UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

VARIACIÓN LONGITUDINAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA JUVENIL DE *Eucalyptus urograndis* (EUCALIPTO), DE RALEO DE UNA PLANTACIÓN DE 2,5 AÑOS DE EDAD EN PUCALLPA

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO FORESTAL

JHAKSON NAID LÓPEZ SHERMULY

Pucallpa, Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
N° 002-2025-CGT- FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa, siendo las 11:08 horas del día 24 de julio de 2025, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en forma presencial en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, designados con Memo Múltiple Nº 032-2025-UNU-FCFyA-CGT, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera	Presidente
Dr. Gabriel Mercado Jauregui	Miembro
Dra. María Angélica Flores Romayna	Miembro

Se procedió a evaluar la sustentación de la tesis denominado: **"VARIACIÓN LONGITUDINAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA JUVENIL DE *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), DE RALEO DE UNA PLANTACIÓN DE 2,5 AÑOS DE EDAD EN PUCALLPA"**, presentado por el bachiller **JHAKSON NAID LÓPEZ SHERMULY,** asesorado por el Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas. Habiendo finalizado la sustentación, se procedió a la formulación de las preguntas por parte del Jurado Evaluador, las que fueron absueltas por el sustentante, en consecuencia, la tesis fue **APROBADA** por **UNANIMIDAD,** quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL**.

Siendo las 12:30 horas del mismo día, se dio por culminado el acto académico, firmando los miembros en señal de conformidad.

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera
Presidente

Dr. Gabriel Mercado Jauregui
Miembro

Dra. María Angélica Flores Romayna
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito parcial para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera
Presidente

Dr. Gabriel Mercado Jauregui
Miembro

Dra. María Angélica Flores Romayna
Miembro

Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas
Asesor

Bach. Jhakson Naid López Shermuly
Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº V/0357-2024.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"VARIACIÓN LONGITUDINAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA JUVENIL DE EUCALYPTUS UROGRANDIS (Eucalipto), DE RALEO DE UNA PLANTACIÓN DE 2,5 AÑOS DE EDAD EN PUCALLPA."

Autor(es)	:	**LÓPEZ SHERMULY, JHAKSON NAID**
Facultad	:	**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
Escuela	:	**ING. FORESTAL**
Asesor(a)	:	**Dr. SALVADOR CÁRDENAS, MANUEL IVÁN**

Presenta un **porcentaje de similitud de 10%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 30/07/2024

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, JHAKSON NAID LOPEZ SHERMULY

Autor de la tesis titulada : "VARIACIÓN LONGITUDINAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA JUVENIL DE EUCALYPTUS UROGRANDIS (EUCALIPTO) DE PALEO DE UNA PLANTACIÓN DE 2,5 AÑOS DE EDAD EN PUCALLPA"

Sustentada el año: 2025

Asesor(a): DR. MANUEL IVÁN SALVADOR CÁRDENAS

Facultad: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Escuela Profesional: INGENIERÍA FORESTAL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 24/07/2025

Email: naidlopezshermuly@gmail.com Firma:

Teléfono: 945989829 DNI: 47485565

DEDICATORIA

A Dios, fuente de toda sabiduría, quien iluminó mi corazón y fortaleció mi espíritu con inteligencia y perseverancia.

A mi familia, mi mayor motivación, mi fuerza, mi valor y mi más grande amor; todo lo que soy y logro, es por ellos.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a Dios, quién es fuente de sabiduría, inteligencia y de vida, también agradezco a los señores docentes de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Ucayali por las valiosas e importantes enseñanzas impartidas.

Al Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas, asesor de esta tesis, por su invalorable apoyo brindado en la consolidación y minuciosa revisión de la presente.

A los miembros del jurado por su aporte en las correcciones en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Noé Cristian Fachin Vargas, por su colaboración en la elaboración de la tesis y la ejecución de los ensayos mecánicos de las probetas de la especie forestal en estudio.

A la empresa Cervecería San Juan S.A. por la confianza y aporte para el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

ÍNDICE GENERAL viii

ÍNDICE DE TABLAS xi

ÍNDICE DE FIGURAS xiv

RESUMEN xvii

ABSTRACT xviii

INTRODUCCIÓN xix

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1

1.1. Descripción del problema 1

1.2. Formulación del problema 2

1.2.1. Problema general 2

1.2.2. Problemas específicos 2

1.3. Justificación 3

1.4. Objetivos de la investigacion 4

1.4.1. Objetivo general 4

1.4.2. Objetivos específicos 5

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 6

2.1. Antecedentes de la investigación 6

2.1.1. Antecedentes internacionales 6

2.1.2. Antecedentes nacionales 8

2.2. Bases teóricas. 11

2.2.1. Descripción de la especie *Eucalyptus urograndis*……..…...11

2.2.2. Descripción silvicultural y de manejo de la especie……...13

2.2.3. Manejo forestal ..... .16

2.2.4. Manejo forestal en plantaciones forestales…….17

2.2.5. Raleo de una plantación 18

2.2.6. Propiedades físicas de la madera 19

2.2.7. Principales propiedades mecánicas de la madera 20

2.2.8. Propiedades físicas de la madera 24

2.3. Definición de términos básicos……...…….30

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA 33

3.1. Método de investigación. 33

3.2. Población y muestra ..... …33

3.2.1. Población..... 33

3.2.2. Muestra 33

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 34

3.3.1 Técnica 34

3.3.2. Instrumento 34

3.4. Procedimiento de recolección de datos 36

3.4.1. Ejecucion del raleo 36

3.4.2. Preparación de probetas 38

3.4.3. Ensayos de propiedades físicas..... 39

3.4.4. Ensayos de propiedades mecanicas..... 43

3.5. Tratamiento de datos.....46

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 47

4.1. Propiedades físicas de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (eucalipto)…… ……..47

4.1.1. Contenido máximo de humedad de la madera juvenil… 47

4.1.2. Densidad de la madera 49

4.1.3. Contracciones de la madera ……..……52

4.1.4. Índice de estabilidad dimensional de la madera (T/R).…..... .55

4.2. Propiedades mecánicas de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (eucalipto)..... 57

4.2.1. Flexión estática…….……..57

4.2.2. Compresión paralela al grano…….,……..……61

4.2.3. Compresión perpendicular al grano…….……63

4.2.4. Tensión perpendicular al grano…….……..66

4.2.5. Cizallamiento radial y tangencial……..68

4.2.6. Clivaje radial y tangencial……..…71

4.2.7. Dureza de lados y extremos…….…73

4.3. Resumen de las propiedades fisicas y mecanicas de la madera de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto)……...75

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES…… …78

5.1. Conclusiones…….……..……78

5.2. Recomendaciones 79

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 81

ANEXOS.....86

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Rango de densidades y contracciones volumétricas……..... 28

Tabla 2. Índice de estabilidad (T/R) y punto de saturación de las fibras (PSF)……. 29

Tabla 3. Flexión estática, comprensión paralela y perpendicular, tensión perpendicular al grano…… 29

Tabla 4. Dureza, cizallamiento, extracción de clavos y clivaje…….. 29

Tabla 5. Tracción perpendicular…….. 30

Tabla 6. Contenido de humedad máximo por niveles longitudinales del fuste…… 47

Tabla 7. Análisis de varianza del contenido de humedad máximo……. 48

Tabla 8. Tipos de densidades por niveles longitudinales del fuste…… 49

Tabla 9. Resumen del análisis de varianza de los tipos de densidades…….. 50

Tabla 10. Resumen de la prueba de Tukey de las densidades de la madera…….. 51

Tabla 11. Tipos de contracciones por niveles longitudinales del fuste… 53

Tabla 12. Resumen del análisis de varianza de los tipos de contracciones por niveles del fuste……..… 54

Tabla 13. Índice de estabilidad dimensional de la madera……. 55

Tabla 14. Resumen del análisis de la varianza de índice de estabilidad dimensional (T/R)…… 56

Tabla 15. Módulo de ruptura de la madera por niveles longitudinales

del fuste…… 57

Tabla 16. Resumen del análisis de la varianza del módulo de ruptura (MOR) de la madera…… 58

Tabla 17. Módulo de elasticidad de la madera por niveles longitudinales del fuste…….. 59

Tabla 18. Resumen del análisis de la varianza del módulo de elasticidad (MOE) de la madera…… 60

Tabla 19. Compresión paralela al grano de la madera por niveles longitudinales del fuste…… 61

Tabla 20. Resumen del análisis de la varianza de la compresión paralela al grano…….. 62

Tabla 21. Resumen de la prueba de DLS de la compresión paralela al grano de la madera……. 62

Tabla 22. Compresión perpendicular a las fibras de la madera por niveles longitudinales del fuste……. 63

Tabla 23. Resumen del análisis de la varianza de la compresión perpendicular al grano de la madera…… 64

Tabla 24. Tensión perpendicular al grano por niveles longitudinales del fuste…… 66

Tabla 25. Resumen del análisis de la varianza de la tensión perpendicular al grano de la madera de la madera juvenil de eucalipto…… 67

Tabla 26. Cizallamiento radial y tangencial por niveles longitudinales del fuste de la madera juvenil de eucalipto……. 68

Tabla 27. Resumen del análisis de la varianza del cizallamiento radial y

tangencial de la madera de eucalipto…….. 69

Tabla 28. Resumen de la prueba de dos medias de muestra independiente…….. 70

Tabla 29. Clivaje radial y tangencial por niveles longitudinales del fuste de la madera juvenil de eucalipto……. 71

Tabla 30. Resumen del análisis de la varianza del clivaje radial y tangencial de la madera de eucalipto…….. 72

Tabla 31. Dureza de lados y de extremos por niveles longitudinales del fuste de la madera juvenil de eucalipto…… 73

Tabla 32. Resumen del análisis de la varianza de dureza de lados y dureza de extremos de la madera juvenil de eucalipto……. 74

Tabla 33. Resumen de la prueba de dos medias de muestras independiente……... 75

Tabla 34. Resumen de las propiedades físicas y mecánicas de *Eucaliptus urograndis* (Eucalipto)……. 76

ÍNDICE DE FIGURAS

En el texto: **Pág.**

Figura 1. Plano de plantación forestal de 68 hectáreas de la Cervecería San Juan S.A……... 37

Figura 2. Gráfico representativo del posible desarrollo de la obtención de probetas…….. 38

Figura 3. Contenido de humedad máximo por niveles longitudinales del fuste……... 47

Figura 4. Tres tipos de densidades de la madera por niveles longitudinales del fuste……..…… 50

Figura 5. Tipos de contracciones de la madera por niveles longitudinales del fuste……..…… 53

Figura 6. Índice de estabilidad dimensional de la madera…… 55

Figura 7. Módulo de ruptura de la madera por niveles longitudinales del fuste……. 57

Figura 8. Módulo de elasticidad (MOE) de la madera por niveles longitudinales del fuste…….. 59

Figura 9. Compresión paralela al grano de la madera por niveles longitudinales del fuste…….. 61

Figura 10. Compresión perpendicular al grano de la madera por niveles longitudinales del fuste……..…… 64

Figura 11. Tensión perpendicular al grano por niveles longitudinales del fuste de la madera juvenil de eucalipto…… 66

Figura 12. Cizallamiento radial y tangencial por niveles longitudinales del fuste……. 69

Figura 13. Clivaje radial y tangencial por niveles longitudinales del fuste…….. 71

Figura 14. Dureza de lados y de extremos por niveles longitudinales del fuste…… 73

En el anexo:

Figura 1A. Medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) de un árbol de eucalipto antes de ser cosechado……... 101

Figura 2A. Tumbado de árbol de eucalipto……... 101

Figura 3A. Producción de las trozas de eucalipto, posterior a la cosecha del árbol……... 102

Figura 4A. Sellado con pintura del corte reciente de la troza, para evitar infección de hongos e insectos……. 102

Figura 5A. Recepción de trozas de eucalipto en las instalaciones de la carpintería de la UNU…… 103

Figura 6A. Rodajas de madera de la especie eucalipto, codificadas, para su posterior producción de probetas……. 103

Figura 7A. Probetas de madera de *Eucalyptus urograndis* obtenidas posterior a la cosecha del árbol…….. 104

Figura 8A. Probetas de madera de *Eucalyptus urograndis* para ensayos mecánicos…….…….. 104

Figura 9A. Probetas de madera con perforaciones para ensayo de compresión perpendicular…… 105

Figura 10A. Registro de la codificación de las probetas para determinar su trazabilidad…….. 105

Figura 11A. Probetas de madera de eucalipto, codificadas, para la

determinación de propiedades físicas……. 106

Figura 12A. Ensayo mecánico de flexión estática…….. 106

Figura 13A. Ensayo mecánico de compresión paralela a las fibras…… 107

Figura 14A. Ensayo mecánico de clivaje……. 107

Figura 15A. Probeta de *Eucalyptus urograndis* posterior al ensayo de clivaje, mostrando la zona de fractura…… 108

Figura 16A. Ensayo mecánico de dureza…… 108

Figura 17A. Medición y pesado de probetas de madera de eucalipto para determinar propiedades físicas…….. 109

Figura 18A. Ensayo mecánico de flexión estática……. 109

Figura 19A. Falla de la probeta al someter el ensayo mecánico de compresión paralela a las fibras…….. 110

Figura 20A. Madera escuadrada de la especie eucalipto en estufa para su posterior secado……..…… 110

RESUMEN

En la región selva, especialmente en Pucallpa, se ha incrementado el establecimiento de plantaciones forestales privadas, destacando especies nativas como *Guazuma crinita* (bolaina blanca) y *Simarouba amara* (marupa), y exóticas como *Eucalyptus urograndis* (eucalipto). Estas plantaciones, al ser de alta densidad, requieren raleos tempranos. El objetivo del estudio fue determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* proveniente del primer raleo de una plantación de dos años y medio, así como su variación a lo largo del fuste. Se evaluaron propiedades físicas como contenido de humedad, densidades (saturada, seca al aire, seca al horno y básica), contracciones (longitudinal, tangencial, radial y volumétrica) e índice de estabilidad dimensional (T/R). Además, se analizaron propiedades mecánicas bajo condiciones normalizadas de laboratorio: flexión estática, compresión paralela y perpendicular al grano, dureza, cizallamiento, clivaje y tensión perpendicular al grano. Los resultados mostraron un contenido de humedad promedio de 108.4%. La madera juvenil fue clasificada como de mediana densidad, alta contracción y moderadamente estable. En cuanto a sus propiedades mecánicas, presentó muy baja resistencia en flexión estática y compresión paralela, baja resistencia en compresión y tensión perpendicular, baja dureza y muy baja resistencia al clivaje, evidenciando que se trata de una madera ligera, flexible y de uso limitado en estructuras que demanden alta resistencia.

Palabras clave: *Eucalyptus urograndis*, propiedades físicas, propiedades mecánicas, madera juvenil.

ABSTRACT

In the Amazon region, particularly in Pucallpa, the establishment of private forest plantations has increased, with native species such as *Guazuma crinita* (bolaina blanca) and *Simarouba amara* (marupa), as well as exotic species like *Eucalyptus urograndis* (eucalyptus). These plantations, established at high densities, require early thinning. The objective of this study was to determine the physical and mechanical properties of juvenile wood from *Eucalyptus urograndis* obtained from the first thinning of a 2.5-year-old plantation, and to analyze their variation along the stem. Physical properties evaluated included moisture content, densities (saturated, air-dried, oven-dried, and basic), dimensional shrinkages (longitudinal, tangential, radial, and volumetric), and the dimensional stability index (T/R). Mechanical properties were tested under standardized laboratory conditions: static bending, compression parallel and perpendicular to the grain, hardness, shear, cleavage, and tension perpendicular to the grain. Results showed an average moisture content of 108.4%. The juvenile wood was classified as medium density, high shrinkage, and moderately stable. Regarding mechanical properties, it exhibited very low strength in static bending and parallel compression, low strength in perpendicular compression and tension, low hardness, and very low cleavage strength, indicating that it is a light and flexible wood, with limited suitability for structural uses requiring high strength.

Keywords: *Eucalyptus urograndis*, physical properties, mechanical properties, juvenile wood.

INTRODUCCIÓN

En América Latina, Brasil y Chile son los países que más han contribuido a la expansión de plantaciones forestales. Pese a que Perú tiene la segunda mayor extensión forestal en América Latina, su participación en el mercado mundial de productos forestales es muy baja (menos del 1%) además de una balanza comercial deficitaria en este rubro. Vale resaltar que la producción forestal maderable del Perú proviene fundamentalmente de bosques naturales. En los últimos años, emerge una voluntad política del gobierno central y apoyado por el sector privado, de apostar al sector forestal como uno de los nuevos motores de la economía en la lucha contra la pobreza, la deforestación y el cambio climático global. En particular, el gobierno reconoce que las plantaciones forestales son una extraordinaria oportunidad de negocio, generan empleo y permiten cumplir con la recuperación de áreas degradadas. Ello ha conllevado a impulsar una serie de regulaciones y programas, prestando especial atención a plantaciones forestales en tierras privadas, pero también en concesiones (Guariguata et al., 2017).

