

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El *Eucalyptus grandis* (Hill, 1862) es originario de la zona norte de Nueva Gales del Sur y de las costas de Queensland, estando presente en altitudes de hasta 900 m.s.n.m. *E. grandis* (Hill, 1862) es una especie con buena adaptación y crecimiento en una variada gama de condiciones edafoclimáticas, exceptuando aquellos suelos que presenten un drenaje deficiente y ocurrencia de heladas, la capacidad de producción de grandes volúmenes de madera en períodos relativamente cortos, además, a decir por algunos autores, por su aptitud maderera tiene múltiples usos, entre ellos aserrado, laminado, aglomerado, pulpa, postes cortos y largos, etc. (SINAVIMO Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo, 2010)

Hombre y tecnología han evolucionado a lo largo de su existencia de forma paralela. La necesidad de dominar el medio le confirió al hombre el descubrimiento y conocimiento de los materiales que la naturaleza le ofrecía. El uso de la madera además de facilitar armas para la guerra y la caza, le sirvió para construir sus primeras cabañas o tapar las entradas de sus cavernas, y sobre todo le permitió mantener encendidas las hogueras que se originaban por procesos naturales. La habilidad manual junto a la capacidad de observación le permitió desarrollar aptitudes encaminadas a transformar los materiales. El uso de microlitos (pedazos de pedernal de borde cortante de 1 a 5 cm) clavados a un trozo de madera dieron lugar sobre el año 9000 a C. a la fabricación de las primeras sierras. Hasta el dominio de los metales, la madera incluso fue utilizada como material en las parcelas que hoy en día solo un metal puede ocupar en ese eslabón tecnológico. (Esteban, 1999)

Con estos antecedentes, se estudia las propiedades mecánicas de esta especie que se adaptó favorablemente en el subandino tarijeño, que permite ampliar las posibilidades de uso de la madera, para ello se debe tomar en cuenta su resistencia, dureza, rigidez y densidad.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Debido a la gran demanda de productos maderables, y la pérdida de especies por sobre explotación y para nuestro caso en particular, explotación selectiva de especies nativas como la quina colorada, el roble y el cedro, es necesario la investigación de las propiedades mecánicas de nuevas especies forestales introducidas como el *Eucalyptus grandis* (Hill, 1862), ya que en su estado de madurez presenta características y dimensiones que justifican la realización de estudios de propiedades mecánicas para que puedan ingresar al mercado maderero y/o aportar información a la ciencia para la futura inserción de esta especie a la canasta de uso forestal maderero y promover las plantaciones forestales.

De esta forma al realizar el estudio de las propiedades mecánicas de la madera del Eucalipto (*Eucalyptus grandis* (Hill, 1862)) procedente de la Comunidad de Emborozú, podrá ofrecer de datos técnicos en cuanto a calidad, resistencia y recomendar los diferentes usos benéficos que se pueda obtener de esta especie.

1.3 HIPÓTESIS

La madera de la especie Eucalipto (*Eucalyptus grandis* (Hill, 1862)) presenta propiedades mecánicas aptas para el uso en la industria y en la carpintería.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Determinar las propiedades mecánicas de la madera del Eucalipto (*Eucalyptus grandis* (Hill, 1862)), proveniente de la comunidad de Emborozú, aplicando la norma COPANT MADERAS, a fin de inferir los posibles usos.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar las principales propiedades mecánicas de la especie *Eucalyptus grandis*, en estado seco al aire como: Flexión estática, compresión paralela al

grano, compresión perpendicular al grano, cizallamiento, dureza, extracción de clavos y tracción.

- Determinar los posibles usos de la madera en función a sus propiedades mecánicas.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 LA MADERA

A lo largo de la historia la madera, gracias a sus propiedades como bajo peso específico, agradable apariencia exterior propiedades mecánicas y térmicas y sus características como aislante, resistente, renovable y mucho más, ha sido el primer material usado por el ser humano. (Herbas, 2012)

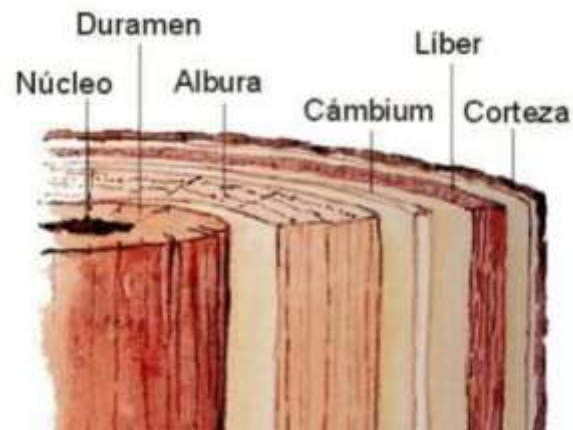
2.1.1 Partes del tronco

Un árbol es un vegetal leñoso que consta de una copa en la parte superior, un tallo en la parte intermedia y la raíz en la parte inferior. La madera es una materia prima que se obtiene de la parte de abajo de la corteza de los árboles con tallo leñoso. (Tecnología, 2021), y esta se forma por:

- Celulosa (50%), elemento que da el sostén a la planta
- Lignina (30%), elemento que mantiene unidas a las fibras, y le da rigidez.
- Otros elementos: resina, agua, almidón, ... (20%)
- A través de un corte transversal al tronco se puede observar
- Médula o duramen: Formada por células muertas de aspecto oscuro y duro.
- Albura o leño: formada por las células vivas, de aspecto blanquecino y responsable del transporte de la savia bruta desde la raíz a toda la estructura del árbol
- Cambium: Capa de células vivas situado entre la corteza y el leño
- Corteza interna: Formada por células que con el tiempo da lugar a la corteza externa, es por donde circula la savia elaborada.
- Corteza externa: Formada por una capa de células muertas, que protege al árbol contra las inclemencias del tiempo y del ataque de insectos y parásitos.

La parte que interesa del tronco es el duramen (leño viejo del árbol en torno al centro, que es más seco y rígido), junto con la albura (leño joven del árbol, en torno al duramen, que contiene todavía células vivas que transportan agua y nutrientes).

FIGURA N°1 Partes del tronco



FUENTE: (Herbas, 2012)

2.1.2 Propiedades de resistencia de la Madera

Las propiedades varían de unas a otras según la especie, edad, zona climática, pero de manera general, las maderas presentan las siguientes características:

- Baja densidad: Suelen ser menos densas que el agua (de ahí que floten).
- Conductividad térmica y eléctrica baja: La madera es un excelente aislante térmico. Las maderas ricas en agua son mejores conductores que las secas.
- Resistencia mecánica: A la tracción, compresión, flexión, cortadura, desgaste. Es muy resistente al esfuerzo de tracción (estirarse) y bastante resistente a la compresión
- Hendibilidad: Es la facilidad con que se abren las fibras de la madera en sentido longitudinal. Esta se presenta peor en las maderas duras, las secas, las resinosas y con nudos. La madera hendible es poco apta para el clavado y para realizar encajes. Si el secado es brusco la madera tiende a abrirse.
- Retractabilidad o contracción: Pérdida de volumen al perder parte del agua
- Humedad: Cantidad de agua que tiene la madera en su estructura.
- Dureza: Es la resistencia que ofrece al corte. Aumenta con la densidad.
- Flexibilidad: Característica de las maderas jóvenes, verdes y blandas, que admiten ser dobladas sin romperse.

- Características estéticas: Color, vetado, olor. (Herbas, 2012)

2.1.3 Clasificación

2.1.3.1 Según su dureza:

a) Maderas blandas: son maderas ligeras de crecimiento rápido cuyos árboles tienen hoja perenne, son resinosos. Ej.: pino, ciprés, abeto, cedro, etc.

b) Maderas duras: maderas más compactas con crecimiento más lento cuyos árboles tienen hoja caduca. Ej.: roble, castaño, nogal, olmo, caoba. Más difíciles de trabajar, y en general de mayor calidad y precio.

2.1.3.2 Según el grado de humedad:

- Maderas verdes: son maderas recién cortadas con alto grado de humedad mayor al 18%
- Maderas Seca al Aire (Galpón cerrado): Reducida la humedad por procesos naturales llegando hasta un 12 – 18% apilándolas de manera adecuada y permitiendo que el aire circule entre las tablas para ir reduciendo el exceso de agua
- Madera Anhidra: Comprende aquellas maderas que contienen menos del 12% de humedad. Se reduce la humedad empleando procesos artificiales, en grandes hornos para tener la resistencia y dureza adecuada. (Herbas, 2012)

2.2 PROPIEDADES MECANICAS DE LA MADERA

Las propiedades mecánicas de la madera son aquellas que definen la aptitud y capacidad para resistir cargas externas, excluyendo los esfuerzos debidos a las tensiones internas producto de los cambios de humedad. (Monteoliva, 2008)

Las propiedades de las maderas dependen de muchos factores tales como: tipo y edad del árbol, condiciones de crecimiento como el terreno y el clima, etc. Como en todo material, varias son las propiedades a tener en cuenta a la hora de emplearlo, y que dependerán del fin que queramos darles. Desde tiempos remotos la madera se ha usado

en la construcción, como un material eficiente, debido a las ventajosas características y propiedades que posee. (Monteoliva, 2008)

2.2.1 Factores que inciden sobre las propiedades mecánicas

La madera es un material heterogéneo, con una gran variedad de especies que presentan diferentes resistencias y densidad, esta variabilidad es debido a la diferencia genética, de ambiente o ambas. Entre los más importantes cabe señalar:

- Contenido de humedad: Tiene gran importancia en las propiedades mecánicas del material, de forma que cuanto mayor sea la humedad de la madera, menor será su resistencia y su módulo de elasticidad.
- Densidad: Indica la cantidad de sustancia celular presente en una unidad de volumen de madera, es por esto que especies con mayor densidad tienen resistencias altas y maderas con menor densidad resisten menos (Coto, 2018)

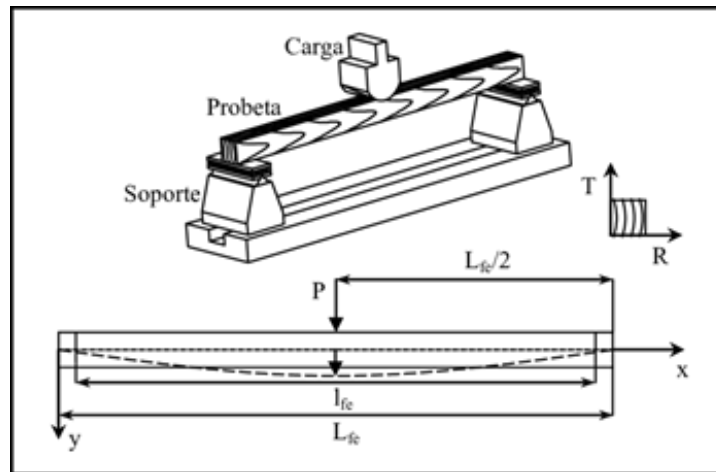
2.2.2 Flexión estática:

El ensayo de flexión estática mide la resistencia que ofrece la probeta al ejercer una fuerza sobre la cara tangencial en la parte media de esta. Los parámetros a determinar en este ensayo son:

- a. Módulo de Rotura (MOR): corresponde a la tensión unitaria máxima en flexión que soporta un material antes de que se produzca la falla. Cualquier incremento de carga sobre el material provocará la rotura del mismo.
- b. Módulo de Elasticidad en Flexión (MOE): es la medida de rigidez del material. Su cálculo se basa en la razón entre el esfuerzo por unidad de superficie y la deformación por unidad de longitud experimentada por la probeta expuesta a flexión. Constituye un valor indicativo de la rigidez del material y es aplicable solamente a condiciones de trabajo que se encuentren dentro de la zona elástica de la curva carga vs. deformación.

