



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, MECÀNICAS Y TRABAJABILIDAD DE
Eucalyptus grandis Hill ex Maiden PROCEDENTE DE LA ESTACIÒN
EXPERIMENTAL LA FAVORITA, SANTO DOMINGO DE LOS
TSACHILAS**

AUTOR

Jhon Jairo Bustos Bolaños

DIRECTOR

Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro. MsC.

IBARRA – ECUADOR

2020

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

**PROPIEDADES FÍSICAS, MECANICAS Y TRABAJABILIDAD DE *Eucalyptus grandis*
Hill ex Maiden PROCEDENTE DE LA ESTACION EXPERIMENTAL LA FAVORITA,
SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS**

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. MsC

Director de trabajo de titulación



Ing. José Raúl Guzmán Paz. MsC

Tribunal de trabajo de titulación



Ing. Daniel David Sono Toledo, MSc.

Tribunal de trabajo de titulación



Ibarra – Ecuador

2020

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 | 040145882-3 | |
| NOMBRES Y | Jhon Jairo Bustos Bolaños | |
| DIRECCIÓN: | Av. Hernán Gonzales de Saa 14-13 | |
| EMAIL: | jhon16jairo@gmail.com | |
| TELÉFONO FIJO: | TELÉFONO | 0969655681 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|----------------------------------|--|
| TÍTULO: | PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y TRABAJABILIDAD DE <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden PROCEDENTE DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA FAVORITA, SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS |
| AUTOR: | Jhon Jairo Bustos Bolaños |
| FECHA: | 07-01-2020 |
| SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN | |
| PROGRAMA: | PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/> |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA: | Ingeniero Forestal |
| DIRECTOR: | Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro. MSc |

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:



Jhon Jairo Bustos Bolaños

C.C.: 040145882-3



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **Jhon Jairo Bustos Bolaños**, con cédula de identidad Nro. **040145882-3**; manifiesto la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de titulación denominado **PROPIEDADES FÍSICAS, MECANICAS Y TRABAJABILIDAD DE *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden PROCEDENTE DE LA ESTACION EXPERIMENTAL LA FAVORITA, SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS**, que ha sido desarrollada 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 autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....
Jhon Jairo Bustos Bolaños

C.C.: 040145882-3

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

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA- UTN

Fecha: 07 de enero de 2020

Jhon Jairo Bustos Bolaños **PROPIEDADES FÍSICAS, MECANICAS Y TRABAJABILIDAD DE *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden PROCEDENTE DE LA ESTACION EXPERIMENTAL LA FAVORITA, SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS;** Trabajo de titulación. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte, Carrera Ingeniería Forestal. Ibarra, 2020

DIRECTOR: Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro. MsC

El objetivo de la presente investigación fue: Determinar las propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad de *Eucalyptus grandis*, (Eucalipto), procedente de la “Estación Experimental la Favorita”.

Fecha: 07 de enero de 2020



Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro. MsC

Director de trabajo de titulación



Jhon Jairo Bustos Bolaños

Autor

Guía: FICAYA-

Fecha: 07 de ene

Ion Jairo B

TRABAJABIL

STACIÓN EX

SACHILAS; T

Carrera Ingenier

DIRECTOR: In

l objetivo de

ecánicas y de

Estación Experi

Fecha: 07 de ene

DEDICATORIA

Sin duda alguna realizar una dedicatoria no es fácil, pero en esta ocasión especial cuando el sentimiento aflora y las palabras fluyen quiero dedicar esta investigación a:

Mi familia quienes siempre me han apoyado en los momentos importantes, con altos y bajos, con tristezas y alegrías.

A mis hermanos Fer y Julia como les digo de cariño por sus ocurrencias, a mi padre del cual un consejo nunca faltó, su apoyo y buenos agurios.

En especial, a mi madre quien ha estado conmigo en todo momento, y nunca dudo de mí y supo cómo animarme q pesar de las discusiones y conflictos entre nosotros fue comprensiva y amorosa conmigo sin importar la situación me demostró muchas veces ganas de salir adelante y ser mejores me enseñó que el esfuerzo y sacrificio que hagas de corazón siempre será recompensado tarde o temprano.

A una mujer que llegó a mi vida de sorpresa, con su cariño, paciencia y apoyo incondicional me acompañó, soportándome en días buenos y malos estando a mi lado en victorias y en derrotas, haciéndome sonreír en el transcurso de estos años enseñándome que el amor, la complicidad, el cariño y la confianza son posibles y reales a ti Jacqui.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente:

A Dios y a la vida que me puso en el lugar y momento adecuado, para cumplir una meta y un sueño más; a mis padres por el apoyo que me brindaron en el transcurso de mi vida universitaria, por todos y cada uno de los esfuerzos para que este día llegara.

Quiero agradecer a mi director y asesores por las correcciones y sugerencias realizadas en el transcurso de la investigación, ya que cada una de ellas aportó al correcto desarrollo de este trabajo.

Doy gracias a mi carrera la “Carrera de Ingeniería Forestal”, a la cual estoy sumamente orgulloso de pertenecer, a sus docentes, que más que docentes se convirtieron en amigos y colegas, a mis compañeros con los cuales se vivieron un sinnúmero de anécdotas e historias, las cuales recordare por siempre, a quienes me acompañaron desinteresadamente y con el mejor ánimo al proceso de tumba y extracción infinitamente agradecido: a Don Ramón, Jonathan, Edison, Daniela, Willy, Juan Pablo, María, Jacqui por su gran apoyo.

A mis amigos los cuales entre risas y bromas siempre apoyaron en estos años y a quienes de una u otra manera colaboraron en este trabajo aquí presentado.

Al Ministerio del Ambiente Imbabura, en especial a los Ingenieros Manuel Rosero y Bolívar Montenegro, los cuales colaboraron en todo el proceso legal referente a la madera, al Instituto de Artes Plásticas Daniel Reyes.

Y un agradecimiento muy especial y sentido a la Ingeniera María Vizcaíno, la cual desde que ingrese a la universidad me dio su confianza, siendo amiga y docente, agradezco también a su familia por la acogida brindada ya que siempre estuvieron dispuestos a ayudar en cualquier situación de todo corazón y sin esperar recompensa ¡mil gracias!

Sin más que decir:

¡GRACIAS TOTALES!

ÌNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2.1. OBJETIVOS..... | 2 |
| 2.1.1. General..... | 2 |
| 2.1.2. Específicos | 2 |
| 2.2. PREGUNTA DIRECTRICES | 2 |
| CAPÍTULO II | 3 |
| MARCO TEÓRICO..... | 3 |
| 2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL..... | 3 |
| 2.3.1. Constitución de la República del Ecuador | 3 |
| 2.3.2. Plan Nacional de desarrollo..... | 4 |
| 2.3.3. COA (Código Ambiental) | 4 |
| 2.4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA | 5 |
| 2.4.1. Propiedades de la madera | 5 |
| 2.4.2. Propiedades Físicas | 5 |
| 2.4.2.1. Contenido de humedad..... | 5 |
| 2.4.2.2. Peso específico | 6 |
| 2.4.2.3. Densidad..... | 7 |
| 2.4.2.4. Contracción | 8 |
| 2.4.3. Propiedades Mecánicas de la Madera..... | 8 |
| 2.4.3.1. Flexión Estática | 9 |
| 2.4.3.2. Esfuerzo de las fibras al límite proporcional | 10 |
| 2.4.3.3. Módulo de Ruptura (M.O.R)..... | 10 |
| 2.4.3.4. Módulo de Elasticidad (M.O.E) | 10 |
| 2.4.3.5. Compresión Paralela..... | 10 |
| 2.4.3.6. Compresión Perpendicular | 11 |
| 2.4.3.7. Dureza | 11 |
| 2.4.4. Propiedades de trabajabilidad | 12 |
| 2.4.4.1. Cepillado | 12 |
| 2.4.4.2. Lijado | 13 |
| 2.4.4.3. Moldurado | 13 |
| 2.4.4.4. Taladrado..... | 13 |
| 2.4.4.5. Torneado..... | 14 |
| 2.4.5. Características de Eucalyptus grandis | 15 |

| | |
|---|----|
| 2.4.5.1. Hábitat y distribución | 15 |
| 2.4.5.2. Descripción botánica | 16 |
| 2.4.5.3. Descripción de la madera | 16 |
| 2.4.5.4. Usos | 17 |
| CAPITULO III | 18 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 18 |
| 3.1. UBICACIÓN DEL SITIO | 18 |
| 3.1.1. Fase de campo..... | 18 |
| 3.1.2. Fase de laboratorio..... | 18 |
| 3.2. MATERIALES E INSUMOS | 19 |
| 3.3. METODOLOGÍA | 19 |
| 3.3.1. Sitio y obtención de material..... | 19 |
| 3.3.1.1. Selección de árboles | 19 |
| 3.3.1.2. Tumba y extracción de bloques..... | 19 |
| 3.3.1.3. Embalaje y Traslado..... | 20 |
| 3.3.1.4. Transporte..... | 20 |
| 3.3.2. Obtención del material experimental..... | 20 |
| 3.3.3. Determinación de las propiedades físicas..... | 20 |
| 3.3.3.1. Contenido de humedad..... | 21 |
| 3.3.3.2. Procedimiento..... | 21 |
| 3.3.3.3. Densidad..... | 22 |
| 3.3.3.4. Procedimiento..... | 22 |
| 3.3.2.1. Dimensión longitudinal | 25 |
| 3.3.2.2. Dimensión radial | 26 |
| 3.3.2.3. Dimensión tangencial | 26 |
| 3.3.2.4. Contracción Volumétrica total | 27 |
| 3.3.2.5. Relación tangencial radial | 28 |
| 3.3.3. Propiedades Mecánicas de la Madera..... | 28 |
| 3.3.3.1. Flexión Estática | 29 |
| 2.4.5.5. Módulo de Ruptura (M.O.R)..... | 30 |
| 3.3.3.2. Compresión | 31 |
| 3.3.3.3. Cizallamiento..... | 32 |
| 3.3.4. Determinación de las propiedades de trabajabilidad | 32 |
| 3.3.5. Evaluación de la severidad del defecto | 33 |
| 3.3.5.1. Cepillado | 35 |
| 3.3.5.2. Lijado | 37 |

| | |
|--|----|
| 3.3.5.3. Moldurado | 38 |
| 3.3.5.4. Taladrado..... | 39 |
| 3.3.5.5. Torneado..... | 39 |
| 3.3.5.6. Tallado..... | 40 |
| CAPITULO IV | 41 |
| RESULTADOS Y DISCUSION..... | 41 |
| 4.1 PROPIEDADES FISICAS..... | 41 |
| 4.1.1 Contenido de humedad (CH%)..... | 41 |
| 4.1.2 Densidad | 43 |
| 4.1.3 Contracción..... | 45 |
| 4.2 PROPIEDADES MECÀNICAS..... | 46 |
| 4.2.1 Flexión Estática | 46 |
| 4.2.2 Compresión | 49 |
| 4.2.2.1 Compresión Paralela..... | 49 |
| 4.2.4.2 Compresión Perpendicular | 50 |
| 4.2.3 Cizallamiento | 52 |
| 4.3 PROPIEDADES DE TRABAJABILIDAD..... | 53 |
| 4.3.1 Cepillado..... | 53 |
| 4.3.1.1 Lija 60 | 54 |
| 4.3.1.2 Lija 100 | 55 |
| 4.3.2 Moldurado | 56 |
| 4.3.3 Taladrado..... | 57 |
| 4.3.4 Torneado | 58 |
| 4.3.5 Tallado | 59 |
| CAPITULO V | 62 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 62 |
| 5.1.CONCLUSIONES | 62 |
| 5.2. RECOMENDACIONES | 63 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 64 |
| ANEXOS..... | 67 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 de clasificación de madera según la densidad | 8 |
| Tabla 2 de materiales e insumos:..... | 19 |
| Tabla 3 de normas y propiedades | 20 |
| Tabla 4 de normas y propiedades | 21 |
| Tabla 5 de normas y propiedades | 29 |
| Tabla 6 de normas y propiedades | 33 |
| Tabla 7 _clasificación de acuerdo a la extensión del defecto..... | 34 |
| Tabla 8 _evaluación del defecto según el grado..... | 34 |

Índice de ilustraciones

| | |
|---|----|
| Ilustración 1: Probetas para propiedades físicas..... | 21 |
| Ilustración 2: Tipos de corte según la orientación en el tronco..... | 35 |
| Ilustración 4: Cuchillas de cepilladora..... | 37 |
| Ilustración 5: Dimensión de probeta destinada a ensayos de lijado..... | 38 |
| Ilustración 6: Dimensión de probeta destinada a ensayos de moldurado..... | 38 |
| Ilustración 7: Curva de desorción..... | 42 |
| Ilustración 8: Diagrama de cajas y bigotes..... | 42 |
| Ilustración 9: grafica de densidades..... | 44 |
| Ilustración 10: Diagrama de contracción..... | 46 |
| Ilustración 11: Diagrama de esfuerzos EULP..... | 47 |
| Ilustración 12: Diagrama de esfuerzos..... | 48 |
| Ilustración 13: Diagrama de comprensión paralela..... | 50 |
| Ilustración 14: Diagrama de comprensión perpendicular..... | 51 |
| Ilustración 15: Diagrama de cizallamiento..... | 53 |
| Ilustración 16: grafico de barras ensayo de cepillado general..... | 54 |
| Ilustración 17: Diagrama de lijado lija 60..... | 55 |
| Ilustración 18: Diagrama de lijado lija 100..... | 56 |
| Ilustración 19: Diagrama de moldurado..... | 57 |
| Ilustración 20: Diagrama de taladrado..... | 58 |
| Ilustración 21: Diagrama de torneado..... | 59 |
| Ilustración 22: Defectos de tallado..... | 60 |

Índice de Ecuaciones

| | |
|--|----|
| Ec.1 Contenido de Humedad | 23 |
| Ec.2 Densidad verde | 24 |
| Ec.3 Densidad Seco al Aire | 24 |
| Ec.4 Densidad Anhidro | 25 |
| Ec.5 Densidad Basica | 25 |
| Ec.6 Dimension Longitudinal..... | 26 |
| Ec.7 Contracion Longitudinal Total | 26 |
| Ec.8 Dimension Radial..... | 27 |
| Ec.9 Contracion en Sentido Radial..... | 27 |
| Ec.10 Contraccion en Sentido Tangencial..... | 28 |
| Ec.11 Contraciòn Tangencial Total..... | 28 |
| Ec.12 Contracciòn Volumetrica | 29 |
| Ec.13 Relacion Tangencial Radial..... | 29 |
| Ec. 14 Esfuerzo de las Fibras al Limite Proporcional | 31 |
| Ec. 15 Esfuerzo Unitario al Limite Proporcional | 31 |
| Ec. 16 Modulo de Roptura (MOR)..... | 32 |
| Ec. 17 Modulo de Elasticidad (MOE) | 33 |
| Ec. 18 Esfuerzo Expresado en el Limite Proporcional..... | 33 |
| Ec. 19 Esfuerzo Maximo | 34 |
| Ec.20 Velocidad de Alimentaciòn | 38 |
| Ec.21 Ancho de Marca | 38 |

GLOSARIO DE TERMINOS

M.O.R: Modulo de Ruptura.

M.O.E: Modulo de elasticidad.

C.H: Contenido de Humedad.

Lyctus: genero de insectos que afecta a las mirtáceas especialmente a los eucaliptos.

D.B: Densidad básica.

EELF: Estación experimental la Favorita.

GPI: Gobierno Provincial de Imbabura.

INEN: Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización.

COPANT: Normalización técnica y evaluación de la conformidad de los países de las Américas y sus pares internacionales.

ASTM: Asociación Americana de Ensayo de Materiales.

E.U.L.P.: Esfuerzo Unitario al Limite Proporcional.

E.L.P.: Esfuerzo Limite Proporcional.

E.E.L.F: Estación Experimental La Favorita

PFS: punto de saturación de fibras.

PV: peso verde

PSA: peso seco al aire

TITULO: PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y TRABAJABILIDAD DE *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, PROCEDENTE DE LA ESTACION EXPERIMENTAL LA FAVORITA, SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS

Autor: Jhon Jairo Bustos Bolaños

Director de trabajo de titulación: Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro. MsC.

Año: 2020

RESUMEN

El *Eucalyptus grandis*, una especie introducida al país en los años 70's, con intención de brindar nuevas alternativas de consumo en el mercado maderero nacional y así satisfacer la demanda del mismo, se conoce la existencia de una plantación en La Estación Experimental "La Favorita", la cual fue producto de un ensayo de procedencias y ya posee una edad avanzada lo que ha provocado la caída de algunos individuos por tal motivo nace la presente investigación que tiene el fin de estudiar y evaluar las propiedades físicas mecánica y trabajabilidad de la misma, de acuerdo a las normas INEN, COPANT Y ASTM; las cuales dictan una serie de procesos para llegar un resultado. Por consiguiente, la madera de esta especie obtuvo los siguientes resultados respecto a cada uno de los ensayos realizados: físicos posee una densidad de con $0,53 \text{ g/cm}^3$, considerándose uno de los eucaliptos más suaves, aunque con un alto contenido de humeado de más del 100%, lo que provocó una serie de defectos en los procesos de secado tanto al aire y en seco anhidro, por el alto CH en la madera tuvo un periodo aproximado de secado de 45 días 30 al aire libre y 10 en el horno. En lo que concierne a las propiedades mecánicas se encontró que dicha madera posee un alto grado de resistencia y flexibilidad al someterla a una serie de esfuerzos con una prensa universal de 500MP, se logró obtener valores de 200 a 400 kg/f, resistencia muy alta en comparación a otras maderas con similar densidad. los ensayos de trabajabilidad en esta especie arrojaron resultados favorables en lo que a trabajo con maquinaria se refiere ya que en procesos tales como cepillado, moldurado, taladrado y lijado obtuvo el grado de 1 a 3 siendo resultados sobresalientes en este tipo de procesos, respecto al proceso de tallado la madera resultó ser demasiado dura para este pero no imposible de realizar ya que se pueden hacer trabajos como molduras, figuras articuladas y muebles en general por las características propias de la madera.

Palabras clave: *Eucalyptus grandis*, densidad, propiedades, físicas, mecánicas, trabajabilidad.

TITLE: PHYSICAL, MECHANICAL AND WORKABILITY PROPERTIES OF *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, FROM THE FAVORIT EXPERIMENTAL STATION, SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS

Author: Jhon Jairo Bustos Bolaños

Thesis Director: Carlos Ramiro Arcos Unigarro. MsC.