En la región selva fundamentalmente en la zona de Pucallpa se ha intensificado las plantaciones forestales privadas, predominando las especies nativas como *Guazuma crinita* Mart. (bolaina blanca) y la *Simarouba amara* Aubl (marupa), entre las exóticas, el *Eucalyptus urograndis* (eucalipto) entre otras. Estas plantaciones se realizan con altas densidades, lo que conlleva a efectuar el primer raleo en los primeros años.

El raleo es una práctica que consiste en eliminar los árboles de menor calidad, con tronco torcido, enfermos o que están ofreciendo producto de mala calidad por su mal crecimiento o mala forma, con el objetivo de favorecer el

crecimiento de los árboles de mejor calidad. El raleo nunca se debe hacer antes de que los árboles alcancen 5 a 7 m de altura. Si se plantó con mucha proximidad, se podría hacer un primer raleo en los primeros dos años dejando un espacio adecuado entre las plantas en crecimiento.

La actividad del raleo proporciona ventajas como el aumento del vigor de las plantas, pues quedan las más sanas que se defienden mejor de enfermedades e insectos, el estímulo al crecimiento en diámetro de los árboles remanentes, y los frutos y semillas se producen en árboles vigorosos y dominantes (Contextoganadero, 2020).

La madera proveniente de los primeros raleos es generalmente no comerciales en su mayoría, tal es el caso del raleo realizado en la plantación forestal de la especie *Eucalyptus urograndis* (eucalipto) de dos años y medio de edad, perteneciente a la Cervecería San Juan S.A., en los lotes 1 y 2, sin embargo a pesar de su corta edad, se decidió estudiar sus propiedades físicas y mecánicas de la madera.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En la Amazonía peruana, particularmente en la región de Ucayali, se ha intensificado en los últimos años el establecimiento de plantaciones forestales privadas con especies de rápido crecimiento, entre las cuales destaca *Eucalyptus urograndis* por su alta tasa de productividad, adaptabilidad y demanda en el mercado maderero. Estas plantaciones, generalmente establecidas a altas densidades, requieren la ejecución de raleos tempranos con el fin de mejorar el desarrollo de los árboles remanentes y optimizar el uso del espacio. Sin embargo, la madera proveniente de estos raleos corresponde a material juvenil, cuyas propiedades físicas y mecánicas difieren significativamente de la madera madura, lo que limita su aprovechamiento y dificulta la determinación de usos adecuados.

A pesar del potencial del *Eucalyptus urograndis* como especie alternativa para la industria forestal en la Amazonía, existe escasa información técnica local sobre la calidad de la madera juvenil y su variación a lo largo del fuste, aspecto fundamental para definir su comportamiento tecnológico y su valorización comercial. Esta falta de conocimiento impide establecer parámetros confiables para su clasificación, procesamiento y aplicación en productos que demanden resistencia o estabilidad dimensional.

En la actualidad, los raleos tempranos suelen considerarse residuos de bajo valor económico, desaprovechando un recurso que, con la caracterización adecuada, podría ser utilizado en la elaboración de tableros, carpintería ligera o biomateriales. Por ello, es necesario estudiar la variación longitudinal de las propiedades físicas y mecánicas de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* proveniente de raleos, a fin de generar información científica que permita orientar su uso racional, contribuir a la sostenibilidad de las plantaciones y fortalecer el desarrollo del sector forestal en Pucallpa.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (eucalipto) proveniente del raleo de una plantación de 2.5 años de edad?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las variaciones en los niveles longitudinales del fuste de las propiedades físicas de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (eucalipto), proveniente del raleo de una plantación de 2.5 años de edad?
- ¿Cuáles son las variaciones en los niveles longitudinales del fuste de las propiedades mecánica de la madera juvenil de

Eucalyptus urograndis (eucalipto), proveniente del raleo de una plantación de 2.5 años de edad?

1.3. Justificación

El *Eucalyptus urograndis* se ha convertido en una de las especies forestales más utilizadas en las plantaciones comerciales del trópico peruano debido a su rápido crecimiento, adaptabilidad a diversas condiciones edafoclimáticas y alto rendimiento en biomasa. En la región de Ucayali, su cultivo ha cobrado especial relevancia dentro de las iniciativas privadas y comunitarias de reforestación; sin embargo, el manejo silvícola de estas plantaciones implica la realización de raleos tempranos que generan grandes volúmenes de madera juvenil, la cual es frecuentemente subutilizada por la falta de información técnica sobre sus propiedades y posibles usos.

La presente investigación se justifica en la necesidad de caracterizar científicamente la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis*, determinando la variación longitudinal de sus propiedades físicas y mecánicas a lo largo del fuste, con el fin de establecer parámetros de calidad que orienten su aprovechamiento tecnológico y comercial. Este conocimiento permitirá ampliar la base de datos técnica nacional sobre especies forestales exóticas adaptadas a la Amazonía, aportando información útil para investigadores, profesionales del sector forestal y centros de transformación de la madera.

El aporte principal de este trabajo será proporcionar los valores promedios de las propiedades físicas y mecánicas de la madera juvenil

obtenida del raleo de una plantación de *Eucalyptus urograndis*, así como describir su variación a lo largo del fuste, con el propósito de orientar sus posibles usos industriales. La información generada servirá como una herramienta de referencia para empresas privadas, instituciones públicas y productores forestales, impulsando un aprovechamiento más eficiente de la madera juvenil proveniente de raleos y fortaleciendo las estrategias de manejo sostenible.

Además, este estudio contribuirá a incrementar la limitada información existente sobre la madera juvenil, aspecto clave para promover su valorización y fomentar la diversificación de productos maderables en la región. Desde una perspectiva ambiental, económica y científica, la investigación se sustenta en su aporte al uso sostenible de los recursos forestales, la reducción del desperdicio de biomasa y el desarrollo tecnológico del sector forestal en Pucallpa y la Amazonía peruana.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (eucalipto) provenientes de raleo una plantación forestal de dos años y medio de edad y su variación a lo largo del fuste en Pucallpa.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas como contenido de humedad (CH), densidad (saturada, seca al aire, seca al horno y básica), cambio dimensional (longitudinal, tangencial, radial y volumétrico) y el índice de estabilidad dimensional (T/R), su variación a lo largo del fuste de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (eucalipto), para encontrar la aptitud y posterior el uso adecuado.
- Determinar bajo condiciones normalizadas de laboratorio las siguientes propiedades mecánicas: flexión estática, compresión paralela y perpendicular a la fibra, dureza, cizallamiento, clivaje, tensión perpendicular y paralela al grano, su variación a lo largo del fuste de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (eucalipto), para encontrar la aptitud y posterior el uso adecuado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Cobas y Monteoliva (2018) estudió el duramen y propiedades físicas de la madera *Robinia pseudoacacia* en relación a su potencial uso en la industria de la madera sólida. El objetivo fue determinar las propiedades físicas de la madera (densidad, contenido de humedad y cambios dimensionales), y el contenido de duramen a lo largo del fuste comercial. Resultado: La densidad mostró homogeneidad a lo largo del fuste comercial, con un rango de magnitud que la clasifica como madera semi-pesada (0,750 y 0,823 g/cm^3). Esta homogeneidad, junto con la buena estabilidad dimensional (T/R 1,42) y los altos valores de duramen (59%) hallados en las diferentes alturas del fuste, permitiría considerar a esta madera apta para aplicaciones al exterior, tanto para madera redonda como madera aserrada, pudiendo utilizarse para pisos, muebles, pérgolas, revestimientos.

Lyiola, Olufemi, Olubukola, Owoyemi y Samuel (2019) estudiaron las propiedades físicas y mecánicas de la madera de Daniella oliveri (árbol de bálsamo de África) tratada térmicamente, cuyo objetivo fue investigar el efecto de la modificación térmica sobre algunas propiedades físicas y mecánicas de la madera *Daniella oliveri.* Resultado: Mostró que la pérdida de peso promedio de las muestras de madera tratadas varió de 3.79% a 120 °C durante 1 hora a 7.51% a 180 °C durante 2 horas. El

tratamiento condujo a una reducción de la densidad de 528 a 459 kg / m^3 a 180 °C durante 2 horas. El tratamiento térmico también condujo a la reducción de la absorción de agua y al hinchamiento volumétrico de las muestras tratadas. El valor medio para el módulo de elasticidad (MOE) varía de $2.17x10^3$ N/mm^2 a 2,96 x 10^3 N/mm^2 para las muestras tratadas mientras que el no tratado es $2.22x10^3$ N/mm^2. El tratamiento térmico produjo una mejora en la resistencia máxima a la compresión y la dureza Janka paralela a la veta de las muestras de madera. El valor de la resistencia a la compresión aumentó de 26,58 N/mm^2 a 41,71 N/mm^2 y la dureza de 69,24 N a 75,5 N. Por lo tanto, se puede concluir que la modificación térmica mejoró en gran medida la estabilidad dimensional y las propiedades mecánicas de las muestras de madera.

Albuquerque (2019) determinó las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Eucalyptus saligna* para estructuras de madera. El objetivo fue determinar las propiedades físicas y mecánicas de especies de madera de *Eucalyptus saligna* para su uso en la construcción civil. Resultados: Todos los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente de acuerdo con la prueba t al 5% de nivel de significancia. Además, también se determinaron las propiedades de resistencia características, para la clasificación de lotes en las clases de resistencia recomendadas por la norma brasileña. *Eucalyptus saligna* tenía una densidad aparente de 0,58 g/cm^3 y una densidad básica de 0,73 g/cm^3. Las propiedades mecánicas, presentaron f_{c0} y $f_{c0,\,k}$ iguales a 46,80 y 32 MPa, respectivamente. Los resultados indicaron que

la madera de *Eucalyptus saligna* se puede utilizar en la construcción de estructuras de madera como miembro estructural.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Mendoza (2015) determinó las propiedades físicas de la madera de *Eucalyptus urograndis* de 9 años de edad, procedentes del Sector, "Santa Herminia-Palomar" de la localidad de Villa Rica, Oxapampa-Pasco, presentando un peso específico básico media (0.46), contracción volumétrica media (12%) y una relación anisotropía clasificada como estable (1.96), contenido de humedad (123.37%), densidad básica (0.46 gr/cm^3).

De La O (2016) realizó estudios de la anatomía y propiedades físicas de la madera de primera y tercera corta de *Eucalyptus globulus* Labill – Huanchar - Concepción. Objetivo: Determinar los características anatómicas y propiedades físicas de la madera de primera y tercera corta de *Eucalyptus globulus Labill*, procedente de cerco vivo del distrito de Huanchar. Resultado: Tenemos que anatómicamente la madera de primera corta de *Eucalyptus globulus Labill* presento duramen de color marrón pálido y albura blanco; poros solitarios ovalados de diámetro 117,06 µm, número promedio por mm^2 9, longitud de los vasos 593,68 µm; longitud de fibra promedio 968,01 µm, diámetro 22,35 µm; los radios en su gran mayoría son uniseriados con una altura de169, 04 µm y un ancho15, 61 µm. En cuanto a las propiedades físicas presento: contenido de humedad 122,75%; densidades: verde 1,06 gr/cm^3, anhidra 0,63 gr/cm^3 y básica 0,48 gr/cm^3; contracciones: longitudinal 0,19%, radial

5,82%, tangencial 15,40%, volumétrica 21,32% y la relación tang./rad. 2,70. La madera de tercera corta de *Eucalyptus globulus Labill* presentó duramen de color marrón pálido y albura marrón amarillento; poros solitarios ovalados de diámetro 111,42 µm número promedio por mm^2 7, longitud de los vasos 516,55 µm; longitud de fibra 899,85 µm, diámetro 21,45 µm; los radios en su gran mayoría fueron biseriados, con una altura de 165,56 µm y un ancho 16,44 µm. En cuanto a las propiedades físicas presento: contenido de humedad 98,44%, densidades: verde 1,09 gr/ cm^3, anhidra 0,73 gr/cm^3 y básica 0,51 gr/cm^3. En cuanto a las contracciones que presentó fue: longitudinal 0,34%, radial 7,31%, tangencial 15,28%, volumétrica 22, 94 y la relación tang./rad. 2,14.

Huamán (2020) realizó la caracterización físico - mecánica de la madera de raleo de *Guazuma crinita* Martius proveniente de plantaciones de tres años, Huánuco – Perú. El objetivo fue determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera bolaina blanca (*Guazuma crinita*), la cual corresponde al primer raleo a los 42 meses de edad proveniente de una plantación clonal a escala experimental de la empresa Reforestadora Amazónica S.A. (RAMSA), situada en Puerto Inca, Huánuco. Resultados: Indican que para todas las propiedades físicas existen diferencias significativas entre las parcelas experimentales y tratamientos, excepto para las propiedades mecánicas, que sólo presentaron diferencias significativas entre las parcelas experimentales para flexión estática y tratamientos para compresión paralela. Se confirma la presencia de madera juvenil en los clones por su baja densidad y baja resistencia mecánica, no obstante, las propiedades mecánicas tanto de flexión

estática (MOR y MOE), como de compresión paralela (RM) fueron superiores hasta 22%, 21% y 40% respectivamente cuando se les comparó con los valores promedio, generados en estudios anteriores, con madera proveniente de plantaciones de bolaina blanca tradicionales (semilla/no clonal), incluso de mayores edades. Por otra parte, la densidad básica de esta madera juvenil no resulto un buen estimador de sus propiedades físico-mecánicas, pero se empezaría a evidenciar la precocidad maderable en términos de flexión estática (MOR), en cuanto se presentó la única relación positiva (r2 =0,48). Finalmente, se confirmó la presencia de madera de reacción, por los altos valores de tensiones de crecimiento y excentricidad de la médula.

Anquise et al., (2019), determinaron las propiedades físicas, mecánicas y características anatómicas de Vochysia kosnipatae Huamantupa (Alco kaspi) proveniente de plantación del distrito San Gabán 2019, teniendo como objetivo conocer las propiedades físicas, mecánicas y características anatómicas de Vochysia kosnipatae Huamantupa (Alco kaspi) de plantación de la subestación experimental Agraria INIA de San Gabán. Resultado: Con respecto a propiedades físicas se determinó CH 122,02%, DB 0,38 g/cm³, CV 10,74% y CT/CR 2,77; en propiedades mecánicas presenta una flexión estática, MOE 31,47 kg/cm², MOR 528,38 kg/cm², ELP 759,42 kg/cm²; compresión perpendicular al grano, ELP 27,91 kg/cm²; extracción de clavos 65,17 kg/cm²; dureza 233,70 kg/cm²; clivaje 29,46 kg/cm²; cizallamiento 56,70 kg/cm²; tenacidad 80,95 kg/cm. En características anatómicas organolépticas resalta la diferencias entre albura y duramen, olor y sabor

no distintivo, grano recto, textura media. En macroscópico presenta poros visibles solitarios, con gomas, parénquima Apotraquial bandas delgadas y radios visibles con lupa 10x; y a nivel microscópicos presenta vasos de 4/mm² de longitud y diámetro de 250,81 µm, 193,35 µm; fibras libriformes, lumen 23,90 µm de diámetro; pared de fibras de 4,09 µm de espesor, radios de 27/mm² con 5 células en ancho y 44 en alto, sin inclusiones minerales.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Descripción de la especie *Eucalyptus urograndis*

Vinueza (2012). Menciona las siguientes características de la especie.

Taxonomía

- Reino: Plantae.
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida.
- Subclase: Rosidae.
- Orden: Myrtales.
- Familia:Myrtaceae.
- Subfamilia: Myrtoideae.
- Género: Eucalyptus.
- Nombre científico: *Eucalyptus urograndis.*
- Nombre común: Eucalipto.
- Otros nombres: Eucalipto colorado.

Descripción botánica

Según la misma fuente bibliográfica menciona, que el *Eucalyptus urograndis* es una especie de copa poca frondosa, muy ramificada. Las hojas son sésiles, ovaladas y grisáceas, alargándose y tornándose coriáceas y de un color verde azulado brillante de adulto, mientras que las flores son de color blanca y solitarias, con frutos de tipo capsula y semillas pequeñas. El árbol está constituido por un fuste recto y cilíndrico, teniendo una corteza exterior (ritidoma) de color marrón claro, con aspecto de piel, desprendiéndose en tiras dejando manchas grises o parduscas sobre la corteza interior, más lisa.

Distribución de la especie

Originario de Australia y Tasmania, es un árbol de rápido crecimiento, en el que se cuentan cerca de 700 especies de eucalipto, distribuidas en regiones, especialmente de climas mediterráneos, tropicales o subtropicales. En el Ecuador el *Eucalyptus urograndis* se encuentra plantado en la provincia de Esmeraldas en una superficie inicial de 1,000 ha en la zona de Muisne, Tonchigüe y Sua.