- c. Esfuerzo al Límite Proporcional (ELP): corresponde a la carga unitaria máxima en flexión a la que se expone el material sin que se produzcan deformaciones permanentes. (Monteoliva, 2008)

FIGURA N° 2 Ensayo de flexión

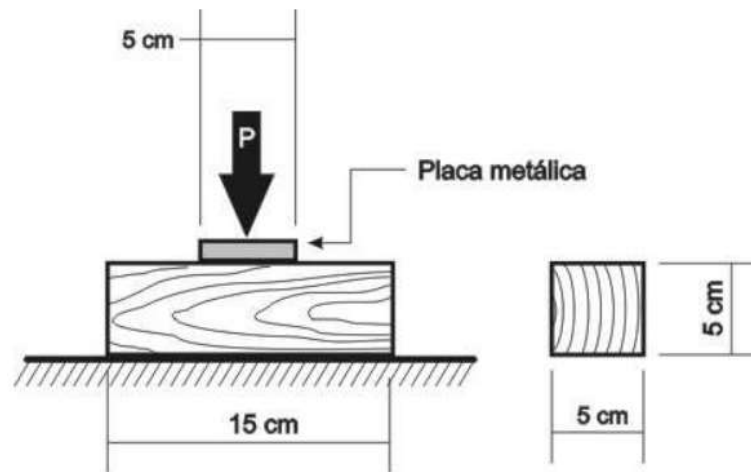


FUENTE: (Aguilar, 2007)

2.2.3 Compresión perpendicular a las fibras

Es la resistencia que opone la madera a una carga repartida aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras en una de las caras radiales de la probeta. (Monteoliva, 2008)

FIGURA N°3 Ensayo compresión perpendicular a las fibras

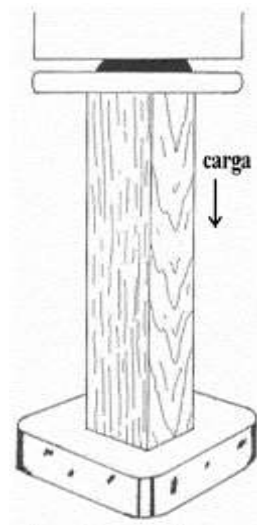


FUENTE: (Monteoliva, 2008)

2.2.4 Compresión paralela a las fibras

Es la resistencia que ofrece una columna a una carga aplicada en el mismo sentido de la dirección de las fibras. (Monteoliva, 2008)

FIGUARA N° 4 Ensayo compresión paralela a las fibras

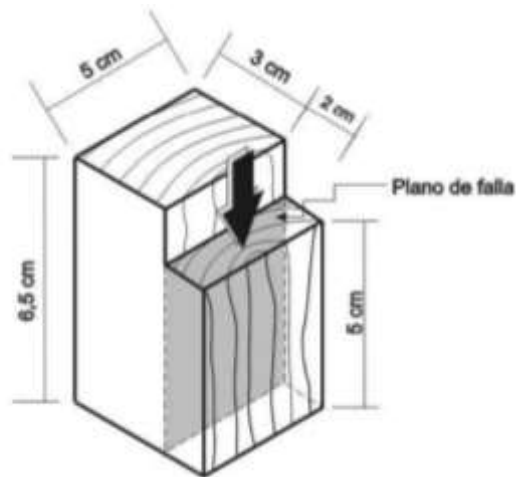


FUENTE: (Yorlenis Sánchez, 2018)

2.2.5 Cizallamiento

Es la capacidad que tiene la madera de resistir fuerzas que tienden a causar el deslizamiento de una sección sobre otra adyacente a la anterior. (Monteoliva, 2008)

FIGURA N°5 Ensayo de cizallamiento

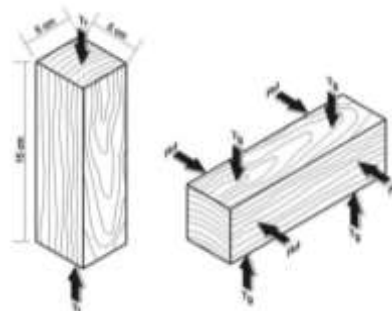


FUENTE: (Monteoliva, 2008)

2.2.6 Dureza

La dureza determina la resistencia que ofrece la madera a la penetración de cuerpos de mayor solidez y consistencia. (Monteoliva, 2008)

FIGURA N° 6 Ensayo de dureza

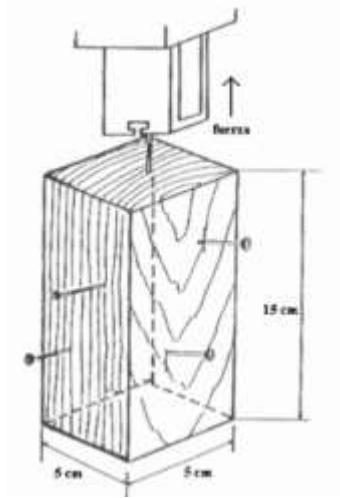


FUENTE: (Monteoliva, 2008)

2.2.7 Extracción de clavos

Ensayo que mide la fuerza necesaria para extraer un clavo de la madera, se tiene en cuenta el valor de dicha fuerza tanto en los planos longitudinales, como en el transversal. (Mullicundo, 2017)

FIGURA N.º 7 Ensayo extracción de clavos



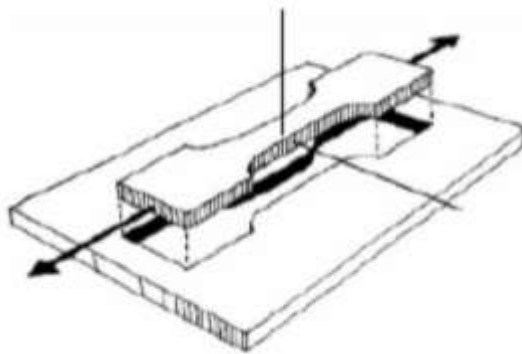
FUENTE: (Rivero, 2004)

2.2.8 Tracción

Esfuerzo que tiende a alargar el miembro de carga y a separar el material.

Mecánicamente, la resistencia a la tracción paralela a las fibras es la mejor cualidad de la madera. Cuando la tensión es completamente paralela a las fibras esta actúa al máximo de su capacidad. Radicalmente opuesto de la tensión perpendicular a las fibras, la cual para efectos de cálculo suele considerarse como cero. No obstante, el ensayo de tensión posee menor aplicación práctica que el de compresión. Su limitación en este uso se ve condicionado por la baja capacidad a resistir esfuerzos de corte y la incapacidad de transmitir esfuerzos a otros elementos. El ensayo consiste someter a tracción, una probeta con una sección transversal en el medio, hasta provocar la ruptura de la misma. (Flores, 2009)

FIGURA N° 8 Ensayo de tracción



FUENTE: (Ventura, 2018)

2.2.9 Factores que influyen en la resistencia de la madera

Los factores que afectan el comportamiento y la resistencia pueden dividirse en dos:.

a) Influencia de la naturaleza del material

- **Estructura de la pared celular**

La presencia de fibras y traqueidas alargadas dan rigidez a la madera. Los poros y canales secretores disminuyen su resistencia. Los radios medulares y las células parenquimáticas presentan zonas más débiles y plásticas.

- **Peso específico aparente**

Las maderas con elevado peso específico aparente presentan altas resistencias mecánicas, porque este es una medida de la cantidad del material sólido de la madera.

- **Posición de la muestra en el tronco**

La resistencia de la madera varía a distintas alturas del tronco, a mayor altura disminuyen las resistencias, se debe a que la densidad es menor. En la base del tronco la madera presenta mayor resistencia. (Berger, 2009)

- **Velocidad de crecimiento**

Las maderas que tienen rápido crecimiento (anillos son anchos) tienen peso específico aparente bajo, por lo tanto, sus resistencias son menores.

- **Nudos**

Los nudos vivos y muertos disminuyen los valores de resistencia. Se debe tener muy en cuenta este defecto en las maderas con fines estructurales.

- **Inclinación de las fibras**

Cuando las fibras están inclinadas, no se encuentran paralelas al eje longitudinal del tronco, ya sea por su crecimiento o por el mal aserrado, afectan considerablemente las resistencias de la madera.

- **Rajaduras radiales y anulares**

Estos defectos ocasionan disminución en los valores de las resistencias.

- **Maderas secadas al aire y secada en cámara**

En los casos en que el secado en cámara ha sido el adecuado y que el contenido de humedad sea similar al de la madera secada al aire libre no existen variaciones en los valores de sus resistencias. Cuando el secado no se realiza con un programa correcto, sí existen disminuciones en los valores de las propiedades mecánicas.

- **Leño juvenil y leño adulto**

En las coníferas, el leño juvenil presenta valores de resistencia bajos, y mejoran sus valores en el leño adulto. (Berger, 2009)

b) Influencia de las condiciones ambientales

- **Contenido de humedad**

Es muy notable la disminución de los valores de las resistencias cuando aumenta el contenido de humedad en la madera, hasta el punto de saturación de las fibras, a partir de ahí los valores se mantienen prácticamente constantes.

- **Velocidad con que se aplica la carga**

La velocidad de aplicación de las cargas está establecida por Normas para cada ensayo. Una velocidad alta produce valores más elevados en las resistencias de las maderas, porque las fibras y moléculas presentan una corta inercia de reacción.

- **Formas y dimensiones de las probetas**

Las formas y dimensiones de las probetas influyen en el resultado de los valores. En el caso de probetas pequeñas sección 2 x 2 cm dan valores mayores, porque prácticamente son más fáciles de obtener piezas con los granos orientados paralelamente al eje axial y evitar otros tipos de defectos.

- **Sentido de aplicación de la carga con respecto a las fibras**

El comportamiento mecánico de la madera varía con la aplicación de la carga según la dirección de las fibras.

- **Duración de la carga**

La duración de la carga disminuye considerablemente la resistencia de la madera.

- **Temperatura**

A mayor temperatura la resistencia de la madera es más baja. (Berger, 2009)

2.3 Descripción de la Especie

Características morfológicas

Árbol de gran porte y tronco recto, sin presencia de lignotubérculos, presenta una copa bien abierta y bastante rala. Puede alcanzar los 50 m de altura. La corteza normalmente persiste desde la base hasta una altura de 1 – 2 metros, color gris claro y fibrosa. Hacia arriba es lisa y blanquecina, plateada, a veces verdosa. Sus hojas juveniles son pecioladas y alternas, de forma aovada – lanceoladas, con los márgenes levemente ondulados. Las hojas adultas son alternas, lanceoladas, falcadas con los márgenes levemente ondulados, de un largo de 10 a 20 cm.

Las flores son blancas y crecen en umbelas. Estas inflorescencias son axilares y simples, con siete flores; pedúnculos aplanados, de hasta 2 cm de longitud, yemas

sésiles o cortamente pediceladas; los pedicelos con frecuencia son robustos y atenuados, de 0,8 a 0,5 cm y presentan una cicatriz. Las flores tienen cinco estambres flexados irregularmente, y fértiles; anteras versátiles, oblongas, que se abren por ranuras longitudinales. La mayoría de las umbelas originan de cinco a siete frutos hasta la madurez. Dos a tres semanas después de la floración los estambres y el estilo se marchitan, se desprenden y dejan descubierto el fruto, que es una cápsula leñosa, cerrada, de forma cónica a ligeramente piriforme, con gran cantidad de semillas muy pequeñas, pedicelos cortos, en ocasiones sésiles, frecuentemente glaucos, de hasta 0,8 cm de largo por 0,6 cm de ancho, con frecuencia contraídos hacia el ápice, reborde delgado, disco no visible, dehiscente, con 4 a 5 valvas, anchas y curvadas hacia adentro. Cada cápsula contiene entre 3 y 25 semillas sanas, con un promedio de 8 y una cantidad mucho mayor de óvulos no fértiles. Cada inflorescencia logra completar el desarrollo de cinco a siete cápsulas hasta la madurez. Las semillas fértiles son de un tamaño minúsculo, de tan sólo 1 mm de diámetro. (SINAVIMO Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo, 2010)

a) Adaptación

Clima Precipitación promedio anual: 1000 a 4000 mm/año.

Régimen de lluvias: Verano/uniforme.

- Estación seca: 0 a 4 meses.
- Temperatura media anual: 15 a 22°C.
- Temperatura media mínima: 5 a 18°C.
- Temperatura media máxima: 20 a 35°C.

b) Suelos

- Textura: Liviana/media/pesada.
- Reacción: Neutra/ácida.
- Drenaje: Bueno; moderado.

c) Requerimientos lumínicos. Muy exigente. (Maderero, 2018)

d) Ecología y silvicultura

Gracias a su excelente crecimiento y rendimiento, el *E. grandis* es una de las especies más importantes para plantación en las regiones tropicales y subtropicales, especialmente en Suramérica, África del Sur y las tierras altas del África Oriental.

Una buena preparación del terreno para la siembra del *E. grandis* debe incluir una adecuada eliminación de las malezas, bien sea con el chapeado manual o mecánico o el tratamiento químico con herbicidas. En sitios de mayor pendiente se puede arar en fajas a curvas de nivel, utilizando arados de discos accionados por tractores de esteras, o en su defecto, arados de vertedera tirados por bueyes. En lugares de topografía abrupta se debe realizar una limpieza general del terreno antes de la apertura de los hoyos.

Para el establecimiento de las plantaciones monotípicas se emplean espaciamientos que varían de acuerdo con la calidad del sitio y los objetivos de la plantación. En sitios fértiles y adecuados para la producción de madera de aserrío normalmente se emplean distancias de siembra de 3×3 m y en ocasiones de 3.5×3.5 m, con turnos mayores. En caso de ser necesario reponer material perdido, la resiembra se debe realizar en el menor tiempo posible para favorecer el crecimiento de las nuevas plantas y evitar que sean dominadas por el resto del rodal.

El crecimiento del *E. grandis* es rápido y sostenido y presenta una excelente poda natural (hasta 2/3 de la altura).

El *E. grandis* presenta una buena respuesta a la aplicación de fertilizantes. Con la aplicación de NPK (fertilizante que contiene nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K)), o de fosfato de amoníaco al momento de la plantación. Este eucalipto desarrolla asociaciones micorrícicas con los hongos *Scleroderma auratum* y *Laccaria lacata*, los cuales son fundamentales para el desarrollo de la planta.