Year: 2020

ABSTRACT

The *Eucalyptus grandis*, a species introduced to the country in the 70's, with the intention of providing new alternatives for consumption in the national timber market and thus meeting its demand, the existence of a plantation in the "La Favorita", Experimental Station which was the product of a provenance trial and already has an advanced age, which has caused the fall of some individuals this research has the purpose of studying and evaluating the physical mechanical and workability properties of the same, according to the standards INEN, COPANT AND ASTM; which dictate a series of processes to arrive at a result. Therefore, the wood of this species obtained the following results with respect to each of the tests performed: physicist's whit a density of 0.53 g / cm³, being considered one of the softest eucalyptus, although with a high moisture content of more than 100%, which caused a series of defects in the drying processes both in air and dry anhydrous, due to the high CH in the wood had an approximate drying period of 45 days 30 outdoors and 10 in the oven. Regarding the mechanical properties, it was found that said wood has a high degree of resistance and flexibility when subjected to a series of efforts with a universal press of 500MP, it was possible to obtain values of 200 to 400 kg / f, very high resistance compared to other woods with similar density. The workability tests in this species showed favorable results in terms of working with machinery, since in processes such as brushing, molding, drilling and sanding, it obtained a grade of 1 to 3, regarding the wood carving process it turned out to be too hard for this but not impossible, demonstrating that work in moldings, articulated figures and furniture in general can be carried out due to the characteristics of the wood.

Key words: *Eucalyptus grandis*, , density, properties, physical, mechanical, workability

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El género *Eucalyptus*, originario de Australia y Oceanía, posee más de 1000 especies, a lo largo del tiempo este género se ha adaptado prácticamente a todas las partes del mundo; en su lugar de origen posee un desarrollo completamente diferente al que se ha demostrado en Sudamérica (Acosta Solis, 1949).

Brasil es una de las naciones que más ha invertido en trabajar con este género y como consecuencia se ha desarrollado una gran industria, recientemente se ha demostrado que este género posee una variedad de usos como la elaboración de muebles, pulpa papel e incluso vestido (Meskimen & Francis, 2000).

En Ecuador se realizó la introducción de *Eucalyptus glóbulos* Labil desde 1875, posteriormente en 1965, el entonces Departamento Forestal del Ministerio de Fomento, con la finalidad de incrementar el número de especies forestales para producción, importó 113 especies del género *Eucalyptus*; para el establecimiento de ensayos de introducción de especies de este género, en los que se estableció plantaciones de *E. grandis* Hill ex Maiden en la Estación Experimental la Favorita, propiedad de la Universidad Técnica del Norte (Aguirre & Vizcaíno, 2010).

Actualmente en el país *Eucalyptus grandis*, no es utilizado en la industria a diferencia de otras especies del mismo género, debido a que no se han realizado investigaciones tecnológicas de esta madera; cabe recalcar que esta especie puede ser una alternativa para uso industrial y artesanal.

Meneses (2016), recomienda que se debe realizar el aprovechamiento de la plantación existente en la Estación Experimental La Favorita, ya que por la edad y las condiciones en las que se encuentra actualmente los árboles, se infiere que poseen un estado de madurez avanzado, lo que ha provocado que estos individuos se caigan, creando un gran desperdicio de madera dentro de la estación.

La industria maderera ecuatoriana ha tenido un aumento en el consumo de materia prima especialmente del género eucalipto, el cual es usado para la realización de muebles,

duelas, parquet extracción de pulpa y papel entre otros usos Arias (2010). Debido al aumento de la demanda de materia prima de esta especie según ENDESA-BOTROSA (2018), consideran que es necesario tener en cuenta el establecimiento de plantaciones de este género.

En base estudios anteriores realizados en la Estación Experimental la Favorita, que mencionan la existencia de varias plantaciones, entre ellas de *Eucalyptus grandis*, con una extensión de 7 ha, en un estado sobre maduro, según lo mencionado por Meneses (2013). Se propuso realizar plan de aprovechamiento de la misma, con la finalidad de evitar el desperdicio de materia primala cual posee infinidad de usos que brinda esta especie; estos pueden ser: celulosa, mieles, aceites incluso ornamentación (ITTO, 2012)

Por este motivo se realizó el estudio tecnológico de *Eucalyptus grandis*, el cual puede ayudar a satisfacer la demanda de madera existente en el país y las necesidades de los productores esto de acuerdo a los resultados obtenidos presente investigación; en lo que respecta a las propiedades de trabajabilidad y mecánicas, respecto a las físicas se vio un alto contenido de humedad el cual genero ciertos defectos que se exponen en las páginas siguientes esto con vista a potenciar los usos de la madera de *Eucalyptus grandis*, con la perspectiva de determinar el futuro de la materia prima procedente de la EELF, y potenciar el uso artesanal e industrial de la misma.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 General

Determinar las propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad de *Eucalyptus grandis*, (Eucalipto), procedente de la “Estación Experimental la Favorita”.

1.1.2 Específicos

- Identificar las propiedades físicas de la madera de esta especie.
- Determinar las propiedades mecánicas de la madera de *Eucalyptus grandis*.
- Evaluar las propiedades de trabajabilidad.

1.1. PREGUNTA DIRECTRICES

¿La madera de *Eucalyptus grandis*, Hill ex Maiden es apta para realizar los procesos de trabajabilidad, ya que posee características físicas y mecánicas adecuadas para ser

utilizado?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

2.1.1 Constitución de la República del Ecuador

Art. 71.- Se explica que La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y que se realice su mantenimiento en cual se vea regeneración de los ciclos propios de la misma, así como también estructura, funciones y procesos evolutivos

Las personas, comunidades, pueblos o nacionalidades están en potestad de exigir el cumplimiento de dichos derechos. Así como también aplicar e interpretar dichos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.

El Estado brindará apoyo a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema (Contitucion, 2008).

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de Indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas (Contitucion, 2008).

Art. 73.- El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales.

Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional. (Contitucion, 2008).

2.1.2 Plan Nacional de desarrollo

Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones

Política 3.5: afirma que es necesario dar un impulso a la economía rural y urbana, dando así un valor a los recursos del bosque brindando una corresponsabilidad social y propiciando el desarrollo de la bioeconomía (SEMPLADES, 2017).

Política 3.6: sostiene que se debe de impulsar y generar bioconocimiento como alternativa a la producción primario-exportadora, así como el desarrollo de un sistema que impulse la bioseguridad, precautelando condiciones ambientales que posiblemente afecten a personas y a seres vivos (SEMPLADES, 2017).

2.2.1. COA (Código Ambiental)

Art.3: Fines son fines de este Código:

Literal 9. Establecer los mecanismos propicios que promuevan y fomenten la generación de información ambiental, e igualmente la coordinación y articulación de entidades tanto publicas y privadas en la cual la sociedad civil sea responsable de realizar actividades tanto de gestión he investigación ambiental en conformidad con requerimientos y propiedad estatal (Asamblea Nacional, 2018).

Art. 17: explica que la investigación ambiental deberá ser apoyada y contar con datos científicos y técnicos sobre la biodiversidad y el ambiente, los que deberán ser actualizados de manera permanente, por lo que instituciones de educación superior públicas, privadas y mixtas al igual que otras instituciones dedicadas a la investigación, con lo cual el país mejorara la parte científica del mismo (Asamblea Nacional, 2018).

Art. 30: Objetivos del estado. Los objetivos del estado relativos a la biodiversidad son:

Literal 8. Promover la investigación científica, desarrollo y transferencia de tecnologías, la educación e innovación, intercambio de información y fortalecimiento de las capacidades relacionadas con la biodiversidad y diferentes productos que impulsen la

generación del bioconocimiento (Asamblea Nacional, 2018).

Art. 119: “Prioridad nacional. Las plantaciones forestales con fines de conservación y producción son de prioridad nacional. Se impulsarán e implementarán programas o proyectos de reforestación con fines de conservación o restauración, especialmente en las zonas de manglar o servidumbres ecológicas afectadas, y en general, en todas aquellas áreas que se encuentren en proceso de degradación. Solo procederán las plantaciones forestales con fines de conservación que se ejecuten con una combinación de especies nativas o con fines de enriquecimiento y aceleración de la sucesión secundaria o en programas especiales para zonas prioritarias seleccionadas. 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” (Asamblea Nacional, 2018).

Art. 133: Investigación científica, innovación y desarrollo tecnológico y extensión forestal. La Autoridad Ambiental Nacional, la Autoridad Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, la Autoridad Única del Agua y la Autoridad Nacional 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 (Asamblea Nacional, 2018).

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1 Propiedades de la madera

Según Pacheco y García (2017); la madera es un tejido exclusivo de los vegetales leñosos y uno de los materiales más usados por el ser humano Villalba (2016), menciona que esto es gracias a su origen vegetal compacto, fibroso, biodegradable, aniso trópico, higroscópico, la capacidad de mecanizarse y su belleza natural que brinda un toque especial en una infraestructura (NEC, 2014)

Estudios de Mediavilla, (2016), argumentan sobre la necesidad de estudiar las propiedades de diversas especies forestales nativas e introducidas ya que cada una de ellas se comportan de manera distinta, esto para mitigar la presión en las especies que se consideran tradicionales en el país.

2.2.2 Propiedades Físicas

2.2.2.1 Contenido de humedad

Según Seco (2003) el contenido de humedad (CH), en la madera se refiere a la capacidad de absorber y liberar cierta cantidad de agua, al ser expuesta al aire puede ganar o perder humedad, hasta lograr un equilibrio entre la humedad presente en el sitio y su propio contenido de humedad.

Estudios de Olvera y Sotelo (1998); Zamora y Campos et al., (2007), determinan que el contenido de humedad tiene una gran influencia en las capacidades mecánicas de la madera, ya que a menor CH, baja el Punto de Saturación de Fibras (PSF), por lo que la madera sufre cambios de forma y dimensionales, en pocas palabras aumenta la resistencia y la capacidad mecánica, provocados por una disminución del agua contenida dentro de la misma.

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

Agua libre: es la que ocupa las cavidades celulares, está limitada al número de poros existentes en el proceso de secado esta se pierde por evaporación.

Agua higroscópica: ubicada en las paredes celulares, su pérdida es más lenta hasta lograr un equilibrio higroscópico.

Estudios de Baradit, Niemz, Fernández-Pérez (2013), indican que el llamado punto de saturación de fibras (PSF), es alrededor del 28 -30% de contenido de humedad en caso que supere o disminuya estos porcentajes, la madera empezara a tener defectos.

2.2.2.2 Peso específico

Se conoce como peso específico a la relación existente de peso de la madera, contenido de humedad y el volumen existente de agua a ciertas temperaturas, lo que influye así en la capacidad de flexión en la madera, ya que a mayor peso específico mayor resistencia convirtiéndola en una relación directamente proporcional Dudek y Werner (1978), menciona que depende en gran parte las propiedades físicas y tecnológicas para poder clasificar la madera por su parte, Meneses (2013), explica que a partir del peso específico se puede apreciar la calidad en la madera, se considera que el peso específico tiene relación con la composición química y el volumen por masa dándole a la madera la característica tecnológica que esta contiene.

El espesor de las paredes celulares, el tamaño de la células y el número de clases celulares 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

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

Densidad es la relación del peso y el volumen de la madera en un determinado contenido de humedad, dando lugar a que la densidad se calcule en diferentes estados. Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) citado por Carpineti (1995)

Densidad de referencia. - relación entre la masa y el volumen de la probeta, se determina por un contenido de humedad 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. - es la relación entre la masa y el volumen de la probeta madera seca al horno.

Densidad básica. - es la relación entre de la probeta en estado anhidro y el volumen de la probeta en estado saturado.

Densidad nominal. - relación entre la masa de la probeta en estado anhidro y el volumen de la probeta al contenido de humedad.

Al momento que la madera alcanza su estado seco este es indicado por la cantidad de espacios libres o cavidades celulares disponibles, es decir si más amplias son las cavidades menor es la densidad de la madera así como lo manifiesta Chambergo y Aróstegui (1984), citado por Martínez (2018), el cual comenta que la madera se clasifica según las densidad básica (DB), esto por la importancia y usos que se les puede dar.

Es importante saber la densidad de cada una de las especies maderables ya que gracias a esta se puede establecer los posibles usos que se le pueda dar a la misma y de igual forma sus defectos. (COPANT, 1972) citado por (Díaz, 2005).

Tabla 1

Tabla de clasificación de madera según la densidad

| <i>Clase</i> | <i>Densidad(g/cm³)</i> |
|-----------------------|-----------------------------------|
| <i>Baja (b)</i> | <i>De 0.31-0.40</i> |
| <i>Muy baja (mb)</i> | <i>Menor a 0.3</i> |
| <i>Media(m)</i> | <i>De 0.41-0.60</i> |
| <i>Alta (a)</i> | <i>De 0.61-0.80</i> |
| <i>Muy alta (ma)</i> | <i>Mayor a 0.81</i> |

Fuente: VIZCARRA, 1998 citado por Martínez (2018)

2.2.2.4 Contracción

Esta es una propiedad generada directamente por el cambio de dimensión y volumen en la madera producida por una variación en su contenido de humedad, la contracción es dada al secar la madera por debajo del PSF, se expresa en porcentaje Dudek Werner 1978 citado por (Mediavilla, 2016).

Según las normas COPANT (1972), esta propiedad se define como la capacidad de la madera de cambiar sus dimensiones de acuerdo a la variación de la humedad, esto se da ya que la madera contiene polímeros los cuales se componen de grupos hidroxilos los cuales son capaces de atraer la humedad por medio de puentes de hidrogeno; no todas las maderas cambian o se contraen de igual manera ya que esto depende también de varios factores como: densidad de la especie, orientación de la micro fibrillas en su pared celular, diferencias de duramen y albura, la existencia de anillos de crecimiento, su velocidad de crecimiento y la edad que posea el árbol (Moya, 2010).

2.2.3 Propiedades Mecánicas de la Madera

Una función muy importante en la madera es la que cumple el tronco y las ramas al momento que el árbol está vivo, estas son el soporte mecánico de la planta al momento de la madera ser transformada en diferentes productos el soporte mecánico sigue con su función esto por la enorme cantidad de usos de la madera. Se sabe que las propiedades mecánicas de la madera van directamente relacionadas a su comportamiento ya que la incidencia de fuerzas internas y externas en el proceso de transformación de la madera genera cambios. Las fuerzas externas actúan de manera que alteran el tamaño y la forma de

las piezas. Las fuerzas internas provocan cambios de acuerdo al aumento o disminución del contenido de humedad en la pieza, también es probable que la madera sufra deformaciones por acción de esta fuerza (Meneses 2013).

Se sabe que las propiedades mecánicas son producto del comportamiento de la madera ante la aplicación de una o varias fuerzas, dicho comportamiento puede variar en función de la dimensión de la pieza de madera, la clase de fuerza aplicada y esencialmente la organización atómica de la misma. Según Askeland, Fulay, y Wright (2017), explica que las fuerzas aplicadas sobre un cuerpo se los conoce como esfuerzos y estos varían existiendo algunos tipos de esfuerzos a los que puede estar sometida una pieza: esfuerzo de compresión, de flexión y de corte o cizallamiento. Factores como los nudos afectan al comportamiento mecánico de la madera (Peña y Rojas, 2006).

2.2.3.1 Flexión Estática

Según Gerhards (2007), la flexión estática es una de las principales propiedades mecánicas, para lo que respecta a evaluación de madera con fines estructurales ya que incluye propiedades como compresión, tracción, cizalle con las cuales se pueden obtener datos muy importantes sobre las características de la madera (Meneses 2013).

La flexión estática es la resistencia que tiene una madera a sufrir rupturas en especial al existir cargas que se apliquen y actúen perpendicularmente al eje de apoyo de la madera, esta propiedad es determinante al hablar la madera como material de construcción en especial para lo que es construcción de casas, puertas, tejados, paredes entre otras estructuras.

Castañeda (2013), si la madera se encuentre con defectos tales como nudos, rajaduras fibras reviradas los cuales reducen la flexión considerablemente; con este ensayo se tendrá dos resultados el módulo de ruptura (MOR), y el módulo de elasticidad (MOE) (Karsulovic y Jose, 1981).

Según Ou, Zhao, Sui, Song, y Wang (2010), especifica que la flexión estática se considera a la fuerza aplicada sobre una masa 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.

Dudek y Werner (1978), indica que tanto el contenido de humedad y la densidad

tiene influencia en la determinación de la flexión de la siguiente manera:

- Entre el peso específico y la flexión estática es una relación directa a mayor peso específico, mayor resistencia.
- La resistencia a la flexión es máxima con un C.H. de 3 a 5% de este valor al punto de saturación de fibras, al ser una dimensión lineal por cada 1% que aumente de C.H. la flexión estática disminuirá en un 4% en comparación al dato anterior.
- Existen fibras oblicuas estas influyen directamente en la flexión, se sabe que con una desviación del 155 en su dirección la resistencia baja en un 30%.

2.2.3.2 Esfuerzo de las fibras al límite proporcional

Al que las fibras de una viga son sometidas a un esfuerzo su tensión y presión llevan la carga al límite proporcional ya que al dejar de existir una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación, se lo define como esfuerzo máximo el cual puede soportar la madera sin sufrir deformaciones (Baradit et al., 2013).

2.2.3.3 Módulo de Ruptura (M.O.R)

Este es el esfuerzo calculado en el tope y fondo de las fibras de una pieza de madera, la cual se somete a una carga máxima y es responsable de causar fallas. El cuál es el valor aproximado del verdadero esfuerzo, puesto que la fórmula para realizar el cálculo sea basada en suposiciones validas hasta el límite proporcional. El esfuerzo desarrollado por la madera en el momento de la falla es llamado módulo de ruptura (Coronel, 1995).

2.2.3.4 Módulo de Elasticidad (M.O.E)

Indica la relación de los esfuerzos por unidad de área correspondientes a la deformación dentro del límite de proporcionalidad; el módulo de elasticidad se considera un indicador de la rigidez de la madera y no de la resistencia (Martínez Escobar et al., 2009).

MOE es la fuerza necesaria para lograr alargar 1 cm^2 de área al doble de su longitud (Dudek y Werner, 1978).

2.2.3.5 Compresión Paralela

Según Wangaard (1950) es la resistencia a la acción de una fuerza que aplasta las

madera la cual si se encuentra en sentido perpendicular a las fibras es mucho mayor y en sentido axial o paralelo será menor. Karsulovic y Jose (1981) agrega que la resistencia a la compresión depende en gran cantidad de grosor de las paredes celulares que componen las fibras.

Los componentes químicos existentes en la madera influyen en su resistencia ya que, si tiene alto contenido de lignina, la resistencia aumenta, por lo que se dice que especies de zonas tropicales tienen mayor resistencia que en zonas templadas. Si se habla del contenido de humedad a mayor contenido de humedad, una mayor expansión en la madera lo que la vuelve menos resistente, por cada 1% de CH que aumente la resistencia disminuirá en un 5%; se sabe que a mayor peso específico la madera es más resistente a la compresión (Dudek y Werner, 1978).

2.2.3.6 Compresión Perpendicular

Es la presión que sufren las fibras en una madera debido a una fuerza aplicada perpendicularmente, esta propiedad es de importancia en lo que respecta a construcción por la carga a la que son sometidas las piezas de madera (Martínez et al., 2009).

Esta resistencia aumenta según el peso específico de la madera, de acuerdo a la irregularidad existente en las diferentes especies se pueden notar diferencias entre latifoliadas y coníferas, es importante decir que los anillos de crecimiento influyen en esta propiedad, también hay que mencionar que si el contenido de humedad va de 0 a 30% la resistencia de la pieza disminuye en un 2 y 3% por cada 1% de contenido de humedad aumentado (Dudek & Werner, 1978).