Ecología de la especie

Características climáticas

- Altitud: 0 – 2,000 msnm.
- Precipitación: 800 – 1,200 mm.
- Temperatura: 24°C.

Requerimiento edáfico

- Requiere suelos francos-arcillosos, no compactados, profundos, que mantengan buen drenaje.

2.2.2. Descripción silvicultural y de manejo de la especie

- **Producción en vivero:** La especie corresponde a un híbrido entre el *Eucalyptus urophylla* y *Eucalyptus grandis*. La germinación de la semilla se produce de 7 a 14 días después de la siembra. Las plantas usualmente se cultivan hasta una altura de 20 a 30 cm., lo que toma entre 3 a 5 meses.

- **Fuentes semilleros:** En Brasil se encuentran establecidos bancos clonales de donde se obtienen material vegetativo para su propagación.

- **Reproducción vegetativa:** Por estacas o micro estacas, con la ayuda de hormonas enraizadoras.

- **Preparación de terreno:** La intensidad de la labranza depende del grado de la pendiente, es preferible plantar abriendo surcos que sigan las curvas de nivel, para aprovechar de mejor manera el agua lluvia o posibilitar el drenaje.

- **Plantación (diseño y densidad):** Especie adecuada para proyectos con enfoque industrial, cuyo objetivo sea pulpa. El

espaciamiento para este objetivo debe ser de 3 x 2m, con una densidad de 1.666 árboles/ha, pudiéndose aumentar.

- **Crecimiento (IMA):** El incremento medio anual en altura es de 3.97 m. y en diámetro de 4 cm. Manejo silvicultural. Limpias los dos primeros años, y después del aprovechamiento, el manejo de rebrote.

- **Turno o rotación:** El turno de corte y producción es en el sexto año, por su capacidad de rebrote, la segunda rotación puede realizarse con manejo de estas.

- **Rendimiento volumétrico:** El rendimiento anual es entre 40 m^3 a 50 m^3/ha. La producción promedio aprovechable para pulpa por hectárea es de 250 m^3/ha.

- **Usos de la madera:** Son usados para producción de celulosa, postes de alumbrado, trozas para aserrados, puntales para construcción civil, fabricación de postes, suelos de parquet, soportes en minas, tableros de fibras.

Propiedades organolépticas de la madera

- Organoléptica
- Color amarillo pálido.
- Veteado poco diferenciado.
- Textura mediana.
- Grano recto ha entrecruzado.

- Olor no distintivo, algo parecido a tanino.
- Sabor no distintivo.
- Brillo mediano.

- **Durabilidad:** Se están efectuando pruebas de individuos de las plantaciones de Esmeraldas. Sin embargo, literatura menciona que la albura no es muy durable, y el duramen lo es mejor.
- **Trabajabilidad:** Responde adecuadamente al cepillado, taladro y enclavado.
- **Propiedades físicas y mecánicas:** Densidad aparente (de 450 a 550 kg/m^3 - liviana), dureza (300 a 500 - blanda), buen comportamiento y resistencia al fuego y acepta tintes -adhesivos - no mancha azul, no muy susceptible al taladrador.

Usos de la madera juvenil

Las especies forestales de “rápido crecimiento” como es el caso del genero *Eucalyptus*, genera condiciones de producción de madera que en los primeros años origina lo que llamamos “madera juvenil” la cual presenta baja densidad, fibras más cortas, con un ángulo de microfibrillas alto y, por lo tanto, redunda en parámetros de baja calidad como la resistencia mecánica, dureza, estabilidad dimensional, etc. Todos estos parámetros comienzan a mejorar paulatinamente en el crecimiento del árbol, por lo cual, a medida que crece el árbol comienza a generar mejor

calidad de madera hasta llegar a una estabilidad en las propiedades, material que llamamos “madera adulta” (Doldán, 2019).

La madera juvenil se caracteriza por un incremento progresivo en sus dimensiones y cambios correspondientes de forma, estructura y disposición de las células en los sucesivos incrementos de crecimiento (Arroyo, 1983).

Se caracteriza por tener bajo peso específico, una alta contracción longitudinal y una correspondiente disminución en la contracción transversal, debido a la orientación de las microfibrillas. Un ángulo microfibrilar grande está asociado también con una baja resistencia a la tensión (Haygreen y Bowyer, 1982).

Es la madera que se crea los primeros años, madera ligera y poco resistente; sus células son más pequeñas y no muy duraderas (NORMADERA, 2019).

2.2.3. Manejo forestal

El manejo forestal se define como el aprovechamiento sostenible de los productos deseados y de los servicios ambientales que provee el bosque, sin reducir sus valores inherentes ni su productividad futura. En términos simples, el manejo forestal se puede definir, como la planificación y ejecución del aprovechamiento, recuperación y protección del bosque (Robles, 2007).

“El manejo forestal se refiere al conjunto de actividades que permiten maximizar el rendimiento y mejorar la calidad de los productos finales de una plantación forestal”. (Galloway, 1993)

El manejo forestal es un instrumento de gestión forestal resultante de un proceso de planificación racional basado en la evaluación de las características y el potencial forestal del área a utilizarse, elaborado de acuerdo a las normas y prescripciones de protección y sostenibilidad. Se trata del uso responsable del bosque, las actividades y prácticas aplicables para el rendimiento sostenible, la reposición mejoramiento cualitativo y cuantitativo de los recursos y el mantenimiento del equilibrio del ecosistema (FAO, 1999).

Se entiende por manejo forestal las actividades de caracterización, evaluación, investigación, planificación, aprovechamiento, protección y control del bosque y otros ecosistemas de vegetación silvestre, conducente a asegurar la producción sostenible de bienes, la provisión sostenible de servicios y la conservación de la diversidad biológica y el ambiente (SERFOR, 2015).

El manejo forestal se caracteriza por una gestión por ecosistemas, siendo necesario que todo aprovechamiento comercial o industrial de recursos forestales y servicios de los ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre cuenten con un plan de manejo aprobado por la autoridad regional forestal y de fauna silvestre. El plan de manejo forestal contiene el nivel de estudio de impacto ambiental acorde con la escala e intensidad de las operaciones (SERFOR, 2015).

2.2.4. Manejo forestal en plantaciones forestales

FAO (2018) Se refiere al conjunto de técnicas y prácticas silviculturales, que permiten mayor rendimiento y mejor calidad de los

productos de una plantación forestal. Especialmente se refiere a las prácticas de deshije, poda y raleo. Debido a un buen manejo se obtendrán árboles de mayor grosor y el producto final será de buena calidad.

2.2.5. Raleo de una plantación

El raleo consiste en la corta o eliminación de una proporción de los árboles de un rodal, extrayendo aquellos que interfieren en el crecimiento de los árboles seleccionados o definitivos para la cosecha final, y/o cuando no pueden cumplir con la obtención de productos de calidad por su mal crecimiento o mala forma (Biblioteca Agroecológica, 2017).

Es una práctica silvicultural con la que se reduce el número de árboles en la plantación, con el objetivo de concentrar el crecimiento en los mejores individuos. El número apropiado de raleos depende del objetivo final de la plantación y del mercado para productos provenientes de los raleos. Se recomienda dos o tres raleos para llegar a la densidad final deseada (200-250 árboles/ha). El dueño de una plantación forestal puede escoger entre tener muchos árboles de diámetros pequeños o menos árboles de diámetro grande. Si no se ralea la plantación, la producción de madera para aserrío será limitado (Galloway, 1993).

Es la práctica de silvicultura que se encarga de remover los árboles en exceso, enfermos, de mala calidad y matorrales para mejorar el crecimiento, salud y valor de los cultivos madereros permanentes (Boletín Agrario, 2019).

El raleo consiste en la eliminación de árboles dentro de una plantación, con la finalidad de manejar las condiciones de competencia mediante la regulación del distanciamiento entre los individuos. Con el raleo se favorecen a arboles selectos para la cosecha proveyendo un mayor espacio aéreo y terrestre (que permite mayor oportunidad de captar luz, agua y nutrientes). Miente el raleo, se redistribuye el espacio de forma regular entre cada vez menos árboles, de acuerdo a cierto criterio de selección basado en el método del raleo (ABC en el Este, 2010).

2.2.6. Propiedades mecánicas de la madera

Las propiedades mecánicas de la madera determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas externas. Se entiende por fuerza externa cualquier solicitación que, actuando exteriormente, altere su tamaño, dimensión o la deforme. El esfuerzo necesario para solicitar un material hasta el límite elástico, determine la tensión en el límite de proporcionalidad, que es la carga máxima a que se puede someter sin que produzcan deformaciones permanentes (Cruz, 2005).

Las propiedades mecánicas, presenta la capacidad de resistir esfuerzos aplicados, que tienden a alterar su forma y tamaño. La resistencia a tales esfuerzos, depende de la magnitud de ellas y de la manera de su aplicación, pero más que nada dependerá de varias características de la madera que son, entre otras, el peso específico aparente y el contenido de humedad (Vargas, 1987, p. 119).

La efectividad de una madera para resistir cualquier fuerza es función no sólo de la cantidad de sustancia de la pared celular, sino de las proporciones en que se encuentran los componentes de esa pared celular en una pieza dada y también de la cantidad de extractivos depositados en los lúmenes de las células (Arroyo, 1983).

La madera no es un material homogéneo, sino un material muy diferente según el plano o la dirección que se considere. Como resultado de esa desigual configuración, presenta un desigual comportamiento. Es decir, es un material anisotrópico y para dar una idea de este comportamiento señalan que la madera, resiste entre 20 y 200 veces más en el sentido del eje del árbol, que en el sentido transversal (Vignote y Jiménez, 1996).

2.2.7. Principales propiedades mecánicas de la madera

Flexión estática

La flexión estática es la resistencia de la viga a una carga puntual, aplicada en el centro de la luz, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad, tensión de rotura y el módulo de elasticidad (Cruz, 2005).

La resistencia a la flexión es una de las más importantes propiedades mecánicas en la utilización de la madera como material de construcción, siendo el factor principal en la construcción de casas, puertas, tejados, paredes de madera, etc. (Rivero, 2004).

La flexión estática es la resistencia que ofrece la madera a una carga que actúa sobre una viga y los valores numéricos promedios sirven de base para obtener los valores de diseño, que son los que se emplean en los cálculos de las vigas. Dentro de los esfuerzos en flexión estática está el módulo de elasticidad (MOE), que es un índice de la facilidad o dificultad que tiene las maderas para su deformación señalando que mientras la madera presente mayor MOE, menor será su deformación (Aróstegui, 1982).

El módulo de ruptura (MOR) indica la resistencia que tiene la madera para fallar bajo la acción de una carga. Al analizar su influencia se puede partir del siguiente principio. La especie que presente el menor valor del módulo de ruptura es la que tiene el mejor comportamiento (Llúncor, 1977).

Compresión paralela al grano

La compresión paralela a las fibras es la resistencia de la madera a una carga en dirección paralela a las fibras, la que se realiza en columnas cortas para determinar la tensión de rotura, tensión en el límite de proporcionalidad y módulo de elasticidad (Cruz, 2005).

La compresión paralela al grano tiene importancia en la construcción de viviendas, cuando la madera se usa en puntales y columnas; al referirse a la resistencia máxima a la compresión paralela al grano menciona que es la carga que produce la falla (Aróstegui, 1982).

La importancia del conocimiento de esta resistencia se refleja en el comportamiento de la madera cuando actúa como poste, pilar, etc.

(Rivero, 2004).

Compresión perpendicular al grano

La compresión normal a las fibras es la resistencia de la madera a una carga en dirección normal a las fibras, aplicada en una cara radial, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad y tensión máxima (Cruz, 2005).

La compresión perpendicular consiste en determinar la capacidad de sustentar las fuerzas que tienden a aplastar las fibras, unas contra otras; es un ensayo que no presenta carga máxima y es realizado principalmente en la cara tangencial (Vargas, 1987).

La compresión perpendicular también tiene importancia en la construcción vigas y viguetas en las cuales se transmiten cargas perpendiculares a las piezas hechas de madera, así como el caso de durmientes, señala que la madera se puede cargar en esta dirección en forma prácticamente ilimitada sin conseguir una carga máxima bajo la cual la madera se rompa (Aróstegui, 1982).

Dureza

La dureza es la resistencia que presenta la madera a la penetración (Cruz, 2005).

La dureza es la resistencia que opone la madera a la abrasión, desgaste, penetración y la compresión que en ella se ejerce (Vargas, 1987).

La dureza de la madera es muy utilizada para la industria del parquet, machihembrado, etc. (Rivero, 2004).

Extracción de clavo

La extracción de clavos se mide su resistencia por la fuerza necesaria para extraer un clavo de la madera. Se debe considerar la resistencia al desclave en una superficie paralela a las fibras y en una superficie normal a las fibras (Cruz, 2005).

Los clavos resisten cargas de extracción, cargas laterales o combinaciones de estas dos. Ambas resistencias son afectadas por la madera, el clavo, y las condiciones de uso. En general, sin embargo, cualquier variación de estos factores tiene un efecto más pronunciado en la resistencia de extracción que en la resistencia lateral (USDA, 1999).

Tensión paralela al grano

La tensión paralela a las fibras es la resistencia a una carga de tracción en dirección paralela a las fibras (Cruz, 2005).

La resistencia a la tracción es solo de poca importancia para muebles y construcciones de interiores. Se distingue entre resistencia a la tracción longitudinal y transversal, la primera es inferior al 1% de la resistencia longitudinal a las fibras. La resistencia a la compresión puede en general no tenerse en cuenta en ebanistería (Nutsch, 2000).

Tensión perpendicular al grano

La tensión normal a las fibras es la resistencia que opone la madera a una carga de tracción normal a las fibras (Cruz, 2005).

Clivaje

Es la resistencia que ofrece la madera al rajamiento. Puede ser tangencial y radial, dependiendo de la ubicación de los anillos de crecimiento (Cruz, 2005).

Cizallamiento

Consiste en medir la capacidad que tiene la madera para resistir fuerzas que tienden a producir deslizamiento de un plano interno de la madera sobre su adyacente (Vargas, 1987).

El cizallamiento o esfuerzo cortante de la madera se determina solamente en la dirección paralela al grano, porque la madera es más débil en esta dirección (Arroyo, 1983).

El cizallamiento paralelo a las fibras es importante cuando se diseña conexiones entre elementos estructurales en construcción. Adicionalmente, el esfuerzo de cizallamiento también se desarrolla internamente en una viga de madera bajo carga debido a que las diferentes capas tienden a deslizarse horizontalmente (Haygreen y Bowyer, 1982).

2.2.8. Propiedades físicas de la madera

Panshin y De Zeeuw (1980), básicamente todas las propiedades físicas de la madera están determinadas por los factores inherentes en su organización estructural. Estos pueden ser resumidos en cinco categorías:

- La cantidad de sustancia presente en la pared celular en un volumen de madera determinado.
- La cantidad de agua presente en la pared celular.
- La proporción de la composición de los componentes químicos primarios de la pared celular y la cantidad, así como la naturaleza de los las sustancias extrañas presentes.
- El arreglo y orientación de los materiales de la pared en la célula y en los diferentes tejidos.
- El tipo, tamaño, proporción y arreglo de las células que conforman el tejido leñoso.

El primero de estos factores se mide a partir del peso específico de la madera y provee uno de los índices más útiles para predecir el comportamiento físico de la madera. El segundo factor afecta intensamente el comportamiento físico de la madera en general, no sólo debido a que la adición de agua en las paredes celulares cambia su densidad y dimensiones sino también por los efectos en la plasticidad y la transferencia de energía dentro de la pieza de madera.

Densidad

Se define como la masa por unidad de volumen a un determinado contenido de humedad. Un aumento en el contenido de humedad trae como consecuencia un incremento de su masa en una proporción mayor que el incremento de su volumen y por lo tanto la densidad aumentará (JUNAC, 1989).

JUNAC (1989), sostiene que para efectos de comparación de la densidad entre especies, se han normalizado los siguientes valores: densidad anhidra que es masas seco al honor entre volumen seco al horno; densidad normal que es masa al 12% de contenido de humedad entre volumen al 12% de CH; densidad en el PSF que es masa al 30% de CH entre volumen al 30% de CH.

La densidad de una madera es uno de los datos más importantes para su clasificación técnica, ya que existe una relación bastante constante entre densidad y resistencia mecánica (Kollman, 1959)**.**

Densidad básica

La densidad básica es una de las características más importantes de la madera, siendo relación entre el peso seco al horno y su volumen verde. La densidad de la madera tiene gran influencia en las propiedades mecánicas como, la resistencia a la flexión, dureza y otros (Aróstegui, 1982).