La edad ideal de corta depende de los precios del mercado, del uso final de la madera y de los objetivos establecidos por el productor. De manera general, se establecen

turnos de 4-8(-10) años para producir carbón vegetal, leña y pulpa para papel, y de 15-20(-30) años para obtener trozas de aserrío. (Maderero, 2018)

e) Utilidades del árbol vivo

Debido a su rápido crecimiento y producción de madera a corto plazo, el *E. grandis* se viene utilizando cada vez más como una especie importante en sistemas agroforestales. Se emplea para cercos vivos con distancias de 2.5 m entre árboles, los cuales pueden producir cerca de 120 ton de madera cada 6 años. Como cortinas rompe vientos para la protección de suelos, pastizales y cultivos. De otra parte, la especie se emplea con frecuencia como ornamental por su rectitud, altura y abundancia y brillo de sus hojas. (Maderero, 2018)

f) Plagas y enfermedades

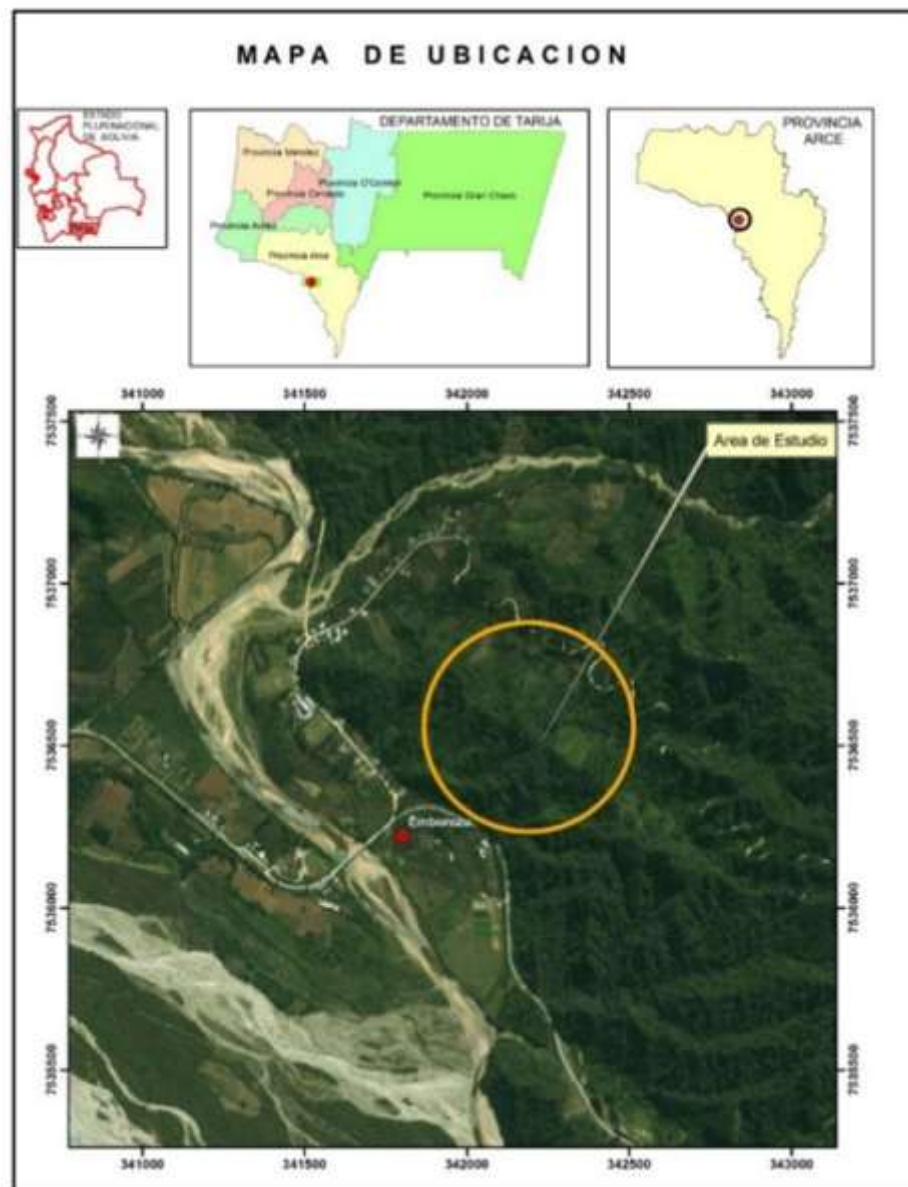
Las plantas jóvenes son muy susceptibles a la defoliación de hormigas del género *Atta* como la arriera o mulata. En Centroamérica destacan los ataques de patógenos como *Cylindrocladium sp.*, *Colletotrichum sp.* y *Pestalotia sp.* al follaje, y de *Diplodia sp.* la raíz. Especialmente cuando la humedad relativa es muy alta; las mismas pueden ser controladas con una adecuada desinfección del suelo y el control del riego. (Maderero, 2018)

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción de la zona de estudio

3.1.1 Localización

Mapa N°1 Mapa de ubicación



La superficie total del área seleccionada es de 6,13 ha. en el predio de los hermanos Oscar Crayasich y Mariela Crayashich Baldiviezo, está ubicada en la Comunidad de Emborozú, perteneciente al Distrito 9 de El Badén (El Limal) del Municipio de Padcaya, Primera Sección de la Provincia Arce del Departamento de Tarija, Estado Plurinacional de Bolivia.

Los límites de la comunidad son: al Sur con la Comunidad de El Limal, al Oeste con La Republica de Argentina, al Norte con la Comunidad de Sidras y al Este con la Comunidad de Salado Norte. Cuenta con alturas que oscilan desde 850 a 1150 msnm y un clima subtropical. (PDM Padcaya, 2016)

3.1.2 Accesibilidad

Emborozú se encuentra a 150 km de la ciudad de Tarija sobre los márgenes de la carretera asfaltada Bermejo-Tarija.

De acuerdo a información de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), por Emborozú pasa la red fundamental que une a Bermejo con la Ciudad de Tarija; la carretera nacional sirve de conexión con la Republica Argentina considera como una carretera internacional, la cual cuenta con un sector asfaltado. Emborozú cuenta con un camino de Ripio Regular Temporal donde se puede ingresar a la zona de estudio ubicada en la comunidad de El Limal, por el camino antiguo de segundo y tercer orden camino antiguo al Badem, que en la época de lluvia se dificulta la transitabilidad por falta de mantenimiento. (Mullicundo, 2017)

3.1.3 Geomorfología

El 59.72% del territorio municipal tiene un bajo riesgo de amenaza a la sequía (PDM Padcaya, 2021), que es más explicado porque más del 60% de la superficie municipal está en la provincia fisiográfica del Sub Andino, que incluye a la RNFFT, donde el déficit hídrico no tiene las características de la zona occidental. (PDM Padcaya, 2016)

3.1.4 Fisiografía

Desde el punto de vista de su tipología, fisonomía, aspectos climáticos, altitudinales y fisiográficos, a partir del mapa de vegetación de la Zonificación Agro Ecológica y Socioeconómica del departamento de Tarija (ZONISIG). (Mullicundo, 2017)

La fluctuación altitudinal oscila desde los 4500 m.s.n.m. en las cumbres más altas hasta los 500 m.s.n.m. en las partes más bajas. Está constituido por montañas altas, medias y bajas, se caracterizan por presentar fisonomía de aspecto masivo, cimas variables, divisorias de aguas poco discernibles y con grado de disección de ligero a muy fuerte, las pendientes oscilan de 30 a 90% con mucha rocosidad y pedregosidad.

- La topografía es bastante irregular, con variadas altitudes, en ellas se encuentra con frecuencia:
- Terrenos escarpados: con 50 a 75% de pendiente
- Fuertemente ondulados y quebrados: 12 a 25% de pendiente
- Ligeramente ondulados: de 3 a 90% de pendiente
- Terrenos casi planos (una mínima área): 2 a 3% de pendiente. (PDM Padcaya, 2016)

3.1.5 Suelo

Los suelos del área de estudio presentan una **Asociación Fluvisol-Cambisol** que se caracterizan por ser moderadamente profundos a muy profundos de 30 a 150 cm, con textura de franco a franco arenosas, con pH ligeramente ácido a ácido, la fertilidad es moderada. (PDM Padcaya, 2016)

3.1.6 Características meteorológicas

3.1.6.1 Clima

Presenta un clima subtropical húmedo, con temperaturas máximas de 43°C y mínimas de -5°C, la temperatura media anual 20,2°C, con una precipitación pluvial de 2049, 1

mm, el 90% de ella concentrada entre los meses de octubre a abril. ((SENAMHI), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2020).

RESUMEN CLIMATOLÓGICO

Estación:
EMBOROZÚ

Provincia:
ARCE

Departamento:
TARIJA



Latitud S.: 22° 16' 01"

Longitud
W.: 64° 33' 16"

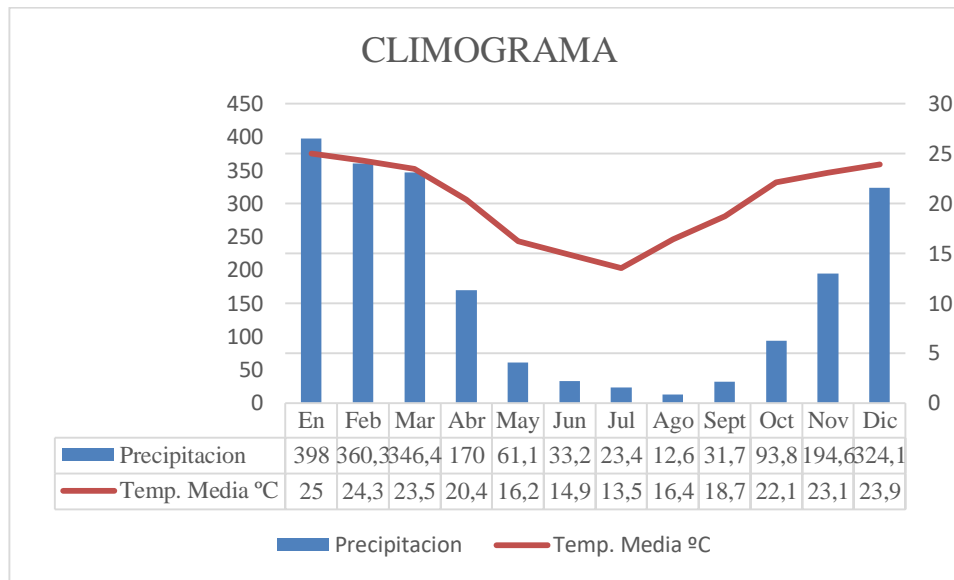
Altura: 898
m.s.n.m.

Índice	Unidad	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
Temp. Max. Media	°C	31,2	30,4	28,7	25,0	21,0	20,7	20,9	25,4	27,8	29,6	30,1	29,8	26,7
Temp. Min. Media	°C	18,7	18,1	18,3	15,9	11,3	9,1	6,1	7,4	9,6	14,7	16,1	17,9	13,6
Temp. Media	°C	25,0	24,3	23,5	20,4	16,2	14,9	13,5	16,4	18,7	22,1	23,1	23,9	20,2
Temp.Max.Extr.	°C	41,0	40,0	39,0	35,5	35,0	31,5	35,0	40,0	42,5	42,0	43,0	41,0	43,0
Temp.Min.Extr.	°C	11,0	9,0	10,0	6,0	2,0	-5,0	-3,0	-2,0	-1,0	1,0	7,0	8,0	-5,0
Días con Helada		0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	4
Precipitación	mm	398,0	360,3	346,4	170,0	61,1	33,2	23,4	12,6	31,7	93,8	194,6	324,1	2049,1
Pp. Max. Diaria	mm	180,0	165,0	157,5	104,5	86,0	35,0	47,0	23,0	85,0	67,0	150,5	160,0	180,0

Dias con Lluvia		17	17	20	15	12	9	7	5	6	11	13	16	148
-----------------	--	----	----	----	----	----	---	---	---	---	----	----	----	-----

CUADRO N° 1 Datos Climatológicos

FIGURA N° 10 Climograma



Fuente: Elaboración propia

((SENAMHI), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2020)

Como se puede observar en el climograma las precipitaciones con mayor cantidad comienzan desde octubre y van bajando en abril, siendo el mes de enero de mayor cantidad con una precipitación de 398 mm y agosto con menor cantidad con 12,6 mm. En el caso de las temperaturas, enero presenta la más alta con 25 °C y julio la más baja con 13,5°C

3.1.6.2 Hidrología

La comunidad de Emborozú, perteneciente al municipio de Padcaya forma parte de gran Sistema Hidrográfico de la cuenca del Río Bermejo, la que a su vez tiene como parte de ella la sub cuenca del río Emborozú sub cuenca río Las Tabladas cuenta con un área de 185.16 km² (PDM Padcaya, 2016)

Tanto la cuenca del Río Bermejo, con su afluente principal Río Emborozú presenta un alto porcentaje de degradación debido a diferentes causas entre las cuales se puede mencionar:

El incremento de poblaciones urbanas y rurales que generan importantes niveles de contaminación, zonas de uso intenso del suelo y aguas superficiales como abrevaderos, indican la presencia de tramos con elevada degradación de la calidad hídrica y son algunas de las fuentes de contaminación en la cuenca.