2.2.3.7 Dureza

Se la considera la resistencia que opone una madera al desgaste, penetración y compresión que una o varias fuerzas ejercen sobre ella Meneses (2013). La determinación de la dureza utiliza el método JANKA, el cual mide el esfuerzo necesario para penetrar las caras de la madera (tangencial, radial), en una probeta, una semiesfera de acero de 1cm² de área diametral hasta una profundidad igual a su radio. Estos resultados casi siempre son usados por la industria de parquet, amachimbre entre otras. La lectura que se obtiene en este ensayo es única y no necesita de cálculos Vargas (1987) citado por (Meneses 2013).

Según Karsulovic y Jose (1981) la dureza depende de la cohesión de las fibras y la

estructura de las mismas ya que el ensayo consiste en la dificultad de la madera a ser penetrada por otros cuerpos, se sabe que las maderas fibrosas son las más blandas y que la dureza varía según la especie y en ocasiones incluso en el mismo tronco ya que el duramen es más duro y la albura más blanda. Igualmente, el secado influye en la dureza de una madera al igual que al estar la madera en verde es más blanda.

2.2.4 Propiedades de trabajabilidad

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

2.2.4.1 Cepillado

Se considera uno de los procesos básicos en la transformación de la madera, el cual se efectúa en las primeras etapas de producción, este proceso permite obtener una superficie totalmente plana y uniforme en las caras de la pieza. Esta acción es realizada con una cepilladora o cepillo como se la conoce, el proceso es realizado por una serie de cuchillas las cuales giran mientras la pieza de madera es arrastrada por rodillos, los cuales se encuentran en una superficie plana (Martínez et al., 2009).

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

- Ángulo de cara anterior. - Es el ángulo dado por la inclinación de la cuchilla o cuchillas en la porta cuchillas.
- 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.
- Ángulo libre. - Es el ángulo comprendido entre la tangente que pasa por el filo de la cuchilla y el bisel posterior.
- Ancho del igualado. - Es el ancho que se produce en la zona inmediata al filo de las cuchillas al afilarlas para que generen un círculo de corte común.

- Marcas de viruta. - Son los segmentos de trocoides que se genera sobre la madera por el paso sucesivo de las cuchillas.
- Profundidad de corte. - Es el espesor de la madera que se va a remover.

2.2.4.2 Lijado

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

Las imperfecciones en el proceso de lijado generalmente varían de acuerdo con los defectos que tenga la superficie de la madera, los mismos que no pueden ser eliminados fácilmente, debido a esto es necesario utilizar lijas de espesor diferente (Martínez y Martínez, 1996).

2.2.4.3 Moldurado

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

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

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

2.2.4.4 Taladrado

El taladrado es el proceso que consiste en la realización de huecos sobre una pieza de madera, destinados a recibir tornillos, puntillas o cualquier otra, los factores que afectan la calidad son pieza Herrera y Hidalgo citado por Meneses, (2011):

- a) **Factores relativos a la madera:** es evidente que 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, desde el berbiquí e inclusive la simple broca manual, hasta los taladros complejos, automáticos con cabezales múltiples verticales, horizontales y dispositivos angulares.
- c) **Los tipos de taladros más conocidos:** taladros portátiles, verticales de columna con un solo eje, múltiples verticales y horizontales.

La respuesta de la madera al taladrado depende de las siguientes condiciones de corte:

- a) **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.
- b) **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 fibrosidad, células largas y delgadas que cumplen la función de sostén del leño o resistencia mecánica según Puertas, Guevara y Espinoza (2013) implica potencias suficientes para velocidades determinadas de giro. Por lo tanto, dada la carga de penetración, la especie y la potencia instalada, Herrera y Hidalgo citado por Meneses, (2011) menciona que la velocidad de giro tendrá un valor, por su parte explica que la carga de penetración implica una fuerza ejercida sobre una pieza de madera para crear un efecto o daño sobre la madera.

2.2.4.5 Torneado

Es una operación a través de la cual se obtiene una pieza cilíndrica de una pieza cuadrada. El torneado es importante al momento de fabricar artículos de madera como pies de lámparas y patas de cama, Moya et al., citado por Meneses, (2011) establece que el moldurado es el proceso mediante el cual se imprime un movimiento rotatorio a la pieza de madera que es puesta a disposición de cuchillas, cuyo ángulo de corte permite obtener productos de diferente tipo tales como pasamanos, palas para muebles, entre otros (Flores

y Muñoz, 1989).

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

- Grano astillado
- Grano arrancando
- Grano velloso

Los parámetros que influyen en el torneado básicamente son:

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

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

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

2.2.5 Características de *Eucalyptus grandis*

2.2.5.1 Hábitat y distribución

Según Meskimen y Francis (2000), El *Eucalyptus grandis* es originario de las costas este de Australia, Tasmania, Indonesia y Nueva Guinea; su nombre común es rose gum, se sabe de la existencia se bosques naturales de esta especie especialmente en las zonas costeras de dichos países, especialmente en las zonas Queensland y New South Walles en donde estos pueden alcanzar una gran altura que va de 43 a 55 metros y diámetros de 122 a 183 cm con fustes rectos, claros y altos. Especie de crecimiento rápido, existen alrededor de 700 especies de eucalipto que van de climas Mediterráneo, tropical o subtropical; se lo encuentra desde los 0 a los 2000 m.s.n.m, una de las especies que más se ha introducido en otras partes del mundo.

Por tal motivo es una de las especies comerciales más importantes ya que se sabe de

la existencia de más de medio millón de hectáreas plantadas alrededor del mundo en zonas tropicales y sub tropicales de los cuatro continentes, especialmente en países como Sudáfrica, Brasil, India, Uruguay, Argentina entre otros (Meskimen & Francis, 2000).

Según Acosta Solis (1949), se lo puede encontrar desde bosque seco tropical, bosque húmedo tropical, bosque húmedo pre montano, bosque húmedo muy pre montano y bosque muy húmedo montano bajo ya que va desde los 0 a los 2000 m.s.n.m lo que lo convierte en una especie muy versátil resistente a sequías y ataque de plaga pero con deficiencia a las heladas.

2.2.5.2 Descripción botánica

Meskimen y Francis (2000), *Eucalyptus grandis* es una especie del genero *Eucalyptus*, del cual se sabe la existencia de más de 700 especies a nivel mundial, es un árbol de rápido crecimiento, que en su lugar de origen menciona puede alcanzar de 43 a 55 m de altura y de 120 a 180 cm de diámetro, su corteza es lisa blanquecina a grisácea o verdosa especialmente en la base del tronco la cual es desprendible en bandas alargadas, Inicialmente la corteza interna posee un color de tonalidad rosácea brillante y luego blanca o grisácea.

Son arboles de copa poco densa y amplia, produce número indeterminado de brotes y yemas. Sus hojas son alternas y horizontales o colgantes, en estado juvenil son opuestas en algunos casos, luego en estado adulto alternas, ovoides-lanceoladas ligeramente onduladas en los márgenes, finas discolores, acuminadas de hasta 10 a 20 cm de longitud y de 2,0 a 3,5 cm de ancho, de tonos verdes a ver oscuros (Meskimen y Francis, 2000)..

Posee flores en umbela con pedúnculos achatados , frutos sésiles o casi sésiles estas son melíferas las cuales son usadas en la producción de miel, tiene propiedades medicas esto gracias a los aceites esenciales que posee y su olor propio el cual se usa en casos de afecciones respiratorias, así como también en ungüentos y pastillas (Tropicales, 2004-2017).

2.2.5.3 Descripción de la madera

Según Meskimen y Francis (2000), madera de color rojo claro, suave y rojo claro a oscuro en el duramen y moderadamente durable en contacto al suelo, posee una fibra recta, con una textura tosca la albura es resistente a los barrenadores del genero *Lyctus* La

densidad de la madera proveniente de plantaciones varia en un promedio de 0,4 y 0,59 g/cm³, a diferencia de la obtenida en las zonas de origen que va de 0,62 y 0,80 g/cm³ pero este valor es directamente influenciado por la edad y el sitio de la plantación (Tropicales, 2004-2017).

2.2.5.4 Usos

Según Acosta Solis (1949), la madera de esta especie es adecuada para trabajar e impregnar, pero resulta difícil secarla, en el Ecuador, estudios de Meskimen y Francis (2000), demuestran que esta madera es usada para la extracción de pulpa papel esto gracias a que la madera posee fibra larga, además se la utiliza en la industria de elaboración de chapas y todo tipo de tablero, ensambladuras, construcción de botes, entre pisos, pisos, postes y para alambrado también es usada en construcción en general.

Respecto a los usos no maderables Tropicales (2004-2017), menciona que la especie es excelente para la producción de miel y polen de abejas, también tiene un uso generalizado en lo que respecta a plantaciones ornamentales.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL SITIO

La investigación se llevó dos fases: campo y laboratorio, las cuales tuvieron diferentes etapas.

3.1.1 Fase de campo

El sitio se encuentra ubicado en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón Aulluriquin, parroquia Chiriboga en el predio de la Universidad Técnica del Norte “Estación Experimental la Favorita”; con una altitud entre 1600 y 2200 msnm, y una precipitación media anual de 3000 mm, y una temperatura de 16°C. Se encuentra en las coordenadas: 746595 E - 9976995 S

3.1.2 Fase de laboratorio

Se desarrolló en cuatro etapas:

- Primera etapa: obtención del material experimental
- Segunda etapa: ensayo de propiedades físicas
- Tercera etapa: ensayo de trabajabilidad
- Cuarta etapa: ensayo de propiedades mecánicas

La primera etapa se llevó a cabo en la EELF, mientras que la segunda se efectuó en el Laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca ubicadas en la Granja Experimental Yuyucocha, perteneciente a la Universidad Técnica del Norte, respecto a la tercera etapa se realizó en la Central Maderera perteneciente a la misma institución, ubicada en la parroquia de Caranqui, de la ciudad de Ibarra.

La cuarta etapa se desarrolló en el Laboratorio de Suelos y Materiales pertenecientes al Gobierno Provincial de Imbabura (GPI) ubicado en la parroquia de San Francisco, en la ciudad Ibarra.

3.2 MATERIALES E INSUMOS

Tabla 2

Tabla de materiales e insumos:

| Materiales | Insumos | Maquinaria y equipos |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Formulario para toma de datos. | Material para embalaje (Plástico) | Motosierra |
| Material vegetativo | Pintura Spray | Estufa |
| Probetas de madera | Brújula | Calibrador |
| Muestra Botánica | Cinta métrica | Balanza |
| | Gasolina | Cepillo |
| | Aceite de dos tiempos | Moldurera |
| | | Taladro |
| | | Lijadora |
| | | Canteadora |
| | | Despuntadora |
| | | Sierra circular |
| | | Torno |
| | | Formones |
| | | Prensa hidráulica |
| | | Machete |

3.3 METODOLOGÍA

3.3.1 Sitio y obtención de material

3.3.2 Selección de árboles

Para la selección de árboles se usó la norma INEN 1158 (1993), COPANT, (1972), la cual menciona que se seleccionen 5 árboles, cabe mencionar que Mediavilla (2016), recomienda que se seleccionen siete árboles para que sea una muestra representativa del total los cuales tuvieron las mejores características fenológicas, dasométricas y fitosanitarias.

3.3.3 Tumba y extracción de bloques

Con ayuda de una motosierra se tumbaron los siete arboles seleccionados posteriormente se realizó bloques de 1,50 m de largo con la norma INEN 1158 y 1159 según Alvarado y Granda (2016), la cual menciona que las trozas se deben extraer según la medida

del DAP, las trozas fueron escuadradas en el sitio para así facilitar su maniobrabilidad.

3.3.4 Embalaje y Traslado

Los bloques de madera fueron embalados y trasladados mediante carga manual y transporte con acémilas hacia la zona de estadía en la Estación Experimental “La Favorita” y posteriormente al camino carrosable para su transporte hacia la ciudad de Ibarra.

3.3.5 Transporte

La madera aprovechada y dimensionada se trasladó en camiones en compañía de personal técnico del MAE- IMBABURA, hasta la Central Maderera y Laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca, Ubicado en la “Granja Experimental Yuyucocha” perteneciente a la “Universidad Técnica del Norte”, en los días posteriores al aprovechamiento por la distancia del punto de extracción y laboratorios.

3.3.6 Obtención del material experimental

En la central maderera, con las normas COPANT, ASTM E INEN, se transformó de bloques a probetas, las cuales fueron codificadas y etiquetadas según el número de árbol y la orientación de las fibras en la madera.

Tabla 3.

Tabla de normas y propiedades

| Propiedad | Norma | Dimensión |
|------------------|--------------|------------------|
| Física | INEN, COPANT | 10 x 5 x 5 |
| Mecánica | COPANT, ASTM | 10 x 5 x 5 |
| Trabajabilidad | COPANT,ASTM | 10010x 6 |

3.4 Determinación de las propiedades físicas

Para el ensayo de las propiedades físicas según las normas COPANT 459 (1972), se obtuvo probetas de 10x5x5 cm, de siete árboles en sentido radial, tangencial y oblicuo estas probetas serán sacadas de la zona media del árbol con un total 49 probetas Alvarado y Granda (2016).

Tabla 4

Tabla de normas y propiedades

| NORMA | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|---|
| INEN 1 158 y 1159 | Selección y colección de muestras. |
| INEN 1160 | Métodos de determinación de contenido de humedad (probetas de 10x5x5 cm). |
| COPANT 459 | Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos. |
| COPANT 461 | Método de determinación de densidad (probetas de 10x5x5 cm) |
| COPANT 462 | Método de determinación de contracción (probetas de 10x5x5cm) |

Fuente: INEN (1983), COPANT (1972)

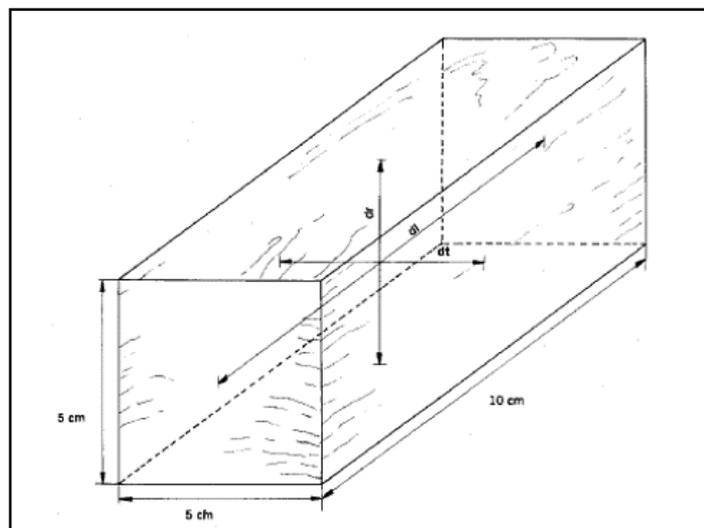


Ilustración 1: Probetas para propiedades físicas.

Fuente: COPANT (1972)

3.4.1 Contenido de humedad

Esta propiedad se determinó mediante la norma INEN 1160, donde se usaron siete probetas por cada árbol, libres de defectos, transversales y bien orientadas a modo que se diferencien dos caras radiales y dos tangenciales Alvarado et al. (2016).

3.4.1.1 Procedimiento

Las probetas fueron dimensionadas etiquetadas y pesadas con ayuda de una balanza electrónica, en fresco o condición verde (peso húmedo), se procedió a dejar un cierto periodo

de días al ambiente hasta que las probetas obtengan un peso similar; se monitoreo las probetas cada 24 horas para obtener un peso estable y luego se las colocó en un horno con regulador de temperatura a ± 103 más menos $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que alzaron un peso similar entre ellas.

Fórmula para la estimación del CH:

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

Ec.1

Fuente: COPANT (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 seco al horno expresado en gramos (g)

3.4.2 Densidad

Esta propiedad se determinó de acuerdo a las normas INEN 1162, donde se usarán siete probetas por cada árbol: con una dimensión de 10x5x5.

3.4.2.1 Procedimiento

Para esta propiedad se consideró las condiciones de la madera (verde, seca al aire, seca al horno) y también se tomará en cuenta la densidad básica.

- Madera en estado verde

Para saber la densidad en esta condición las probetas fueron embaladas en plástico para mantener su humedad, se usó una balanza para saber el peso en verde (PV). Además, se tomaron las medidas con un calibrador pie de Rey, esto para medir las caras de la probeta y así determinar el volumen en verde.

Densidad en estado verde:

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

Ec.2

Fuente: COPANT 460 (1972)

Donde:

DV= densidad de la probeta en verde expresada en g/cm^3

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

VV= volumen de la probeta en verde expresada en cm^3 .

- Madera en estado seco al aire

Las probetas fueron expuestas al ambiente por un lapso de 45 días hasta que las probetas obtuvieron pesos similares.

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

Ec.3

Fuente: COPANT 462 (1972)

Donde:

DSA= Densidad de la probeta en condición seca al aire expresada en g/cm^3

PSA= Es el peso de la probeta en estado seco al aire expresado en gramos.

VSA= Volumen de la probeta en estado seco al aire expresado en g/cm^3

- Madera en estado seco al horno (anhidra)

En las probetas en estado anhidro se tomaron medidas tangenciales, radiales y longitudinales con los que se obtuvo el volumen y se empleó la fórmula de densidad,

Para el cálculo de la densidad en los tres estados de la probeta se usará la siguiente fórmula:

$$DA = \frac{PSH}{VSH} \text{ g/cm}^3 \quad \text{Ec.4}$$

Fuente: COPANT 460 (1972)

Donde:

DA= Densidad de la probeta en estado anhidro expresada en g/cm^3

PSH= Es el peso de la probeta en estado seco al horno expresado en gramos (g)

VSH= Volumen de la probeta en estado seco al horno expresado en cm^3

- Densidad básica

Se tomaron los pesos en estado seco al horno y se lo relaciono con el volumen en estado verde.

$$DB = \frac{PSH}{VV} \text{ g/cm}^3 \quad \text{Ec.5}$$

Fuente: COPANT 460 (1972)

Donde:

DB= Densidad básica expresada g/cm^3

PSH= es el peso de la probeta en estado seco al horno expresado en gramos (g)

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

3.4.3 Dimensión longitudinal

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

$$CLN(\%) = \frac{DLV - DLSA}{DLV} \times 100 \quad \text{Ec.6}$$

Fuente: COPANT 460 (1972)

Donde:

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

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

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

$$CLT(\%) = \frac{DLV - DLSH}{DLV} \times 100 \quad \text{Ec.7}$$

Fuente: (COPANT, 1972)

Donde:

CLT= Contracción longitudinal total de la probeta de estado verde a seco al horno expresada en (%).

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

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

3.4.4 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.

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

Ec.8

Fuente: COPANT 460 (1972)

Donde:

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

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

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

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

Ec.9

Fuente: COPANT 460 (1972)

Donde:

CTR= Contracción radial total de la probeta en estado verde al estado seco al horno expresado en %.

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

DRSH= Dimensión radial d la probeta seca al horno expresada en mm.

3.4.5 Dimensión tangencial

El procedimiento usado fue el mismo que en dimensión radial, y se midieron en las dos caras radiales.