Contenido de humedad (CH)

El contenido de humedad se define como el peso de la cantidad de agua presente en una pieza de madera, expresado en función del peso de esa pieza en condición seca al horno o anhidra. Para la determinación del contenido de humedad se hace considerando sólo los valores del agua libre y de saturación o higroscópica, en la práctica, la madera se considera totalmente seca cuando al secarla en estufa a 103 $\pm$ 2 grados centígrados alcanza su peso constante (JUNAC, 1989).

El contenido de humedad influye en el peso, resistencia mecánica, contracción y expansión, conductividad térmica, acústica, durabilidad, inflamabilidad y permeabilidad de la madera (Aróstegui, 1982).

Una vez recién cortada, la madera puede tener niveles de humedad alrededor del 200%. Agua fija en las paredes celulares sujetas bajo fuerzas moleculares y el agua libre mediante fuerzas capilares en los espacios intercelulares son destacadas por poseer gran parte de esta humedad. En uso normal, el contenido oscila entre 8 y 25% según su peso. En este punto, es importante agregar el concepto de punto de saturación de la fibra que representa la proporción de humedad presente en la madera cuando las paredes celulares están saturadas de agua fija sin que haya agua libre en las células (TODO EN MADERA SHOP, 2020).

Peso específico

El peso específico de la madera como la relación que existe entre el peso seco al horno de una muestra de ella y el peso del volumen de agua desplazado por la muestra a un contenido de humedad cualquiera (Arroyo, 1983).

Contracción

Es una propiedad que posee la madera, de variar en sus dimensiones tanto en el sentido radial, tangencial, longitudinal y en su volumen cuando su estado de humedad varía, como consecuencia del cambio de su contenido de humedad por debajo del punto de saturación de las fibras. La causa de estos cambios dimensionales se debe

principalmente a la pérdida o entrada de agua higroscópica entre las estructuras celulósicas de la pared celular (Aróstegui, 1982).

Índice de relación T/R

La relación de contracción tangencial y radial es un índice de la estabilidad de la madera y cuando la relación entre ambas se acerca a la unidad, la madera es más estable y tiene buen comportamiento al secado (Aróstegui, 1982).

Rodríguez (2006), menciona que para efectos prácticos, el valor más utilizado es el de la relación T/R, cuyo resultado no debe superar ciertos límites para considerar su aptitud de aplicación. La relación T/R determina el grado de estabilidad de la madera:

- T/R < 1 madera estable.
- 1< T/R < 2 madera medianamente estable.
- T/R > 2 madera poco estable.

Clasificación de la madera según sus propiedades físicas y mecánicas

Tabla 1

Rango de densidades y contracciones volumétricas

Clasificación	Densidad (g/cm³)			Contracción Volumétrica
	Seca al aire	Seca al horno	Básica	
Muy baja (MB)	< 0.35	< 0.30	< 0.30	< 9.0
Baja (B)	0.35 – 0.50	0.30 – 0.45	0.31 – 0.40	9.1 – 11.0
Media (M)	0.51 – 0.75	0.46 – 0.70	0.41 – 0.60	11.1 – 13.0
Alta (A)	0.76 – 1.0	0.71 – 0.86	0.61 – 0.80	13.1 – 15.0
Muy alta (MA)	1.0 >	0.86 >	>0.81	15.0 >

Fuente: Aróstegui (1975).

Tabla 2

Índice de estabilidad (T/R) y punto de saturación de las fibras (PSF)

Clasificación	T/R	Clasificación	PSF (%)
Muy estable (ME)	< 1.5	Bajo (B)	< 25
Estable (E)	1.51 – 2.0		
Moderadamente estable (ME)	2.1 – 2.5	Normal (N)	25 – 35
Inestable (I)	2.51 – 3.0	Alto (A)	35 >
Muy inestable (MI)	3.1 >		

Fuente: Aróstegui (1975).

Tabla 3

Flexión estática, comprensión paralela y perpendicular, tensión perpendicular al grano

Clasificación	Flexión estática		Compresión paralela	Compresión perpendicular	Tensión perpendicular
	MOR (kg/cm²)	MOE (tn/cm²)	RM (kg/cm²)	ELP (kg/cm²)	(kg/cm²)
Muy baja	< 550	< 75	< 325	< 35	< 20
Baja	550 – 800	75 – 105	325 – 450	35 - 65	21 – 40
Media	801 - 1000	106 - 125	451 – 530	66 - 85	41 – 60
Alta	1001 - 1300	126 - 150	531 – 650	86 - 125	61 – 80
Muy alta	> 1300	> 150	> 650	> 125	81 >

Fuente: Dávalos y Bárcenas (1999).

Tabla 4

Dureza, cizallamiento, extracción de clavos y clivaje

Clasificación	Dureza		Cizallamiento (kg/cm²)	Clivaje (kg/cm)	Extracción de clavos (kg)
	Lateral (kg)	Extremos (kg)			
Muy baja	< 150	< 160	< 50	< 20	< 50
Baja	150 - 350	160 – 400	50 – 90	21 – 40	51 – 100
Media	351 - 550	401 – 625	91 – 120	41 – 60	101 – 150
Alta	551 - 900	626 – 1050	121 – 165	61 – 80	151 – 200
Muy alta	> 900	> 1050	> 165	81 >	201 >

Fuente: Dávalos y Bárcenas (1999).

Tabla 5

Tracción perpendicular

Clasificación	Dureza		Cizallamiento (kg/cm²)	Clivaje (kg/cm)	Extracción de clavos (kg)
	Lateral (kg)	Extremos (kg)			
Muy baja	< 150	< 160	< 50	< 20	< 50
Baja	150 - 350	160 – 400	50 – 90	21 – 40	51 – 100
Media	351 - 550	401 – 625	91 – 120	41 – 60	101 – 150
Alta	551 - 900	626 – 1050	121 – 165	61 – 80	151 – 200
Muy alta	> 900	> 1050	> 165	81 >	201 >

Fuente: Vignote y Jiménez (1996).

2.3. Definición de términos básicos

- **Residuos forestales:** Pueden proceder por una parte del mantenimiento y mejora de las montañas y masas forestales, cuando se hacen podas, limpiezas, etc. y, por otra, de los residuos resultantes de cortar los troncos de los árboles para hacer productos de madera. Estos trabajos generan unos residuos que es necesario retirar del bosque puesto que constituyen un riesgo muy importante en la propagación de plagas y de incendios forestales (AMBIENTUM, 2019).

- **Rodal***:* Unidad forestal básica. Es un área que comprende un cultivo más o menos homogéneo en términos de edad, composición de especies y condición. Los rodales no tienen que ser necesariamente unidades permanentes de gestión ya que probablemente variarán con el desarrollo y aprovechamiento de la masa forestal a la que pertenecen (Aula Silvicultura, 2008).

- **Plantaciones forestales:** Los bosques plantados se establecen principalmente mediante la siembra de plantas o semillas. La plantación resultante es un tipo de bosque plantado cuya característica es que está compuesto por una o dos especies de árboles, regularmente espaciados y con manejo intensivo (FAO, 2018).

  Los bosques plantados se manejan a pequeña y gran escala y con una variedad de objetivos diferentes que incluyen la restauración de plantaciones ornamentales, la protección del medio ambiente, la biodiversidad, el secuestro de carbono y la producción de productos madereros y no madereros (FAO, 2018).

  Si están manejados de manera sostenible, los bosques plantados tienen el potencial de suministrar importantes beneficios sociales y ambientales. Si se desea obtener estos beneficios, es importante que las plantaciones estén sometidas a ordenación responsable utilizando las mejores prácticas (FAO, 2018).

  En la mayoría de los casos, las plantaciones se establecen con el objetivo de producir madera y pueden producir una amplia gama de productos madereros, incluidos trozas de aserrío, madera para pulpa y biomasa para combustible. En muchos casos, las grandes plantaciones forestales son planificadas y manejadas por silvicultores profesionales con un alto nivel de conocimientos en materia de bosques (FAO, 2018).

  Las plantaciones de producción se instalan en suelos que permitan actividad de extracción y se orientan predominantemente al

suministro de madera, fibra y productos forestales no maderables, incluyendo fauna silvestre y servicios ambientales. Pueden desempeñar también funciones protectoras, recreativas, paisajista y otras, no excluidas por la extracción de productos (SERFOR, 2015).

- **Silvicultura:** Es la disciplina que trata sobre la gestión de los bosques o montes forestales y también, por extensión, la ciencia que trata de este cultivo; es decir, de las técnicas que se aplican a las masas forestales para obtener de ellas una producción continua y sostenible de bienes y servicios demandados por la sociedad (Wikipedia, 2019).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

El método de investigación aplicado fue de tipo experimental, acorde con especificaciones de las normas técnicas pertinentes y de acuerdo a los procedimientos practicados en los laboratorios de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU).

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población estuvo constituida por el conjunto de árboles de la especie *Eucalyptus urograndis* (eucalipto), proveniente del raleo al 40%, de la plantación forestal de dos años y medio, perteneciente a la Cervecería San Juan S.A., ubicado en Carretera Federico Basadre Km. 13 (margen derecha), distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali.

3.2.2. Muestra

Para determinar el tamaño de la muestra, previamente se realizó un muestreo piloto del DAP de 25 individuos para calcular el coeficiente de variación (CV) que es 10%. El error (E) fue de 5% y se aplicó la siguiente expresión.

$$n = \frac{(T_{1-\alpha/2})^2 (CV)^2}{E^2}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra.

T = T de Student con n-1 gl.

CV = Coeficiente de variación en %.

E = Error experimental en %.

El tamaño de la muestra fue de 16 árboles, teniendo en consideración la buena conformación física y biológica. Asimismo, se procedió a la georeferenciación de los árboles con el uso de un GPS.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Técnica

La recolección de datos se hizo a base de la observación directa, el cual fueron registrados en formatos y libretas de campo. Asimismo, también se emplearon algunos materiales, instrumentos y equipos adecuados para obtener la información lo más exacto posible.

3.3.2. Instrumento

El instrumento utilizado fue la observación directa en laboratorio, para el registro de datos se elaboraron previamente formatos. Para la toma de información fue necesario contar con los siguientes materiales de campo y laboratorio, así como maquinarias y equipos.

- **Materiales de campo**

  - ✓ Forcípula.
  - ✓ Cinta métrica.
  - ✓ Machete.
  - ✓ Libreta de campo.
  - ✓ Pintura y brocha.
  - ✓ Marcadores indelebles.
  - ✓ Bolsa de polietileno.
  - ✓ Cámara digital.

- **Materiales de laboratorio**

  - ✓ Formato de registro de mediciones.
  - ✓ Lápiz y lapicero.
  - ✓ Probetas de la especie *Eucalyptus urograndis* (eucalipto) para determinación de propiedades físicas.
  - ✓ Probetas de la especie *Eucalyptus urograndis* (eucalipto) para determinación de propiedades mecánicas.

- **Maquinarias y equipos**

  - ✓ Motosierra.
  - ✓ Sierra de cinta.
  - ✓ Mesa despuntadora
  - ✓ GPS.
  - ✓ Balanza analítica.
  - ✓ Calibrador digital.

- ✓ Estufa.
- ✓ Prensa universal.
- ✓ Computadora.
- ✓ Escáner.
- ✓ Impresora.
- ✓ Calculadora.

3.4. Procedimiento de recolección de datos

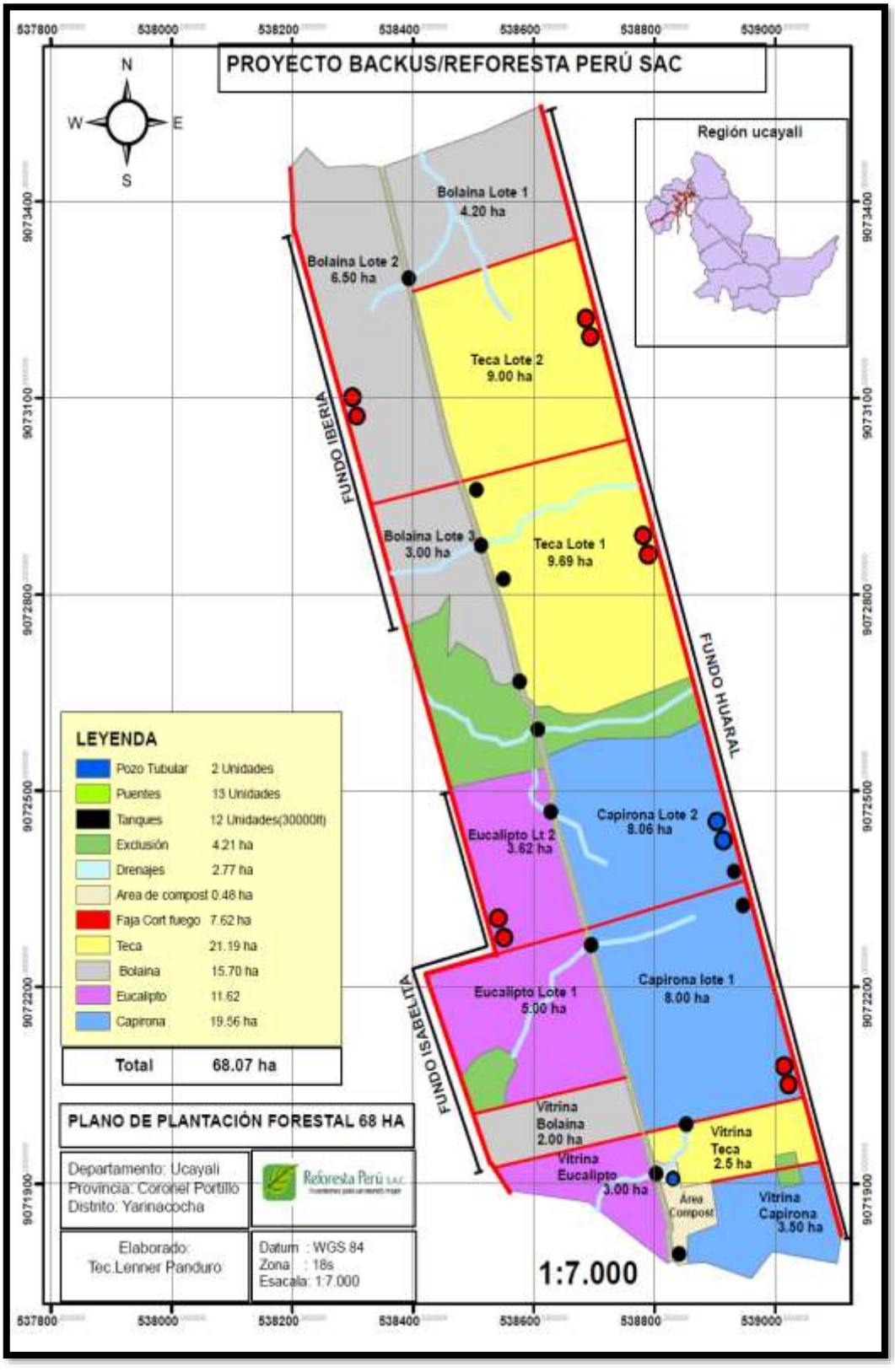
3.4.1. Ejecución del raleo

El raleo se realizó en la plantación forestal de la especie *Eucalyptus urograndis* (eucalipto) de dos años y medio perteneciente a la Cervecería San Juan S.A. (*in situ*), mediante el uso de una motosierra, machete y herramientas adecuadas en los lotes 1 y 2 como se aprecia en la figura 1. Previo al tumbado, se seleccionaron los individuos (16 árboles) que fueron utilizados para efecto del estudio, los cuales cumplieron con las características morfológicas que garanticen la mayor obtención de información.

Inmediatamente después de la cosecha, las trozas fueron codificadas para su posterior traslado al taller de carpintería de la Universidad Nacional de Ucayali, donde se realizaron las probetas de madera para sus posteriores estudios.

Figura 1

Plano de plantación forestal de 68 hectáreas de la Cervecería San Juan S.A.