Los bajos niveles de flúor en todas las corrientes de agua de cuencas, que tienen relación con los problemas de tales en el área de estudio.

La cuenca tiene bajos índices de absorción del suelo, lo que indica que no pueden existir problemas de alcalinización del suelo por el uso del agua de riego. (Mullicundo, 2017)

3.1.7 Características bióticas

Vegetación

El área de estudio, corresponde a la continuidad de la selva tucumana boliviana, constituido como bosque subtropical o sub-andino, en los cuales existe innumerable variedad de especies arbóreas. Especies arbustivas y herbáceas; por lo tanto existen bosques primarios y secundarios, es común el corte de árboles para obtener madera, especialmente de aquellas especies forestales de mayor importancia relativa como es el cedro (*Cedrela odorata*), quina quina (*Cinchona officinalis*), tala (*Cetis tala*), nogal (*Juglans australis Griseb.*), pacay (*Inga feuillei*), cebil (*Anadenanthera culubrina*), aliso (*Alnus glutinosa*), etc. (Ver en Anexo 1: Cuadro N°2 Especies Arbóreas; CUADRO N° 3 Especies arbustivas y herbáceas) (PDM Padcaya, 2016)

Fauna silvestre

Existe una gran diversidad de especies de animales silvestres, entre ellos en peligro de extinción. (Ver en Anexo 1: Cuadro N° 4 Fauna Existente) (PDM Padcaya, 2016)

Tierras de uso forestal

Uso productivo de Bosques Permanentes y Uso A grosilvopastoril; esta subcategoría de uso comprende varias unidades de terrenos ubicadas en el subandino. Las principales referencias de localización son las comunidades de Emborozú, Nogalitos y Salado Conchas, cuenta con una superficie de 42.851 has, abarcan aproximadamente 10% del total del municipio. También cabe mencionar que existen propietarios del lugar que realizan plantaciones de *Eucllyptus* para uso comercial. (PDM Padcaya, 2016)

3.1.8 Aspectos socioeconómicos

Sistemas de Producción Agrícola

Por la ubicación geográfica y las condiciones climáticas que se presentan en el municipio, la producción agrícola en la comunidad de Emborozú son los siguientes: durazno, y también cítricos (naranjas, mandarinas, limas, limones, etc), la cual es de buena calidad que se comercializa en todo el departamento. (Mullicundo, 2017)

Uso Actual de la Tierra

En general, el uso dominante es la agricultura, el aprovechamiento y uso forestal, plantaciones forestales.

Gran parte de la comunidad de Emborozú perteneciente al distrito 9 de El Badén del municipio de Padcaya, está cubierto por bosques explotados en distintos grados de intensidad, localmente se observan cultivos agrícolas como ser: maíz, papa, tomate, etc. (Mullicundo, 2017)

3.2 Materiales

3.2.1 Material de campo

- Motosierra
- Brújula
- Wincha

- Marcadores de cera
- Flexómetro
- GPS
- Cámara fotográfica
- Planillas de campo
- Pintura al aceite
- Pintura plateada
- Brocha

3.2.2 Material de aserradero

- Sierra sin fin
- Sierra circular
- Cepilladora
- Flexómetro
- Escuadra, reglas de carpintería
- Marcadores, lápices de carpintería
- Planillas de registro

3.2.3 Material de gabinete

- Material de escritorio
- Computadora
- Sistema SIG (Sistema de Información Geográfica)
- Calculadora
- Planillas para los diferentes ensayos
- Norma COPANT Maderas
- Impresora

3.2.4 Material de laboratorio

- Balanza eléctrica (0.01 gr de precisión)
- Estufa
- Formularios

- Prensa de ensayos universales AMSLER
- Deflectómetro
- Clavos de 2,5 mm de diámetro, con punta de diamante

3.3 Metodología

El trabajo se realizará bajo la metodología establecida por las Normas Técnicas de Comisión Panamericana COPANT MADERAS. Las normas a emplear son:

COPANT 458 Selección y colección de muestras

COPANT 460 Método de determinación del contenido de humedad

COPANT 455 Método de determinación de flexión estática

COPANT 463 Método de determinación de cizallamiento

COPANT 464 Método de determinación de compresión paralela al grano

COPANT 465 Método de determinación de dureza

COPANT 466 Método de determinación de compresión perpendicular al grano

COPANT 744 Método de determinación de extracción de clavos

COPANT 30: 1 -012 Análisis estadístico

3.3.1 Selección y colección de muestras

Un aspecto importante a tomar en cuenta a la hora de realizar este tipo de trabajos de investigación, es tomar en cuenta la correcta selección y colección de muestras, basada en la norma COPANT 458, donde recomienda que se tome en cuenta el sistema de selección al azar de manera que todos los componentes (zona, sub zona, bloque, parcela, árbol, vigueta, troza) tenga la misma posibilidad de ser elegidas y formar parte del estudio y sean representativas en el área de estudio.

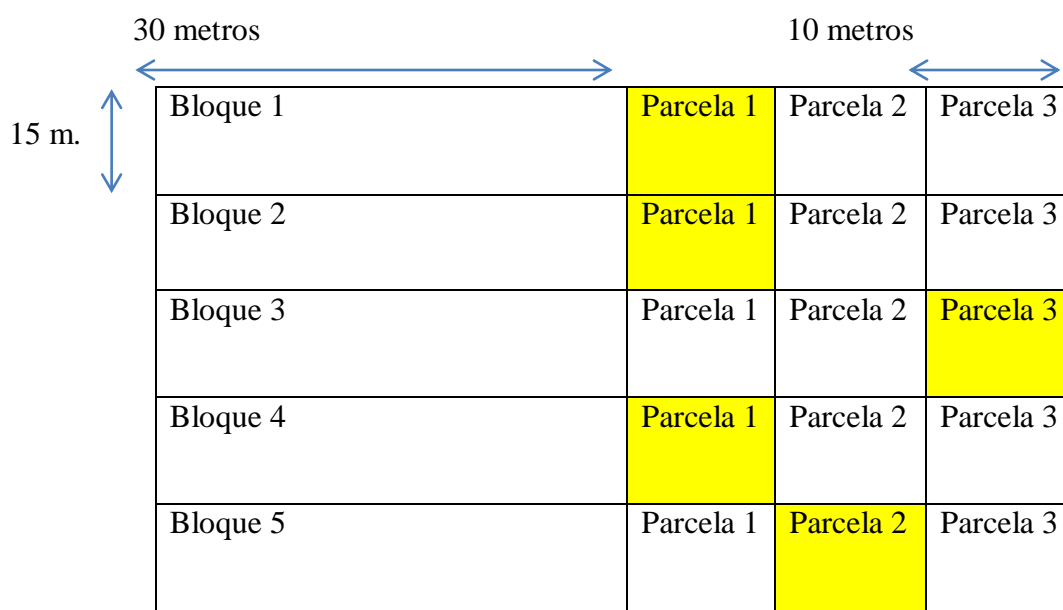
- a) Selección de la zona
- b) Selección de los arboles
- c) Selección de la troza

- d) Extracción de las trozas
- e) Obtención de las viguetas a partir del tablón central de cada troza de árbol en pie dentro de la troza
- f) Tratamientos profilácticos
- g) Obtención de probetas para el estudio de propiedades mecánicas
- h) Codificación de las probetas

a) Selección de la zona

Para la selección de la zona, el primer aspecto a tomar en cuenta fue la representatividad (en cuanto a la población y calidad de individuos) que tiene la especie *E. grandis* (Hill, 1862) donde se obtuvo las muestras.

FIGURA N°11 Distribución de los bloques y parcela



Fuente: Elaboración propia

La zona se dividió en cinco bloques de 0,045 has (15m x 30m), tomando en cuenta caminos y accesibilidad cursos de agua y su topografía de terreno.

A su vez cada uno de los bloques se subdividió en tres parcelas de 0,015 has (15m x 10m) de las cuales se eligió al azar una (parcela) por bloque.

b) Selección de los árboles

En cada parcela se eligió al azar un árbol para realizar los debidos estudios tomando en cuenta sus características vegetativas de la especie al ser apeada como: fuste sano, diámetro a la altura del pecho, y características morfológicas, para el presente estudio se consideró 5 árboles. (Ver Anexo 2: Foto 1: Selección del árbol)

De los árboles escogidos para su derribe, se verificó si existe algún tendido eléctrico, carretera o edificaciones estructurales, la cual se establecieron señales de advertencia, posteriormente se determinó la dirección de caída, estudiando el aspecto de las ramas, la dirección del viento, y la pendiente.

Para el derribe definitivo se utilizó una motosierra Still para realizar un tipo de corte normal, dicho método se aplica para la tala de árboles, cuyo peso se distribuye de manera regular y simétrica tanto en el fuste como en la copa.(Ver Anexo 2:Foto 1:Derribe)

Posteriormente al derribe, se realizó las operaciones con una motosierra el apeo y el desramado, en el mismo lugar de derribe.

Cuadro N°2. Datos dasométricos de los árboles.

N° Árbol	DAP cm	AT m	AC m
1	90	25	16
2	80	23	15
3	95	28	23
4	91	21	18

5	72	25	14
---	----	----	----

Fuente: Elaboración propia, 2021

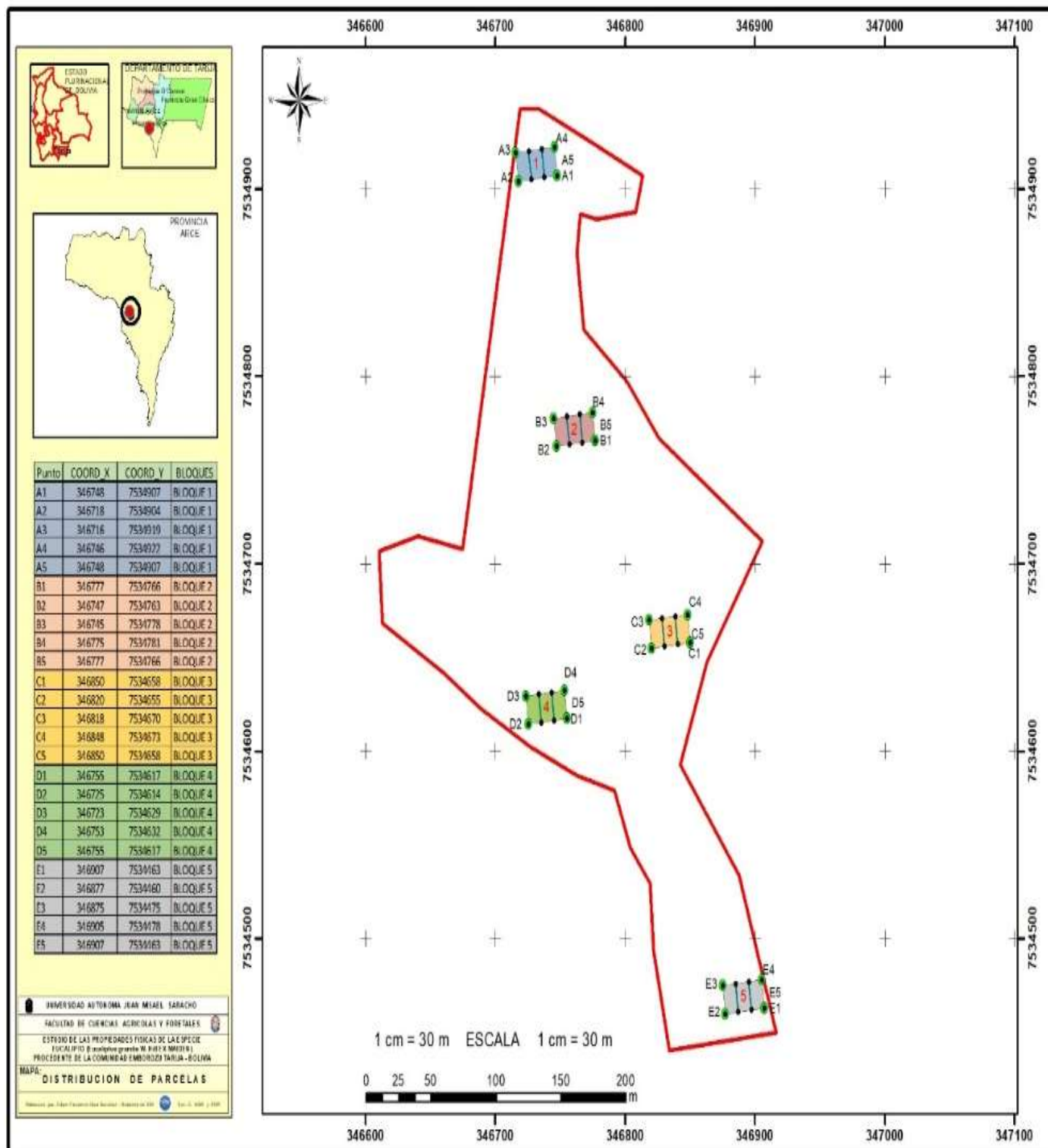
Dónde:

DAP: Diámetro altura del pecho

AT: Altura total

AC: Altura comercial

MAPA N° 2: Ubicación de los bloques y parcelas



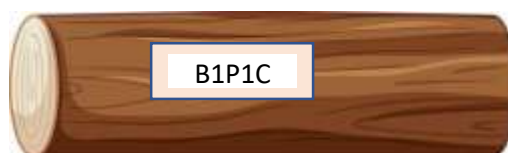
CUADRO N°3: Coordenadas de los árboles

COORDENADAS UTM DE LOS ÁRBOLES SELECCIONADOS		
Arbol	X COORD	Y COORD
1	346731	7534917
2	346766	7534775
3	346830	7534664
4	346733	7534621
5	346886	7534472

c) Selección de las trozas

Se seleccionaron árboles, con las mejores características fenotípicas como sanidad, tronco recto y sin deformaciones.