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

Ec.10

Fuente: COPANT 460 (1972)

Donde:

CTN= contracción en sentido tangencial normal de la probeta en verde en estado seco al aire, expresado en %.

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.

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

Ec.11

Fuente: COPANT 460 (1972)

Donde:

CTT=Contracción tangencial total de la probeta en verde al seco al horno en %.

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

DTSH= Dimensión tangencial de la probeta de seco al horno expresado en mm.

3.4.6 Contracción Volumétrica total

Se conoce como la relación de la contracción en caras radiales y tangenciales por cada probeta, se calculó de acuerdo a la siguiente formula.

$$C_{vt} = C_{lt} + C_{tt} + C_{rt}$$

Ec.12

Fuente: INEN 1164 (2013)

Donde:

Ctv.= Contracción volumétrica total de la probeta de estado verde (CH 30%), al estado anhidro (CH=%), en porcentaje.

CRT= Contracción radial total de la probeta, en %.

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

3.4.7 Relación tangencial radial

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

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

Ec.13

Fuente: INEN 1164 (2013)

Donde:

T/R= Relación tangencial radial.

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

CTR= Contracción radial total de la probeta en %.

3.5 Propiedades Mecánicas de la Madera

Las probetas en este ensayo fueron de 10 x 3 x 3 cm orientados, con dos caras tangenciales y dos radiales. Se procedió a marcar las probetas en las seis caras esto a fin de indicar las posiciones donde se realizará la medición. Las probetas se midieron con un calibrador en las tres dimensiones de la probeta. Las normas que se usó en el ensayo fueron las siguientes:

Tabla 5*Tabla de normas y propiedades*

| NORMAS | PROCESOS |
|--------------|--------------------------------|
| COPANT 459 | Dimensionado |
| ASTM D143-94 | Ensayos, evaluación, cálculos. |

3.5.1 Flexión Estática

Se determinó mediante aplicación de una carga a velocidad constante, según la norma ASTM D143-09. Con un total de 63 probetas de dimensiones (76 x 5 x 5 cm), provenientes de siete árboles, tres probetas por cada orientación, de tal forma que se distingan dos caras radiales y dos caras tangenciales.

Procedimiento

Se procedió a dimensionar de las Probetas en los planos (radial, tangencial y longitudinal); se midieron las probetas y luego se fijó a cada una de las probetas sobre los apoyos a una distancia de 2,5 cm de los extremos, para obtener una luz de 71 cm. Cada una de las probetas se colocará de tal manera que, al aplicar la carga en su cara tangencial, ésta sea aplicada exactamente en el centro de la probeta. Se usó como elemento de carga un cabezal de metal, de forma y tamaño indicado.

Esfuerzo de las fibras al límite proporcional

Se calculó con las siguientes fórmulas:

$$E.F.L.P = \frac{1.5 \times L \times P_1}{b \times h^2} \text{ kgf/cm}^2$$

Ec. 14

Fuente: ASTM 143 (2010)

Dónde:

E.F.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. 15

Fuente: ASTM 143 (2010)

Dónde:

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

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

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

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

3.5.2 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. 16

Fuente: ASTM (2010)

Donde:

MOR = Es el esfuerzo unitario máximo expresado en (kgf/cm²).

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

1,5 = Constante.

L = Luz de la probeta en (cm).

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

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

Módulo de Elasticidad (M.O.E)

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

Ec. 17

Fuente: ASTM 143 (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)

3.5.3 Compresión

Compresión Paralela

Consiste en encontrar las deformaciones y la falla de las probetas sometidas a una aplicación de una carga paralela al grano a una velocidad constante, según la Norma ASTM 143. Se utilizó el mismo número de probetas que en el ensayo anterior, de dimensiones (15x5x5 cm).

$$E.F.L.P. = \frac{P_1}{bxh} \text{ kgf/cm}^2$$

Ec. 18

Fuente: ASTM 143 (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).

3.5.4 Cizallamiento

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

Ec. 19

Fuente: ASTM 143 (2010)

Donde:

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

P = Presión en (kgf)

S = Superficie en (cm).

3.6 Determinación de las propiedades de trabajabilidad

Para el ensayo de trabajabilidad se usaron las normas ASTM D 1666-87 (1999) las cuales se detalla a continuación, con un total de 105 probetas:

Tabla 6:*Tabla de normas y propiedades*

| NORMAS | MEDIDAS |
|---------------|---|
| COPANT | Dimensionado de probetas |
| ASTM 1666-87 | Ensayo de cepillado (probetas de 100 x10 x 6 cm) |
| ASTM 1666-87 | Ensayo de lijado (probetas de 100 x10 x 6 cm) |
| ASTM 1666-87 | Ensayo de Moldurado (probetas de 100 x 10 x 6 cm) |
| ASTM 1666-87 | Ensayo de Taladrado (probetas de 100 x 10 x 6 cm) |
| ASTM 1666-87 | Ensayo de Torneado (probetas de 15 x 5 x 5 cm) |

Fuente: ASTM (1999)

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

3.6.1 Evaluación de la severidad del defecto

Los defectos fueron evaluados según la norma ASTM D 1666-64 (1999), la cual indica que la probeta debe ser colocada a la luz natural y clasificar la madera de la siguiente manera:

Tabla 7*clasificación de acuerdo a la extensión del defecto*

| GRADO | EXTENSIÓN DEL DEFECTO |
|-------|-----------------------|
| 1 | 0 |
| 2 | 1/5 |
| 3 | 2/5 |
| 4 | 3/5 |
| 5 | 4/5 |

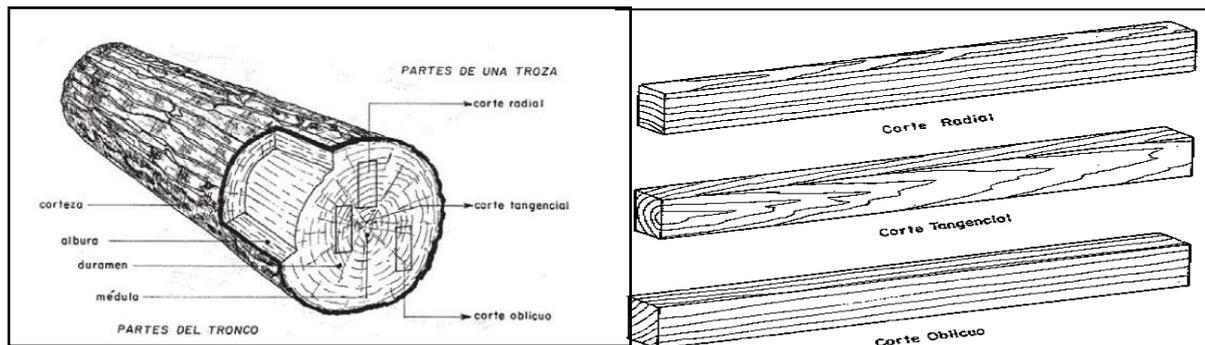
Fuente: ASTM (1999)

Tabla 8*evaluación del defecto según el grado*

| GRADO | CALIDAD | CARACTERISTICA |
|---------|-----------|--|
| GRADO 1 | Excelente | Libre de defectos |
| GRADO 2 | Buena | Defectos superficiales que se eliminan con lija No. 100 |
| GRADO 3 | Regular | Defectos marcados que se eliminan con lija gruesa de No. 60 y luego con fina de No. 100. |
| GRADO 4 | Pobre | Con defectos severos los cuales hay que trabajarlos de nuevo. |
| GRADO 5 | Muy pobre | Con defectos severos que para eliminar se debe sanear la pieza |

Fuente: ASTM (1999)

Las probetas utilizadas en los ensayos de trabajabilidad fueron debidamente orientadas, Los ensayos se realizaron en madera seca al aire con un CH estable y de manera consecutiva.



Fuente: NEC (2014)

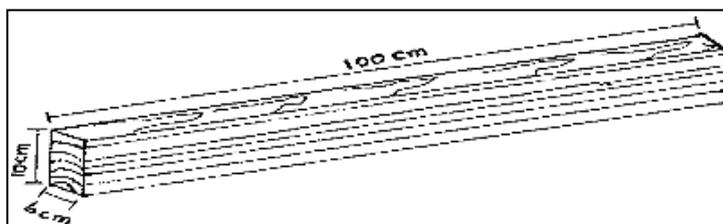
Ilustración 2: Tipos de corte según la orientación en el tronco

3.6.2 Cepillado

Para este ensayo se seleccionó siete árboles. El número de probetas empleadas serán las siguientes: cinco probetas en corte tangencial, cinco probetas en corte radial y cinco probetas en corte oblicuo de cada árbol y de cada sección (105 total probetas).

- Dimensiones de las Probetas

Las dimensiones de las probetas usadas para este ensayo fueron las siguientes: 100 cm de longitud, 10cm de ancho y de 6 cm de espesor.



Fuente: ASTM (2010)

Ilustración 3: Dimensión de las probetas para ensayos de cepillado

- Procedimiento

Para el reconocimiento las probetas se codificó según el número de árbol, orden, orientación de la probeta y dirección del árbol, luego se dibujó 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 usó 3 cuchillas con un ángulo de corte de 45 grados, ya que este es el más común.

- Cálculo

Se determinó la velocidad de alimentación según las características de la máquina y con un cronometro se tomó el tiempo.

$$\text{Val.} = \frac{t \times \text{vuelta}}{6.9} = \text{m/min.}$$

Ec.20

Fuente: ASTM (2010)

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

$$\text{Ancho de marca (A.D.M)} = \frac{(A)(B)}{CxT}$$

Ec.21

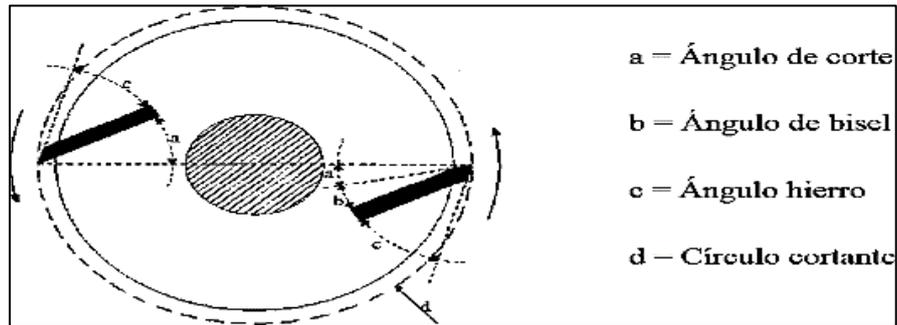
Fuente: ASTM (2010)

Donde:

A= Revoluciones por minuto en el cabezal

B= Numero de cuchillas en el cabezal

C= Velocidad de avance (m/min)



Fuente: Meneses (2013)

Ilustración 4: Cuchillas de cepilladora

3.6.3 Lijado

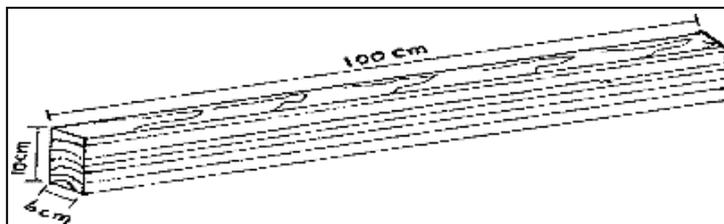
Para el ensayo se usaron las mismas probetas que el cepillado (105 probetas en total). El ensayo de lijado se realizó en dos fases:

El primer proceso de lijado (remoción con lija N° / 60) se lo realizo para tener una superficie lisa a partir de una superficie irregular, consecuencia del proceso anterior del cepillado.

El segundo proceso se realizó con la lija N° / 100, con el propósito de determinar la eficiencia, calidad superficial y tipos de defectos que ocasiona los dos tipos de lijas.

- Dimensiones de probetas

Se utilizaron probetas con las siguientes dimensiones: 100 x 10 x 5 cm.



Fuente: ASTM (2010)

Ilustración 5: Dimensión de probeta destinada a ensayos de lijado

- Procedimiento

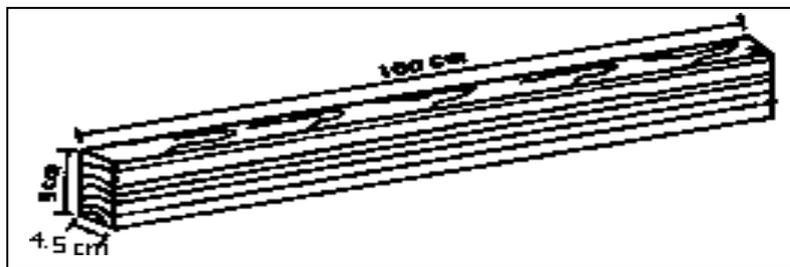
Para este ensayo con un calibrador se midió la parte media de la probeta para al final del proceso saber el desgaste de la probeta, se realizó dos repeticiones, según el estado de está a favor y en contra del grano, mediante un termómetro se determinó la temperatura de la lija para así conocer la fricción, además se tomó 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 volvió a medir nuevamente la probeta y se realizara el cálculo.

3.6.4 Moldurado

Para este ensayo se utilizaron las mismas probetas del lijado, (105 probetas en total). Estas probetas fueron canteadas, cepilladas y lijadas, para obtener una superficie uniforme.

- Dimensiones de Probetas

En este ensayo se utilizó probetas de 100 cm de longitud, 9 cm de ancho y 4,5 cm de



espesor.

Fuente: ASTM (2010)

Ilustración 6: Dimensión de probeta destinada a ensayos de moldurado

- Procedimiento

En el ensayo de moldurado se utilizó una fresadora manual marca DeWALT, modelo dw625e, con una fresa. Se realizaron dos repeticiones en los filos, y en la parte media de la probeta, para tener resultados a favor y en contra del grano, se tomó, el tiempo de

alimentación de la fresadora, se calificó de acuerdo al grado de defecto de la probeta a favor y en contra del grano.

3.6.5 Taladrado

- Dimensiones de la probeta

Se usó 5 probetas por árbol, debidamente orientadas: cinco tangenciales, cinco oblicuas y cinco radiales, de 100 cm de longitud, 9 cm de ancho y 4,5 cm de espesor, con un y total de 105 probetas.

- Procedimiento

Se ubicó los puntos a taladrarse en la probeta, dos ensayos por probeta, uno a cada extremo, a una distancia de 5 cm de los extremos y a 4.5 cm de los filos, se aplicó una carga manual con un taladro marca TROOPER y una broca para madera de pulgada y media, con la cual se realizó la penetración y se cronometró el tiempo de penetración de la broca. La calidad de grados de defectos se evaluó de acuerdo a la Norma ASTM D-1666-87, ASTM (2010).

3.6.6 Torneado

- Dimensiones de la probeta

Se usó 5 probetas por sección del árbol, en las caras radiales, tangenciales y oblicuas con las siguientes dimensiones de 15 x 5 x 5 cm (35 probetas en total).

- Procedimiento

Se realizó el ensayo con un torno manual ubicado en la central maderera, se usaron tres clases de gubias, se empezó dimensionando la probeta y colocándola en la máquina torneadora, con la gubia más grande se dio forma cilíndrica a la probeta, luego con las dos gubias restantes se procedió a dar forma y diseño a la probeta. La calidad de grados de defectos se evaluó de acuerdo a la Norma ASTM D-1666-87 se tomó en cuenta: grano arrancado, grano velloso y grano levantado. El porcentaje de afectación de defectos se realizó por medición directa en las zonas afectadas de manera visual para identificar los tipos de

defectos que se presentaran en las probetas ASTM (1999).

3.6.7 Tallado

- Dimensiones de la probeta

Se usó bloques de 30 X 30 X 50, esto debido a los requerimientos del artesano.

- Procedimiento

Los bloques se trasladaron al Instituto de Artes Plásticas Daniel Reyes ubicado en la parroquia, San Antonio de Ibarra, para ser procesados en dicha institución en la cual se realizó los procesos de escultura con motosierra y tallado.

En la escultura con motosierra se utilizó una motosierra marca sthill 660, con la cual se dio forma a la escultura.

En el proceso de tallado se realizó bloques de 30x30x5 cm, en los cuales se realizó el proceso de calcado de la imagen, vaciado, calado y el posterior tallado, con los mismos bloques se procedió a realizar un ensayo con láser el cual se llevó a cabo con una maquinaria especial la cual posee dicho Instituto.

Para la evaluar la severidad de los defectos se tuvo una ficha de evaluación donde se tomó en cuenta las siguientes características suavidad, 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, esto de acuerdo a la Norma ASTM D-1666- 87 de comportamiento de la madera frente a transformación.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 PROPIEDADES FISICAS

A continuación, se detalla los resultados obtenidos en cada uno de los análisis físicos los cuales se expresa en gráficos, así como también de manera explícita todos los estimadores estadísticos usados.

4.1.1 Contenido de humedad (CH%)

Se partió de un peso inicial promedio de 271,71g, el cual es el valor más alto ya que se tomó con las probetas en estado verde, después de un lapso de 45 días secándose al ambiente, las probetas lograron alcanzar un peso promedio de 156g, para posteriormente ser colocados en el horno por 15 días hasta llegar a un estado de anhidro, con un promedio final de 124,61g, lo que demuestra un descenso de más del 50% en comparación a su peso inicial, es necesario mencionar que las intensas lluvias presentadas en los meses de marzo y abril del 2019 no afectaron al proceso de secado.

Cabe indicar que un 30% de las probetas presentaron defectos durante el proceso de secado tales como rajaduras, cuarteaduras y resquebrajamientos los cuales se dieron por efecto de la gran cantidad de agua contenida dentro de la misma, la cual genero dichas imperfecciones y evidencio los altos contenidos de humedad.

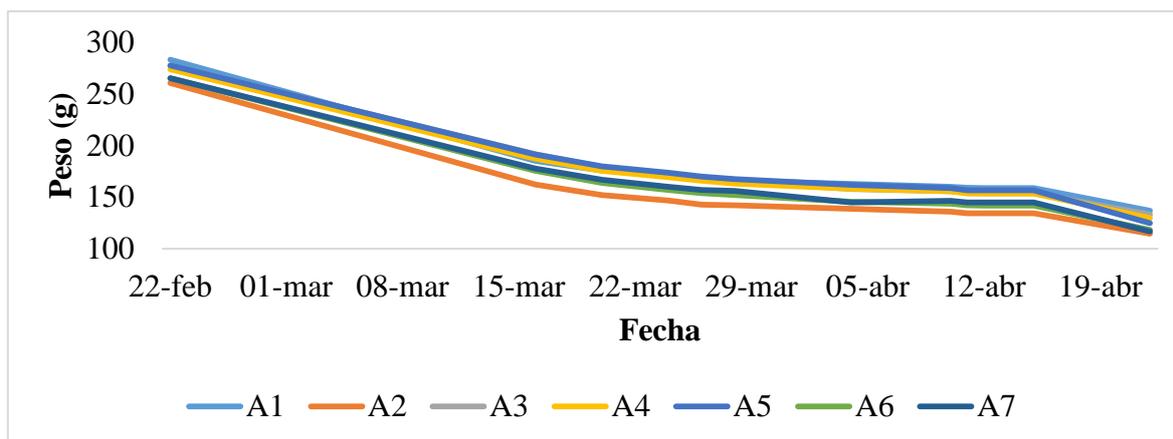


Ilustración 7: Curva de desorción

Respecto al CH% se puede mencionar que se encontraron rangos que van desde 92,75 a 143,14 % de CH, el árbol 1 y el árbol 5 los más homogéneos ya que no presentan valores dispersos a comparación del árbol 2 y el árbol 7 que son relativamente heterogéneos lo que indica valores dispersos entre sí. El valor calculado para la desviación estándar de la media fue de 6,32 para seco al aire y de 7,57, para seco anhidro lo cual indica que los datos están agrupados y son muy homogéneos según los coeficientes de variación obtenidos, estos valores demuestran que la media es representativa en función de los bajos valores encontrados en el error estándar.