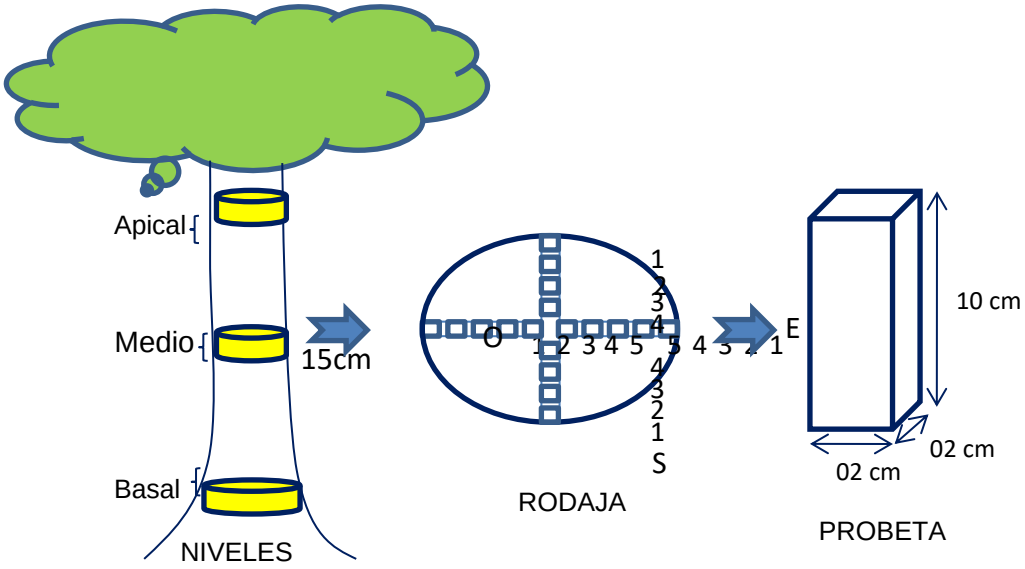


3.4.2. Preparación de probetas

Las probetas fueron elaboradas en el taller de carpintería de la Universidad Nacional de Ucayali. Las probetas para las propiedades físicas se obtuvieron de rodajas de 15 cm de espesor, provenientes de los tres niveles longitudinales del fuste (basal, medio y apical), donde el diámetro estuvo supeditado a las características morfológicas del árbol. Para el estudio físico, las probetas serán de las siguientes dimensiones: 2 cm x 2 cm x 10 cm.

Figura 2

Gráfico representativo del posible desarrollo de la obtención de probetas



Para el estudio de propiedades mecánicas de la madera juvenil de la especie *Eucalyptus urograndis* (eucalipto) se obtendrá probetas con las siguientes dimensiones:

- Flexión estática: 2.5 cm x 2.5 cm x 41 cm.

- Compresión paralela a las fibras: 2.5 cm x 2.5 cm x 10 cm.
- Compresión perpendicular a las fibras: 5 cm x 5 cm x 15 cm.
- Dureza: 5 cm x 5 cm x 15 cm.
- Cizallamiento paralelo a las fibras: 5 cm x 5 cm x 6.25 cm.
- Tensión perpendicular al grano: 5 cm x 5 cm x 6.25 cm.
- Tensión paralela al grano: 5 cm x 5 cm x 6.25 cm.
- Clivaje: 5 cm x 5 cm x 9.5 cm.

3.4.3. Ensayos de propiedades físicas

Los ensayos de las propiedades físicas de la madera juvenil de la especie *Eucalyptus urograndis* (eucalipto) se realizarán en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali.

Contenido de humedad (CH)

Se determinó rigiéndonos por lo establecido en la NTP 251.010, mediante la siguiente fórmula:

$$CH\ \% = \frac{Ph - Psh}{Psh} * 100$$

Donde:

CH = contenido de humedad en porcentaje.

Ph = Peso húmedo o saturado en gramos.

Psh = Peso seco al horno en gramos.

Densidad

La determinación de las densidades está en función al contenido de humedad, cuyo proceso consiste en determinar el peso y volumen de

la probeta de madera, de acuerdo a lo establecido en la norma NTP 251.010.

- **Densidad verde húmeda o saturada**: Se define como el cociente entre el peso húmedo o saturado en gramos y el volumen húmedo o saturado en centímetro cúbico, de las probetas de madera.

$$Dv = \frac{Ph}{Vv}$$

Donde:

Dv = Densidad verde en g/cm³

Ph = Peso verde o saturado con CH > 30%, en g.

Vv = Volumen verde o saturado con CH > 30%, en cm³.

- **Densidad básica:** Es el cociente entre el peso seco al horno en gramos y el volumen húmedo o saturado en centímetro cúbico, de las probetas de madera.

$$Db = \frac{Psh}{Vv}$$

Donde:

Db = Densidad básica en g/cm³

Psh = Peso seco al horno con CH = 0%, en g.

Vv = Volumen verde o saturado con CH > 30%, en cm³.

- **Densidad seca al aire:** Es el cociente entre el peso seco al aire (≈ 12% CH) en gramos y el volumen seco al aire (≈ 12% CH) en centímetro cúbico, de las probetas de madera.

$$Dsa = \frac{Psa}{Vsa}$$

Donde:

Dsa = Densidad seca al aire en g/cm³

Psa = Peso seca al aire con CH ≈ 12%, en g.

Vsa = Volumen seca al aire con CH ≈ 12%, en cm³.

- **Densidad seca al horno:** Es el cociente entre el peso seco al horno en gramos y el volumen seco al horno en centímetro cúbico, de las probetas de madera.

$$Dsh = \frac{Psh}{Vsh}$$

Donde:

Dsh = Densidad seca al horno en g/cm³

Psh = Peso seca al horno con CH ≈ 0%, en g.

Vsh = Volumen seca al horno con CH ≈ 0%, en cm³.

Cambios dimensionales (contracción)

Para la evaluación de las contracciones lineales y volumétricas, nos basaremos con lo estipulado en la norma NTP 251.012.2014.

- **Contracción radial (βr):** Es la disminución dimensional en sentido radial de la madera, desde el estado húmedo (CH > 30%) hasta su estado anhidro (CH= 0%), expresado en porcentaje

$$\beta r = \frac{(Dri - Drf)}{Drf} * 100$$

Donde:

βr = Contracción radial en %

Dri = Dimensión radial inicial (CH > 30%), en cm.

Drf = Dimensión radial final (CH ≈ 0%), en cm.

- **Contracción tangencial (βt):** Es la disminución dimensional en sentido tangencial de la madera, desde el estado húmedo (CH > 30%) hasta su estado anhidro (CH= 0%), expresado en porcentaje

$$\beta t = \frac{(Dti - Dtf)}{Dtf} * 100$$

Donde:

βt = Contracción tangencial, en %

Dri = Dimensión tangencial inicial (CH > 30%), en cm.

Drf = Dimensión tangencial final (CH ≈ 0%), en cm.

- **Contracción longitudinal (βl):** Es la disminución dimensional en sentido longitudinal de la madera, desde el estado húmedo (CH > 30%) hasta su estado anhidro (CH= 0%), expresado en porcentaje

$$\beta l = \frac{(Dli - Dlf)}{Dlf} * 100$$

Donde:

βl = Contracción longitudinal, en %.

Dli = Dimensión longitudinal inicial (CH > 30%), en cm.

Dlf = Dimensión longitudinal final (CH ≈ 0%), en cm.

- **Contracción volumétrica (βv):** Es la disminución volumétrica de la madera, desde el estado húmedo (CH > 30%) hasta su estado anhidro (CH= 0%), expresado en porcentaje

$$\beta v = \frac{(Dvi - Dvf)}{Dvf} * 100$$

Donde:

βv = Contracción volumétrica, en %.

Dvi = Dimensión volumétrica inicial (CH > 30%), en cm.

Dvf = Dimensión volumetrica final (CH ≈ 0%), en cm.

- **Índice de estabilidad dimensional:** Se determinó dividiendo la contracción tangencial entre la contracción radial.

$$T/R = \beta t/\beta r$$

Donde:

T/R = Índice de estabilidad dimensional.

βt = Contracción tangencial, en %.

βr = Contracción radial, en %.

3.4.4. Ensayos de propiedades mecánicas

Los ensayos de propiedades mecánicas de la madera juvenil de la especie *Eucalyptus urograndis* (eucalipto) se realizaran en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali. Los ensayos se llevaron acabo de acuerdo a lo establecido en la norma NTP.

Flexión estática

El ensayo de se realizó de acuerdo a la norma NTP 251.0103.

- **El esfuerzo de la fibra al límite proporcional**. P: carga al límite proporcional en kilogramos. L: distancia entre los soportes, luz de la probeta en centímetro. a: ancho de la probeta en centímetro. h: espesor de la probeta en centímetro.

$$\frac{3}{2}\cdot\frac{PL}{ah^2}\left(kg\cdot cm^{-2}\right)$$

- **Módulo de ruptura**: P_2: carga máxima en kilogramo. L: distancia entre los soportes, luz de la probeta en centímetro. a: ancho de la probeta en centímetro. h: espesor de la probeta en centímetro.

$$\frac{3}{2}\cdot\frac{P_2 L}{ah^2}\left(kg.cm^{-2}\right)$$

- **Módulo de elasticidad**: P_1: carga al límite proporcional en kilogramo. L: distancia entre los soportes, luz de la probeta en centímetro. a: ancho de la probeta en centímetro. h: espesor de la probeta en centímetro. d: deflexión al límite proporcional en centímetro.

$$\frac{P_1 L^3}{4d.ah^3}\left(kg.cm^{-2}\right)$$

Compresión

- **Compresión paralela al grano**: Se realizó mediante a lo establecido en la norma NTP 251.085.

  Máxima resistencia a la compresión paralela a la fibra (MOR): P_2: carga máxima en kilogramo. A: área de la probeta antes del ensayo en centímetro cuadrado.

$$\text{MOR} = \frac{P_2}{A}\left(kg.cm^{-2}\right)$$

Módulo de elasticidad en compresión paralela a la fibra (MOE): Máxima resistencia a la compresión paralela a la fibra: P_1: carga al límite proporcional en kilogramo. L: distancia sobre la cual se midió la deformación en centímetro. A: área de la probeta antes del ensayo en centímetro cuadrado. d: deformación de la probeta en centímetro.

- **Compresión perpendicular al grano:** Se realizó mediante a lo establecido en la norma NTP 251.086.

  Esfuerzo de la fibra al límite proporcional en compresión perpendicular a la fibra: P_1: carga al límite proporcional en kilogramo. A: área de compresión, ancho de la probeta multiplicado por el ancho de la placa metálica en centímetro cuadrado.

$$\frac{P_1}{A}\left(kg.cm^{-2}\right)$$

- **Cizallamiento:** El ensayo de cizallamiento se realizó siguiendo la norma NTP 251.010. P_{max}:

$$\frac{P\max}{A}\left(kg.cm^{-2}\right)$$

- **Dureza:** Para la realización del ensayo de dureza se tuvo en cuenta la norma NTP 251.010. Según las normas la velocidad de carga es de 0.6 cm/min. Se expresó los resultados en kilogramos.

- **Clivaje:** El ensayo de clivaje se realizó siguiendo la norma NTP 251.010.

$$\text{EM}_{(\frac{\text{kg}}{\text{cm}})} = \frac{\text{Carga máxima}}{\text{Ancho del área de falla}}$$

- **Tensión perpendicular y paralela al grano:** Los ensayos de tensión se realizaron de acuerdo a lo establecido por la norma NTP 251.010.

$$\text{EM}_{(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})} = \frac{\text{Carga máxima}}{\text{Área de falla}}$$

3.5. Tratamiento de datos

Con la finalidad de determinar si existe diferencias significativas entre las propiedades físicas y mecánicas de la madera juvenil de la especie *Eucalyptus urograndis* (eucalipto) por niveles longitudinales del fuste, se realizará un análisis de la varianza de un factor (ANVA1), para cada una de las propiedades físicas y mecánicas.

- Factor único: niveles de fuste.
- Tratamientos: 3 niveles (basal, medio y apical).
- Variable de estudio: propiedades físicas y mecánicas.

De existir diferencias significativas entre las propiedades físicas y mecánicas de la madera y con la finalidad de esclarecer entre los niveles del fuste, se aplicará la prueba de Tukey.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades físicas de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (EUCALIPTO)

4.1.1. Contenido máximo de humedad de la madera juvenil

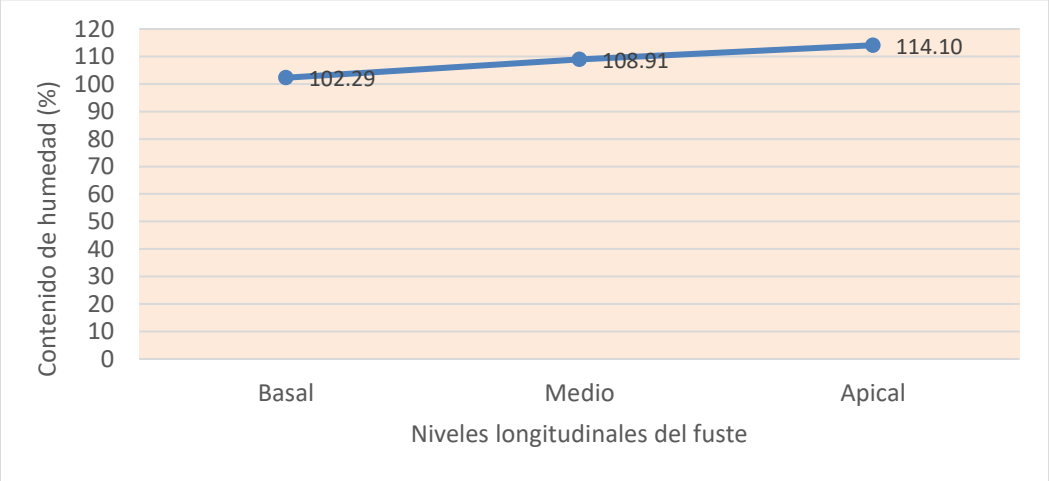
Tabla 6

Contenido de humedad máximo por niveles longitudinales del fuste

Contenido de humedad	Parámetros	N. basal	N. medio	N. apical	Promedio
C.H. máximo	Media (%)	102.29	108.91	114.10	108.4
	s (%)	36.23	37.70	40.16	38
	C.V. (%)	35.42	34.62	35.20	35.1

Figura 3

Contenido de humedad máximo por niveles longitudinales del fuste



La tabla 6 y la figura 3 ponen en evidencia los valores promedios del contenido de humedad máximo de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) en los tres niveles longitudinales del fuste, en el nivel basal alcanzó 102.29% con un CV 34.62%, el nivel medio 108.41 con CV 23.28% y en el nivel apical 114.10% con un CV de 35.20%.

Tabla 7

Análisis de varianza del contenido de humedad máximo

Contenido de humedad	Fuente de variación	Gl	SC	CM	F_{obs}	P-valor	Nivel signif.
C. H. máximo	Entre niveles	2	6.5321	3.2660	0.133	0.875	NS

En la tabla 7 se aprecia el análisis de varianza del contenido de humedad máximo por niveles longitudinales dl fuste, resultando que no existe diferencias significativas en el contenido de humedad máximo entre los niveles del fuste de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), por lo que se precisa que su contenido promedio de humedad máximo se encuentra en 108.4%, con un C.V. de 35.1%.

Mendoza (2015) determinó las propiedades físicas de la madera de *Eucalyptus urograndis* de 9 años de edad, procedentes del Sector, “Santa Herminia-Palomar” de la localidad de Villa Rica, Oxapampa-Pasco, encontrando un contenido de humedad máximo de 123.37%, ligeramente superior al CH máximo encontrado para la madera de 2.5 años de edad.

A todo esto, TODO EN MADERA SHOP (2020) sostiene que la madera recién cortada, puede tener niveles de humedad alrededor del 200%. Agua fija en las paredes celulares sujetas bajo fuerzas moleculares y el agua libre mediante fuerzas capilares en los espacios intercelulares son destacadas por poseer gran parte de esta humedad. En uso normal, el contenido oscila entre 8 y 25% según su peso.

4.1.2. Densidad de la madera

La tabla 8 y la figura 4 ponen en evidencia los valores promedios de la densidad básica de la madera de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) en los tres niveles longitudinales del fuste, en el nivel basal alcanzó 0.50 g/cm³ con un CV 15.63%, el nivel medio 0.46 g/cm³ con CV 23.28% y en el nivel apical 0.44 g/cm³con un CV de 13.89%. De igual modo se aprecia la densidad anhidra cuyo valor promedio en el nivel basal fue de 0.56 g/cm³ con un CV de 13.57%, en el nivel medio 0.53 g/cm³ con un CV de 11.08% y en el nivel apical 0.50 g/cm³ con un CV de 13.74%. Finalmente, la densidad seca al aire cuyo valor promedio en el nivel basal fue de 0.65 g/cm³ con un CV de 15.23%, en el nivel medio 0.60 g/cm³ con un CV de 16.50% y en el nivel apical con 0.57g/cm³ con un CV de 14.09%.

