción

Presenta una compresión radial de 3,71% (mediana), tangencial de 8,21% (muy alta), relación volumétrica total 11,62% (alta), y una T/R de 2,28% (muy alta), la desviación estándar de la media indica que los datos están dispersos y muy homogéneos según el coeficiente de

variación, y el error estándar de la media muestra que la media es relativamente representativa del conjunto de los datos (Ver anexo 3A)

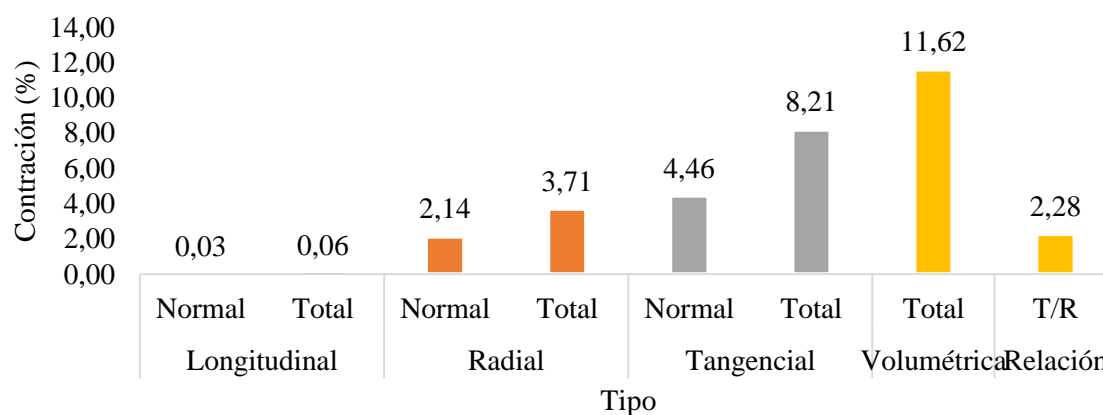


Ilustración 11. Contracción de la madera

Veintemilla y Darling (2014) para *Erismia uncinatum* determinaron una contracción radial 4,03% (mediana), tangencial 9,51% (muy alta), volumétrica total 11,47 (alta) y relación T/R de 2,4% (muy alta), presenta un comportamiento muy similar en sus contracciones frente a *Fraxinus americana*. Los mismos autores determinaron para *Dacryodes peruviana* una contracción radial 3,47% (mediana), tangencial 6,8% (alta), volumétrica total 8,99 (mediana) y relación T/R de 2,0% (alta), presenta mayor estabilidad en todas sus contracciones, lo que permite inferir que su comportamiento ante cambios de humedad es mejor.

Spavento *et al.* (2008) determinaron para *Fraxinus pennsylvanica* Marsh una relación radial de 5,38% (muy alta) y tangencial total 9,86% (muy alta), y una relación T/R de 1,83% (alta); que indica que es un tipo de madera inestable frente a cambios de humedad, como es el caso de *Fraxinus americana*, 2,28% (muy alta), que se cataloga como una madera “nerviosa” o inestable, lo que permite deducir que no es recomendable utilizarla en exteriores debido a su fácil capacidad de absorber o perder agua.

4.2 Propiedades mecánicas

En la tabla 17 se muestra los resultados generales de los ensayos:

Tabla 17

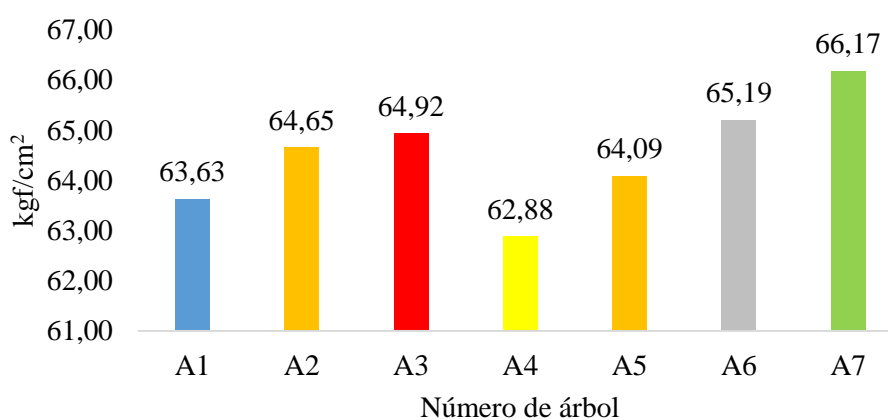
Resultados generales de ensayos de propiedades mecánicas

| Ensayo | Esfuerzo | Valor (kgf/cm ²) | Calificación |
|--------------------------|----------|------------------------------|--------------|
| Cizallamiento | EM | 64,5 | Bajo |
| Compresión paralela | EFLP | 247,31 | Bajo |
| Compresión perpendicular | EFLP | 315,99 | Media |
| | EFLP | 516,74 | Bajo |
| Flexión estática | MOR | 1070,6 | Bajo |
| | MOE | 21630,59 | Muy bajo |

EM: Esfuerzo máximo; EFLP: Esfuerzo al límite proporcional; MOR: Módulo de ruptura; MOE: Módulo de elasticidad

4.2.1 Cizallamiento

Se determinó un esfuerzo máximo de 64,50 kgf/cm², con rangos promedio entre 62,88 kgf/cm² y 66,17 kgf/cm², valor considerado bajo, según la tabla de resistencia de al cizallamiento de la norma ASTM; además una desviación estándar que indica que los datos están dispersos y un coeficiente de variación que indica que los datos son muy homogéneos, además que la media es muy representativa del conjunto de los datos, según el error estándar de la media (Ver anexo 4A).



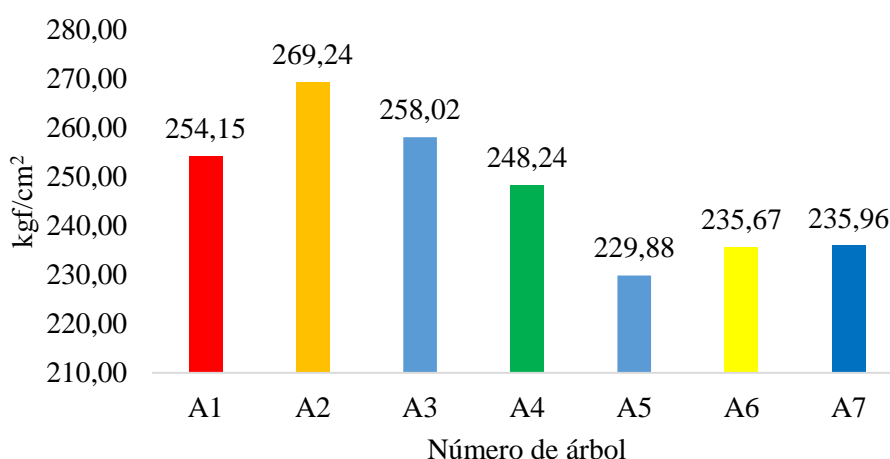
A1: Árbol. A2: Árbol 2. A3: Árbol 3. A4: Árbol 4. A5: Árbol 5. A6: Árbol 7

Ilustración 12. Esfuerzo máximo ante el cizallamiento

Triana *et al.* (2008) determinaron un esfuerzo máximo de 127,02 kgf/cm² para *Brosimum rubescens*, frente a 64,50 kgf/cm², superior al soporte de *Fraxinus americana*, por lo que se puede inferir que las condiciones en las que realizó estudio, es decir la edad de los individuos y la especie, influyen en la resistencia mecánica, lo que causó una menor resistencia al ensayo, debido a una mayor lignificación de la madera y estructura de la misma. Además que las otras propiedades como el CH, incide directamente en la resistencia ante fuerzas internas y externas.