Cabe recalcar que la madera de *Eucalyptus grandis*, tiene una pérdida de humedad de 50,39 %, desde su estado verde a su estado anhidro.

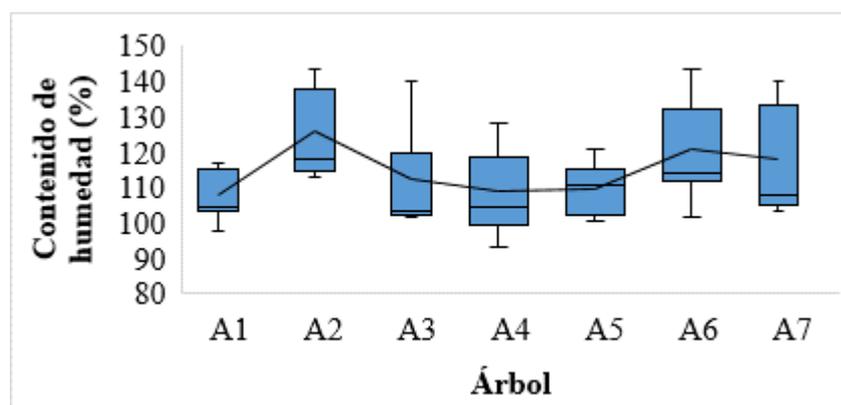


Ilustración 8: Diagrama de cajas y bigotes

Estudios realizados por Carpineti (1995), menciona que en *E. grandis*, en el momento de apeo supera 100% de (CH%) es decir que contiene más agua que madera y esto influye directamente en los costos de secado y aprovechamiento debido a la gran cantidad de agua que se tiene que desalojar. Debido a esto se generan defectos posteriores en la misma ya que el contenido de humedad baja a más del 50 % del total contenido en la madera; aspecto que se evidencio en el estudio realizado ya que la madera perdió alrededor de un 50,39 % desde su estado verde.

Según Pérez del Castillo (2001), menciona que la especie en un inicio se encontraba al 35,8 % de contenido de humedad y pasados los posteriores procesos de secado termino con un porcentaje de 10.8% el cual es un gran porcentaje de perdida, el mismo explica que la media obtenida fue del 26%, por lo cual se evidencio que este tipo de instrumentos son útiles para secado de madera con bajo contenido de humedad ya que en especies con alto contenido de humedad como la estudiada genera demasiados defectos.

El estudio de Peter y Carlos (2005), en su estudio de propiedades mecánicas de esta especie en Uruguay indica que en un principio el contenido de humedad fue del 109% en relación a la madera verde el cual vario por cada individuo presente en el mismo rodal e incluso influye la humedad relativa del ambiente el día del apeo, el mismo menciona que esta variable hay que considerarla al momento de llevar a cabo los procesos de secado e impregnación en la madera de dicha especie.

4.1.2 Densidad

La densidad se calculó mediante las fórmulas establecidas en la norma, con lo que se logró dar con un resultado promedio de densidad básica de $0,53 \text{ g/cm}^3$ tal como se aprecia en la ilustración 9, este valor se obtiene a causa de que la madera de la investigación se obtuvo de la parte media y basal de los árboles, lo que demuestra el motivo por el cual se obtuvo dicha densidad, según INEN (2013) , indica que las maderas con densidad de 0,42 a 0,56 g/cm^3 , son consideradas de densidad media.

En los estudios realizados se calculó el error estándar de la media que fue de 0,01 a 0,02 en los tres tipos de secado por consiguiente se puede decir que los datos no presentan

error de ningún tipo, en lo que respecta al coeficiente de variación en la densidad en verde se calculó el valor de 2,73 el cual indica que los datos son muy homogéneos y no tienen dispersión alguna para el caso del secado al aire se obtuvo un valor de 5,28 el cual demuestra la homogeneidad de los datos; respecto al seco anhidro se obtuvo de coeficiente de variación de 10,58 si bien es un valor más alto a los anteriores demuestra la misma homogeneidad esto debido a que en el proceso de secado al horno se presentó defectos por acción del mismo.

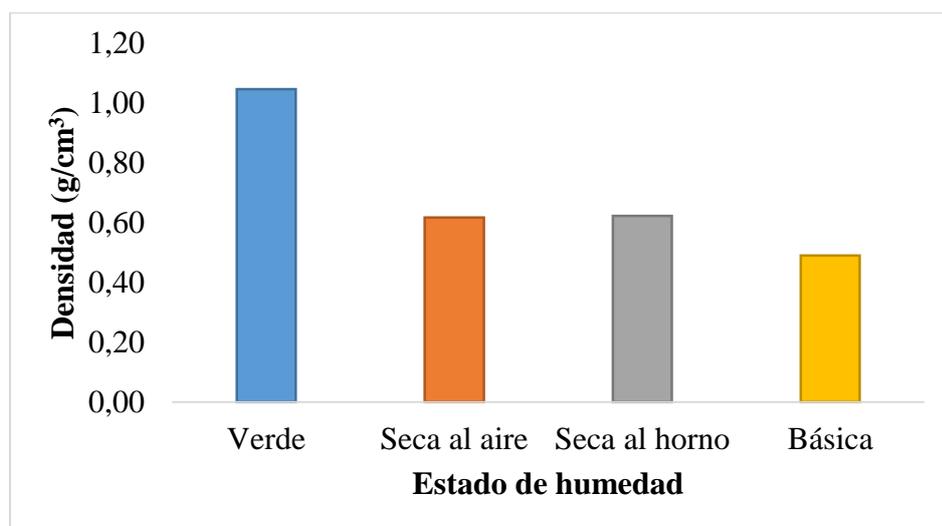


Ilustración 9: grafica de densidades

Según estudios de Arango, Hoyos, y Vásquez (2001), quien estudio arboles de 12 y 15 años en diferentes localidades de Colombia, obtuvo una densidad alrededor de 0,40 a 0,59 g/cm^3 , lo que indica una cierta relación con los individuos estudiados, pero vale recalcar que la edad que poseen los individuos ubicados en la estación experimental “La Favorita”, es casi el triple por lo que se podría esperar una mayor densidad, como lo menciona Peter y Carlos (2005), quien calculo un 0,40 g/cm^3 en individuos de una plantación y un mismo rodal explica que los arboles presentan una variación de densidades por árbol y por sección de donde se extrajo la muestra el mismo explica también que en la densidad de la madera pueden influir los factores climáticos, por consiguiente las condiciones en las que se encuentra la plantación podría ser uno de los factores más importantes para dicho comportamiento.

Al observar los resultados obtenidos en esta investigación y equiparándola con la de

Calvo et al. (2006), quien estudio esta especie en Argentina para determinar su inchamiento y densidad se encontró que la especie estudiada es la de menor densidad, en comparación a otras variedades de eucalipto también estudiadas, por lo que en Argentina se obtuvo una densidad de alrededor de $0,55 \text{ g/cm}^3$, lo que indica que a pesar de que el estudio se realizó en otro lugar la madera en general no disto mucho del comportamiento encontrado en la plantación ubicada en la favorita. A pesar de que Sánchez Acosta et al. (2005), el cual estudio el comportamiento de tres procedencias de dicha madera encontró que la densidad aumenta según la edad de los eucaliptos, caso que no se dio en la plantación de la favorita ya que a pesar de la edad de los individuos que es mayor a 30 años siguen con la densidad encontrada en individuos de 7 y 17 años.

4.1.3 Contracción

Respecto al análisis de la contracción se debe mencionar que las probetas de la especie estudiada tienen una mayor tendencia a contraerse en la cara tangencial con un porcentaje de 13,32%, con respecto a las demás caras de la madera.

Al analizar la contracción volumétrica total se obtuvo un porcentaje de 20,13%, lo que indica que la madera de esta especie no tiende a contraerse tanto en los procesos de secado, lo que se corrobora al realizar el análisis de la relación tangencial- radial que da un porcentaje de 1,93%, lo cual indica que no existe gran contracción en la madera a causa del proceso de secado como se puede apreciar en la ilustración 10.

En lo referente a los coeficientes de variación calculados en el total y en la relación tangencial radial se obtuvo los datos de 40,35 y 27,82 respectivamente para el caso del total se puede decir que los datos son relativamente homogéneos ya que los valores si tienen una separación entre ellos pero esta no es significativa ya que el error estándar es únicamente de 3,04; en el caso de la relación tangencial radial el valor obtenido demuestra la homogeneidad de los datos recolectados se corroboran esto con el mínimo error estándar que se obtiene, es necesario mencionar; esto sucede debido a la edad de los árboles y también a la parte del árbol de donde salieron las probetas ya que se tomó trozas de la parte basal y media. (*ver anexo 2*)

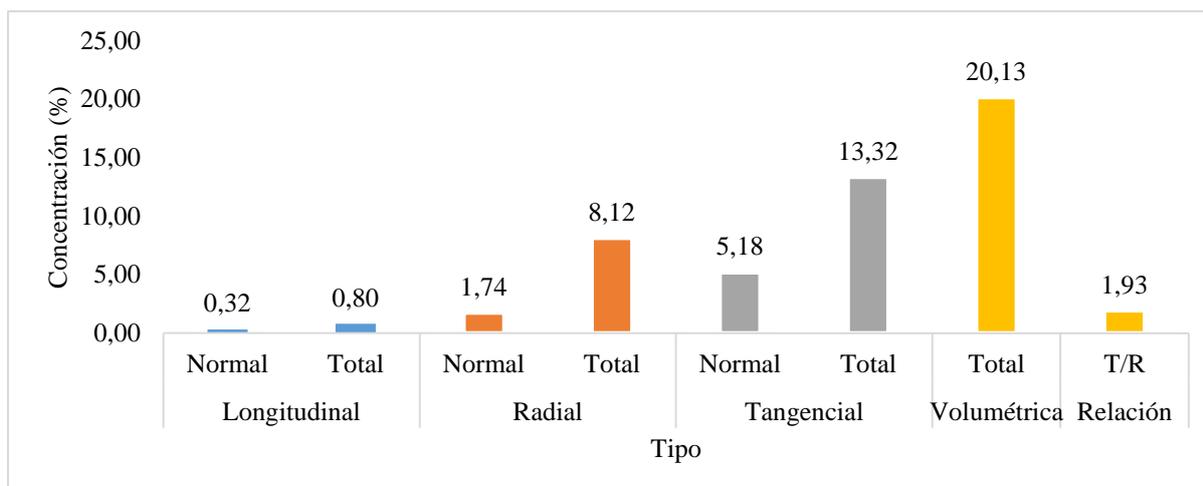


Ilustración 10: Diagrama de contracción.

En línea a los resultados obtenidos en este estudio , la investigación realizada por Calvo et al. (2007), en Argentina la cual determino las propiedades de contracción de esta madera obtuvo valores similares de 10,4 y 5,8 para la relación tangencial radial por su parte(Acosta (1995), explicando la experiencia Argentina en el uso de eucalipto, menciona que este género tiene problemas de contracciones entre estos las rajaduras, grietas, deformaciones y colapso mencionando que en *E. grandis*, es leve por lo que posee estabilidad a través de su relación T/R demostrando que es el que posee menor problemática aunque recomienda usar tecnología adecuada para su industrialización.

Por su parte Sepliarsky (2002), en el estudio de producción y mercado de *Eucalyptus grandis*, menciona que el principal problema de la especie es la generación de rajaduras después del apeo esto debido a las tensiones existentes en la madera lo que lo vuelve difícil de controlar.

4.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

Este ensayo se realizó en los laboratorios de análisis de materiales del GPI, en donde se utilizó una prensa universal de 500MP a de presión.

4.2.1 Flexión Estática

Específicamente para este ensayo se colocó dos soportes en los extremos de la probeta de

75x5x5 cm, los cuales fueron colocados a 3 cm de cada lado creando un espacio en la mitad de la probeta sobre el cual se ejerció presión deformando la madera hasta el punto en el que cedieron las fibras ASTM (2013), se tomó ese dato para su posterior análisis e interpretación.

Según a los datos obtenidos en los ensayos mecánicos de la madera de *Eucalyptus grandis*, se determinó lo siguiente el valor medio correspondiente al EULP, es de 428,64 kgf/cm² valor que se obtuvo al calcular el esfuerzo que realiza la madera para soportar presión hasta el punto límite de las fibras lo cual da un indicio de la capacidad de carga y soporte de dicha especie por su parte los valores obtenidos para el MOR y MOE, son de 816,85 kgf/cm² y 17120,57 kgf/cm² respectivamente en la cual mostro una gran elasticidad y un porcentaje de ruptura moderado, considerándola una madera de calidad y de resistente a muy resistente Carpineti (1995) tal como se observa en la ilustración 11 y 12.

De acuerdo con los coeficientes de variación encontrados los cuales para el EULP y ELP son de 428,64 y para el MOR y MOE son de 816,85 y 17120,57 respectivamente, nos da a entender que los valores son muy homogéneos ya que no existe una gran dispersión en los mismos con valores muy similares entre los esfuerzos calculados considerándose así que no hay gran diferencia entre los individuos estudiados.

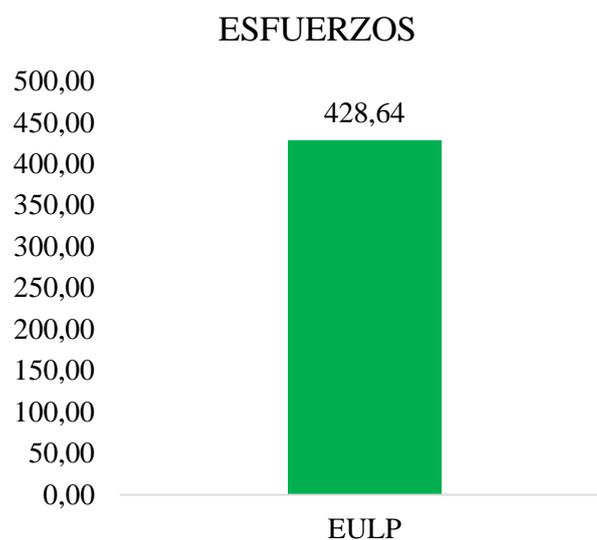


Ilustración 11: Diagrama de esfuerzos EULP

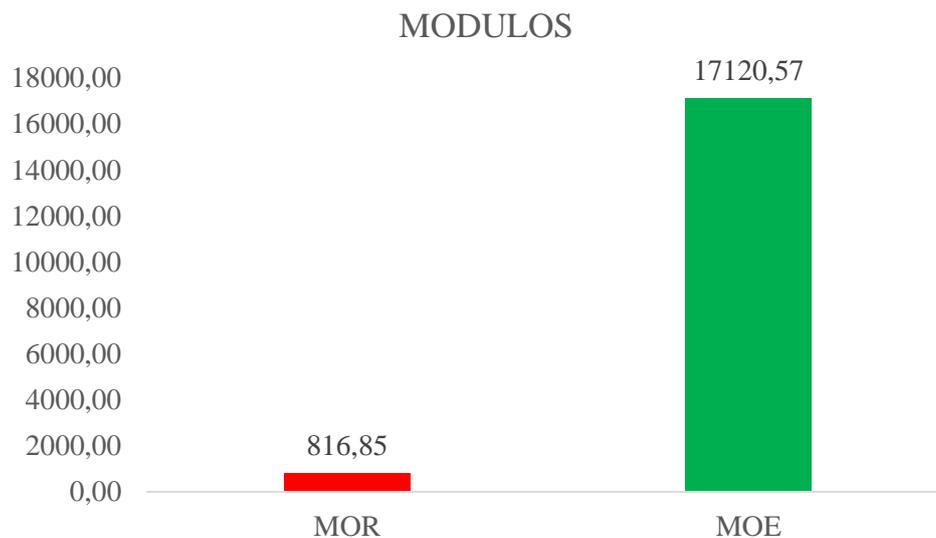


Ilustración 12: Diagrama de módulos

De acuerdo a los estudios realizados por Carpineti (1995), indica que al usar la misma norma para ensayos mecánicos la ASTM D 143 , obtuvo valores de 519 kgf/cm² para el EULP, 732 kgf/cm² en lo que respecta al MOR y un valor de 98.345 kgf/cm² datos que no distan mucho de lo hallado en el presente estudio esto se debe a que el estudio de Carpineti se llevó a cabo con árboles más jóvenes lo que pudo haber influenciado en la capacidad de soportar carga, por su parte Sánchez Acosta et al. (2005), en su estudio encontró valores sumamente similares los cuales van de 723 kgf/cm² para el MOR y 98.345 para el MOE, si bien el MOE en los arboles analizados dentro del presente estudio no tiene valores tan altos como los encontrados en los estudios llevados a cabo en Argentina se debe a la edad de los mismo ya que al tener más 30 años estos se vuelven más rígidos y disminuye la capacidad de elongación propia de la madera.

Estudios de Peter y Carlos (2005), en Uruguay con árboles más jóvenes que los de la favorita, obtuvo los siguientes resultados para el MOE encontró valores que van de 11060 a 12119 kgf/cm² y para el MOR valores que van de 763.8 a 714 kgf/cm², según el mismo autor esto se debe a las condiciones climáticas del sitio y como estas se encontraban al momento del apeo ya que influyen directamente en la madera.

Según Karsulovic y Jose (1981), explica que respecto a la flexión de una madera

depende del grado de humedad de la misma ya que si esta posee mayor CH%, por ende será más flexible que una madera sometida a un proceso de secado.

4.2.2 Compresión

Se usaron probetas de 10x3x3 cm, las cuales se colocaron en la prensa para ver su resistencia ante los esfuerzos realizados para determinar la presión a aplicar sobre la probeta se calculó el área de la misma y se introdujo ese dato en el sistema computarizado que usa la prensa.

Los datos obtenidos de este ensayo fueron recopilados para su posterior análisis e interpretación.

4.2.3 Compresión Paralela

Las probetas usadas en este ensayo se colocaron de forma que la fibra estaba paralela a la presión ejercida por la prensa, se aplicó presión sobre las probetas hasta que la maquina dejo de marcar valores.

Realizado el proceso anterior con todas las probetas se recopiló una serie de datos por árbol de los cuales se calculó el esfuerzo máximo total mediante el cálculo de un promedio el cual dio como resultado 225,12 kgf/cm², valor que no es muy alto en comparación a las demás maderas de este tipo pero que se encuentra en un rango intermedio, como se puede apreciar en la ilustración 13 en donde se encuentran colocados los esfuerzos por cada uno de los árboles.