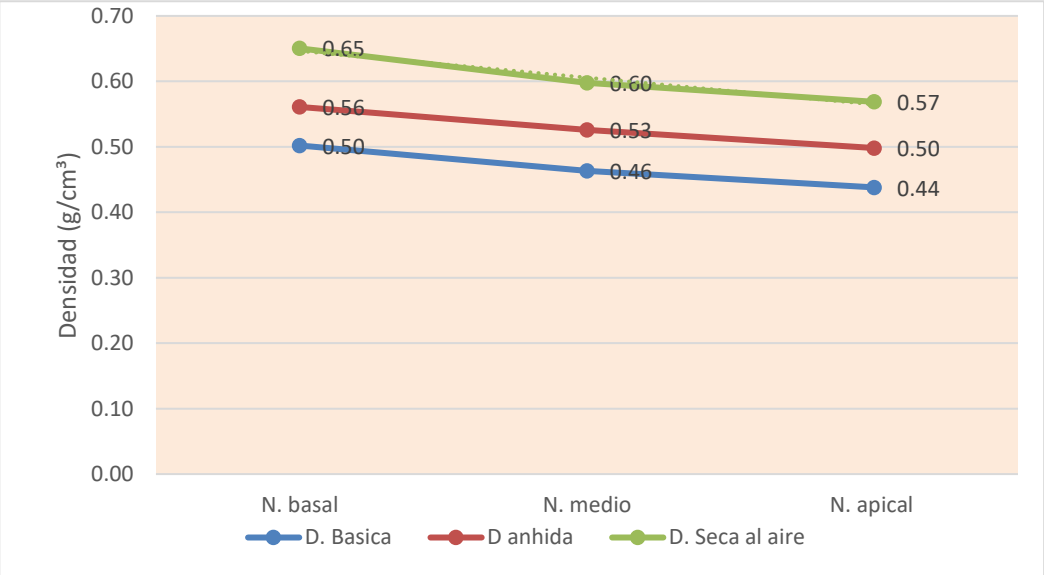
Tabla 8

Tipos de densidades por niveles longitudinales del fuste

Densidad de la madera	Parámetros	Nivel del fuste		
		Basal	Medio	Apical
Básica	Media (g/cm³)	0.50	0.46	0.44
	s (g/cm³)	0.08	0.06	0.06
	C.V. (%)	15.63	12.28	13.89
Anhidra	Media (g/cm³)	0.56	0.53	0.50
	s (g/cm³)	0.08	0.06	0.07
	C.V. (%)	13.57	11.08	13.74
Seca al aire	Media (g/cm³)	0.65	0.60	0.57
	s (g/cm³)	0.10	0.10	0.08
	C.V. (%)	15.23	16.50	14.09

Figura 4

Tres tipos de densidades de la madera por niveles longitudinales del fuste



En la tabla 9, se aprecia el resumen de la varianza de los análisis de varianzas de las densidades básica, anhidra y seca al aire, por niveles longitudinales del fuste. Los resultados indican que si existe diferencias significativas entre los promedios de las densidades de la madera juvenil por niveles longitudinales del fuste.

Tabla 9

Resumen del análisis de varianza de los tipos de densidades

Densidad de la madera	Fuente de variación	Gl	SC	CM	F_{obs}	P-valor	Nivel signif.
D. básica	Entre niveles	2	0.0354	0.0177	3.769	0.030	*
D anhidra	Entre niveles	2	0.0337	0.0168	3.642	0.034	*
D. seca al aire	Entre niveles	2	0.058	0.0291	3.366	0.043	*

Tabla 10

Resumen de la prueba de Tukey de las densidades de la madera

Tipo de densidades	Densidades (g/cm³)		
	N. basal	N. medio	N. apical
D. básica	0.50	0.46	0.44
	A	A	
		B	B
D. anhidra	0.56	0.53	0.50
	A	A	
		B	B
D. seca al aire	0.65	0.60	0.57
	A	A	
		B	B

En la tabla 10, se aprecia que se encontró diferencias significativas en los tres tipos de densidades, las densidades de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) disminuyen del nivel basal hacia el nivel apical del fuste del árbol, resultando más densa la madera del nivel basal, una densidad intermedia el nivel medio y la menos densa en el nivel apical del fuste del árbol, en los tres tipos de densidades estudiadas.

La densidad básica es una de las características más importantes de la madera, siendo relación entre el peso seco al horno y su volumen verde. La densidad de la madera tiene gran influencia en las propiedades mecánicas como, la resistencia a la flexión, dureza y otros (Aróstegui, 1982). Así mismo, según la escala establecida por Aróstegui (1975) las maderas con densidades básicas entre 0.41 g/cm³ y 0.60 g/cm³ son consideras como maderas de mediana densidad, a la que corresponde la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) con densidades básicas que fluctúan entre 0.44 y 0.50 g/cm³.

Al respecto, Mendoza (2015) determinó las propiedades físicas de la madera de *Eucalyptus urograndis* de 9 años de edad, procedentes del Sector, “Santa Herminia-Palomar” de la localidad de Villa Rica, Oxapampa-Pasco, encontrando 0.46 g/cm³ de densidad básica.

4.1.3 Contracciones de la madera

La tabla 11 y la figura 5 ponen en evidencia los valores promedios de la contracción axial de la madera de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) en los tres niveles longitudinales del fuste, en el nivel basal alcanzó 0.51% con un CV 71.78%, el nivel medio 0.64% con un CV de 63.14% y en el nivel apical 0.65% con un CV de 58.65%. De igual manera se aprecia la contracción radial cuyo valor promedio en el nivel basal fue de 4.22% con un CV de 55.24%, en el nivel medio 4.01% con un CV de 54.59% y en el nivel apical 4.32% con un CV de 52.32%. Así mismo se observa el promedio de la contracción tangencial de la madera juvenil en el nivel basal el valor alcanzo los 9.43% con un CV de 39.80%, en el nivel medio la contracción tangencial fue de 8.47% con un CV de 34.57% y en el nivel apical la contracción tangencial alcanzó 8.367% con un CV de 33.41%. Finalmente, la contracción volumétrica tuvo un valor promedio en el nivel basal de 13.24% con un CV de 38.92%, en el nivel medio 12.68% con un CV de 37.87% y en el nivel apical con 13.63% con un CV de 33.04%.

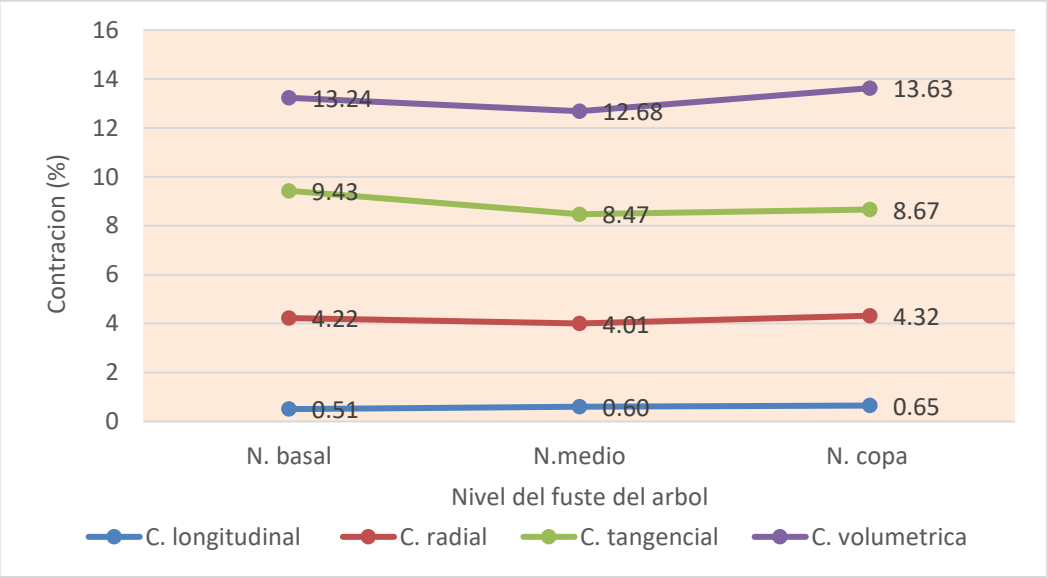
Tabla 11

Tipos de contracciones por niveles longitudinales del fuste

Contracciones de la madera	Parámetros	Niveles longitudinales del fuste			Promedio
		Basal	Medio	Apical	
Longitudinal	Media (%)	0.51	0.60	0.65	0.59
	s (%)	0.36	0.38	0.38	0.37
	C.V. (%)	71.78	63.14	58.55	64.49
Radial	Media (%)	4.22	4.01	4.32	4.18
	s (%)	2.33	2.19	2.31	2.28
	C.V. (%)	55.24	54.59	53.32	54.38
Tangencial	Media (%)	9.43	8.47	8.67	8.86
	s (%)	3.75	2.93	2.90	3.19
	C.V. (%)	39.80	34.57	33.41	35.93
Volumétrica	Media (%)	13.24	12.68	13.63	13.18
	s (%)	5.15	4.80	4.50	4.82
	C.V. (%)	38.92	37.87	33.04	36.61

Figura 5

Tipos de contracciones de la madera por niveles longitudinales del fuste



La tabla 12 muestra el resumen de cuatro análisis de la varianza para demostrar la existencia de diferencias significativas entre los promedios de los diferentes tipos de contracciones lineales y volumétrica de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto). En dicha tabla se aprecia que no existe diferencias significativas entre las contracciones

lineales como: axial, radial y tangencial, así como la contracción volumétrica entre los diferentes niveles longitudinales del fuste, precisando que los valores de las contracciones son similares en todo los niveles del fuste del árbol. Por consiguiente, los valores promedio para las siguientes contracciones lineales fueron: axial 0.50%, radial 4.18% y tangencial 8.86%, en lo que concierne a contracción volumétrica fue de en promedio 13.18%.

Tabla 12

Resumen del análisis de varianza de los tipos de contracciones por niveles del fuste

Contracciones de la madera	Fuente de variación	Gl	SC	CM	F_{obs}	P-valor	Nivel signif.
Longitudinal	Entre niveles	2	0.1844	0.0922	0.657	0.523	NS
Radial	Entre niveles	2	0.8882	0.4441	0.086	0.918	NS
Tangencial	Entre niveles	2	8.6975	4.3488	0.420	0.659	NS
Volumétrica	Entre niveles	2	7.6407	3.8204	0.164	0.849	NS

De acuerdo a la escala establecida por Aróstegui (1975) sobre la contracción volumétrica de las maderas; se puede categorizar a la madera de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) como de alta contracción volumétrica (13.1 – 15.0%), ya que la madera proveniente de cualquier nivel longitudinal del fuste, presenta un contracción promedio de 13.8%.

Si se compara con los resultados obtenidos por Mendoza (2015) determinó las propiedades físicas de la madera de *Eucalyptus urograndis* de 9 años de edad, procedentes del sector “Santa Herminia-Palomar”, de la localidad de Villa Rica, Oxapampa-Pasco, encontrando una contracción volumétrica media de 12%, se puede decir que son similares (13.8%).

4.1.4. Índice de estabilidad dimensional de la madera (T/R)

En la tabla 13 y en la figura 6 se observan los valores promedios del índice de estabilidad dimensional (T/R) de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) en los tres niveles longitudinales del fuste, en el nivel basal alcanzó 2.45 con un CV 34.77%, el nivel medio 2.35 con CV 44.16% y en el nivel apical 2.22 con un CV de 45.19%.

Tabla 13

Índice de estabilidad dimensional de la madera

Propiedad física	Parámetros	Niveles longitudinales del fuste			Promedio
		Basal	Medio	Apical	
Índice de estabilidad dimensional T/R	Media (%)	2.45	2.35	2.22	2.34
	s (%)	0.85	1.04	1.00	0.96
	C.V. (%)	34.77	44.16	45.09	41.34

Figura 6

Índice de estabilidad dimensional de la madera

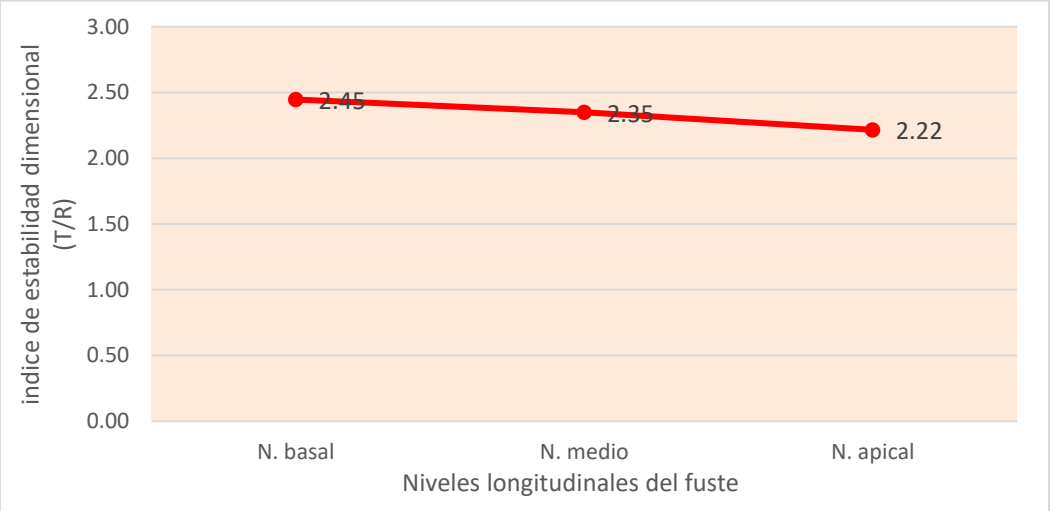


Tabla 14

Resumen del análisis de la varianza de índice de estabilidad dimensional (T/R)

Propiedad física	Fuente de variación	Gl	SC	CM	F_{obs}	P-valor	Nivel signif.
Índice de estabilidad dimensiona l T/R	Entre niveles	2	0.4557	0.2278	0.244	0.874	NS

En la tabla 14 se aprecia el análisis de varianza del índice de estabilidad dimensional (T/R), por niveles longitudinales del fuste, resultando que no existe diferencias significativas entre los promedios del T/R de los niveles longitudinales del fuste de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), por lo que se precisa que el índice de estabilidad dimensional (T/R) global de la madera proveniente de cualquier nivel del fuste es 2.34 con un CV de 41.34%.

Según Aróstegui (1975) estableció una escala en función al índice de estabilidad (T/R) denominando madera moderadamente estable a los maderas que presentaban T/R entre 2.1 a 2.5; en ese sentido el T/R de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) se encuentra dentro de dicho rango (2.34), por lo que resultaría una madera moderadamente estable

Mendoza (2015), determinó las propiedades físicas de la madera de *Eucalyptus urograndis* de 9 años de edad, procedentes del Sector, “Santa Herminia-Palomar” de la localidad de Villa Rica, Oxapampa-Pasco, encontrando un índice de estabilidad dimensional de 1.96, ligeramente inferior al T/R encontrado para la madera de 2.5 años de edad.

4.2. Propiedades mecánicas de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (EUCALIPTO)

4.2.1. Flexión estática

Módulo de ruptura (MOR)

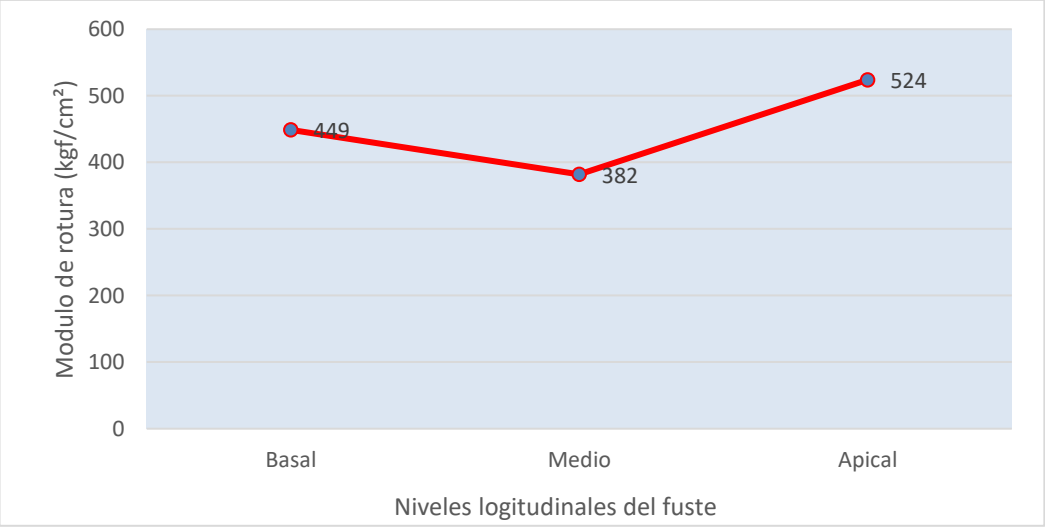
Tabla 15

Módulo de ruptura de la madera por niveles longitudinales del fuste

Propiedad	Parámetros	Niveles longitudinales del fuste			Promedio global
		Basal	Medio	Apical	
Módulo de ruptura	N° observaciones	9	6	8	--
	Media (kgf/cm²)	449	382	524	451.7
	s (kgf/cm²)	127	141	143	137
	C.V. (%)	28	37	27	30.7

Figura 7

Módulo de ruptura de la madera por niveles longitudinales del fuste



La tabla 15 y la figura 7 muestran los valores del módulo de ruptura (MOR) de la madera de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) por niveles longitudinales del fuste, cuyos valores varían entre 382 a 524 kgf/cm², por

lo tanto, para verificar si existe diferencia significativa entre los valores del MOR por niveles longitudinales del fuste, se realizó un análisis de la varianza unifactorial, cuyo resumen lo detalla la tabla 16.