Una vez ubicado y realizado el apeo, desrame del árbol, se dividió el fuste en secciones iguales las cuales fueron marcadas y selladas en sus extremos para su fácil identificación, utilizando letras grandes en orden secuencial desde la parte inferior a la superior, y por último se realizó el sorteo de las trozas a utilizar de cada árbol, registrándose los datos de cada uno de ellos. (Ver Anexo 2:Foto 2:Trozeado y codificación de las trozas)

Figura N° 12: codificado de las trozas

Cuadro N° 4: Seleccionado de las trozas

Arbol	Trozas		
1			C
2	A		
3	A		
4		B	
5	A		

Seguidamente se realizó el acarreo de las trozas, desde el sitio de derribe y trozado al área de carga, para el realizar la carga y transporte al aserradero.

d) Extracción de las trozas

Las trozas seleccionadas de 2m de longitud y 90 cm de diámetro, se transportaron desde el lugar de apeo hasta un aserradero que se encuentra fuera del área de la plantación. (Ver Anexo 2: Foto 3: Acarreo, carga y transporte de las trozas)

e) Obtención de las viguetas a partir del tablón central de cada troza de árbol en pie dentro de la troza

Para la selección de las viguetas, se verificó que las trozas estén sanas, con una buena orientación de los anillos de crecimiento, como la dirección de las fibras.

Dentro de la troza obtenida se procedió a obtener tabloncillos centrales de 15 cm de espesor, mediante el uso de una motosierra Still, abarcando de corteza a corteza, de forma que quede la medula incluida y dos piezas de las partes laterales sobrantes, conforme indica la Norma COPANT. (Ver Anexo 2: Foto 4: Obtención de plantones)

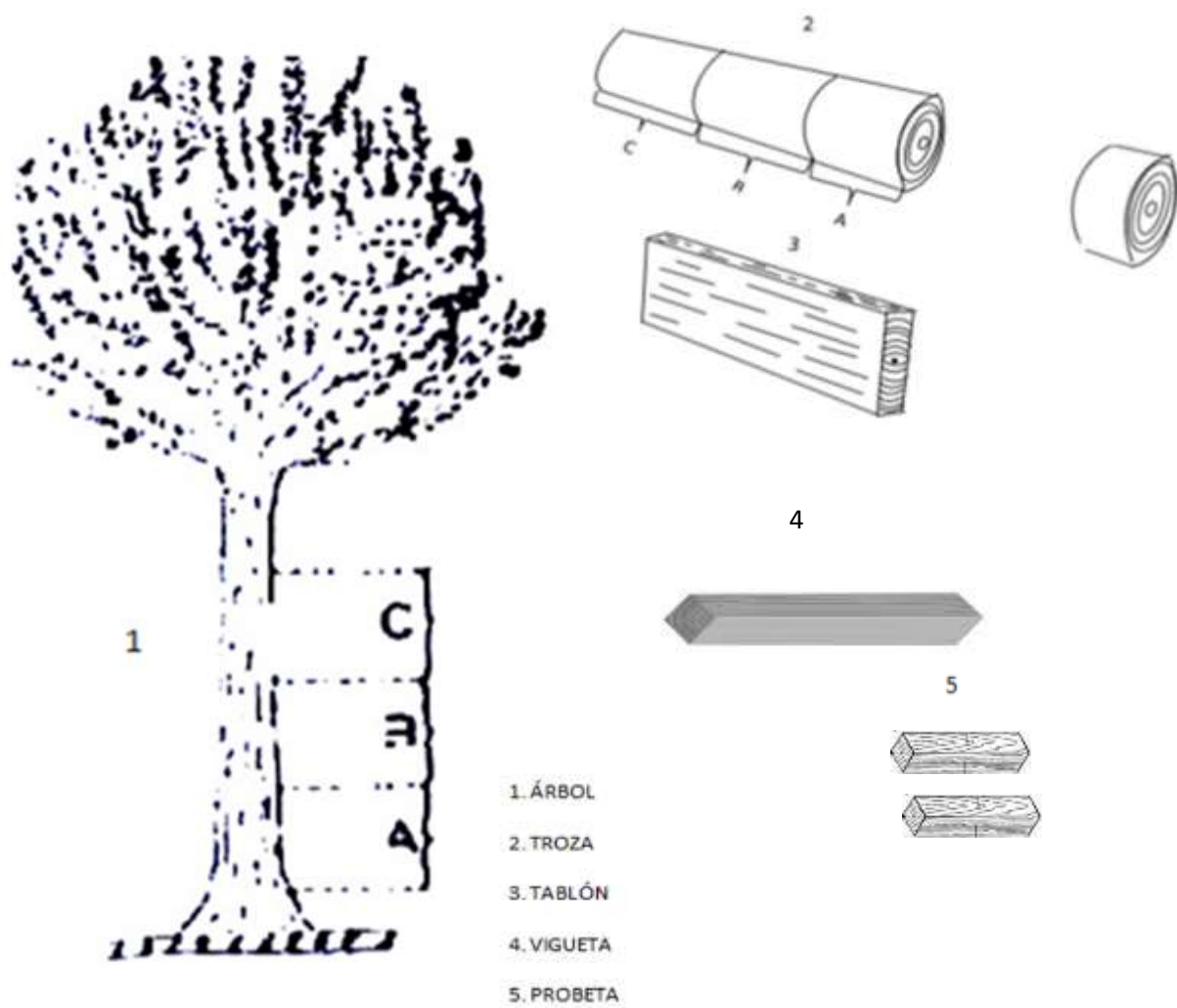
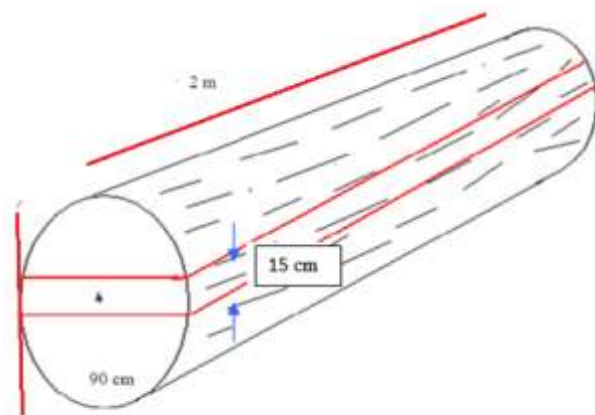
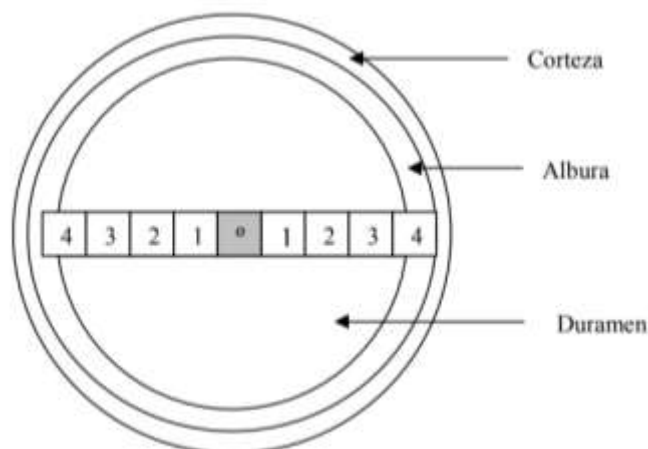


FIGURA N°13 Esquema de aserrío de la viga o pieza central



FUENTE: Elaboración propia

FIGURA N^a 14 Esquema de aserrío de la viga o pieza central



FUENTE: Elaboración propia

Para la elaboración de los listones para los ensayos en estado seco al aire, se procedió al aserrado en la sierra sin fin, viguetas de 6,5 x 6,5 cm de sección, posteriormente se pasará la vigueta por la cepilladora para dar un buen acabado, y por último serán colocadas en un galpón con ambiente normalizado hasta llegar al punto óptimo de contenido de humedad adecuado para cada ensayo. (Ver Anexo 2: Foto 5)

El control de contenido de humedad se realizó durante periodos de dos semanas, hasta llegar al punto donde se pueda realizar las probetas para los ensayos

f) Aplicación del tratamiento profiláctico

Una vez obtenidos los tabloncillos centrales, se procedió a limpiar el aserrín el mismo que queda después del corte, para posteriormente fumigarla con insecticidas y fungicidas para evitar el ataque de hongos e insectos. También se procedió al sellado de las testas para evitar las rajaduras producidas debido a la rápida pérdida de humedad por los extremos

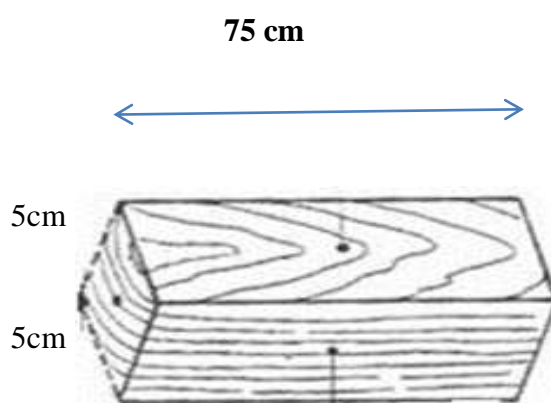
g) Obtención de las probetas para el estudio de propiedades mecánicas

La preparación de las probetas es un factor muy importante en los ensayos de propiedades mecánicas.

Una vez obtenidas las viguetas, se procedió a preparar las probetas específicas que demandara la misma, las cuales deben guardar una correcta orientación de los anillos de crecimiento, como así mismo de la dirección de las fibras.

Se puso cuidado especial en la elaboración de las probetas, en tal forma que dos lados opuestos tengan una cara tangencial, paralela a los anillos de crecimiento y los otros dos lados de la cara radial.

FIGURA N°15 Orientación de la Probetas



En la preparación de las probetas con dimensiones establecidas según la norma para cada ensayo, se utilizó una sierra sin fin, sierra circular, maquina cepilladora, una grueseadora, escuadra de carpintería, tomando en cuenta siempre la correcta orientación de los anillos de crecimiento y la dirección de las fibras.

CUADRO N° 5 Número y dimensiones de la probeta

Ensayo estado seco al aire	Dimensiones cm	N° de probetas por árbol. Seco al aire	Total de probetas
Flexión estática	5*5*75	4	20
Compresión paralela	5*5*20	4	20
Compresión perpendicular	5*5*15	4	20
Dureza	5*5*15	4	20
Cizallamiento radial y tangencial	5*5*6.5	4	20
Extracción de clavos	5*5*15	4	20

Tracción de la madera		4	20
-----------------------	--	---	----

Fuente: (COPANT, 1972)

h) Codificación de las probetas

Para el registro adecuado de datos e identificación de las probetas se realizó la codificación de las mismas, de manera que sea clara y sencilla que permita ubicarla a la hora de realizarse los ensayos.

El código se escribió a un costado de la probeta, preferentemente con lápiz indeleble para evitar que se borre en uno de los costados de la probeta.

Cada probeta ha sido codificada como en el siguiente ejemplo:

1 B III

Dónde:

1= Número de árbol

B= Troza

III= Vigueta

3.3.2 Realización de ensayos

Los ensayos correspondientes a la determinación de las propiedades mecánicas fueron determinados de acuerdo a lo estipulado en la norma COPANT Maderas, obteniéndose datos para los respectivos cálculos de los ensayos realizados.

Antes de realizar cada ensayo, se procedió a hacer las mediciones de las probetas y determinar del peso de las probetas en (gr). Estos datos fueron registrados en planillas de laboratorio, así como también los datos correspondientes a carga y deformación.

Para todos los ensayos se utilizó la prensa de ensayos universales AMSLER cuya precisión es de 0.1 KN, y soporta un peso de 400 KN (40Tn), que se encuentra en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Agrícolas y

forestales, maquina universal provista con todos los accesorios necesarios para regular la velocidad de los ensayos, y un Deflectómetro para medir las deformaciones con una precisión de 0.01 mm.