4.2.2 Compresión paralela

Presenta un esfuerzo al límite proporcional de 247 kgf/cm², considerado bajo y un rango de valores promedio entre 229,88 kgf/cm² y 269,24 kgf/cm²; el coeficiente de variación de 5,73 que indica que los datos son homogéneos y dispersos según la desviación estándar de la media, además error estándar de la media que los datos están muy dispersos (Ver anexo 5A).



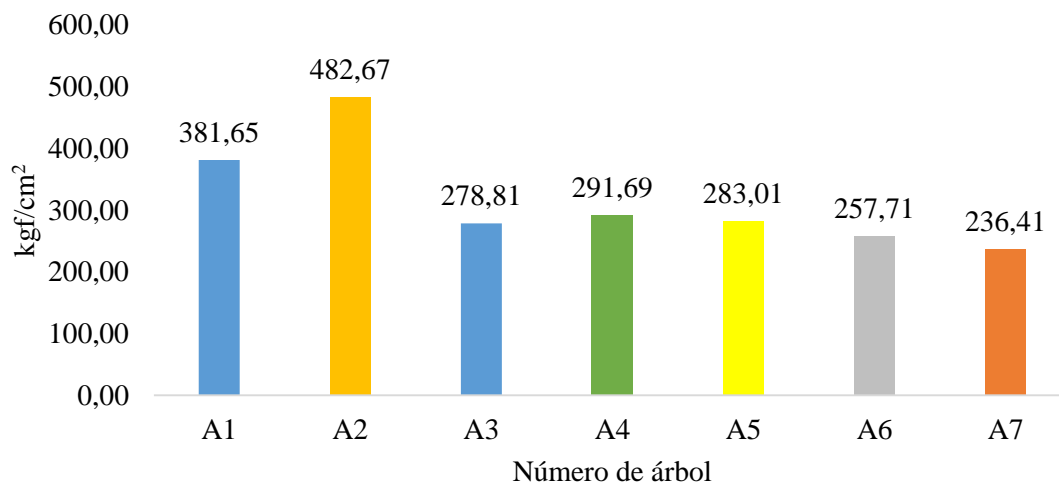
A1: Árbol. A2: Árbol 2. A3: Árbol 3. A4: Árbol 4. A5: Árbol 5. A6: Árbol 7;

Ilustración 13. Esfuerzo al límite proporcional en compresión paralela

Entre las maderas de densidad tipo “D”, Moya *et al.* (2010) determinaron valores para *Cupressus lusitánica* de 101 kgf/cm² y *Gmelina arbórea* de 63 kgf/cm², árboles de edades entre 9 y 13 años, a comparación de la plantación de *Fraxinus americana*, la cual por su edad presentó un soporte mayor de 247 kgf/cm², pese a tener mayor lignificación de sus fibras, esto se debe a las características propias de cada especie, a pesar de estar en un mismo rango de densidad, su resistencia frente a los esfuerzos son muy diferentes por la composición de la madera, como lo determinaron Gómez *et al.* (2008) con un 360,55 kgf/cm² para *Brosimum rubescens*.

4.2.3 Compresión perpendicular

Con un EFLP de 315,99 kgf/cm², valor considerado medio, y rango de valores promedio entre 236,41 kgf/cm² y 482,67 kgf/cm², un coeficiente de variación que indica que los datos son relativamente homogéneos, debido a que la norma no especifica que se realice una diferenciación entre albura y duramen, el coeficiente de variación es alto (Ver anexo 6A).



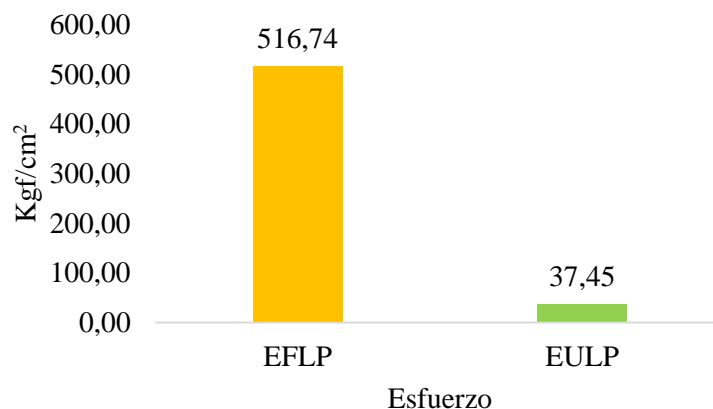
A1: Árbol. A2: Árbol 2. A3: Árbol 3. A4: Árbol 4. A5: Árbol 5. A6: Árbol 7.

Ilustración 14. Esfuerzo al límite proporcional en compresión perpendicular

En el estudio realizado por Aóstegui y Sato (1970) en *Ceiba sp*; a los 40 años de edad, muestra un esfuerzo al límite proporcional de 56,71 kgf/cm² (muy bajo), mientras que para las especie estudiada 315,99 kgf/cm² (medio), en la que se evidencia que a pesar de que las dos especies son de rápido crecimiento, y tienen densidad similares o de tipo “C”, su comportamiento es totalmente diferente en la compresión perpendicular a la fibra, En este ensayo *Fraxinus americana* presenta un mejor comportamiento a comparación de las demás especies analizadas.

4.2.4 Flexión estática

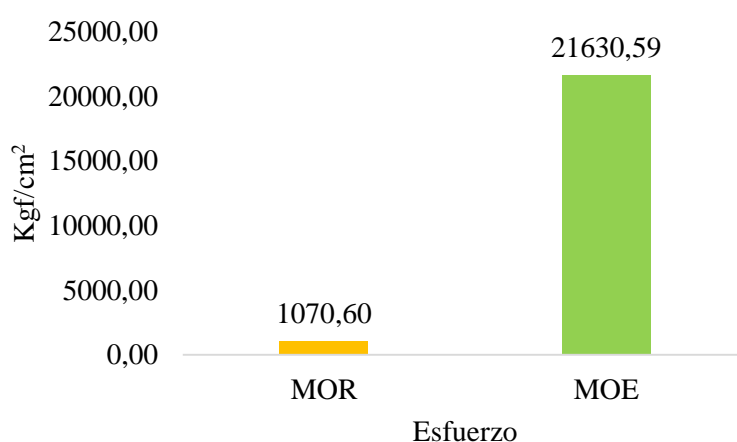
Presenta valores bajos en los que respecta a soporte a flexión perpendicular a fibra, un esfuerzo al límite proporcional de 516,74 kgf/cm²; un MOR de 1070,60 kgf/cm² y MOE de 21630,59 kgf/cm²; además la desviación estándar de la media indica que los datos están dispersos y muy según el coeficiente de variación, homogéneos, el error estándar de la media muestra que la media es relativamente representativa del conjunto de los datos (Ver anexo 7A)



EFLP: Esfuerzo al límite proporcional; EULP: Esfuerzo unitario al límite proporcional

Ilustración 15. Esfuerzo al límite proporcional en flexión estática

Para *Carapa guianensis*, Gonzales (1976), determinó un esfuerzo al límite proporcional de 680,00 kgf/cm², frente a 516,74 kgf/cm², a pesar de ser individuos de edades similares, la primera especie presenta una mayor resistencia a la flexión perpendicular a sus fibras, al considerarse como una especie de crecimiento lento, frente a *Fraxinus americana* que es una especie de rápido crecimiento, al existir una lignificación menor en *Carapa guianensis*, su comportamiento es favorable frente a este esfuerzo. Además Gómez *et al.* (2008) determinaron un valor de 558,50 kgf/cm² para *Brosimum rubescens*, en el que su soporte al esfuerzo es similar al de la especie estudiada.