Tabla 16

Resumen del análisis de la varianza del módulo de ruptura (MOR) de la madera

Propiedad mecánica	Fuente de variación	Gl	SC	CM	F_{obs}	P-valor	Nivel signif.
Módulo de ruptura	Entre niveles	2	69878	34939	1.983	0.163	NS

La tabla 16 pone en evidencia que entre el MOR de la madera por niveles longitudinales del fuste de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), no existe diferencias significativas, en consecuencia, el MOR promedio de cualquier madera del fuste presenta un valor de 451.7 kgf/cm², con un Coeficiente de variación de 30.7% y que según la escala de Dávalos y Bárcenas (1999) para productos maderables la madera juvenil presenta un módulo de ruptura muy bajo (< 550 kgf/cm²).

Sobre el *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) no se encontró información sobre todas las propiedades mecánica, por lo tanto, se le ha relacionado con los valores del módulo de ruptura de *Eucalyptus grandis* (Eucalipto) de plantación, en Tacuarembó, Uruguay, de 19 años de edad. El estudio fue realizado por Cueto et al., (2012), quienes encontraron como MOR promedio 727 kgf/cm², valor muy superior al de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) como consecuencia de su edad de la plantación de 2.5 años.

Módulo de elasticidad (MOE)

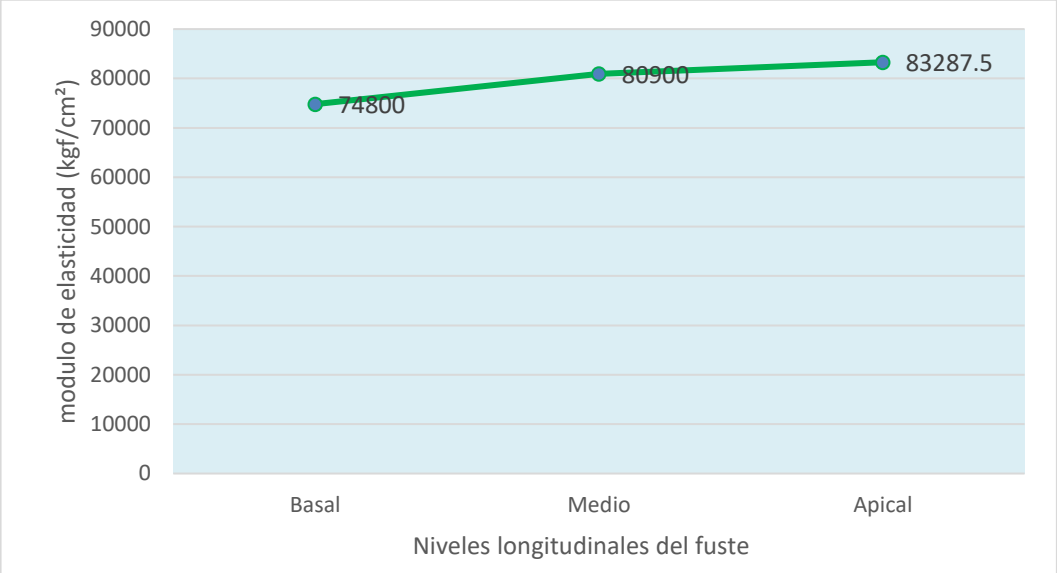
Tabla 17

Módulo de elasticidad de la madera por niveles longitudinales del fuste

Propiedad	Parámetros	Niveles longitudinales del fuste			Promedio
		Basal	Medio	Apical	
Módulo de elasticidad	N° observaciones	9	6	8	--
	Media (kgf/cm²)	74800	80900	83288	79663
	s (kgf/cm²)	23277	29443	9718	20813
	C.V. (%)	31	36	12	26

Figura 8

Módulo de elasticidad (MOE) de la madera por niveles longitudinales del fuste



La tabla 17 y la figura 8 ponen en evidencia los valores del módulo de elasticidad (MOE) de la madera de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) por niveles longitudinales del fuste, cuyos valores varían entre 74800 a 83288 kgf/cm², por lo tanto, para verificar si existe diferencia significativa

entre los valores del MOE por niveles longitudinales del fuste, se realizó un análisis de la varianza unifactorial, cuyo resumen lo detalla la tabla 18.

Tabla 18

Resumen del análisis de la varianza del módulo de elasticidad (MOE) de la madera

Propiedad mecánica	Fuente de variación	Gl	SC	CM	F_{obs}	P-valor	Nivel signi.
Módulo de elasticidad	Entre niveles	2	452.44	226.22	1.236	0.311	NS

La tabla 18 muestra que entre los valores promedios del MOE de la madera por niveles longitudinales del fuste de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), no existe diferencias significativas, en consecuencia el MOE promedio de cualquier madera del fuste presenta un valor de 79663 kgf/cm², con un coeficiente de variación de 26%. Según la escala de Dávalos y Bárcenas (1999) para productos maderables con MOE que se encuentran en el rango de 75000 a 105000 kgf/cm² son considerados flexibles o baja resistencia a la deformación, por consiguiente, a la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), le corresponde dicha clasificación.

Sobre el módulo de elasticidad (MOE) del *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) no se encontró información alguna, por lo tanto, se le ha relacionado con los valores del módulo de elasticidad de *Eucalyptus grandis* (Eucalipto) de plantación, en Tacuarembó, Uruguay, de 19 años de edad, El estudio fue realizado por Cueto et al., (2012), quienes encontraron como MOE promedio 115626 kgf/cm², valor muy superior al

de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) como consecuencia de su edad de la plantación de 2.5 años.

4.2.2. Compresión paralela al grano

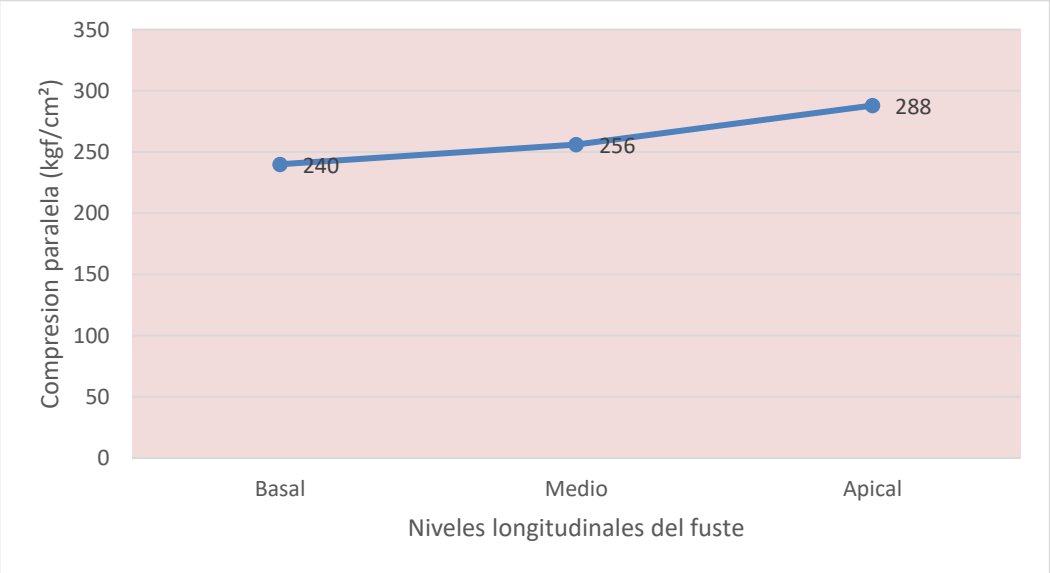
Tabla 19

Compresión paralela al grano de la madera por niveles longitudinales del fuste

Propiedad	Parámetros	Niveles longitudinales del fuste		
		Basal	Medio	Apical
Compresión paralela al grano	N° observaciones	10	9	5
	Media (kgf/cm²)	240	256	288
	s (kgf/cm²)	26	35	20
	C.V. (%)	11	14	7

Figura 9

Compresión paralela al grano de la madera por niveles longitudinales del fuste



La tabla 19 y la figura 9 ponen de manifiesto los valores de resistencia a la compresión paralela al grano de la madera de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) por niveles longitudinales del fuste, cuyos valores varían entre 240 a 288 kgf/cm², por lo tanto, para verificar si existe

diferencia significativa entre los valores de resistencia a la compresión paralela al grano por niveles longitudinales del fuste, se realizó un análisis de la varianza de un factor, cuyo resumen lo detalla la tabla 20.

Tabla 20

Resumen del análisis de la varianza de la compresión paralela al grano

Propiedad mecánica	Fuente de variación	Gl	SC	CM	F_{obs}	P-valor	Nivel signi.
Compresión paralela al grano	Entre niveles	2	7925.6	3962.8	4.709	0.020	*

De tabla 20 se deduce que existen diferencias significativas entre la resistencia a la compresión paralela al grano por niveles longitudinales del fuste de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto). Para determinar entre que niveles longitudinales ser encuentra la diferencia significativa se realizó la prueba múltiple de medias DLS.

Tabla 21

Resumen de la prueba de DLS de la compresión paralela al grano de la madera

Nivel apical	Nivel medio	Nivel basal
288 kgf/cm²	256 kgf/cm²	240 kgf/cm²
A	A	
	B	B

De la tabla 21 se concluye que no existe diferencias significativas en cuanto a la resistencia a la compresión paralela al grano el nivel apical y el nivel medio, tampoco ente el nivel medio y nivel basal, pero si existe diferencias significativas entre los niveles longitudinales apical y basal,

siendo el nivel apical el que presenta mayor resistencia a la compresión paralela al grano (288 kgf/cm²) que el nivel basal (240 kgf/cm²) en la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto).

No se encontró referencias sobre la compresión paralela al grano en madera de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), de manera referencial se comparó con las propiedades mecánica de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* de Restinga (Brasil) determinado por Nogueira et al., (2018), cuyo valor fue de 489 kgf/cm² en madera madura, lo que resultó muy superior a la resistencia a la compresión paralela al grano de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) (256 – 288 kgf/cm²) de 5 años de edad.

Comparado los resultados con la escala de clasificación establecida por Dávalos y Bárcenas (1999) quien establece que las maderas con resistencia a la compresión paralela al grano cuyos valores son < a 325 kgf/cm², son de muy baja resistencia, correspondiéndole a la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) dicha clasificación.

4.2.3. Compresión perpendicular al grano

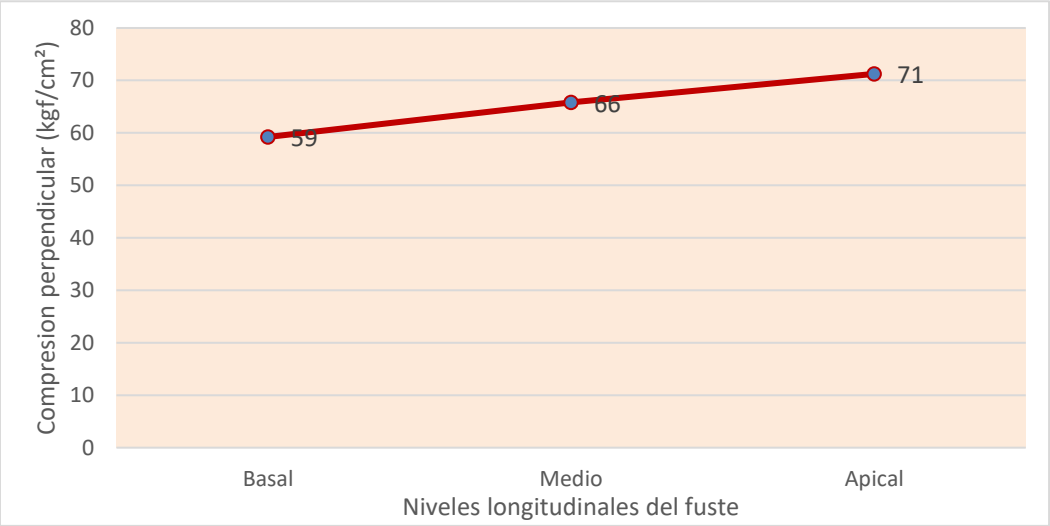
Tabla 22

Compresión perpendicular a las fibras de la madera por niveles longitudinales del fuste

Propiedad	Parámetros	Niveles longitudinales del fuste			Promedio
		Basal	Medio	Apical	
Compresión perpendicular al grano	N° observaciones	9	10	4	--
	Media (kgf/cm²)	59	66	71	65
	s (kgf/cm²)	7.7	15.0	19.7	14.1
	C.V. (%)	13.0	22.8.4	27.6	20.3

Figura 10

Compresión perpendicular al grano de la madera por niveles longitudinales del fuste



La tabla 22 y figura 10 ponen en evidencia los valores de resistencia a la compresión perpendicular al grano de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) por niveles longitudinales del fuste, cuyos valores varían entre 59 a 71 kgf/cm², por lo tanto, para verificar si existe diferencia significativa entre los valores de resistencia a la compresión perpendicular al grano por niveles longitudinales del fuste, se realizó un análisis de la varianza de un factor.

Tabla 23

Resumen del análisis de la varianza de la compresión perpendicular al grano de la madera

Propiedad mecánica	Fuente de variación	Gl	SC	CM	F_{obs}	P-valor	Nivel signi.
Compresión perpendicular al grano	Entre niveles	2	453.38	226.69	1.239	0.310	NS

La tabla 23 muestra que no existen diferencias significativas entre la resistencia a la compresión perpendicular al grano por niveles longitudinales del fuste de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto). En consecuencia, la resistencia a la compresión perpendicular al grano promedio de madera de cualquier nivel del fuste presenta un valor de 65 kgf/cm², con un coeficiente de variación de 20.3%.

De igual manera no se encontró antecedentes sobre la compresión perpendicular al grano de la madera de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), de manera referencial se comparó con algunas propiedades mecánicas de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* de Restinga (Brasil) determinado por Nogueira (2018), cuyo valor fue de 63 kgf/cm² en madera madura, lo que resultó equivalente a la resistencia a la compresión perpendicular al grano de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) (65 kgf/cm²) de 2.5 años de edad.

Comparado los resultados con la escala de clasificación establecida por Dávalos y Bárcenas (1999) quien establece que las maderas con resistencia a la compresión perpendicular al grano cuyos valores se encuentran en el rango 35 y 65 kgf/cm², son de baja resistencia, correspondiéndole a la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) dicha clasificación.

4.2.4. Tensión perpendicular al grano

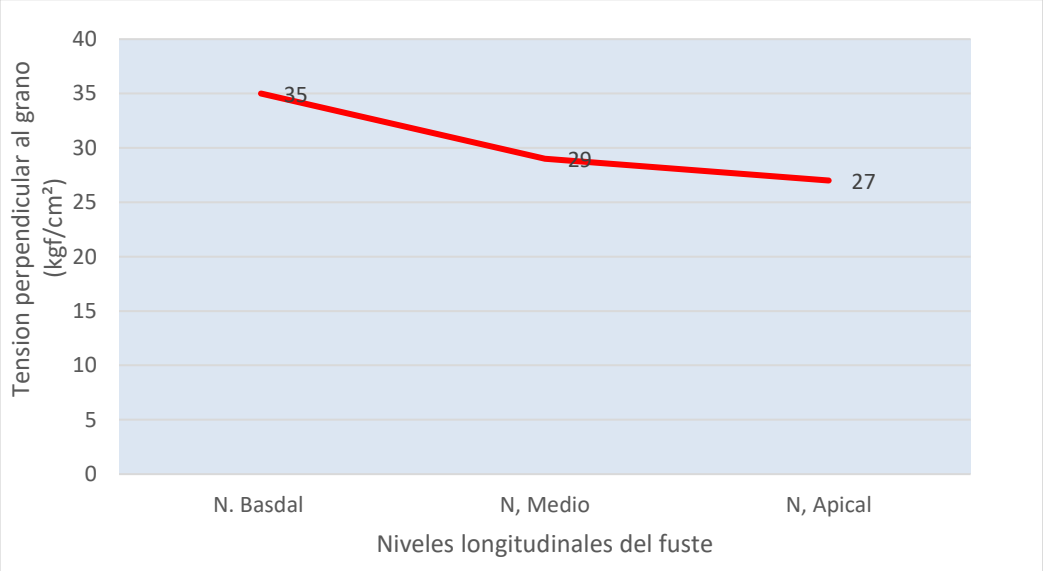
Tabla 24

Tensión perpendicular al grano por niveles longitudinales del fuste

Propiedad	Parámetros	Niveles longitudinales del fuste			Promedio
		Basal	Medio	Apical	
Tensión perpendicular al grano	N° observaciones	20	17	4	--
	Media (kgf/cm²)	35	29	27	30
	s (kgf/cm²)	11.7	13.2	9.7	11.5
	C.V. (%)	33.29	45.27	35.91	38.16

Figura 11

Tensión perpendicular al grano por niveles longitudinales del fuste de la madera juvenil de eucalipto



En la tabla 24 y la figura 11 muestran los valores de resistencia a la tracción perpendicular al grano de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) por niveles longitudinales del fuste, cuyos valores varían entre 27 a 35 kgf/cm², por lo tanto, para verificar si existe diferencia significativa entre los valores de resistencia a la compresión perpendicular al grano por niveles longitudinales del fuste, se realizó un

análisis de la varianza de un factor.