Se calculó también el coeficiente de variación el cual dio como valor 14,23 valor que demuestra la homogeneidad de los datos ya que no existe dispersión en los mismos, ya que el promedio general es muy apegado entre sí con un desempeño similar en todos los individuos.

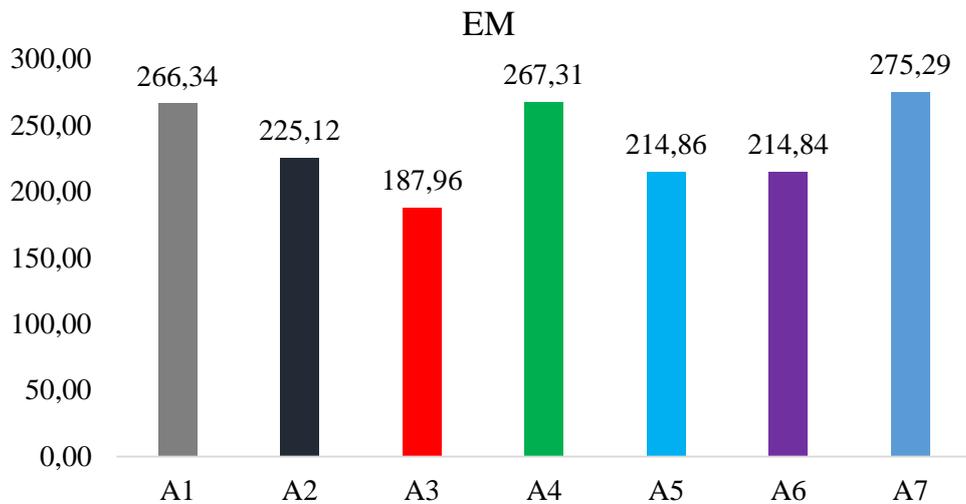


Ilustración 13: Diagrama de comprensión paralela.

Carpinetti (1995), para la comprensión paralela encontró que la especie obtuvo el valor de 343,57 kgf/cm², esto debido a las condiciones en las que se encontraban los arboles estudiados en argentina ya que la edad era mucho menor a los individuos de La Favorita, y esto influye directamente ya que al aumentar la edad de los individuos carecen de algunas propiedades propias de los mismos, los valores obtenidos por Acosta (1995), quien recapitulo la experiencia Argentina en el uso de los mismos detalla los siguientes valores 342,8 kgf/cm², valor muy similar al estudio anterior, además, menciona que por estos valores la madera de esta especie se encuentra en rango de resistente a muy resistente por la capacidad propia de la madera y establece usos como cajones, embalajes y pallets.

De acuerdo con Pérez del Castillo (2001), encontró que para arboles de una edad media entre 15 y 20 años, se obtuvo valores que van desde 390 a 970 kgf/cm², en lo que respecta a la comprensión paralela a las fibras, valores muy similares a los encontrados en la presente investigación.

4.2.4 Compresión Perpendicular

Las probetas usadas en este ensayo se colocaron de forma que la fibra se encuentre de manera perpendicular a la presión ejercida por la maquinaria, se aplicó presión por cierto tiempo hasta que la prensa automáticamente dejo de marcar valores.

En el caso de la compresión perpendicular se encontró una media general de todos los arboles de 224,89 kgf/cm², valor que demuestra que la madera si posee características adecuadas, aunque por la edad de los individuos presentan menor resistencia lo cual causa que las fibras se deformen más rápido y por ende que estas lleguen a su límite de ruptura.

Respecto al valor encontrado en el coeficiente de variación es de 34,86 lo que demuestra que si bien los datos son homogéneos existe una leve dispersión en especial en los individuos uno y dos que son los de menor valor esto debido a que dichas muestras fueron extraídas de trozas que se encontraban en la parte basal de los arboles como se aprecia en la ilustración 14.

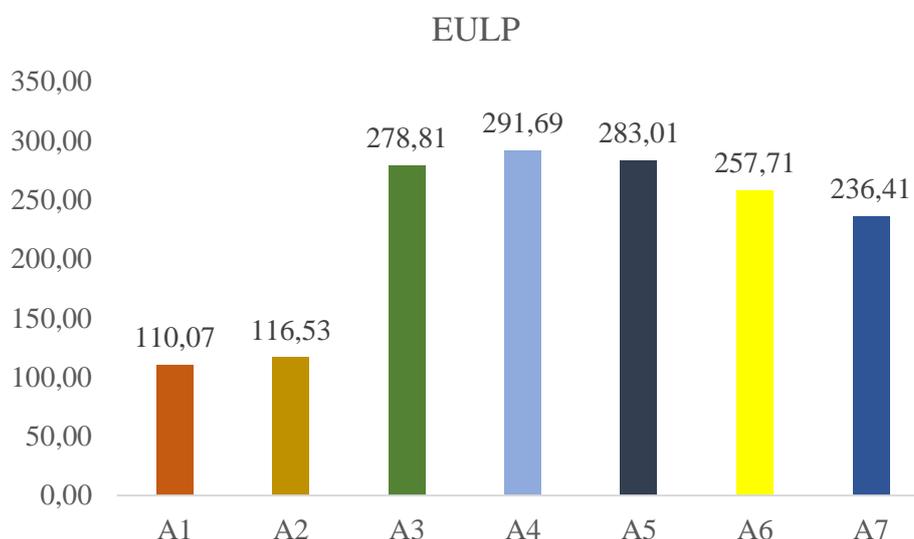


Ilustración 14: Diagrama de compresión perpendicular

Los resultados del estudio de Sánchez Acosta et al. (2005), quien estudio la misma especie de tres procedencias diferentes encontró en el ensayo de compresión perpendicular que la madera obtuvo un valor de 88,72 kgf/cm², valores los cuales varían mucho de los datos del presente estudio esto debido a que las procedencias fueron de una edad menor a la de los individuos de “La Favorita”, Sánchez Acosta et al. (2005) explica que en su estudio los individuos no presentan diferencias significativas entre sí pero se pueden dar cambios y diferencias en individuos en otros sitios.

Por su parte Carpineti (1995), en su manual obtuvo valores de 451 kgf/cm², valor que si bien es del casi el doble presentado en el actual estudio, esto indica que si existe variación en las características de la especie según su lugar de origen y las condiciones donde esta se encuentre, en el caso de la plantación de la Favorita estos valores se deben a la edad de los individuos y a los factores climáticos del sector.

Peter y Carlos (2005), menciona según su estudio de esta especie realizado en Uruguay, que la misma posee un valor de 112 kgf/cm², explica que existe una variación de los valores entre las trozas de un mismo árbol, además se debe considerar la zona de donde se tome la muestra, ya que de la parte apical del árbol por su textura más suave tiende a deformarse más pronto a diferencia de la parte basal del árbol, hecho que si bien se evidencio en la presente investigación, no se puede asegurar ya que no se realizó la separación de las probetas por partes del árbol.

4.2.5 Cizallamiento

Para el ensayo de cizallamiento se utilizaron probetas en forma de Y, las cuales poseen dimensiones de 10 cm de largo y 3x3 en cada punta, de estas probetas se tomó el área y se introdujo ese dato en la prensa.

Posteriormente las probetas fueron colocadas para el ensayo, en el cual se aplicó cierta presión por un tiempo determinado hasta que la prensa automáticamente dejó de marcar, es necesario mencionar que la maquina a usada fue calibrada con anterioridad.

En este ensayo se obtuvo un valor de 129,85 kgf/cm², valor que es muy alto ya que evidencia la resistencia de la madera ante el corte paralelo o cizallamiento con esto se demuestra que la especie estudiada es buena frente a este tipo de esfuerzos. En lo que respecta al cálculo del coeficiente de variación se calculó un valor de 13,50 (*ver anexo 6*), valor que indica la homogeneidad de los datos ya que no hay dispersión en los mismos esto genera valores similares entre individuos como se aprecia en la ilustración 15.

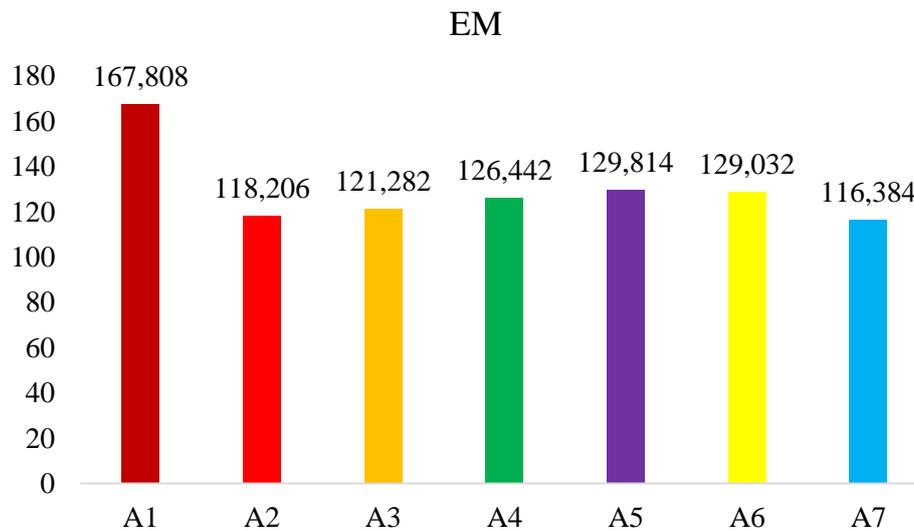


Ilustración 15: Diagrama de cizallamiento.

Los datos encontrados en la presente investigación van en línea con lo demostrado por Sánchez Acosta et al. (2005) el cual menciona que en su estudio de propiedades de diferentes procedencias en Argentina, en el ensayo de cizallamiento encontró el siguiente valor de 118,3 kgf/cm², esto demuestra que la madera de esta especie posee resistencia al corte paralelo de las fibras pero la misma no es tan alta, esto debido a que la madera posee un fibra larga y provoca que al momento que se desgarran una de ellas el hilo de la fibra siga en secuencia y genere un gran desperfecto en la madera.

En el estudio que realizó Carpineti (1995), en su manual para productores, menciona que esta especie en lo referente al cizallamiento o conocido también como corte paralelo obtuvo valores entre 109 y 115 kgf/cm², los cuales dan a entender que este valor no es tan alejado del obtenido en la presente investigación, dado que la fibra larga que posee la especie propicia este tipo de comportamiento.

4.3 PROPIEDADES DE TRABAJABILIDAD

4.3.1 Cepillado

Respecto al ensayo de cepillado realizado en la madera de *Eucalyptus grandis*, se realizó dos repeticiones a favor y en contra del grano y se obtuvo los siguientes resultados a favor del grano fue excelente y se mantuvo en grados de uno a dos y con una leve presencia

de grado tres que nos indica la efectividad de la madera en este proceso.

En lo que respecta en contra del grano el grado según la evaluación realizada los resultados fueron favorables ya que el grano tanto arrancado levantado y velloso se presentan en grado 1 y 2 con leve presencia de 3 y 4 lo que nos indica la buena calidad de la madera en este ensayo.

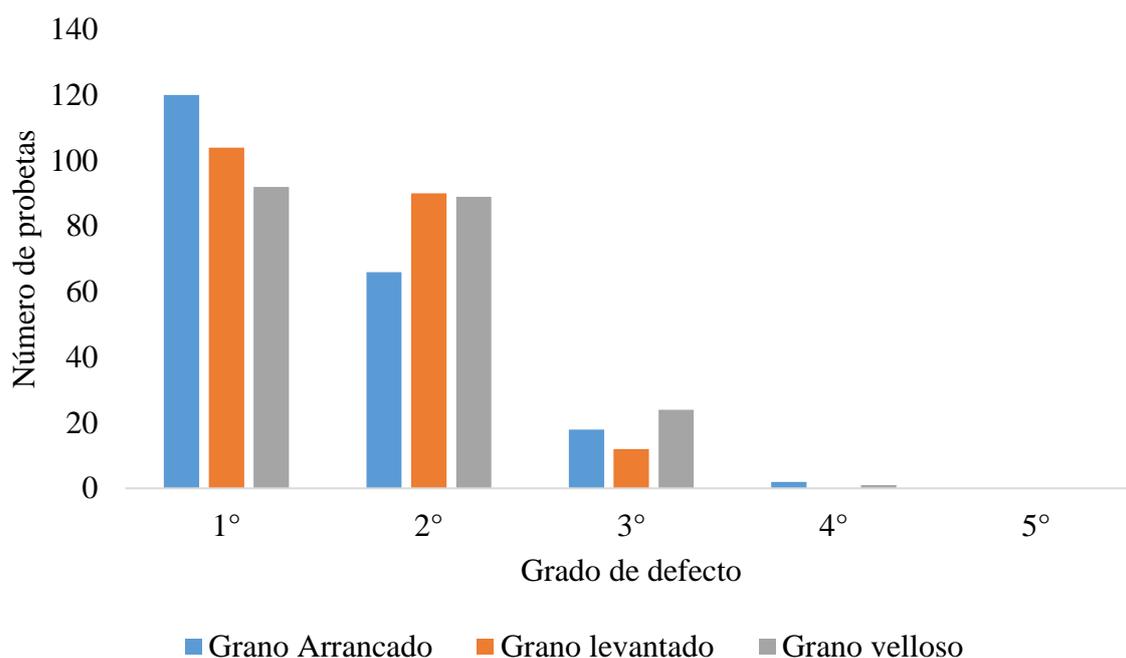


Ilustración 16: grafico de barras ensayo de cepillado general

Para los ensayos de lijado de la madera de *Eucalyptus grandis*, se utilizó dos tipos de lijas una lija gruesa de numero 60 y un delgado número 100 con las cuales se realizó dos repeticiones a favor y contra del grano con los siguientes resultados.

4.1.1.1 Lija 60

En el ensayo realizado con la lija número 60, se observó que la madera estudiada posee características buenas, ya que se mantuvo en rangos entre grado 1 y 3 con una leve presencia de grado cuatro, lo que nos indica que la madera de esta especie es buena para los procesos posteriores al aserrado.

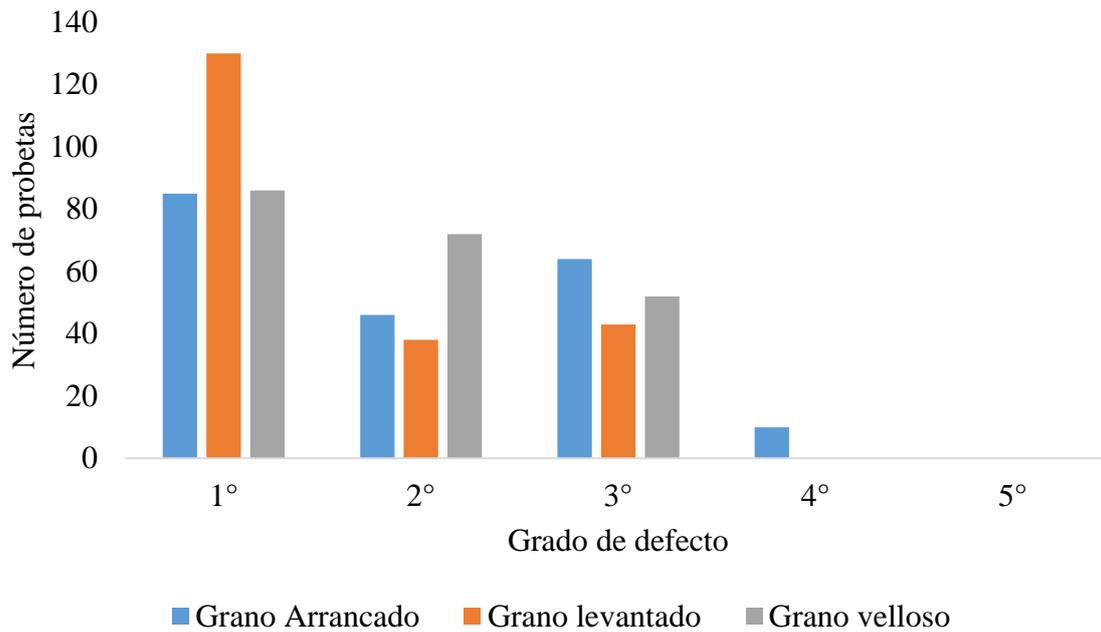


Ilustración 17: Diagrama de lijado lija 60.

4.1.1.2 Lija 100

En el ensayo realizado con la lija número 100, se realizaron dos repeticiones tanto a favor como en contra del grano con la que se evaluó la efectividad de la madera de esta especie para este tipo de trabajos y se obtuvo un resultado excelente manteniéndose en rangos de 1 a 3, el grado dos el más recurrente tanto a favor como en contra del grano como se observa en la ilustración 17.

Estos resultados nos demuestran que la madera de *Eucalyptus grandis*, posee una buena trabajabilidad en procesos que conlleven el uso de algún tipo de maquinaria esto debido a su alta densidad y su fibra la cual es más larga.

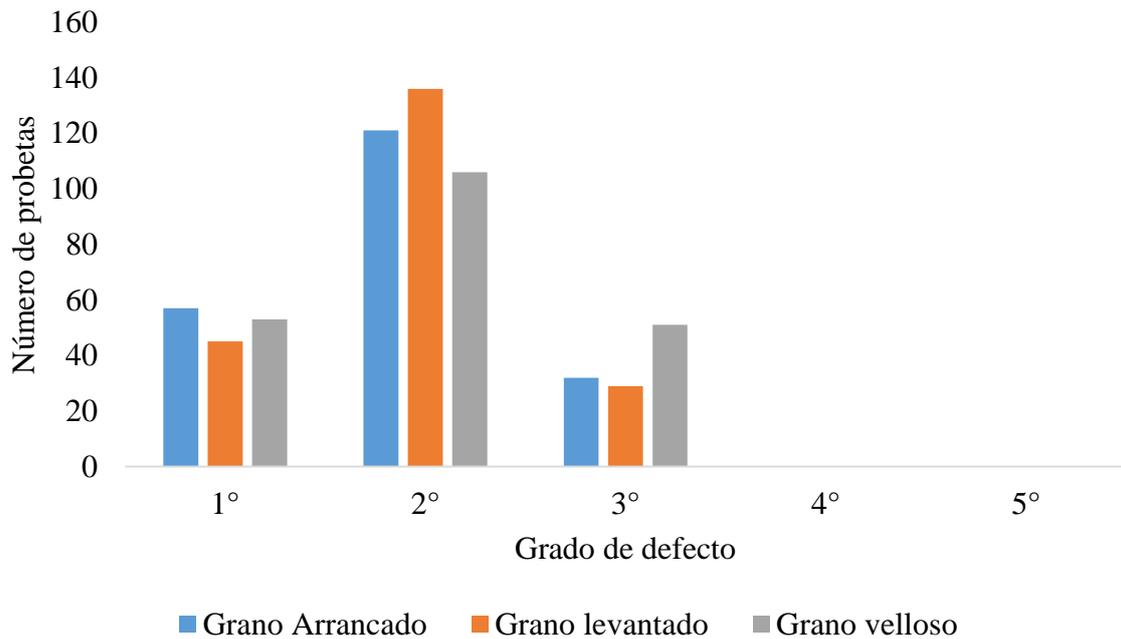


Ilustración 18: Diagrama de lijado lija 100.