MOR: Módulo de ruptura; MOE: Módulo de elasticidad.

Ilustración 16. MOR Y MOE en flexión estática

De la misma manera este autor, determinó para *Carapa guianensis*, un módulo de ruptura de 1101,00 kgf/cm² y módulo de elasticidad de 130.000 kgf/cm², por lo que se puede aseverar que las condiciones en las que se desarrolla un ensayo (edad, especie, manejo) son directamente proporcional a los resultados, ya que cuenta con un turno de corta mayor que *Fraxinus americana*, por este motivo presenta una mejor resistencia en la elasticidad de sus fibras antes que se produzca la ruptura, por poseer un mayor contenido de humedad.

4.3 Propiedades de trabajabilidad

En la tabla 18 se muestran los resultados generales de los ensayos de trabajabilidad:

Tabla 18

Resultados generales de ensayos de trabajabilidad

| Ensayo | Defectos | Calificación |
|---------------|-------------------|---------------------|
| Cepillado | Grado 1 y Grado 2 | Excelente a bueno |
| Lijado #60 | Grado 1 y Grado 2 | Excelente a bueno |
| Lijado #100 | Grado 1 | Excelente |
| Moldurado | Grado 1 y Grado 2 | Excelente a bueno |
| Taladrado | Grado 3 y Grado 4 | Regular a malo |
| Torneado | Grado 1 y Grado 2 | Excelente a bueno |
| Tallado | Grado 1 | Excelente |

4.3.1 Cepillado

Se lo realizó a favor y en contra del grano, con una velocidad de alimentación promedio de 11,89 s/m, de la cual se obtuvo valores representativos en el Grado 1 y 2, en grano arrancado, levantado y velloso (Ver anexo 8A).

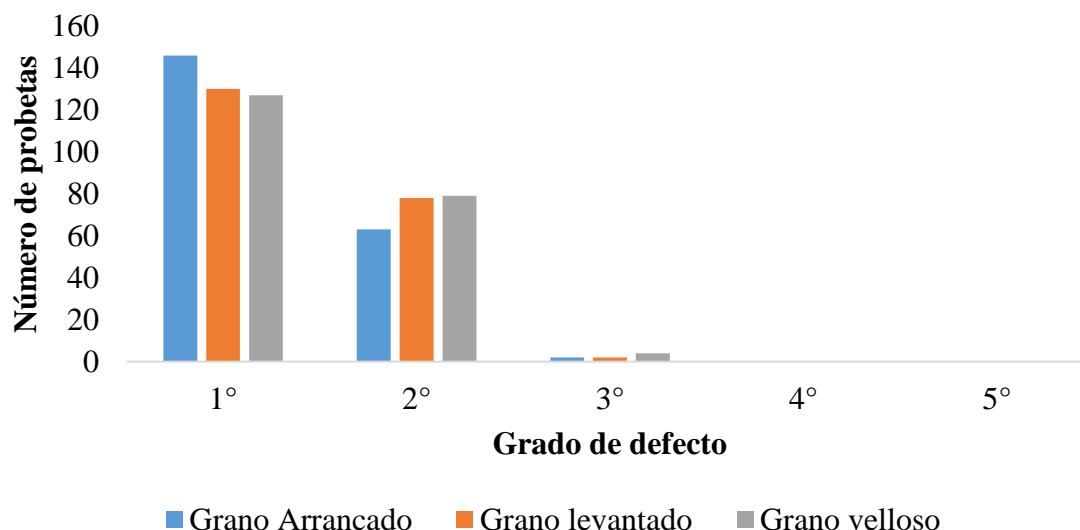
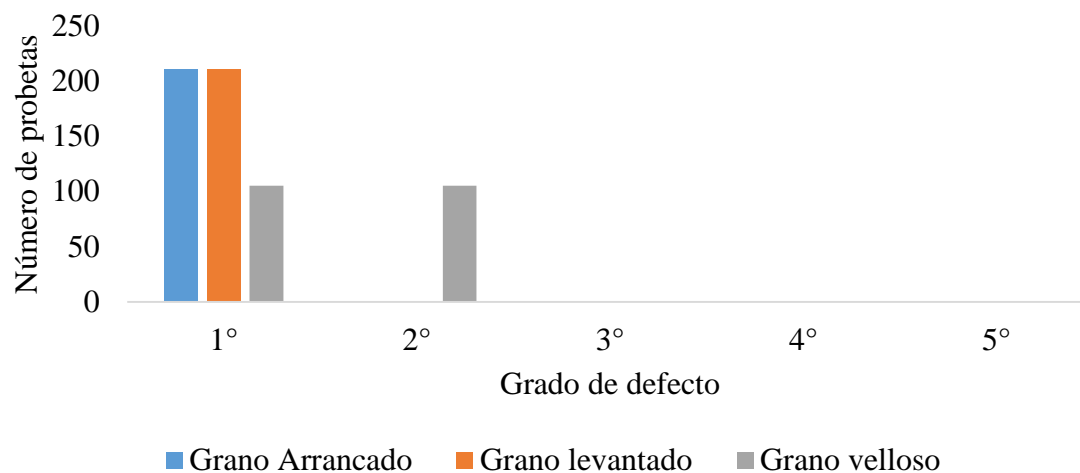


Ilustración 17. Defectos del ensayo de cepillado

Se aprecia un comportamiento excelente ante este ensayo, siendo uno de los primeros y más importante de los procesos en la trabajabilidad de la madera, los defectos de grano levantado y velloso son fáciles de eliminar con el proceso siguiente (lijado), por lo que puede aseverar que la madera de esta especie recomendable y eficiente al momento de cepillarla.

4.3.2 Lijado

Se lo realizó en dos fases, lija #60 y #100; en cuanto al ensayo con lija #60 a favor, presenta valores de Grado 1 en grano arrancado, levantado y velloso, mientras que contra del grano, Grado 1 en grano arrancado y levantado, y Grado 2 en grano velloso (Ver anexos 9A y 10A).



1°: Grado 1. 2°: Grado 2. 3°: Grado 3. 4°: Grado 4. 5°: Grado 5.