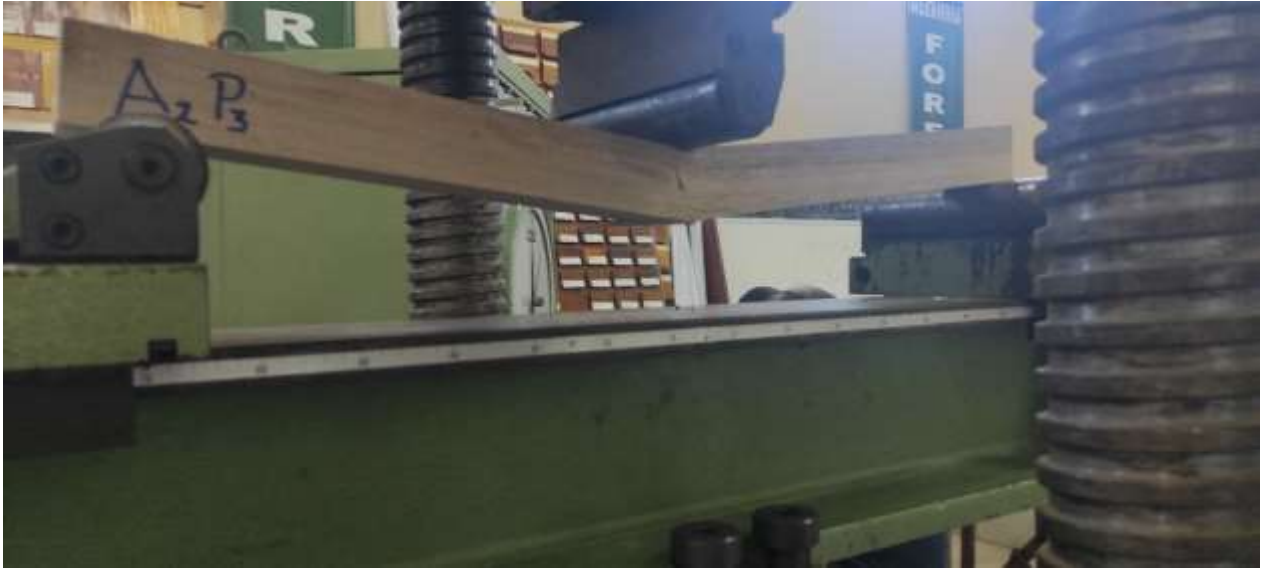
3.3.2.1 Determinación de flexión estática

Para el ensayo de flexión se utilizaron probetas en seco al aire, las cuales cuentan con dimensiones 5x5 y 75 cm de longitud, cada una de estas colocada sobre dos apoyos de cilindros con una luz de 70 cm, un total de 20 probetas.

Se aplicó una carga externa en el centro de las probetas en dirección tangencial a los anillos de crecimiento, dicha carga es transmitida a una velocidad constante de 2.5 mm/min.

Dentro del ensayo, se obtuvo las lecturas de deformación mediante el Deflectómetro, a intervalos constantes de la carga hasta el límite de ruptura y su deflexión y/o deformación correspondiente, las cuales se registraron en una planilla elaborada para el efecto. Posteriormente cercana a la ruptura se realizó un corte de una galleta de 2 cm de espesor de la parte más cercana a la falla, del cual se obtuvo el contenido de humedad de cada una de las probetas con ayuda de un xilohigrométrico. (Ver Anexo: Planilla N° 1 Datos y resultados flexión estática y contenido de humedad)

En base a las lecturas registradas se procedió al cálculo del esfuerzo al límite proporcional (ELP), módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidad (MOE), de cada una de las probetas ensayadas en función a las siguientes fórmulas:



a) Esfuerzo al límite proporcional (ELP)

$$ELP = \frac{3}{2} * \frac{P_1 * L}{a * h^2}$$

Dónde:

ELP = Esfuerzo al Limite Proporcional (kg/cm^2)

P_1 = Carga al límite proporcional (kg)

L = Luz de la probeta (cm)

a = Ancho de la probeta (cm)

h = Altura de la probeta (cm)

b) Módulo de ruptura (MOR)

$$MOR = \frac{3}{2} * \frac{P_2 * L}{a * h^2}$$

MOR = Módulo de Ruptura (kg/cm^2)

P_2 = Carga máxima (kg)

L = Luz de la probeta (cm)

a = Ancho de la probeta (cm)

h = Altura de la probeta (cm)

c) **Módulo de elasticidad (MOE)**

$$\text{MOE} = \frac{P_1 * L^3}{4 * d * a * h^3}$$

MOE = Módulo de Elasticidad (kg/cm^2)

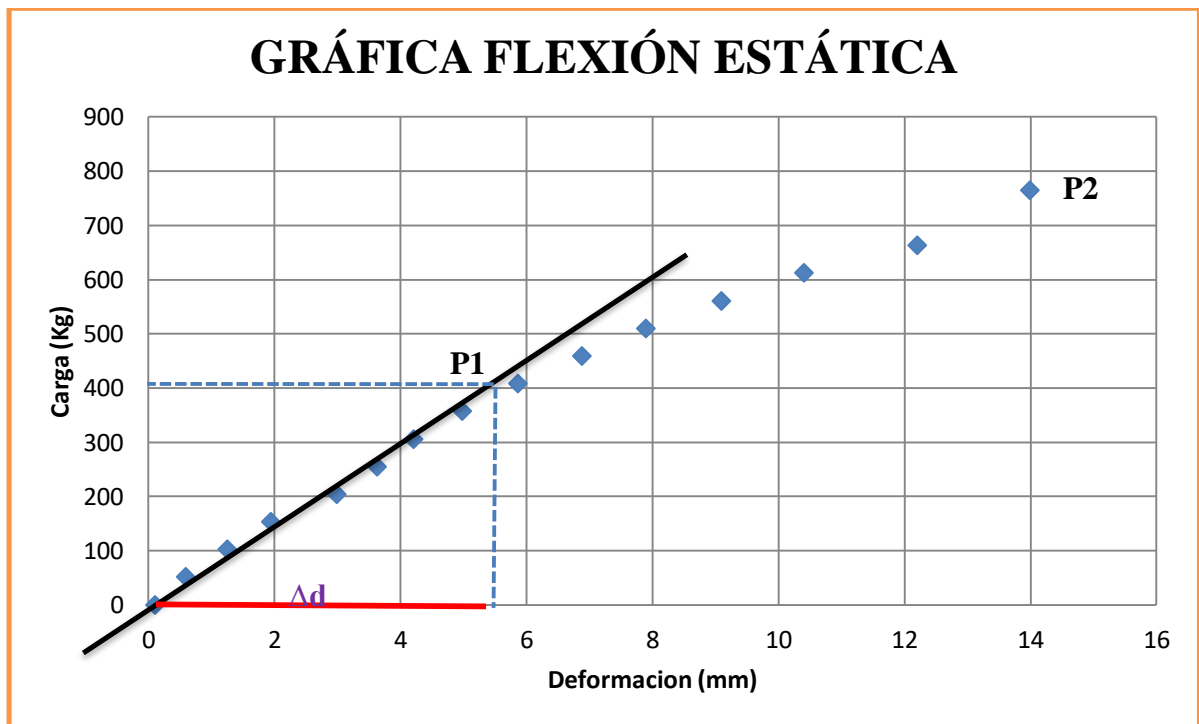
d = Deformación en el límite proporcional (cm)

P_1 = Carga al límite proporcional (kg)

L = Luz de la probeta (cm)

a = Ancho de la probeta (cm)

h = Altura de la probeta (cm)



Fuente: Elaboración propia

Datos de la gráfica: Anexo Planilla N° 1

Datos:

$$P1 = 407,88 \text{ Kg}$$

$$P2 = 764,79 \text{ Kg}$$

$$\Delta d = 5,70 \text{ cm}$$

$$L = 70 \text{ cm}$$

$$b = 5 \text{ cm}$$

$$h = 5 \text{ cm}$$

Resultados

$$ELP = 342,63 \text{ kg/cm}^2$$

$$MOR = 642,42 \text{ kg/cm}^2$$

$$MOE = 9817,94 \text{ kg/cm}^2$$

a) Esfuerzo al límite proporcional

$$ELP: \frac{3}{2} * \frac{407,88 \text{ Kg} * 70 \text{ cm}}{5 \text{ cm} * (5 \text{ cm}^2)}$$

$$ELP: \frac{3}{2} * 228,48 \text{ Kg/cm}^2$$

$$ELP: 342,626 \text{ Kg/cm}^2$$

b) Módulo de ruptura

$$MOR: \frac{3}{2} * \frac{764,79 \text{ Kg} * 70 \text{ cm}}{5 \text{ cm} * (5 \text{ cm}^2)}$$

$$MOR: \frac{3}{2} * 428,28 \text{ Kg/cm}^2$$

$$MOR: 642,42 \text{ Kg/cm}^2$$

c) Módulo de elasticidad

$$MOE: \frac{407,88 \text{ Kg} * 70 \text{ cm}^3}{4 * 5,70 \text{ cm} * 5 \text{ cm} * 5^3}$$

$$MOE: \frac{139905584 \text{ Kg/cm}^3}{14250 \text{ cm}^5}$$

$$MOE: 9817,94 \text{ Kg/cm}^2$$

3.3.2.2 Determinación de la compresión paralela al grano

Dentro del ensayo se utilizaron probetas de acuerdo al **CUADRO N° 8** (5x5 cm y 20 cm de longitud), aplicando una fuerza en dirección a las fibras, un total de 20 probetas.

En la máquina de ensayo se colocó la probeta descansando sobre la base fija de la prensa y en la parte superior se utilizó un plato móvil para compensar posibles pequeñas fallas de escuadría en la sección transversal.

Luego se aplicó sobre la sección transversal de la probeta una carga externa continua de tal manera que el plato móvil avance a una velocidad constante de 0.66 mm/min, a través del Deflectómetro se midió la deformación producida por la probeta así mismo se registró la carga que fue aplicada hasta producir la ruptura de la probeta.

En base a los datos obtenidos se determinó la curva de carga de deformación para la obtención de los diferentes esfuerzos como en el caso anterior.

Las fallas se registraron en forma esquemática y se clasificó según las fallas típicas que presenta el ensayo, posteriormente se procedió al corte de la galleta de 2 cm de la zona más cercana a la falla, para su determinación de contenido de humedad para todas las probetas ensayadas. (Ver Anexo: Planilla 2: Datos y resultados de compresión paralela y contenido de humedad)



a) Esfuerzo al límite proporcional (ELP)

$$ELP = \frac{P_1}{A}$$

Dónde:

ELP = Esfuerzo al Límite Proporcional (kg/cm^2)

P_1 = Carga al límite proporcional (kg)

A = Área de la probeta antes del ensayo (cm^2)

b) Módulo de ruptura (MOR)

$$MOR = \frac{P_2}{A}$$

Dónde:

MOR = Modulo de Ruptura (kg/cm^2)

P_2 = Carga máxima (kg)

A = Área de la probeta antes del ensayo (cm^2)

c) **Módulo de elasticidad (MOE)**

$$MOE = \frac{P_1 * L}{A * d}$$

Dónde:

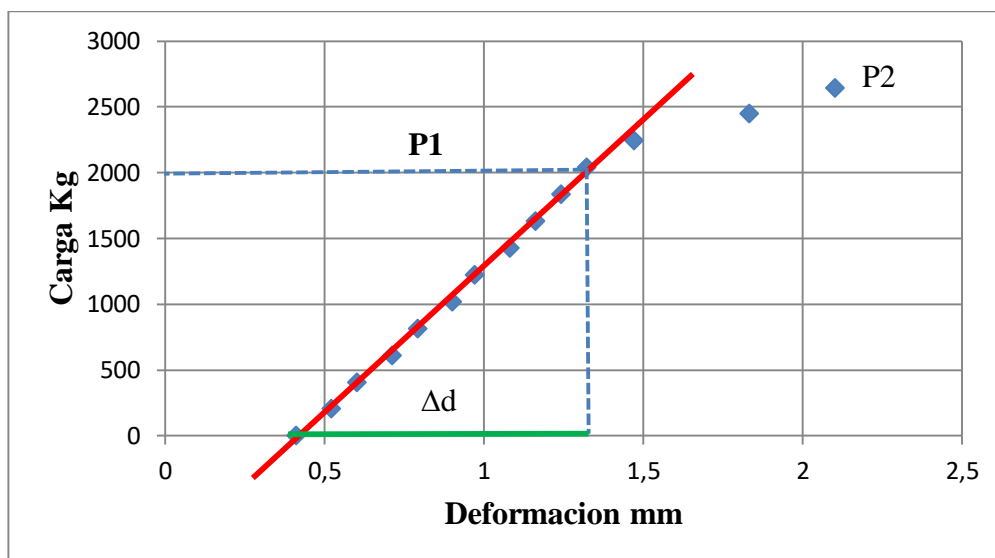
MOE = Modulo de Elasticidad (kg/cm^2)

P_1 = Carga al límite proporcional (kg)

A = Área de la probeta (cm^2)

L = Distancia sobre la cual se midió la deformación (cm)

d = Deformación de la probeta (cm)



Fuente: Elaboración propia

Datos de la gráfica: Ver Anexo Planilla N° 2.