4.3.2 Moldurado

El ensayo de moldurado se realizó con la tupi manual, una sola fresa en el cabezal y se realizó dos repeticiones a favor y en contra del grano e igualmente a los extremos de cada probeta.

Los resultados obtenidos en este ensayo con la especie estudiada son excelentes ya que en su gran mayoría las probetas evaluadas se encontraron en grado uno con una leve presencia de grado dos, respecto a la evaluación tanto a favor como en contra del grano, con un rango general muy alto de grado uno.

Lo cual indica la buena trabajabilidad de esta especie en lo respecta al trabajo que se realiza con maquinaria.

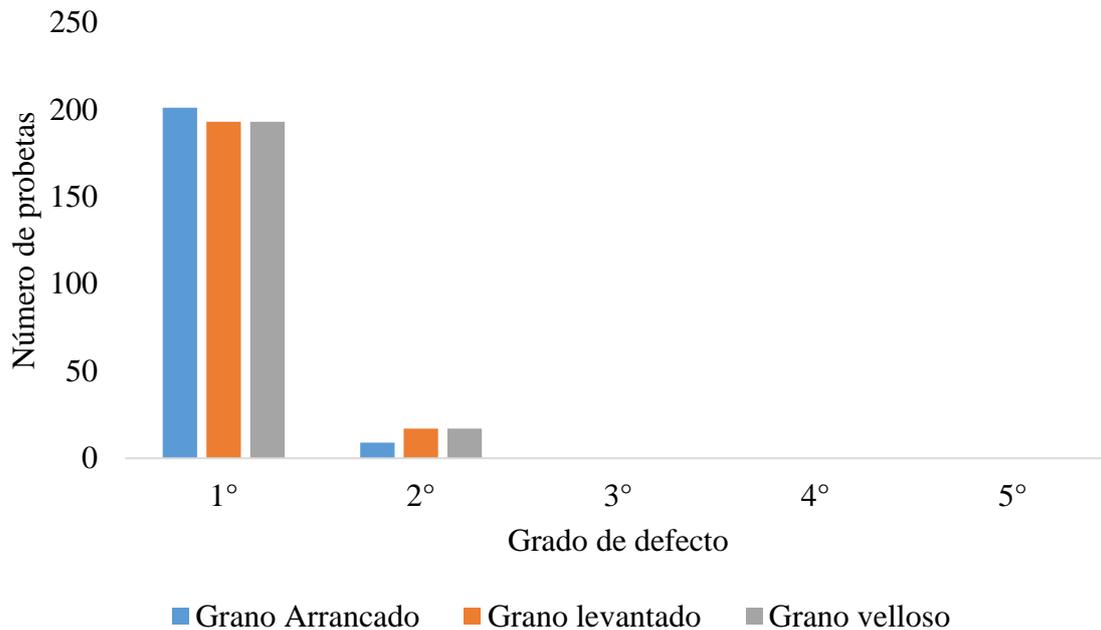


Ilustración 19: Diagrama de moldurado.

En Argentina en varias zonas existe el uso de esta especie y se han realizado varios estudios entre ellos, menciona que el eucalipto por ser madera dura impide realizar una buena trabajabilidad, pero con el uso de técnicas adecuadas se logra buenos productos, el *Eucalyptus grandis* se destaca por su buen comportamiento al momento de realizar ensayos de trabajabilidad debido a que posee una densidad no tan alta en comparación a otras variedades de la especie.

Este tipo de comportamiento en el *Eucalyptus grandis* se corrobora en el estudio de Martínez Escobar *et al.* (2009), el cual nos dice que esta especie obtiene excelentes resultados en ensayos de este tipo con énfasis en el moldurado como uno de los esenciales y de mejor resultado

4.3.3 Taladrado

En el ensayo de taladrado se usó un taladro manual y se observó que la madera de la especie estudiada tiene resultados buenos que abarcan rangos de 1 a 4, tanto a favor como en contra del grano.

El que tuvo mayor presencia fue el grano arrancado ya que es el que más se pudo

evidenciar en comparación a los otros defectos esto tanto a la entrada del taladro como a la salida del mismo, seguido por el grano levantado que fue mucho más evidente a la salida que a la entrada, respecto al grano vellosos este tuvo presencia casi nula por lo que se encuentra en grado dos esto tanto a la entrada del taladro como a la salida del mismo, evidencia que es el defecto menos presente en este ensayo.

La mayor presencia de grano arrancado y levantado se debe directamente a que la madera de esta especie en específico posee una fibra larga lo que provoca que al momento de entrar y salir el taladro se generen rupturas de la fibra y se evidencie en gran cantidad estos defectos.

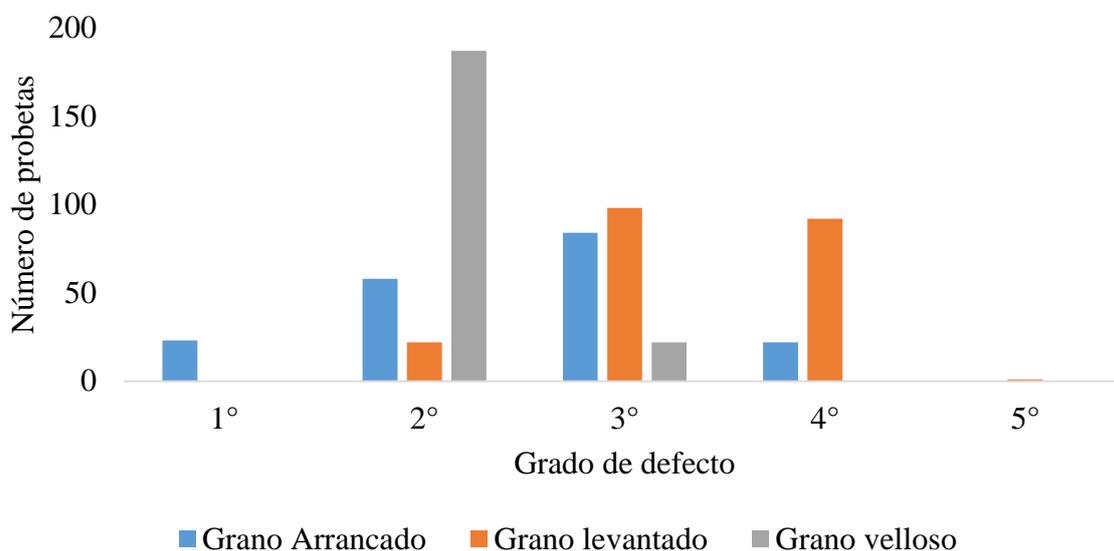


Ilustración 20: Diagrama de taladrado.

4.3.4 Torneado

Para los ensayos de torneado se usaron probetas de 15 x 5 x 5 cm, las cuales fueron colocadas en el torno manual y se usaron gubias para el devaste de las probetas y dar forma a las mismas.

Los resultados obtenidos en el ensayo de torneado demuestran que la madera de esta especie tiene un comportamiento bueno ya que presenta una cantidad de defectos considerables entre rangos de 2 a 5, el grado 3 y 4 los que más presencia tienen respecto a los

otros grados de evaluación, debido específicamente a la fibra larga que posee la madera.

Estos resultados se dan debido a la densidad de la madera y su dureza, si bien el resultado del proceso de torneado es bueno, es necesario pulir o quitar los defectos por lo que se recomienda usar lija de 60 y posteriormente de 100 para mejorar el acabado de la misma, en caso que se realice algún tipo de trabajo artesanal en específico.

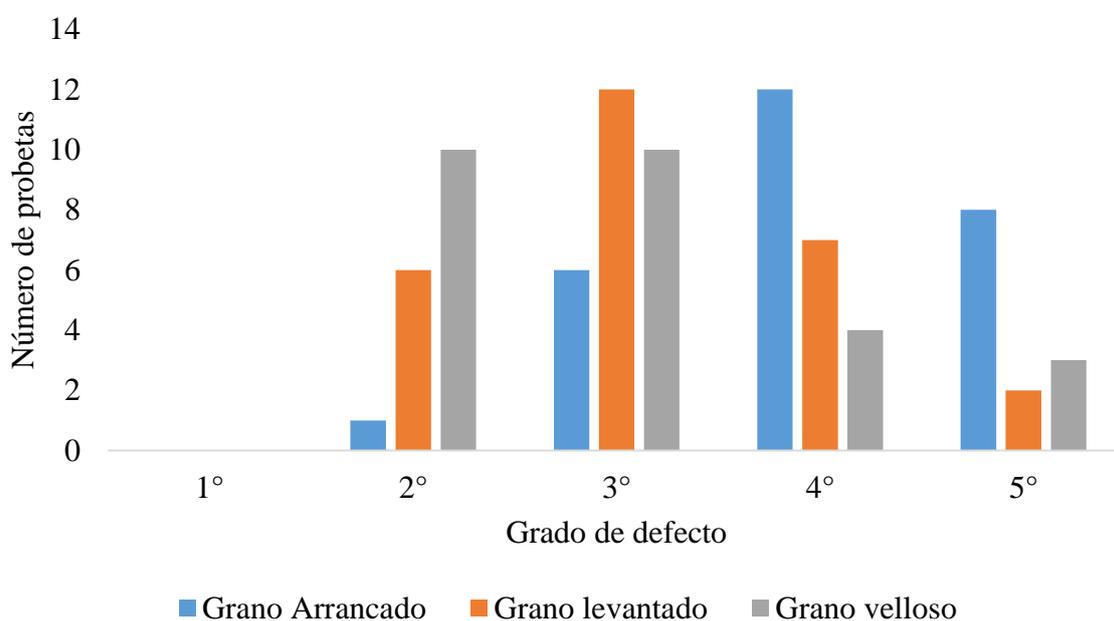


Ilustración 21: Diagrama de torneado.

4.3.5 Tallado

El tallado fue llevado a cabo en el Instituto de Artes Plásticas “Daniel Reyes”, donde se realizó tallado en alto relieve, escultura con motosierra, y ensayos en laser donde se determinó que la madera de esta especie es favorable para trabajos con maquinaria respectivamente para tallado y escultura a mano es favorable realizarla en húmedo ya que en el estado en el que se encuentra de seco al aire complica mucho la realización de trabajos manuales.

Respecto a lo realizado en el Instituto de Artes Plásticas “Daniel Reyes” el docente

Carlos Castillo, menciona que la dureza de la madera complica el trabajo manual dificulta realizar relieves, pero no lo imposibilita, menciona que un carpintero de la parroquia de San Antonio que trabaja en conjunto con el Instituto realizo el tallado e indica que se puede trabajar con esta especie en estado húmedo, además señala que el olor de la madera es suave y que no contiene olor fuerte o toxico que impida el trabajo,

Por la experiencia obtenida argumenta además que la madera de esta especie es ideal para realizar piezas decorativas no precisamente para tallado sino más bien para figuras articuladas como maniqués, títeres, y mueblería lineal, trabajos en tupi para nichos y duelas para pisos, explica también que para realizar tallados y ensambles la madera es muy dura lo que impide realizar dichos trabajos.

Es necesario mencionar que en lo que respecta al trabajo en laser la madera ha obtenido un resultado favorable ya que por sus características de fibra larga y densidad es apta para este ya que si fuera menos densa el láser la traspasaría con mucha facilidad.

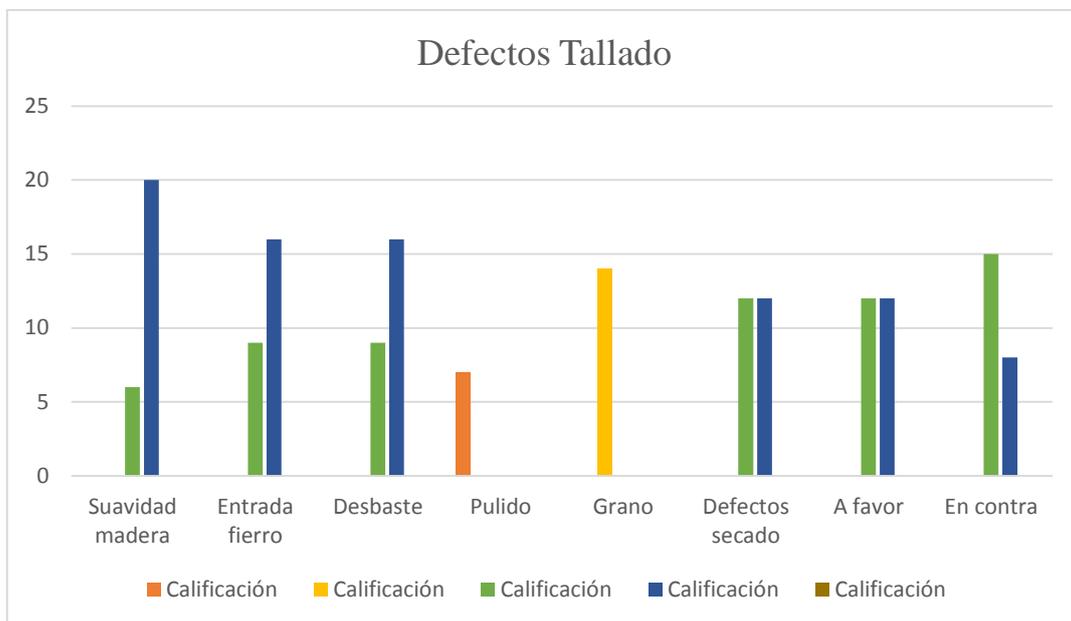


Ilustración 22: Defectos de tallado.

Estudios realizados por Acosta (1995), determina que la madera de esta especie es apta para trabajos con maquinaria puesto que se obtiene buenos resultados en la elaboración de muebles rectos y también en lo que respecta a parquet y pisos esto debido a su dureza y

durabilidad también explica que dicha madera sería muy utilizable en la industria del contrachapado debido a su fibra larga y la capacidad de la misma para desenrollado.

Carpinetti (1995), en su manual para productores menciona que esta especie demuestra buen resultado ya que la especie es buena para aserrado, cepillado, teñido, torneado, taladrado esto demuestra que existen buenos resultados y no variando mucho en lo encontrado en la especie perteneciente a la EELF, se recomienda, en mueblería por su brillo y durabilidad y en parquet por su dureza y capacidad para soportar las cargas, esto en términos generales de acuerdo a investigaciones afines las cuales también citan el uso de esta madera en la construcción en general, entrepisos, como postes para alambrado, como señala Meskimen y Francis (2000).

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se determinó las propiedades físicas de la madera de *Eucalyptus grandis*, la cual posee un contenido de humedad alto de 92,75% como valor final, cabe indicar que en el proceso de secado la madera perdió un total de 50,39%.
- Se obtuvo una densidad básica de 0,53 gr/cm³, mientras que la contracción volumétrica total fue de 19,95 y respecto su relación T/R de 1,93, la cual indica que la madera posee un alto contenido de agua y genera defectos en el proceso de secado.
- La madera de *Eucalyptus grandis*, fue estudiada y se determinó las propiedades mecánicas en diferentes ensayos como cizallamiento, compresión, y flexión, con los cuales se demostró que la especie se encuentra en un rango de resistente a muy resistente con los siguientes valores para el ensayo de flexión estática: EULP, es de 428,64 kgf/cm², MOR de 816,85 kgf/cm², MOE 17120,57 kgf/cm², considerándose buenos resultados, pero influenciando directamente la edad de la plantación en algunos de los mismos. En el cizallamiento se encontró el siguiente valor de 129,85 kgf/cm², considerado como bueno en relación a investigaciones similares.
- Respecto a la trabajabilidad se pudo establecer que la madera estudiada es perfecta para realizar trabajos con maquinaria ya que por su densidad facilita la utilización de las mismas, pero complica la realización de trabajos manuales en los que se utiliza formones y gubias por la dureza de la misma, pero depende directamente de la humedad existente en la madera ya que a más humedad el trabajo se vuelve más sencillo, pero se generan varios defectos al momento del secado.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda mejorar los procesos de secado de la madera en esta especie para evitar los defectos generados por el alto % de CH presente en la misma y así evitar pérdidas económicas.
- Es necesario realizar el estudio con árboles de menor edad que los usados en la presente investigación ya que esta variable pudo influenciar de alguna manera en las características de la madera analizada.
- Gracias a la resistencia de la madera obtenida en los ensayos mecánicos se recomienda usar la madera en diseño estructural, por lo cual se recomienda realizar estudios de factibilidad con respecto a este uso.
- Dar a conocer la especie como una alternativa en la realización de mueblería ya que, por su color y resistencia, flexibilidad y belleza esta es óptima para este tipo de trabajos.
- Es necesario continuar los estudios de la plantación de esta especie existente en la EELF, esencialmente en lo que respecta a su durabilidad natural ya que por sus características naturales propias es de esperar resultados favorables en este tipo de ensayos y además ayudaría a tomar una decisión respecto al futuro de la misma.
- Se recomienda al Instituto de Artes Plásticas “Daniel Reyes”, realizar ensayos de policromía y estucado para evaluar el comportamiento de la madera en lo que concierne a la adherencia de materiales como bronce y oro.
- Se recomienda socializar los resultados con las industrias ya que como se observa en la investigación en otras latitudes la especie es muy usada en la elaboración de tableros, pulpa papel, parquet, pisos, entre otros usos industriales.