Ilustración 18. Defectos del ensayo de lijado. Lija #60

La madera se comporta favorablemente ante este tipo de proceso, a pesar de utilizar una lija de bajo grano #60, y una máquina manual, misma que no consta con un soporte fijo o estable, no presenta defectos severos, además en la segunda fase de este ensayo se puede observar un comportamiento mejor.



■ Grano Arrancado ■ Grano levantado ■ Grano vellosos

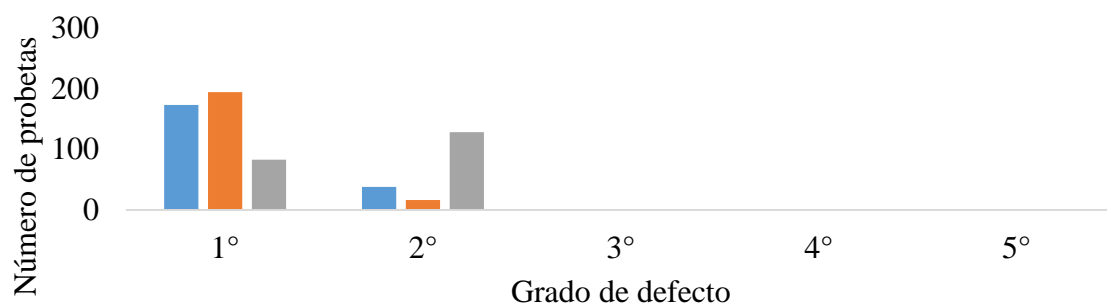
1°: Grado 1. 2°: Grado 2. 3°: Grado 3. 4°: Grado 4. 5°: Grado 5.

Ilustración 19. Defectos del ensayo de lijado. Lija #100

En el ensayo con lija #100, a favor y en contra del grano presentó valores de Grado 1, en todos los grados de calificación de defectos, en base a esto se menciona que la madera de esta especie brinda excelentes condiciones para trabajarla (Ver anexo 10B).

4.3.3 Moldurado

Con la fresadora marca Dewalt modelo DW616 de 24,500 revoluciones por minuto y una broca curva de ¾ de pulgada, se realizó el ensayo a favor y en contra del grano, misma que tuvo un comportamiento de Grado 1 en grano arrancado, levantado y vellosos a favor; mientras que en grano en contra, Grado 1 en vellosos y levantados, y Grado 2 en vellosos (Ver anexo 11A).



■ Grano Arrancado ■ Grano levantado ■ Grano vellosos

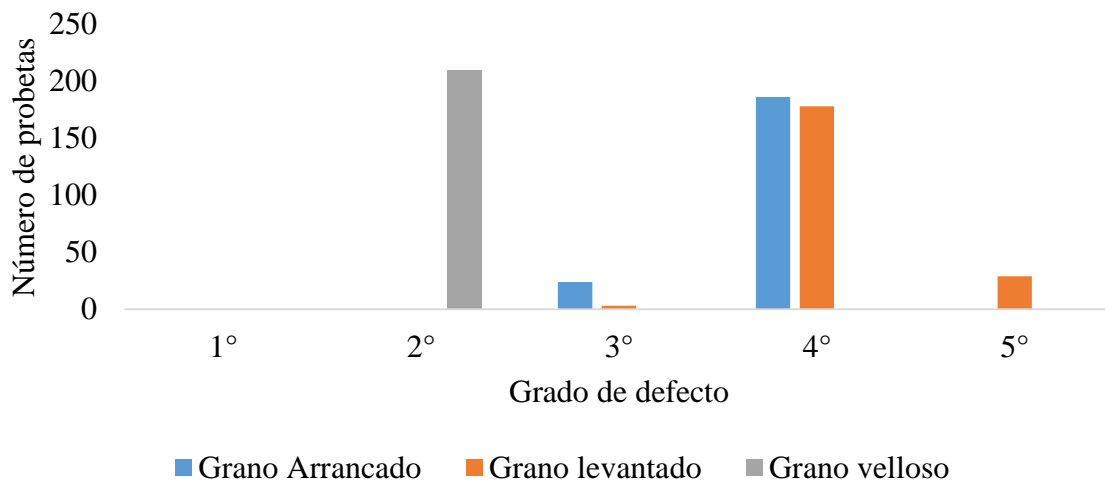
1°: Grado 1. 2°: Grado 2. 3°: Grado 3. 4°: Grado 4. 5°: Grado 5.

Ilustración 20. Defectos del ensayo de moldurado.

Candelaria y Cueto (1996) determinaron para *Fraxinus udhei* una calificación excelente, Grado 1, quien utilizó los mismos parámetros de calificación, caso contrario con Navarro y Tapiaza, (2016) que obtuvieron valores entre Grado 3 y 4 para *Alnus acuminata*, *Schinus molle* y *Polylepis incana* con una fresadora de menor rpm (500 y 1350), en base a esto se puede indicar que la velocidad a la que trabaja la maquinaria influye directamente en la aparición de defectos, a pesar de ser maderas de densidades que se encuentran en el mismo tipo de densidad, presentan comportamiento muy homogéneos.

4.3.4 Taladrado

Con un taladro manual y una broca de medida ¼ pulgada, en el orificio de entrada y salida presenta una mayor incidencia Grado 4 en grano arrancado y levantado, mientras que para el grano vellosos el Grado 2 en la entrada y salida (Ver anexo 12A)



1°: Grado 1. 2°: Grado 2. 3°: Grado 3. 4°: Grado 4. 5°: Grado 5.

Ilustración 21. Defectos del ensayo de taladrado

Para *Fraxinus udhei*, Candelaria y Cueto (1996) determinaron una calificación excelente, Grado 1, la diferencia se debe al instrumento utilizado, ya que un taladro fijo brinda un soporte estable y genera menor movimiento y defectos al momento de ejecutar el ensayo, tanto en la entrada como en la salida de la broca, de la misma manera.

4.3.5 Torneado

Se utilizó un torno industrial y tres fierros, dos tipos de gubias, una delgada (1cm), una gruesa (3cm) y una zigzag (1cm), en el cual se evidencia un comportamiento de excelente a bueno, y en un pequeño porcentaje regular (Ver anexo 13A).