Datos:

$P_1 = 2039,44 \text{ Kg}$

$P_2 = 2641,07 \text{ Kg}$

$\Delta d = 1,1 \text{ cm}$

a) Esfuerzo al Limite Proporcional

$$ELP: \frac{2039,44 \text{ Kg}}{25 \text{ cm}^2}$$

$$ELP: 81,58 \text{ Kg/cm}^2$$

$$L = 20 \text{ cm}$$

$$b = 5 \text{ cm}$$

$$h = 5 \text{ cm}$$

Resultados:

$$ELP = 81,58 \text{ kg/cm}^2$$

$$MOR = 105,64 \text{ kg/cm}^2$$

$$MOE = 1112,42 \text{ kg/cm}^2$$

b) Módulo de Ruptura

$$MOR: \frac{2641,07 \text{ Kg}}{25 \text{ cm}^2}$$

$$MOR: 105,64 \text{ Kg/cm}^2$$

c) Módulo de Elasticidad

$$MOE: \frac{2039,44 \text{ Kg} \cdot 15 \text{ cm}}{25 \text{ cm}^2 \cdot 1,1 \text{ cm}}$$

$$MOE: 1112,42 \text{ Kg/cm}^2$$

3.3.2.3 Determinación de la compresión perpendicular al grano

Se realizó con probetas bien orientadas con respecto a los anillos de crecimiento de 5 x 5 de sección transversal y 15 cm de longitud, un total de 20 probetas.

Se colocó el accesorio de compresión perpendicular, sobre la base fija de la prensa, de manera que la carga sea aplicada sobre la cara radial. Se reguló la velocidad a 0.3 mm/min, de modo que la cruceta móvil toque ligeramente el bloque metálico de presión. Se registraron las cargas y acortamiento hasta que la penetración de la placa metálica fue de 2.5 mm.

Durante la ejecución del ensayo se registraron las deformaciones y cargas correspondientes, con lo cual se determinó la curva carga de deformación permitiendo la deformación de la carga al esfuerzo en el límite proporcional ELP.

Inmediatamente se cortó una galleta de la zona más cercana a la falla de 2 cm de espesor para determinar el contenido de humedad, lo mismo se realizó para todas las probetas.



a) Esfuerzo al límite proporcional (ELP)

$$ELP = \frac{P_1}{A}$$

Dónde:

ELP = Esfuerzo al Limite Proporcional (kg/cm^2)

P_1 = Carga al límite proporcional (kg)

A = Área de compresión (cm^2)

Datos:

P1: 1437,80

A: 24,75

a) Esfuerzo al Limite Proporcional

$$ELP: \frac{1437,80 \text{ Kg}}{24,75 \text{ cm}^2}$$

$$ELP: 58,09 \text{ Kg/cm}^2$$

3.3.2.4 Determinación de la dureza

Para el siguiente ensayo se midió la resistencia de la madera a la penetración de las herramientas empleadas para trabajos de superficie y resistencia al desgaste. El aparato consta de una esfera metálica de 11,284 mm de diámetro y que ocasiona su sección semi-esférica de una superficie de 1 cm^2 .

El ensayo de dureza se realizó con probetas de sección transversal de 5 x 5 y 15 cm de longitud, un total de 20 probetas, se empleó la maquina universal agregando a esta un accesorio y aplicándose en cada probeta 6 penetraciones 2 en cara radial 2 en cara tangencial y 1 en cada extremo con una velocidad uniforme de 6 mm/min controlando la penetración del instrumento hasta su recorrido máximo mediante el movimiento del collarín.

Dureza

$$HB = \frac{F}{A}$$

Dónde:

HB = Dureza (kg/cm^2)

F = Fuerza (kg)

A = Área del circulo de penetración según Janka es de 1 (cm^2)

**Datos:**

F R: 295,46 Kg

F T: 353,08 Kg

F E: 248,56 Kg

A: 1 cm²**Dureza Radial**

$$\text{HB: } \frac{295,46 \text{ Kg}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$\text{HB: } 295,46 \text{ kg/cm}^2$$

Dureza Tangencial

$$\text{HB: } \frac{353,08 \text{ Kg}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$\text{HB: } 353,08 \text{ kg/cm}^2$$

Dureza Extremos

$$\text{HB: } \frac{248,56 \text{ Kg}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$\text{HB: } 248,56 \text{ kg/cm}^2$$

3.3.2.5 Determinación de cizalladura

Es la resistencia que ofrece la madera a la acción de dos fuerzas paralelas, pero en dirección opuesta.

El ensayo se realizó con probetas de 5 cm x 5 cm transversal y 6.5 cm de longitud, recortada en una de sus caras, un total de 20 probetas.

El aparato para determinar la resistencia de la madera al cizallamiento, la carga se aplicará uniformemente por medio de un disco metálico, con una velocidad de la cabeza móvil de la prensa hidráulica de 0,6 mm/min.

Para la determinación del contenido de humedad se utilizó la porción separada para cada una de ellas.

Cizallamiento

$$\sqrt{\text{cizall}} = \frac{P_{max}}{A}$$

Dónde:

$$\sqrt{\text{cizall}} = \text{Resistencia al cizallamiento (kg/cm}^2\text{)}$$

P_{max} = Carga máxima (kg)

A = Área de la zona de cizallamiento (cm^2)



Datos:

P_{max} : 2092,47 Kg

A : 24,181 cm^2

a) Resistencia al Cizallamiento

$$\sqrt{cizall} = \frac{2092,47 \text{ Kg}}{24,18 \text{ cm}^2}$$

$$\sqrt{cizall} = 86,53 \text{ Kg/cm}^2$$

3.3.2.6 Determinación de extracción de clavos

Tiene por objeto determinar la adherencia del clavo en la madera. Se realizó con probetas de sección transversal de 5*5 cm y 15 cm de longitud, según la norma que determina la resistencia de la madera a la extracción de clavos.

Se usaron clavos de 2,5 mm de diámetro, con punta de diamante las cuales fueron limpiadas a fin de eliminar cualquier revestimiento o material extraño. La probeta se colocó en el accesorio y la cruceta móvil engancho el clavo de la cabeza, aplicando la carga de extracción a una velocidad uniforme de 2,5 mm/min.



Datos

1KN: 101,97 Kg

ER: 0,44 KN

ET: 0,59 KN

EE: 0,29 KN

Extracción Radial

$$ER: \frac{0,44 \text{ KN} * 101,97 \text{ Kg}}{1 \text{ KN}} = 44,868 \text{ Kg}$$

Extracción Tangencial

$$ER: \frac{0,59 \text{ KN} * 101,97 \text{ Kg}}{1 \text{ KN}} = 60,163 \text{ Kg}$$

Extracción Extremos

$$ER: \frac{0,29 \text{ KN} * 101,97 \text{ Kg}}{1 \text{ KN}} = 29,572 \text{ Kg}$$

3.3.2.7 Tracción de la madera

Se realizó según la fusión de la Norma Bolivia y Norma COPANT 743:2007.

Por medio de este ensayo se averigua la resistencia de la madera a la rotura por tracción paralela a las fibras. Dividiendo la carga máxima de rotura por la sección transversal de la parte calibrada de la probeta.

Para la determinación de la resistencia a la tracción de la madera a las fibras se recomienda:

Se verificará el perfecto estado de la probeta a ensayar, procediendo luego a tomar las dimensiones de la sección transversal en la parte calibrada de la misma.

Se procedió a aplicar la carga en forma gradual y con una velocidad de 1,3 mm por minuto

Se tomaron el valor de la carga máxima.

Se empleó un aparato medidor de longitud, para determinar el ancho b y el espesor a de la probeta con una precisión de 0,01 mm en lo posible

Se empleó una, máquina de resistencia de materiales a la tracción donde se organiza la medida de la fuerza máxima con una precisión de 1%.

a) Esfuerzo al límite proporcional (ELP)

$$E.L.P = \frac{F}{a * b} = Kg/cm^2$$

Dónde:

E.L.P= Esfuerzo al límite proporcional

F= Carga en el límite de proporcionalidad en Kg

a= Espesor de la probeta

b= Ancho de la probeta

b) Módulo de ruptura (MOR)

$$M.O.R = \frac{F \text{ max.}}{a * b} = Kg/cm^2$$

Dónde:

M.O.R= Modulo de ruptura

F máx.= Carga máxima en Kg

c) Modulo de elasticidad (MOE)

$$M.O.E = \frac{F * L}{a * b * L} = Kg/cm^2$$

Dónde:

M.O.E= Modulo de elasticidad

L= Longitud



Datos:

F: 509,86 Kg

a: 0,72 cm

b: 1,97 cm

L: 28,01 cm

F max: 1236,41 Kg

a) Esfuerzo al Limite Proporcional

$$\text{ELP: } \frac{509,86 \text{ Kg}}{0,72 \text{ cm} \times 1,97 \text{ cm}}$$

$$\text{ELP: } \frac{509,86 \text{ Kg}}{1,42 \text{ cm}^2}$$

$$\text{ELP: } 358,29 \text{ Kg/cm}^2$$

c) Módulo de Ruptura

$$\text{MOR: } \frac{1236,41 \text{ Kg}}{0,720 \text{ cm} \times 1,97 \text{ cm}}$$

$$\text{ELP: } \frac{1236,41 \text{ Kg}}{1,42 \text{ cm}^2}$$

$$\text{ELP: } 868,876 \text{ Kg/cm}^2$$

b) Módulo de Elasticidad

$$\text{MOE: } \frac{509,86 \text{ Kg} \times 28,01 \text{ cm}}{0,72 \text{ cm} \times 1,97 \text{ cm} \times 28,01 \text{ cm}}$$

$$\text{MOE: } \frac{14283,72 \text{ Kg/cm}}{39,85 \text{ cm}^3}$$

$$\text{MOE: } 358,365 \text{ Kg/cm}^2$$

3.3.2.8 Contenido de Humedad

De acuerdo a la norma COPANT 460 se determinó el contenido de humedad para cada ensayo con la fórmula. (Ver Anexo :Planillas de contenido de humedad)

$$CH: \frac{Psa - Po}{Po} * 100$$

Dónde:

CH: Contenido de humedad

Psa: Peso seco al aire (gr)

Po: Peso anhidro (gr)



Datos:

Psa: 33,99 gr

Po: 29,23 gr

Contenido de Humedad

$$CH: \frac{33,99 \text{ gr} - 29,23 \text{ gr}}{29,23 \text{ gr}} \times 100$$

$$CH: \frac{4,75 \text{ gr}}{29,23 \text{ gr}} \times 100$$

CH: 16,26

3.3.3 Análisis estadístico de los resultados

Para el análisis estadístico, se tomó en cuenta las siguientes condiciones indispensables para el mismo

Que todos los árboles del área cuya madera no presenten defectos tengan la misma posibilidad de entrar en el muestreo

La recolección de las probetas se realizó según el muestreo al azar

El análisis estadístico se realizó en base a la norma COPANT Maderas 30:1-012 que establece el procedimiento y la presencia de los resultados para poder determinar las propiedades de la madera *Eucalyptus grandis* (Hill, 1862).

$$N = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 \dots \dots \dots l_k = \sum_{j=1}^k l_j$$

Dónde:

K = Número de árboles ensayados

l = Número de probetas por ensayo

N = Total de probetas ensayadas

CUADRO N° 6 DATOS PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

K=Número de árboles	5
L=Número de probetas por árbol	4
N=Total de probetas a ensayar	20

a) Valor promedio (\bar{x}) de los valores individuales por árbol

$$\bar{X} = \frac{1}{l} * (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots \dots \dots + x_l) = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l x_i$$

(\bar{X}) = es la variable que indica cada uno de los valores de los resultados obtenidos en cada probeta

b) Estimación de la varianza

Para la estimación de las variaciones, se determinó en base a las relaciones indicadas más adelante para el cálculo de la varianza de valores individuales, estimación de la varianza promedio y la varianza total.