BIBLIOGRAFIA

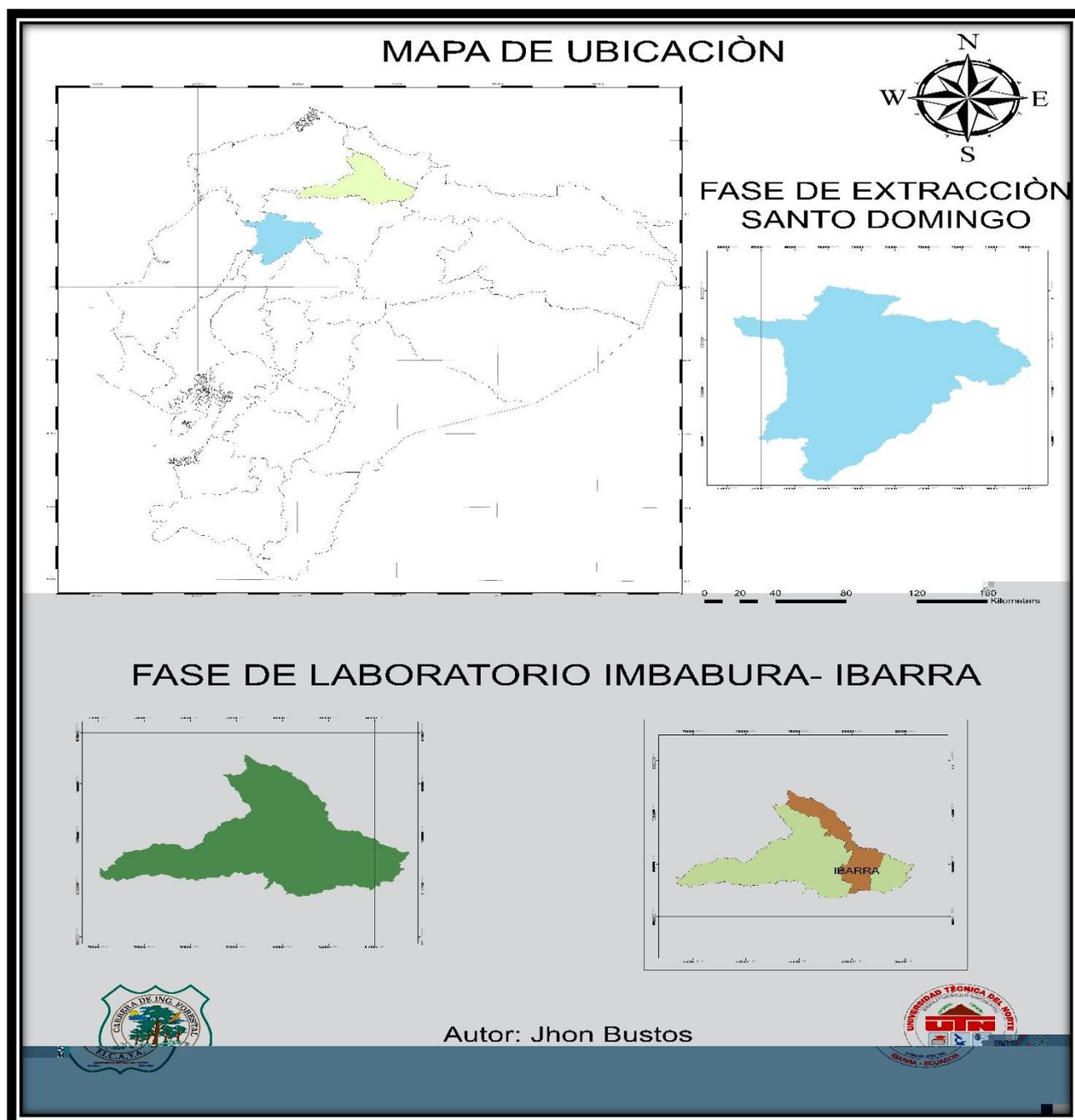
- Acosta, M. S. (1995). *Experiencia argentina en el uso de la madera de eucalipto. Seminario Internacional de Utilizaçao Da Madeira de Eucalipto para Serraria. IPT–IUFRO.* Sao Paulo, Brasil, 9.
- Acosta Solis, M. (1949). *El eucalipto en el Ecuador: Editorial Ecuador.*
- Aguirre, C., & Vizcaíno, M. (2010). *Aplicación de estimadores estadísticos y diseños experimentales en investigaciones forestales.* Editorial universitaria-Ibarra.
- 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.,
- Asamblea Nacional. (2018). *Codigo Organico Ambiental.* Quito.
- Arango, B., Hoyos, J. F., & Vásquez, A. M. (2001). *Variación de la densidad básica de la madera de Eucalyptus grandis en arboles de siete años de edad.* Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 54(1 y 2), 1275-1284.
- Arias Estefania, R. M. (2010). *APROVECHAMIENTO DE RECURSOS FORESTALES EN EL ECUADOR Y PRECESOS DE INFRACCIONES Y DECOMISO.* In C. S. Velastegui Diego (Ed.).
- Askeland, D. R., Fulay, P. P., & Wright, W. J. (2017). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales:* Cengage learning.
- ASTM. (2010). *Ensayos Mecanicos.* In.
- ASTM, I. (2013). *ASTM.* In (Vol. 4).
- 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.
- Calvo, C. F., Cotrina, A., Cuffré, A., Piter, J., Stefani, P., & Torrán, E. A. (2006). *VARIACIÓN RADIAL Y AXIAL DEL HINCHAMIENTO, DEL FACTOR ANISOTRÓPICO Y DE LA DENSIDAD, EN EL EUCALYPTUS GRANDIS DE ARGENTINA.* Maderas. Ciencia y tecnología, 8(3), 159-168.
- Calvo, C. F., Cotrina, A. D., Cuffre, A. G., Ott, M., Piter, J. C. J., Stefani, P. M., . . . Vivian, A. (2007). *Propiedades de hinchamiento y contracción en la madera de Eucalyptus grands de Argentina.*
- Carpineti, L. A. (1995). *Manual para productores de eucaliptos de la Mesopotamia Argentina.*
- 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.

- Chambergo, A., & Aróstegui, A. (1984). *Influencia de los elementos xilemáticos en las propiedades físico-mecánicas de 45 maderas del Perú*. Revista Forestal del Perú, 12(1-2), 1-16.
- Contitucion. (2008). *Constitucion de la Republica del Ecuador*. Montecristi.
- COPANT. (1972). CoMISION PANAMERICANA DE NORMA TECNICAS. In.
- Coronel, E. O. (1995). *Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas: Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades, y sus aplicaciones*: Facultad de Ciencias Forestales Universidad Nacional de Santiago del Estero Instituto de Tecnología de la Madera (ITIM).
- 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.
- Gerhards, C. C. (2007). *Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: an analysis of immediate effects*. Wood and Fiber Science, 14(1), 4-36.
- ITTO. (2012). *FICHAS DE PROPIEDADES TECNOLOGICAS DE LA MADERA*. MEXICO.
- INEN. (04 de 2013). *INEN*. Obtenido de INEN: <https://studylib.es/doc/4897920/n-te-inen-1164--maderas.-determinaci%C3%B3n-de-la-contracci%C3%B3n>
- Karsulovic, C., & Jose, Y. (1981). *PROPIEDADES MECÀNICAS DE LA MADERA*.
- Martínez Escobar, J. E., 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/2009*,
- Martínez Guzmán, C. E. (2018). *Evaluación de las propiedades físicas-químicas de Eucalyptus urograndis (Eucalipto), en el sector de Fumisa, cantón Buena Fe, provincia de Los Ríos*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,
- Mediavilla Mediavilla, F. V. (2016). *Propiedades físicas, químicas y de trabajabilidad de la madera de alnus nepalensis d. don en Intag, zona Andina del Ecuador*.
- Meneses Tirira, O. 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*. Ibarra: Universidad Tecnica del Norte.
- Meskimen, G., & Francis, J. K. (2000). *Eucalyptus grandis Hill ex Maiden Eucalipto rosado*. Bioecología de Arboles Nativos y Exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales, 211.
- Moya, R. (2010). *Efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo en algunas propiedades de la madera de teca (Tectona grandis)*. Revista Árvore, 34(6), 1109-1118.

- NEC. (2014). *Estructuras de madera*. In N. E. d. *Construcción* (Ed.).
- Olvera, C. d. I. P. P., Rafael, A. C., Isaías, A. Q., & Sotelo, R. D. (1998). *Estudio anatómico de la madera de cinco especies del genero Quercus (Fagaceae) del estado de Veracruz*. *Madera y Bosques*, 4(2), 45-65.
- Ou, R., Zhao, H., Sui, S., Song, Y., & Wang, Q. (2010). *Reinforcing effects of Kevlar fiber on the mechanical properties of wood-flour/high-density-polyethylene composites*. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(9), 1272-1278.
- Pacheco, M. M., Diego, M. A. P., & García, P. M. (2017). *Atlas de Histología vegetal y animal*. Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales(90), 76-77.
- Peter, B., & Carlos, V. (2005). *PROPIEDADES MECÁNICAS DE Eucalyptus grandis Maiden DEL NORTE DE URUGUAY*. In.
- Peña, S. V., & Rojas, I. M. (2006). *Tecnología de la madera*: Mundi-Prensa Libros.
- Piqué, J., & de Cartagena, J. d. A. (1984). *Manual de diseño para maderas del grupo andino*.
- Pérez del Castillo, A. (2001). *Propiedades mecánicas y calidad de madera de Eucalyptus grandis del norte de Uruguay*.
- Seco, J. F.-G. (2003). *Manual de clasificación de madera*: AITIM.
- SEMPLADES. (2017). *Plan Toda una Vida*. Quito.
- Sepliarsky, F. F. (2002). I.: *Producción y Mercado de Madera de Eucalyptus grandis*. 17. Jornadas Forestales de Entre Rios. Concordia, Entre Rios (Argentina). 24-25 Oct 2002.
- Sánchez Acosta, M., Zakowicz, N., Harrant, L., Cuffre, A., Torran, E., & Calvo, P. J. (2005). *Propiedades físico mecánicas de la madera de Eucalyptus grandis de las procedencias genéticas: Kendall (Australia), Huerto semillero de Sudáfrica y semilla local Concordia, plantadas comercialmente en Argentina*. Paper presented at the Congreso Mundial IUFRO.
- Tropicales, O. I. d. I. M. (Producer). (2004-2017). Organización Internacional de las Maderas Tropicales. *Organización Internacional de las Maderas Tropicales*. Retrieved from http://www.itto.int/es/sustainable_forest_management/
- Villalba, H. (2016). *Tecnología Industrial I*. In (pp. 1-7).
- VIZCARRA, S. (1998). *Guía para el Secado de la Madera en Horno. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR*. Documento Técnico. Santa Cruz, Bolivia. 64p.
- Wangaard, F. F. (1950). *The mechanical properties of wood. The mechanical properties of wood*.
- Zamora Campos, E. M., Vázquez Cuecuecha, O. G., Pérez Ahuatzi, A., Cano Flores, R., Aparicio Rentería, A., & Fernández Pedraza, E. (2007). *Variación natural de la densidad de la madera en Pinus montezumae Lamb. en tres altitudes del parque nacional la Malinche, Tlaxcala, México*. *Foresta Veracruzana*, 9(2).

ANEXOS

Anexo 1: Mapa de Ubicación.



Anexo 2: tabla de resumen Propiedades Físicas.

| Árbol | CH | | DENSIDAD | | | | CONTRACCIÓN % | | | | | | Relación | |
|---------------------|--------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------|-------|--------|-------|------------|-------|----------|-------------|
| | SA | SH | Verde | Seca al aire | Seca al horno | Básica | Longitudinal | | Radial | | Tangencial | | | Volumétrica |
| | % | % | gr/cm ³ | gr/cm ³ | gr/cm ³ | gr/cm ³ | Normal | Total | Normal | Total | Normal | Total | Total | T/R |
| A1 | 78,89 | 93,46 | 1,02 | 0,65 | 0,77 | 0,53 | 1,38 | 1,92 | 2,76 | 13,13 | 8,52 | 19,45 | 29,87 | 1,49 |
| A2 | 95,24 | 109,56 | 1,01 | 0,56 | 0,62 | 0,48 | 0,40 | 0,76 | 1,95 | 8,36 | 4,66 | 13,78 | 20,99 | 1,67 |
| A3 | 81,71 | 97,10 | 1,09 | 0,63 | 0,70 | 0,55 | 0,24 | 0,42 | 0,75 | 7,80 | 3,86 | 13,29 | 20,05 | 1,72 |
| A4 | 79,00 | 93,78 | 1,06 | 0,64 | 0,69 | 0,55 | 0,21 | 0,40 | 1,60 | 7,87 | 4,79 | 12,89 | 19,73 | 1,65 |
| A5 | 77,79 | 94,60 | 1,08 | 0,65 | 0,72 | 0,56 | 0,21 | 0,32 | 1,69 | 10,08 | 4,31 | 13,33 | 22,07 | 1,42 |
| A6 | 88,35 | 103,64 | 1,04 | 0,59 | 0,69 | 0,51 | 0,11 | 0,65 | 1,92 | 18,62 | 4,51 | 7,72 | 24,91 | 0,42 |
| A7 | 84,57 | 101,16 | 1,03 | 0,60 | 0,68 | 0,52 | 0,33 | 1,06 | 1,53 | 18,55 | 3,99 | 6,17 | 23,58 | 0,33 |
| Media | 83,65 | 99,04 | 1,05 | 0,62 | 0,69 | 0,53 | 0,41 | 0,79 | 1,74 | 12,06 | 4,95 | 12,38 | 23,03 | 1,24 |
| Suma | 585,56 | 693,30 | 7,33 | 4,32 | 4,86 | 3,70 | 2,88 | 5,52 | 12,20 | 84,41 | 34,62 | 86,63 | 161,20 | 8,70 |
| Desviación estándar | 6,32 | 6,04 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,03 | 0,44 | 0,56 | 0,60 | 4,82 | 1,61 | 4,36 | 3,55 | 0,60 |
| Error estándar | 2,39 | 2,28 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,16 | 0,21 | 0,23 | 1,82 | 0,61 | 1,65 | 1,34 | 0,23 |
| CV | 7,56 | 6,09 | 2,73 | 5,55 | 6,62 | 5,05 | 106,17 | 70,86 | 34,44 | 39,99 | 32,59 | 35,26 | 15,40 | 48,44 |

Anexo 3: tabla de resumen Flexión estática

| Estimadores | EULP | ELP | MOR | MOE |
|---------------------|---------|--------|---------|-----------|
| Media | 428,64 | 17,15 | 816,85 | 17120,57 |
| Suma | 3000,50 | 120,02 | 5717,98 | 119844,01 |
| Desviación estándar | 32,85 | 1,31 | 118,62 | 2429,94 |
| Error estándar | 12,41 | 0,49 | 44,83 | 918,43 |
| CV | 7,67 | 7,67 | 14,52 | 14,19 |

Anexo 4: tabla de resumen compresión paralela

| estimadores | Carga rup Kgf | EM |
|---------------------|---------------|---------|
| Media | 12882,10 | 235,96 |
| Suma | 90174,72 | 1651,71 |
| Desviación estándar | 1869,54 | 33,58 |
| Error estándar | 706,62 | 12,69 |
| CV | 14,51 | 14,23 |

Anexo 5: tabla resumen compresión perpendicular.

| Árbol | Carga rup | EULP |
|---------------------|------------|------------|
| Media | 11393,3509 | 224,89062 |
| Suma | 79753,4562 | 1574,23434 |
| Desviación estándar | 3673,02274 | 78,4048804 |
| Error estándar | 1388,2721 | 29,6342593 |
| CV | 32,24 | 34,86 |

| estimadores | Carga rup Kgf | EM |
|---------------------|---------------|--------|
| Media | 724,72 | 129,85 |
| Suma | 5073,01 | 908,97 |
| Desviación estándar | 91,11 | 17,53 |
| Error estándar | 34,44 | 6,63 |
| CV | 12,57 | 13,50 |

Anexo 6: tabla resumen cizallamiento.

Anexo 7: tabla resumen cepillado.

| Parametros | Grado | | | | |
|-----------------|-------|----|----|----|----|
| | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° |
| Grano Arrancado | 120 | 66 | 18 | 2 | 0 |
| Grano levantado | 104 | 90 | 12 | 0 | 0 |
| Grano velloso | 92 | 89 | 24 | 1 | 0 |

Anexo 8: tabla resumen lijado 60.

| Parametros | Grado | | | | |
|-----------------|-------|----|----|----|----|
| | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° |
| Grano Arrancado | 85 | 46 | 64 | 10 | 0 |
| Grano levantado | 130 | 38 | 43 | 0 | 0 |
| Grano velloso | 86 | 72 | 52 | 0 | 0 |

Anexo 9: tabla resumen lijado 100.

| Parametros | Grado | | | | |
|-----------------|-------|-----|----|----|----|
| | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° |
| Grano Arrancado | 57 | 121 | 32 | 0 | 0 |
| Grano levantado | 45 | 136 | 29 | 0 | 0 |
| Grano velloso | 53 | 106 | 51 | 0 | 0 |

Anexo 10: tabla resumen moldurado.

| Parametros | Grado | | | | |
|-----------------|-------|----|----|----|----|
| | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° |
| Grano Arrancado | 201 | 9 | 0 | 0 | 0 |
| Grano levantado | 193 | 17 | 0 | 0 | 0 |
| Grano velloso | 193 | 17 | 0 | 0 | 0 |

Anexo 11: tabla resumen taladrado.

| Parametros | Grado | | | | |
|-----------------|-------|-----|----|----|----|
| | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° |
| Grano Arrancado | 23 | 58 | 84 | 22 | 0 |
| Grano levantado | 0 | 22 | 98 | 92 | 1 |
| Grano vellosa | 0 | 187 | 22 | 0 | 0 |

Anexo 12: tabla resumen torneado

| CÓDIGO | Peso (g) | | Tiempo | DEFECTOS (%) | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----------|-------|---------|------------------|----|----|----|----|-----------------|----|----|----|----|---------------|----|----|----|---|
| | | | | Grano Arrancado | | | | | Grano levantado | | | | | Grano vellosa | | | | |
| | | | | Calificación (%) | | | | | Calificación | | | | | Calificación | | | | |
| Árbol | Inicial | Final | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | |
| A1 | 426,8 | 232,2 | 7,858 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 |
| A2 | 384,4 | 175,6 | 8,84 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| A3 | 409,2 | 219,6 | 9,38 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| A4 | 372,4 | 174,8 | 5,8125 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 |
| A5 | 403,2 | 206,4 | 8,275 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 |
| A6 | 368,8 | 158,8 | 6,96 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| A7 | 408,8 | 199,6 | 6,5525 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| Gneral | 396,23 | 195,3 | 7,66829 | 0 | 1 | 6 | 12 | 8 | 0 | 6 | 12 | 7 | 2 | 0 | 10 | 10 | 4 | 3 |

Anexo 13: tabla resumen tallado.

| Parametros | Calificación | | | | |
|-----------------|--------------|----|----|----|----|
| | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° |
| Suavidad madera | 0 | 0 | 6 | 20 | 0 |
| Entrada fierro | 0 | 0 | 9 | 16 | 0 |
| Desbaste | 0 | 0 | 9 | 16 | 0 |
| Pulido | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | |
|-----------------|---|----|----|----|---|
| Grano | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 |
| Defectos secado | 0 | 0 | 12 | 12 | 0 |
| A favor | 0 | 0 | 12 | 12 | 0 |
| En contra | 0 | 0 | 15 | 8 | 0 |

Anexo 14: selección y tumba de los árboles.



Figura 1: tumba de árboles.



Figura 2: extracción de bloques.



Figura 3: traslado de madera.



Figura 4: apilamiento de bloques



Figura 5: codificación de bloques.



Figura 6: traslado de bloques.



Anexo 15: Transporte de la maderera, Figura 7 y 8.

Anexo 16: Procesado de la madera en la central maderera.

Figura 9: dimensionado de bloques.



Figura 10: Procesado de la madera.



Anexo 17: Ensayo de propiedades físicas.

Figura 11: Pesado de probetas.



Figura 12: medición de probetas



Anexo 18: Ensayo de trabajabilidad y evaluación.

Figura 13: cepillado



Figura 14: cepillado



Anexo 19: Ensayo de propiedades mecánicas.

Figura 15: selección de probetas.



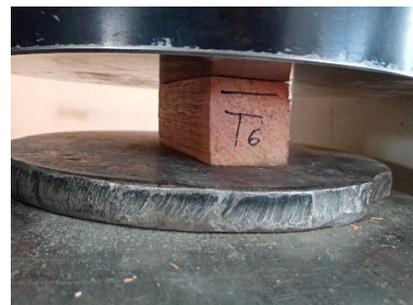
Figura 16: Ensayo de cizallamiento



Figura 17: probetas de cizallamiento paralela



Figura 18: ensayo de flexión



Anexo 20: Ensayo de Escultura y Tallado, Figuras 19, 20 y 21.