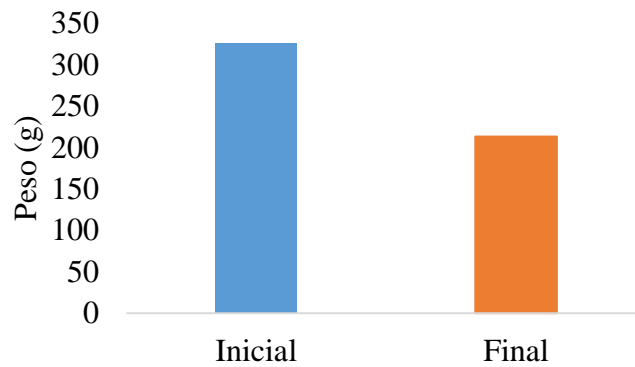
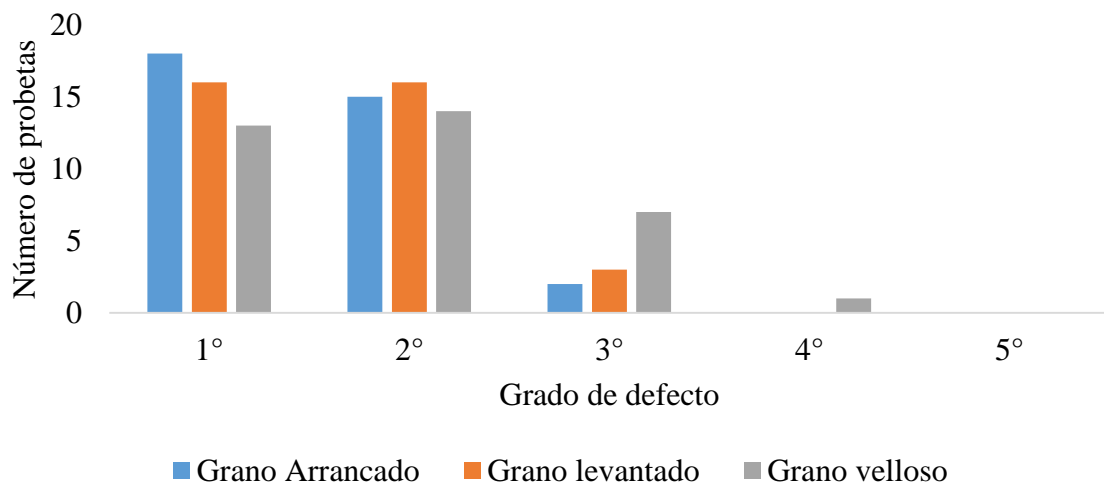


Ilustración 22. Diferencia de peso de probetas

La pérdida de peso de las probetas, va directamente relacionado con la forma que se le dio a cada una, cabe mencionar que ninguna tuvo una forma similar.



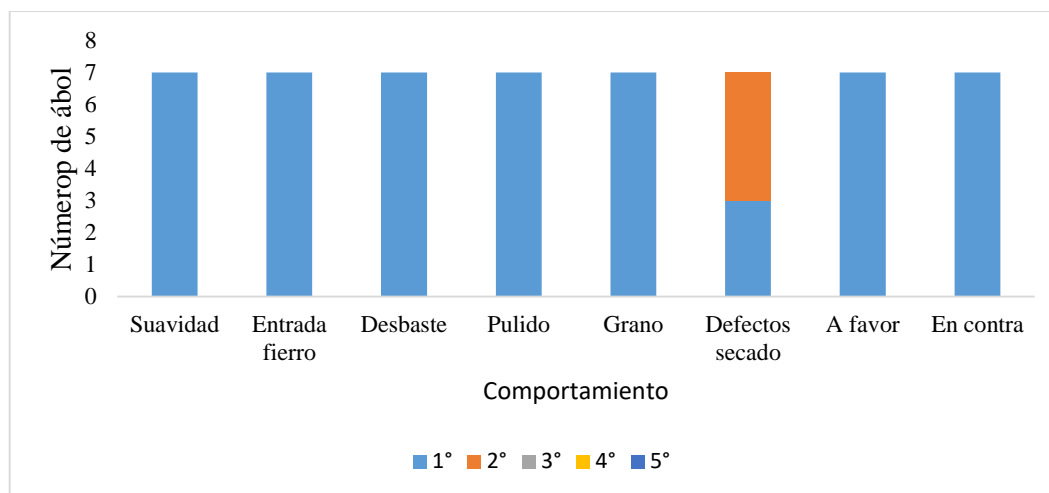
1°: Grado 1. 2°: Grado 2. 3°: Grado 3. 4°: Grado 4. 5°: Grado 5.

Ilustración 23. Defectos de ensayo de torneado

Presenta un comportamiento excelente, ya que el defecto que más importancia tiene al momento de realizar un trabajo de torneado es el grano arrancado, ya que no se lo puede corregir con tanta facilidad; caso contrario con el grano vellosa o levantado, que se los puede eliminar con una lija de porosidad fina.

4.3.6 Tallado

Se lo realizó en piezas de 44×24×4 cm, en un taller artesanal en la parroquia de San Antonio de Ibarra, por un artesano de aproximadamente 40 años de experiencia, en el que se evaluó las piezas en base a ocho clases de defectos (Ver anexo 14A).



1°: Grado 1. 2°: Grado 2. 3°: Grado 3. 4°: Grado 4. 5°: Grado 5.

Ilustración 24. Defectos del ensayo de tallado

Los resultados indican que los siete árboles presentaron excelente comportamiento al momento de la ejecución del ensayo, en el que únicamente tuvo dificultades en los defectos del secado (grietas y torceduras); bajo la experiencia del maestro tallador-escultor se puede indicar que la madera es muy recomendable para realizar todo tipo de tallados, esculturas y mueblería; además indicó que al ser una madera de mediana densidad y porosidad fina, el costo en los acabados de los productos es menor, a comparación de otros tipos de maderas comúnmente utilizadas por el artesano como: *Cedrelinga cateniformis*, *Dacryodes olivifera*, *Cordia alliodora*, *Alnus acuminata*, *Alnus nephalensis*, *Pinus patula* y *Cupresus macrocarpa*.



Ilustración 25. Proceso del ensayo de tallado en Fresno

Como se puede apreciar en la Ilustración 25, el comportamiento de la madera de esta especie frente a los distintos procesos que inciden en el tallado, generan una visión global de la amplia gama de procesos a los que se le podría someter esta madera.

4.4 Usos probables

La determinación de los posibles usos se realizó en función de la comparación de los usos de las especies que poseen propiedades similares a la especie de estudio.

Tabla 19*Usos de especies de densidad tipo "C"*

| País | Autor | Especie | DB gr/cm³ | Usos |
|-------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---|
| Perú | Veintemilla y Darling (2014) | <i>Dacryodes peruviana</i> | 0,43 | Construcción de viviendas locales |
| Colombia | Triana <i>et al.</i> (2008) | <i>Brosimum rubescens</i> | 0,54 | Muebles finos, lineales o torneados, chapas decorativas, accesorios de hogar y carpintería en general. Pulpa papel, artesanías, juguetes e instrumentos musicales, mangos para herramientas, muebles finos, artículos deportivos y torneados, decoración de interiores |
| México | Urias (1996) | <i>Fraxinus udhei</i> | 0,6 | Bates de béisbol, raquetas de tenis, artesanías, utensilios, muebles, construcción, pisos, puntales de mina, hormas de zapatos, chapa. |
| México | Candelaria y Cueto (1996) | <i>Fraxinus udhei</i> | 0,53 | Carpintería en general, accesorios de interior para hogar, mango de herramientas, artesanías en general, muebles en general, utensillos de cocina. |
| Ecuador | Ruíz (2019) | <i>Fraxinus americana</i> | 0,51 | herramientas, artesanías en general, muebles en general, utensillos de cocina. |

DB: Densidad básica

En función de los ensayos propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad, se determina que es una madera de densidad media, con un comportamiento óptimo frente a sus transformación, a la cual se la puede utilizar en la elaboración de: carpintería en general, laminado contrachapado, chapas decorativas, tablero de partícula, durmientes, postes cortos, mango herramientas, juguetería, hormas para zapatos, artesanías en general, escultura, tallado, muebles lineales y clásicos, torneado, utensillos de cocina, y como material combustible.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La madera de *Fraxinus americana* L. se clasifica como madera media tipo “C”, con una estabilidad baja en lo que respecta a sus contracciones según sus caras tangencial y radial, con contenido de humedad relativamente medio.
- La madera presenta un comportamiento aceptable frente al esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra.
- En base a los ensayos de trabajabilidad, propiedades físicas y mecánicas la madera se la puede utilizar en la fabricación de todo tipo de mueblería, carpintería en general, utensillos de cocina, accesorios de hogar y mangos de herramientas.