CUADRO N° 7 Fórmulas para determinar la varianza

	Grados de libertad	Suma de cuadrados de la desviación	Varianza
Entre los grupos	$n_1 = k - 1$	$A_1 = II - I$	$S_1^2 = \frac{A_1}{n_1}$
Dentro de los grupos	$n_2 = N - k$	$A_2 = III - II$	$S_2^2 = \frac{A_2}{n_2}$
Total	$n_1 + n_2 = N - 1$	$A_1 + A_2 = III - I$	$S_T = \frac{A_1 + A_2}{n_1 + n_2}$

Fuente: (COPANT, 1972)

Dónde:

$$n_1 = K - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$n_2 = N - K = 20 - 5 = 15$$

$$n_1 + n_2 = N - 1 = 20 - 1 = 19$$

Los números romanos son agrupadores de datos y/o formulas, como por ejemplo:

Datos:

N=20 (Número de probetas a ensayar)

K= 5 (Número de árboles)

L= 4(Número de probetas dentro de un árbol por ensayo)

$$II = \frac{1}{N} * (\sum_{j=1}^N xi) = \frac{1}{20} * \frac{(6338,57)^2}{20} = 2008879,52$$

$$II = l * \sum_{j=1}^k x_j^2 = \sum_{j=1}^N \frac{1}{l} (\sum_{j=1}^k x_1)^2 = 2013098,31$$

$$III = \sum_{i=1}^N x_i^2 = 2054369,12$$

$$S_1^2 = \frac{II-I}{k-1} = \frac{2013098,31-2008879,52}{4} = 1054,69$$

$$S_2^2 = \frac{III-II}{k-1} = \frac{2054369,12-2013098,31}{4} = 10317,70$$

$$S_t^2 = \frac{III-I}{N-1} = \frac{2054369,12-2008879,52}{20-1} = 2394,18$$

S_1^2 = Variación de los valores individuales entre los árboles

S_2^2 = Variación promedio

S_t^2 = Variación de todos los valores individuales alrededor del promedio total

c) Determinación del coeficiente de variación

Es la raíz cuadrada de los valores de variación

$$S_1 = \sqrt{S_1^2} = \sqrt{1054,69} = 32,47$$

$$S_2 = \sqrt{S_2^2} = \sqrt{10307,70} = 101,52$$

$$S_T = \sqrt{S_T^2} = \sqrt{2394,18} = 48,93$$

Para el coeficiente de variación (CV_1) de la varianza promedio de los valores individuales entre los (k) arboles

$$V_1 = \frac{S_1}{\bar{X}} * 100 = \frac{32,47}{316,92} * 100 = 10,24$$

Coeficiente de variación (CV_2) para la varianza promedio de los valores de las varianzas dentro de los (k) árboles

$$CV_2 = \frac{S_2}{\bar{X}} * 100 = \frac{101,25}{316,92} * 100 = 32,05$$

El coeficiente de variación total (CV_t) para la varianza de los valores individuales (x_1) alrededor del promedio total (\bar{X})

$$CV_t = \frac{S_t}{x} * 100 = \frac{48,93}{316,92} * 100 = 15,43$$

d) Cálculo del intervalo de confianza para el valor promedio total

Se calcula de la siguiente manera

$$\bar{X} = \pm q = t_{(k-1)} * \frac{S_1}{\sqrt{N}} = 20,18$$

En esta fórmula “t” es un factor que depende de (k – 1) y que tiene los siguientes valores para una seguridad estadística de 95%.

CUADRO N° 8 Valores para la seguridad estadística

k – 1	2	3	4	5	7	9	14	19	+
t (k - 1)	4,30	3,18	2,78	2,57	2,37	2,26	2,15	2,09	1,96

Fuente: (COPANT, 1972)

e) Determinación del valor relativo del intervalo confianza ($\pm P$)

Los límites de valor promedio total, se pueden expresar en forma relativa en porcentaje según:

$$\pm P = t_{(k-1)} * \frac{CV_1}{\sqrt{N}} = 6,37$$

Análisis estadístico: Flexión estática

Análisis estadístico. Esfuerzo limite proporcional						
N° Probeta	N° de arboles					∑ Lineal
	1	2	3	4	5	
1	299,80	342,63	342,63	299,80	299,80	
2	342,63	342,63	214,14	214,14	256,97	
3	342,63	342,63	342,63	342,63	342,63	
4	299,80	299,80	428,28	342,63	299,80	
I	4	4	4	4	4	20
$\sum_{i=1}^l x_i$	1284,85	1327,68	1327,68	1199,19	1199,19	6338,58
$j\bar{x}$	321,21	331,92	331,92	299,80	299,80	1584,64
$\sum_{i=1}^l x_i^2$	414542,34	442056,21	464067,31	370520,14	363183,11	2054369,12(III)
$\frac{1}{l} \left(\sum_{i=1}^l x_i \right)^2$	412708,08	440680,52	440680,52	359514,60	359514,60	2013098,31(II)

Formula	Resultados
II	2013098,31
III	2054369,12
s2	1054,70
S	10317,70
ST	2394,19
X	316,93
S1	32,48
S2	101,58
ST	48,93
CV1	10,25
CV2	32,05
CVT	15,44
q	20,19
p	6,37

GRADOS DE LIBERTAD		VARIANZA	DESV. TIPICA
$n1 = k - 1$ = 4	I = 2008879,52 AI = II - I = 4218,79	S21 = 1054,70	S1 = 32,48
$n2 = N - k$ = 15	II = A2 = III - II = 41270,81	S22 = 10317,70	S2 = 101,58
$n3 = n1 + n2 = N - 1$ = 19	2013098,31 A3 = A1 + A2 = III - I = 45489,60	S2T = 2394,19	ST = 48,93
COEFICIENTE DE VARIACION %		INTERVALO DE CONFIANZA	
CV1 = 10,25		q = 20,19	
CV2 = 32,05		p = 6,37	
CV3 = 15,44		$\bar{X} \pm q = 316,93 \pm 20,19$	
		$\bar{X} \pm p = 316,93 \pm 6,37$	

Datos requeridos para el análisis estadístico

N° árboles ensayados (K)	= 5
N° probetas por árbol (I)	= 4
N° total de probetas por especie	= 20
Promedio total (\bar{X})	= 316,93

5. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

En la obtención de los resultados, en primer lugar se presenta los cálculos de los datos obtenidos en los ensayos, para luego realizar el análisis estadístico correspondiente lo que permitió utilizar con confiabilidad y proponer los usos adecuados para la especie en estudio.

5.1. Flexión estática

EL ensayo se realizó, de acuerdo a lo estipulado en la Norma COPANT Maderas 455

ESTADO	ELP <i>Kg/cm²</i>	MOR <i>Kg/cm²</i>	MOE <i>Kg/cm²</i>
Seco al aire	316,93	593,62	8767,97
Clasificación según su resistencia (MOR)			Media

FALLAS PRESENTADAS EN LOS ENSAYOS			
Tipo de falla	Cant. Probetas		Observaciones
	Radial	Tangencial	
Tracción simple	9	7	En la cara radial se observó rotura de radios y en la cara tangencial la separación y estiramiento de las fibras
Grano entrecruzado	1	2	
Corte		1	

Fuente: Elaboración propia

5.2 Compresión paralela al grano

ESTADO	ELP <i>Kg/cm²</i>	MOR <i>Kg/cm²</i>	MOE <i>Kg/cm²</i>
Seco al aire	92,18	108,49	1234,42
Clasificación según su resistencia (MOR)			Muy baja

Fuente: Elaboración propia

FALLAS PRESENTADAS EN LOS ENSAYOS		
Tipo de falla	Cant. Probetas	Observaciones
Aplastamiento	8	Se observo separación de fibras y pequeñas rajaduras
Cizallamiento	8	
Compresión y cizall.	4	

Fuente: Elaboración propia

5.3 Compresión perpendicular al grano

ESTADO	ELP <i>Kg/cm²</i>
Seco al aire	80,31
Clasificación según resistencia (ELP)	Alta

Fuente: Elaboración propia

5.4 Dureza

ESTADO	TANGENCIAL <i>Kg/cm²</i>	RADIAL <i>Kg/cm²</i>	AXIAL <i>Kg/cm²</i>
Seco al aire	353,09	295,46	248,56
Clasificación según los lados			Baja

Fuente: Elaboración propia

5.5 Cizallamiento

ESTADO	TANGENCIAL <i>Kg/cm²</i>	RADIAL <i>Kg/cm²</i>
Seco al aire	91,93	81,21
Clasificación según su resistencia	Alta	Media

Fuente: Elaboración propia

5.6 Extracción de clavos

ESTADO	TANGENCIAL Kg	RADIAL Kg	AXIAL Kg
Seco al aire	353,08	295,46	248,56

Fuente: Elaboración propia

5.7 Tracción de la madera

ESTADO	ELP <i>Kg/cm²</i>	MOR <i>Kg/cm²</i>	MOE <i>Kg/cm²</i>
Seco al aire	362,17	876,66	15019,45

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

Para la discusión del presente estudio se comparó los resultados obtenidos en los ensayos de las propiedades mecánicas de la especie Eucalipto (*Eucalyptus grandis*, Hill1862) procedente de la comunidad de Emborozú y los datos presentados en el proyecto de apoyo a la coordinación e implementación del plan de acción forestal para Bolivia FAO-PAFBOL (GCP/BOLO/028/NET) SERIE TECNICA XII "INFORMACIÓN TÉCNICA PARA EL PROCESAMIENTO INDUSTRIAL DE 134 ESPECIES MADERABLES DE BOLIVIA" elaborado por Víctor Hugo Gutiérrez Rojas.

Para el caso específico de la especie Eucalipto (*Eucalyptus globulus*-Labill) los valores comparativos de los ensayos de las propiedades mecánicas tienen procedencia del departamento de Santa Cruz, ambos estudios realizados fueron en base a la metodología de las normas COPANT MADERAS.

En el ensayo de flexión estática el *Eucalyptus grandis* obtuvo en el módulo de ruptura un valor de 593,622 Kg/cm², en comparación al valor de 1068 Kg/cm² clasificandose como muy alta su resistencia del *Eucalyptus globulus* – Labill.

Por otro lado, el ensayo de compresión paralela al grano en el presente estudio se obtuvo un resultado de 108,498 Kg/cm² en el módulo de ruptura y 470 Kg/cm² en el documento usado en comparación

En el ensayo de dureza lateral no presenta mucha diferencia como en los anteriores ensayos obteniéndose 353,08 Kg/cm² en la madera de Emborozú y 442 Kg/cm² en la madera de Santa Cruz

La variación de los datos comprados en este estudio puede deberse a una diversidad de factores como: el clima presente en cada zona, la topografía del terreno, las características del suelo. Pese a ser especies de la misma familia, los valores en cuanto sus propiedades mecánicas son más altos los del *Eucalyptus globulus*-Labill en comparación del *Eucalyptus grandis*, Hill 1862, pero en su mayoría tienen los mismos usos finales.

5.1 Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en cada ensayo y cumpliendo con los objetivos estipulados en el presente estudio del *Eucalyptus grandis* (Hill, 1862), se llegó a la siguiente conclusión:

a) Flexión estática

Como parámetros importantes tomados en el estado seco al aire son: el módulo de ruptura alcanzando un valor de $593,62 \text{ Kg/cm}^2$, clasificándose como madera de media resistencia a la flexión estática, de acuerdo al rango de clasificación de las maderas. Por su módulo de elasticidad, la madera presenta una alta deformación obteniéndose un resultado de $8767,97 \text{ Kg/cm}^2$. Y por último presento un valor en su esfuerzo al límite proporcional de $316,93 \text{ Kg/cm}^2$. Las fallas producidas en los ensayos presentes en la cara tangencial como en la cara radial de la probeta presentan fallos como tracción simple en su mayoría (85%), grano entrecruzado en menor cantidad (10%) y compresión casi nula (5%), observándose rotura de radios en la cara radial y separación y estiramiento de las fibras en) la cara tangencial.

b) Compresión paralela al grano

De acuerdo a los resultados obtenidos en el módulo de ruptura cuyo valor es de $108,49 \text{ Kg/cm}^2$, la madera presenta una muy baja resistencia a la compresión paralela al grano. Las fallas presentes en las probetas ensayadas fueron de: aplastamiento un (40%), cizallamiento (40%), compresión y cizallamiento (20%) del total de las probetas ensayadas, observándose separación de fibras, pequeñas rajaduras.

c) Compresión perpendicular al grano

La madera presenta una resistencia mecánica al aplastamiento de las fibras, representado por el esfuerzo al límite proporcional cuyo valor es de $80,31 \text{ Kg/cm}^2$,

que según el rango de clasificación se se representa como madera con alta resistencia a la penetración.

d) Dureza

El resultado obtenido de los ensayos realizados en las diferentes caras fue: la cara tangencial con $353,08 \text{ Kg/cm}^2$, cara radial $295,46 \text{ Kg/cm}^2$ y en los extremos $248,56 \text{ Kg/cm}^2$, que, según el rango de clasificación, se representa como una madera de media a baja resistencia a la penetración.

e) Cizallamiento

El ensayo presentó resultados promedio al esfuerzo de ruptura en estado seco al aire en su cara tangencial $91,93 \text{ Kg/cm}^2$, y en su cara radial de $81,21 \text{ Kg/cm}^2$, clasificándose como madera de mediana resistencia al corte.

f) Extracción de clavos

Presenta resultados promedios de $353,08 \text{ Kg}$ en la cara tangencial, $295,46 \text{ Kg}$ en la cara radial, $248,56 \text{ Kg}$ en los extremos, clasificada como una madera con una alta resistencia a la extracción de clavos.

5.2 Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos de los diferentes ensayos de las propiedades mecánicas de la especie *Eucalyptus grandis* (Hill, 1862), se recomienda:

- Se recomienda usar la especie en obtención de: embalaje, encofrados, material aislante, chapas de corte rotatorio, revestimiento de interiores de muebles, elaboración de cajones de madera, fabricación de pulpa y papel, puntales
- Recomendar a las empresas madereras, aserraderos, empresas constructoras, barraqueros que trabajan con la madera, el uso de estos resultados.

Profundizar los estudios tecnológicos de la especie: en la parte de trabajabilidad, propiedades físicas, químicas, anatómicas, secado.

En el desarrollo de la investigación se presentaron dificultades, como la rajadura de la troza en las puntas en el proceso de secado al aire libre, lo cual, en el momento de la obtención de los tablonos, se dificultaba la orientación correcta de los anillos para la obtención de las probetas.

Se recomienda que en futuros estudios se realice los ensayos en estado verde, y no solo en estado seco al aire, como se hizo en el presente estudio el cual fue a pedido de los propietarios de la plantación los hermanos Crayasich