5.2 Recomendaciones

- Realizar estudios similares con árboles de menor edad (de 12 a 15 años).
- Complementar los estudios de las propiedades mecánicas, con los ensayos de tracción, torsión, extracción de clavos y dureza.
- Promover el uso de la madera de esta especie a través de la difusión de la experiencia adquirida por el artesano tallador en la parroquia de San Antonio de Ibarra.
- Realizar estudios tecnológicos complementarios en lo que respecta a durabilidad natural, secado, preservación y propiedades químicas de la madera, para complementar así el conocimiento de esta especie.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, J., & Guzowski, E. (2011). *Madera, materiales y materia prima*.
- Alvarado, C., Darwin, J., & Granda Castillo, R. I. (2016). *Determinación de la madera más óptima comercializada en la ciudad de Riobamba, obteniendo sus propiedades físicas y mecánicas para la aplicación de la Norma NEC-SE-MD para diseño de elementos estructurales*. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo, 2016.,
- Aróstegui, A., & Sato, A. (1970). *Estudio de las propiedades Físico-Mecánicas de la Madera de 16 Especies Forestales del Perú*. *Revista Forestal del Perú*, 4(1-2).
- ASTM. (1992). "Standard methods of testing small clear specimens of timber". *Book of ASTM Standard D 143 Vol. 04 09*. Wood American Society for Testing and Materials. Philadelphia, PA, USA. pp. 37-38. (**1666-87**). In.
- Baradit, E., Niemz, P., & Fernández-Pérez, A. (2013). *Propiedades físico-mecánicas de algunas maderas nativas chilenas coníferas y latifoliadas por ultrasonido*. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 15(2), 235-244.
- Benetti, F. (2015). *Estudio de la durabilidad natural y de las propiedades tecnológicas de la madera de Ligustrum lucidum WT Aiton*. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales,
- Canchari Huaytalla, Y. (2017). *Influencia de contenedores y sustratos en la propagación de cedro (Cedrela lilloi) y fresno (Fraxinus americana), en Ayacucho a 2792 msnm*.
- Candelaria, V. R. O., & Cueto, E. M. P. (1996). *Características de maquinado de 32 especies de madera*. *Madera y Bosques*, 2(1), 45-61.
- Castañeda, J. B. (2013). *Estudio de propiedades físico mecánicas (corte y flexión) de la especie de madera tropical teca (tectona grandis) en el sistema de laminado pegado estructural*. Universidad Nacional de Colombia.
- Cisternas, P. (1994). *Conversión de densidades de la madera*. *Ciencia e investigación forestal*, 8(2), 300-315.

- Asamblea Nacional. (2017). Código Orgánico Ambiental. Quito.
- Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Montecristi.
- COPANT. (1972). *Comisión Panamericana de Normas Técnicas*.
- Cueto, E. & Castillo, J. (1996). *Características de cepillado y lijado de 33 especies de madera*. *Madera y Bosques*, 2(2), 11-27.
- Dudek, J., & Werner, T. (1978). New parameters of the deformed Woods-Saxon potential for A= 110-210 nuclei. *Journal of Physics G: Nuclear Physics*, 4(10), 1543.
- Díaz, P. (2005). Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes. *Talca: Universidad de Talca*.
- Edward, F., Watso, G., & Watso, D. (1993). *Fraxinus americana*.
- Goche Télles, J, Velázquez, A., Borja, A., Capulín, J., & Palacios, C. (2011). *Variación radial de la densidad básica en Pinus patula Schltl. et Cham. de tres localidades en Hidalgo*. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(7), 71-78.
- González, T. (1976). *Propiedades de la madera de algunas meliáceas de la América tropical*. Turrialba, San José, 3, 8-13.
- INEN. (2011). Instituto Ecuatoriano de Normalización (1158, 1159, 1160, 1161, 1162, 1164). Quito.
- Iowa-University. (2019). *White Ash Fraxinus americana L.* Retrieved from https://www.extension.iastate.edu/forestry/iowa_trees/trees/white_ash.html
- Martínez, J., Simbaña, S., & Carlos, J. (2009). *Propiedades físico-mecánicas del eucalipto y aplicación al diseño estructural de una vivienda parte de una granja integral, ubicada en el IASA I. Sangolquí. ESPE*,
- Mediavilla, F. (2016). *Propiedades físicas, químicas y de trabajabilidad de la madera de alnus nepalensis d. don en Intag, zona Andina del Ecuador*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra

- Medina, J. (2003). *Estudio de maquinado de la madera de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden y Eucalyptus urophylla ST Blake, de una plantación forestal comercial de 7 años.*
- Minga, & Verdugo. (2016). *Árboles y arbustos de los ríos de Cuenca Azuay-Ecuador.*
- Moya, R., Muñoz, F., Salas, C., Berrocal, A., Leandro, L., & Esquivel, E. (2010). *Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas.* Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 7(18-19), ág. 1-208.
- Navarro, J., & Trillo, W. (2016). *Influencia de la estructura anatómica sobre los ensayos de moldurado, taladrado, torneado de tres especies forestales—del Valle del Mantaro.*
- Pazos, G., & Sotelo, R. (1999). *Importancia de la lignina en las contracciones de la madera: revisión bibliográfica.* Madera y Bosques, 5(1), 13-26.
- Pérez, N., Valenzuela, L., Díaz, J., & Ananías, R. (2011). *Predicción del contenido de humedad de equilibrio de la madera en función del peso específico de la pared celular y variables ambientales.*
- Perez, P., Pulido, J., Jerz, D., Valero, S., Puentes, S. y Nieto, R. (2005). *Utilización de la madera de ramas de Fraxinus americana (fresno) en la fabricación de tableros de partículas.* Theoría 14(2), 57-64.
- Schlesinger, R. C. (1990). *Fraxinus americana L. White ash.* Silvics of North America, 2(654), 333.
- Seco, J.. (2003). *Manual de clasificación de madera: AITIM.*
- SENPLADES. (2017). *Plan Nacional de Ddesarrollo 2017-2021.* Quito.
- Sotelo Narváez, E. P. (2016). *Propiedades físicas, químicas y de trabajabilidad de carapa amorphocarpa w. palacios, en el Noroccidente del Ecuador.* Universidad Técnica del Norte, Ibarra.
- Spavento, E., Keil, G., Murace, M., Lujan, M., & Bertoli, B. (2008). *Usos potenciales de la madera de roble europeo y fresno americano cultivados en la provincia de Buenos Aires, Argentina.*

- Spavento, E., María, E., Keil, F. M. S., & Darío, G. (2008). *Propiedades mecánicas de la madera*. Curso de Xilotecnología. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.
- Tirira, S. (2013). *Identificación de usos probables de Pinus patula Schlect. et Cham. Con base en la determinación de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la madera en Iltaquí-Cotacachi-Imbabura*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.
- Triana, M., Roso, G., & Posso, P. (2008). *Estudio De Las Propiedades Mecánicas De La Madera De Palosangre (Brosimum rubescens Taub.), procedencia: leticia, amazonas*. Colombia forestal, 11, 149-164.
- Urias, J. C. T. (1996). *Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas*. Madera y Bosques, 2(2), 29-41.
- USDA. (2019). *White Ash Fraxinus americana L. (NRCS)*.
- Veintemilla, M., & Darling, W. (2014). *Determinación de las características anatómicas y propiedades físicas de la madera de las especies erisma uncinatum warm y dacryodes peruviana (loes.) hj lam proveniente de la provincia de Tambopata-Madre de Dios*.
- Villaseñor, J., & Sotomayor, J. (2015). *Caracterización dinámica de la madera de Fraxinus americana y Fraxinus uhdei*. Revista de Aplicación Científica y Técnica, 1(1), 43-53.
- Vizcarra, S. (1998). *Guía para el Secado de la Madera en Horno. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOP*. Documento Técnico. Santa Cruz, Bolivia. 64p.
- Vázquez, O., Zamora, E., García, E., & Ramírez, J.. (2015). *Densidad básica de la madera de dos pinos y su relación con propiedades edáficas*. Madera y bosques, 21(1), 129-138.
- Wallander, E. (2001). *Evolution of wind-pollination in Fraxinus (Oleaceae)*. PhD diss. Göteborg University.

ANEXOS

Anexo A: Tablas

Propiedades físicas

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

| Contenido de Humedad | |
|------------------------------|----------|
| Estimador estadístico | % |
| Media | 65,38 |
| Suma | 457,66 |
| Desviación estándar | 2,75 |
| Error estándar | 1,04 |
| CV | 4,21 |

Anexo 2A. Estadística descriptiva de ensayo de densidad.

| Estimador estadístico | Densidad | | | |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Verde | En equilibrio | Anhidro | Básica |
| | gr/cm³ | gr/cm³ | gr/cm³ | gr/cm³ |
| Media | 0,84 | 0,64 | 0,58 | 0,51 |
| Suma | 5,88 | 4,45 | 4,03 | 3,56 |
| Desviación estándar | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Error estándar | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CV | 1,47 | 1,13 | 1,76 | 1,69 |

Anexo 3A. Estadística descriptiva de ensayo de contracción.

| Estimador estadístico | Contracción % | | | | | | Volumé trica Total | Relació n T/R |
|------------------------------|----------------------|--------------|---------------|--------------|-------------------|--------------|-----------------------------------|------------------------------|
| | Longitudinal | | Radial | | Tangencial | | | |
| | Normal | Total | Normal | Total | Normal | Total | | |
| Media | 0,04 | 0,07 | 2,14 | 3,71 | 4,46 | 8,21 | 11,62 | 2,28 |
| Suma | 0,30 | 0,50 | 14,96 | 25,98 | 31,19 | 57,46 | 81,32 | 15,94 |
| Desviación estándar | 0,05 | 0,04 | 0,10 | 0,18 | 0,47 | 0,39 | 0,44 | 0,17 |
| Error estándar | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,07 | 0,18 | 0,15 | 0,17 | 0,07 |
| CV | 111,85 | 57,74 | 4,65 | 4,98 | 10,54 | 4,78 | 3,77 | 7,55 |

Propiedades mecánicas

Anexo 4A. Estadística descriptiva de ensayo de cizallamiento.

| Cizallamiento | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Estimadores estadísticos | EM (kgf/cm²) |
| Media | 64,50 |
| Suma | 451,53 |
| Desviación estándar | 1,08 |
| Error estándar | 0,41 |
| CV | 1,68 |

Anexo 5A. Estadística descriptiva de ensayo de compresión paralela.

| Compresión paralela | |
|------------------------------|----------------------------------|
| Estimador estadístico | EFLP (kgf/cm²) |
| Media | 247,31 |
| Suma | 1731,17 |
| Desviación estándar | 14,21 |
| Error estándar | 5,37 |
| CV | 5,75 |

Anexo 6A. Estadística descriptiva de ensayo de compresión perpendicular.

| Compresión paralela | |
|------------------------------|----------------------------------|
| Estimador estadístico | EFLP (kgf/cm²) |
| Media | 315,99 |
| Suma | 2211,96 |
| Desviación estándar | 86,49 |
| Error estándar | 32,69 |
| CV | 27,37 |

Anexo 7A. Estadística descriptiva de ensayo de flexión estática

| Flexión estática | | | | |
|------------------------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Estimador estadístico | EULP | EFLP | MOR | MOE |
| Media | 516,74 | 37,45 | 536,26 | 10815,29 |
| Suma | 3617,19 | 262,12 | 3753,85 | 75707,06 |
| Desviación estándar | 12,68 | 0,92 | 62,49 | 265,31 |
| Error estándar | 4,79 | 0,35 | 23,62 | 100,28 |
| CV | 2,45 | 2,45 | 11,65 | 2,45 |

Propiedades de trabajabilidad

Anexo 8A. Resultados generales de ensayo de cepillado

| Defectos | Cepillado | | | | |
|-----------------|------------|------------|----------|----------|----------|
| | Grado 1 | Grado 2 | Grado 3 | Grado 4 | Grado 5 |
| Grano Arrancado | 146 | 63 | 2 | 0 | 0 |
| Grano levantado | 130 | 78 | 2 | 0 | 0 |
| Grano velloso | 127 | 79 | 4 | 0 | 0 |
| Total | 403 | 220 | 8 | 0 | 0 |

Anexo 9A. Resultados generales de ensayo de lijado (#100)

| Defectos | Lijado (#100) | | | | |
|-----------------|---------------|----------|----------|----------|----------|
| | Grado 1 | Grado 2 | Grado 3 | Grado 4 | Grado 5 |
| Grano Arrancado | 210 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Grano levantado | 210 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Grano velloso | 210 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 630 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Anexo 10A. Resultados generales de ensayo de lijado (#60)

| Defectos | Lijado (#60) | | | | |
|-----------------|--------------|------------|----------|----------|----------|
| | Grado 1 | Grado 2 | Grado 3 | Grado 4 | Grado 5 |
| Grano Arrancado | 210 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Grano levantado | 210 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Grano velloso | 105 | 105 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 525 | 105 | 0 | 0 | 0 |

Anexo 11A. Resultados generales de ensayo de moldurado

| Defectos | Moldurado | | | | |
|-----------------|------------|------------|----------|----------|----------|
| | Grado 1 | Grado 2 | Grado 3 | Grado 4 | Grado 5 |
| Grano Arrancado | 173 | 38 | 0 | 0 | 0 |
| Grano levantado | 194 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| Grano velloso | 83 | 128 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 450 | 182 | 0 | 0 | 0 |

Anexo 12A. Resultados generales de ensayo de taladrado

| Defectos | Taladrado | | | | |
|-----------------|--------------|------------|-----------|------------|-----------|
| | Calificación | | | | |
| | Grado 1 | Grado 2 | Grado 3 | Grado 4 | Grado 5 |
| Grano Arrancado | 0 | 0 | 24 | 186 | 0 |
| Grano levantado | 0 | 0 | 3 | 178 | 29 |
| Grano velloso | 0 | 210 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 0 | 210 | 27 | 364 | 29 |

Anexo 13A. Resultados generales de ensayo de torneado

| Defectos | Torneado | | | | |
|-----------------|--------------|-----------|-----------|----------|----------|
| | Calificación | | | | |
| | Grado 1 | Grado 2 | Grado 3 | Grado 4 | Grado 5 |
| Grano Arrancado | 18 | 15 | 2 | 0 | 0 |
| Grano levantado | 16 | 16 | 3 | 0 | 0 |
| Grano velloso | 13 | 14 | 7 | 1 | 0 |
| Total | 47 | 45 | 12 | 1 | 0 |

Anexo 14A. Resultados generales de ensayo de tallado

| Comportamiento | Tallado | | | | |
|-----------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| | Defectos | | | | |
| | Grado 1 | Grado 2 | Grado 3 | Grado 4 | Grado 5 |
| Suavidad madera | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Entrada fierro | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Desbaste | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pulido | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Grano | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Defectos secado | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| A favor | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| En contra | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 52 | 4 | 0 | 0 | 0 |

Anexo B: Fotografías

B1. Sitio y obtención del material



Plantación de *Fraxinus americana* L.



Troceado



Escuadrado de bloques



Codificación de bloques



Embalado de bloques



Apilado de bloques

B2. Propiedades físicas



Bloque embalado de *Fraxinus americana* L.



Transformación de bloque a probetas



Codificación de probetas



Toma de datos de peso

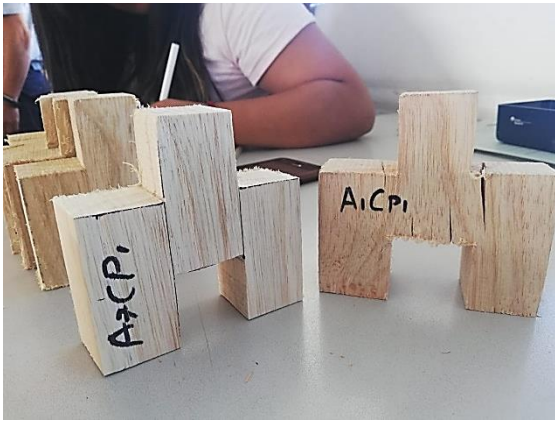


Secado al aire libre



Secado al horno (anhidro)

B3. Propiedades mecánicas



Probetas para ensayo de cizallamiento



Ensayo de cizallamiento



Probetas para ensayos de compresión



Ensayo de compresión paralela a la fibra



Ensayo de compresión perpendicular a la fibra



Ensayo de flexión estática

B4. Propiedades de trabajabilidad



Probetas para todos los ensayos



Ensayo de cepillado



Ensayo de moldurado



Ensayo de lijado



Ensayo de taladrado



Ensayo de torneado



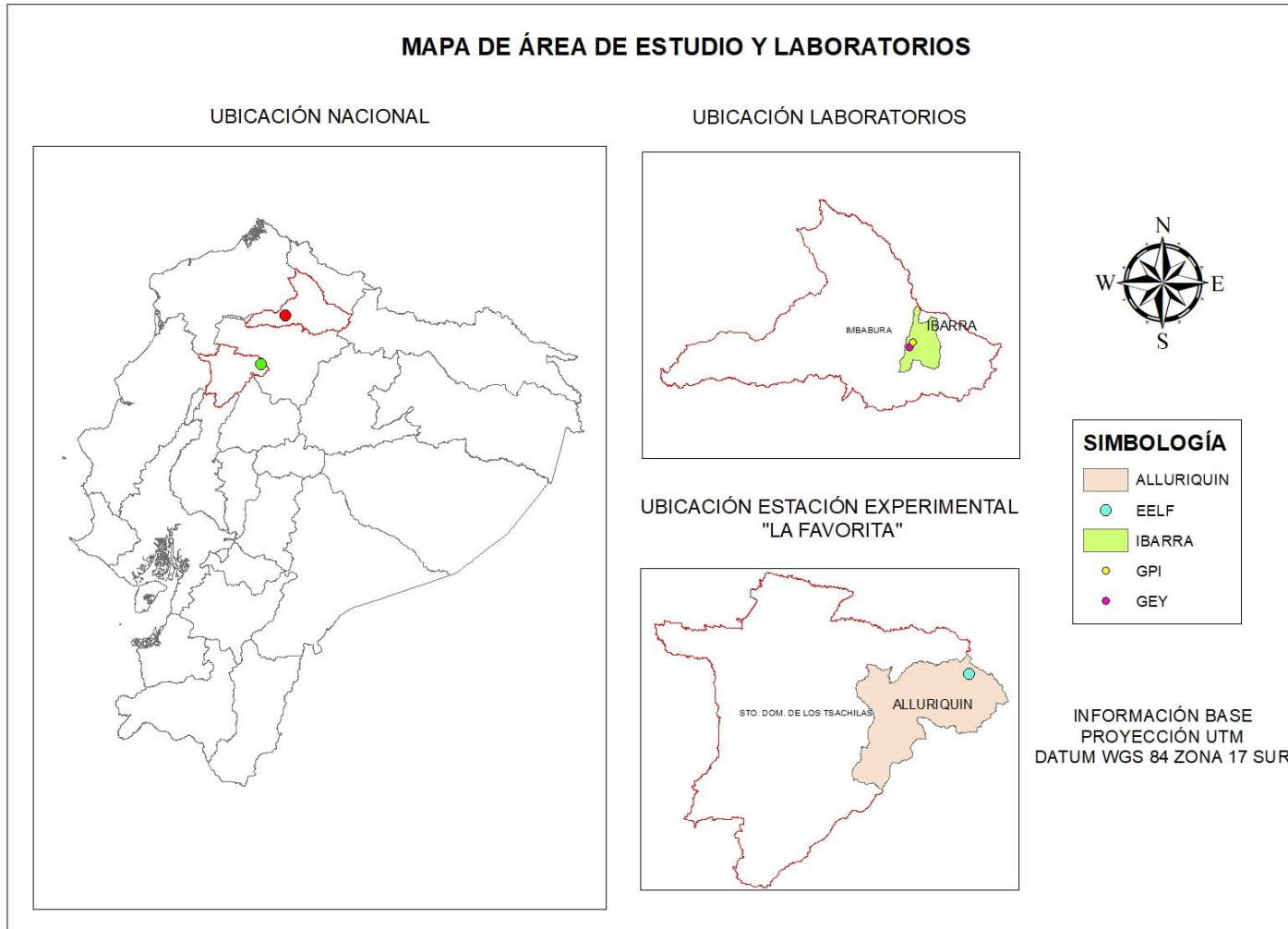
Piezas para ensayo de tallado



Procesos de ensayo de tallado

Anexo C: Mapa

Anexo 1C. Mapa de ubicación.



EELF: Estación experimental “La Favorita”; GPI: Gobierno Provincial de Imbabura; GEY: Granja experimental Yuyucocha