Tabla 25

Resumen del análisis de la varianza de la tensión perpendicular al grano de la madera de la madera juvenil de eucalipto

Propiedad mecánica	Fuente de variación	Gl	SC	CM	F_{obs}	P-valor	Nivel signi.
Tensión perpendicular al grano	Entre niveles	2	551.57	275.78	1.944	0.155	NS

La tabla 25 muestra que no existen diferencias significativas entre la resistencia a la tensión perpendicular al grano por niveles longitudinales del fuste de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto). En consecuencia, la resistencia a la tensión perpendicular al grano promedio de madera de cualquier nivel del fuste presenta un valor de 30 kgf/cm², con un coeficiente de variación de 38.16%.

Tampoco se encontró antecedentes sobre la tensión o tracción perpendicular al grano de la madera de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), de manera referencial se comparó con las propiedades mecánicas de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* de Restinga (Brasil) determinado por Nogueira (2018), cuyo valor promedio fue de 47 kgf/cm² en madera madura, lo que resultó superior a la resistencia de la tensión perpendicular al grano de la madera de 2.5 años de edad del *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) (30 kgf/cm²).

Relacionando los resultados con la escala de clasificación establecida por Dávalos y Bárcenas (1999) quien establece que las maderas con resistencia a la tensión perpendicular al grano cuyos valores se encuentran en el rango de 21 y 40 kgf/cm², son de baja resistencia,

correspondiéndole a la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) dicha clasificación.

4.2.5. Cizallamiento radial y tangencial

Tabla 26

Cizallamiento radial y tangencial por niveles longitudinales del fuste de la madera juvenil de eucalipto

Propiedad mecánica	Parámetros	Niveles longitudinales del fuste			Promedio
		Basal	Medio	Apical	
Cizallamiento radial	N° observaciones	10	7	7	--
	Media (kgf/cm²)	78	80	74	77
	s (kgf/cm²)	21	22.4	21.4	21.6
	C.V. (%)	26.9	28.1	29.1	28
Clivaje tangencial	N° observaciones	10	9	6	--
	Media (kgf/cm²)	74	59	58	64
	s (kgf/cm²)	20.1	13	11.9	15
	C.V. (%)	27.3	22.1	23.3	24.2

En la tabla 26 y la figura 12, se muestran los valores de resistencia al cizallamiento radial y tangencial de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) por niveles longitudinales del fuste, cuyos valores en el caso de cizallamiento radial varía entre 74 y 80 kgf/cm² y en el caso del cizallamiento tangencial varía entre 58 y 74 kgf/cm², por lo tanto, para verificar si existe diferencia significativa entre los valores de resistencia al cizallamiento por niveles longitudinales del fuste, se realizaron los respectivos análisis de varianza de un factor.

Figura 12

Cizallamiento radial y tangencial por niveles longitudinales del fuste

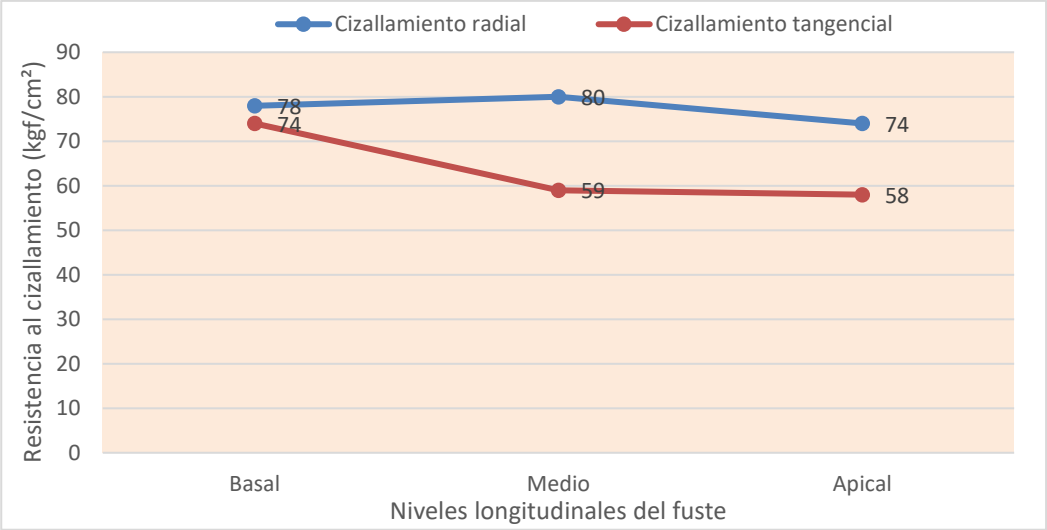


Tabla 27

Resumen del análisis de la varianza del cizallamiento radial y tangencial de la madera de eucalipto

Propiedad mecánica	Fuente de variación	Gl	SC	CM	F_{obs}	P-valor	Nivel signi.
Cizallamiento radial	Entre niveles	2	136.86	68.43	0.148	0.863	NS
Cizallamiento tangencial	Entre niveles	2	1376.1	688.1	2.660	0.092	NS

La tabla 27 muestra que no existen diferencias significativas entre la resistencia al cizallamiento radial, ni entre el cizallamiento tangencial por niveles longitudinales del fuste de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto). En consecuencia, la resistencia al cizallamiento radial promedio de madera de cualquier nivel del fuste presenta un valor de 77 kgf/cm², con un coeficiente de variación de 28% mientras que la resistencia al cizallamiento tangencial promedio fue de 64 kgf/cm², con coeficiente de variación de 24.2%.

No se encontró información sobre la resistencia al cizallamiento radial, ni al cizallamiento tangencial de la madera de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), de manera referencial se comparó con las propiedades mecánicas de la madera de *Eucalyptus glóbulus* de Ollantaytambo (Cuzco), determinado por Mansilla (2021), cuyo valor promedio fue de 103 kgf/cm² en madera madura, sin precisar si el cizallamiento fue radial o tangencial; lo que si resultó superior a la dureza de la madera de 2.5 años de edad del *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) tanto en cizallamiento radial (77 kgf/cm²) y en cizallamiento tangencial (64 kgf/cm²), la diferencia de valores se debe a la edad de la plantación y a la especie.

Tabla 28

Resumen de la prueba de dos medias de muestra independiente

Media del cizallamiento radial (kgf/cm²)	Media del cizallamiento tangencial (kgf/cm²)	$T_{observado}$	$T_{tabular}$		Nivel de significac.
			α=0.05	α=0.01	
77	64	0.864	2.0123	---	N.S.

La tabla 28 muestra que no existe diferencia significativa entre la resistencia al cizallamiento radial y la resistencia al cizallamiento tangencial. En consecuencia, si estos valores se comparan con la escala de clasificación establecida por Vignote y Jiménez (1996), quien señala que las maderas con resistencia al cizallamiento comprendido en el rango 50 a 90 kgf/cm², son consideradas como de baja resistencia, por lo tanto, a la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) le corresponde dicha clasificación.

4.2.6. Clivaje radial y tangencial

En la tabla 29 y la figura 13 muestran los valores de resistencia al clivaje radial y clivaje tangencial de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) por niveles longitudinales del fuste.

Tabla 29

Clivaje radial y tangencial por niveles longitudinales del fuste de la madera juvenil de eucalipto

Propiedad	Parámetros	Niveles longitudinales del fuste			Promedio
		Basal	Medio	Apical	
Clivaje radial	N° observaciones	10	8	5	--
	Media (kgf/cm)	4.3	4	4.8	4.4
	s (kgf/cm)	1.5	1.2	0.2	1
	C.V. (%)	34.6	29.3	4.9	22.9
Clivaje tangencial	N° observaciones	11	9	5	
	Media (kgf/cm)	3.8	4.1	3.0	3.6
	s (kgf/cm)	1.6	1.6	1.3	1.5
	C.V. (%)	43.3	38.0	41.9	41.0

Figura 13

Clivaje radial y tangencial por niveles longitudinales del fuste

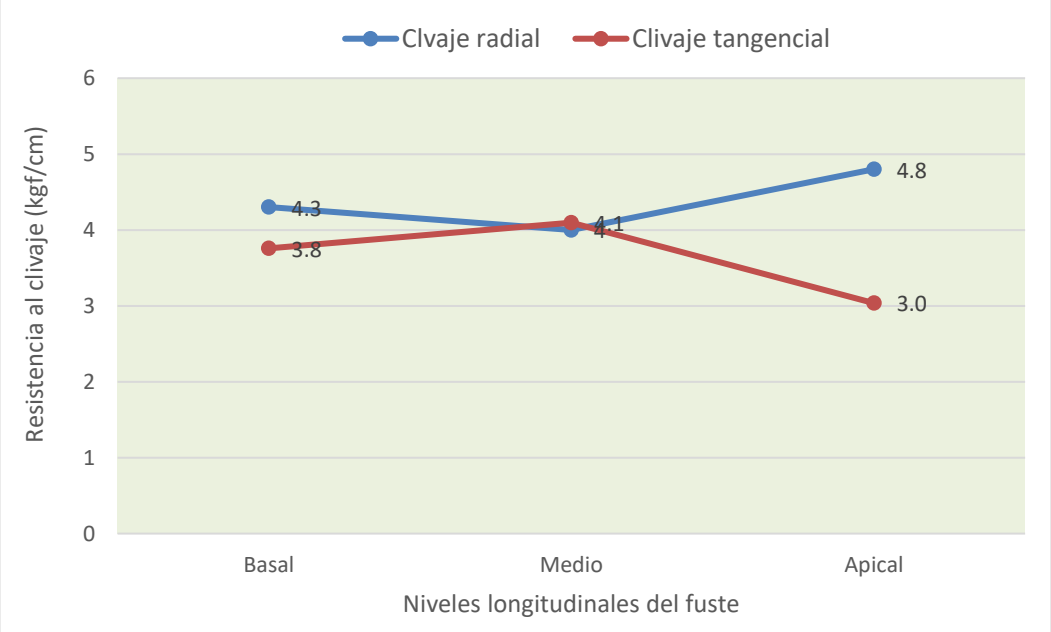


Tabla 30

Resumen del análisis de la varianza del clivaje radial y tangencial de la madera de eucalipto

Propiedad mecánica	Fuente de variación	Gl	SC	CM	F_{obs}	P-valor	Nivel signi.
Clivaje radial	Entre niveles	2	1.705	0.853	0.312	0.736	NS
Clivaje tangencial	Entre niveles	2	3.620	1.810	0.761	0.479	NS

Los valores de resistencia al varían en el caso del clivaje radial entre 4 y 4.8 kgf/cm y en el caso del clivaje tangencial varían entre 3 y 4.1 kgf/cm, por lo tanto, para verificar si existe diferencia significativa entre los valores de resistencia al clivaje por niveles longitudinales del fuste, se realizaron los análisis de la varianza de un factor respectivos.

La tabla 30 muestra que no existen diferencias significativas entre la resistencia al clivaje radial, ni entre el clivaje tangencial por niveles longitudinales del fuste de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto). En consecuencia la resistencia al clivaje radial de la madera de cualquier nivel del fuste tendrá un valor promedio de 4.4 kgf/cm, con un coeficiente de variación de 22.9%; mientras que la resistencia al clivaje tangencial promedio para la madera de cualquier nivel del fuste será de 3.6 kgf/cm, con un coeficiente de variación alto de 41%.

Si los valores de clivaje se comparan con la escala de clasificación establecida por Vignote y Jiménez (1996), quien señala que las maderas con resistencia al clivaje < 20 kgf/cm, son consideradas de muy baja resistencia, por lo tanto, a la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) le corresponde dicha clasificación de muy baja resistencia.

4.2.7. Dureza de lados y extremos

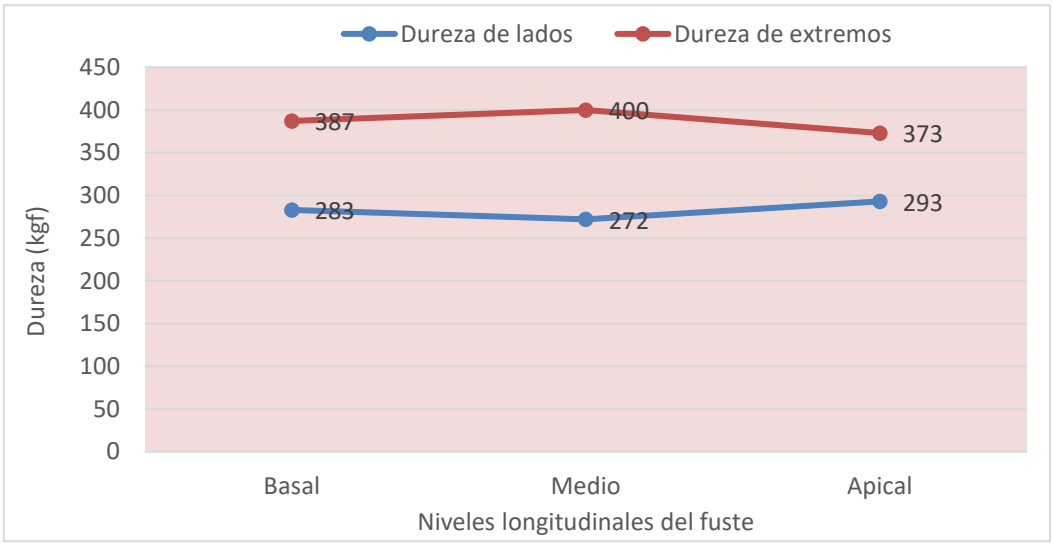
Tabla 31

Dureza de lados y de extremos por niveles longitudinales del fuste de la madera juvenil de eucalipto

Propiedad	Parámetros	Niveles longitudinales del fuste			Promedio
		Basal	Medio	Apical	
Dureza de lados	N° observaciones	7	6	3	--
	Media (kgf)	283	272	293	283
	s (kgf)	40.2	19.4	57.4	39
	C.V. (%)	14.2	7.1	19.6	13.6
Dureza de extremos	N° observaciones	7	6	3	
	Media (kgf)	387	400	373	387
	s (kgf)	57.6	51.7	46.5	51.9
	C.V. (%)	14.9	12.9	12.5	13.4

Figura 14

Dureza de lados y de extremos por niveles longitudinales del fuste



En la tabla 31 y la figura 14 muestran los valores de dureza de lados y dureza de extremos de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) por niveles longitudinales del fuste, cuyos valores varían en el caso de dureza de lados entre 272 y 293 kgf y en el caso de dureza de extremos varían entre 373 y 400 kgf, por lo tanto para verificar si existe diferencia significativa entre los valores de dureza por niveles

longitudinales del fuste, se realizaron los análisis de la varianza de un factor respectivos.

Tabla 32

Resumen del análisis de la varianza de dureza de lados y dureza de extremos de la madera juvenil de eucalipto

Propiedad mecánica	Fuente de variación	Gl	SC	CM	F_{obs}	P-valor	Nivel signi.
Dureza de lados	Entre niveles	2	938.73	469.36	0.336	0.720	NS
Dureza de extremos	Entre niveles	2	1432.4	716.2	0.248	0.784	NS

La tabla 32 pone en evidencia que no existen diferencias significativas entre la dureza de lados, ni entre la dureza de extremos por niveles longitudinales del fuste de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto). En consecuencia, la dureza de lados de la madera de cualquier nivel del fuste tendrá un valor promedio de 283 kgf, con un coeficiente de variación de 13.6%; mientras que la dureza de extremos promedio para la madera de cualquier nivel del fuste será de 387 kgf, con coeficiente de variación alto de 13.4%.

No se encontró información sobre la dureza de lados, ni sobre la dureza de extremos de la madera de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), de manera referencial se comparó con las propiedades mecánicas de la madera de *Eucalyptus nitens* de Morelia (Michoacán), determinado por Casimiro (2015), cuyo valor promedio en dureza de extremos fue de 661 kgf y en dureza de lados 470 kgf, en madera madura; resultando superior a la dureza del *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) tanto en dureza de extremos (387 kgf) y en dureza de lados (283 kgf), la diferencia de

valores se debe a la edad de la plantación y a la especie.

Tabla 33

Resumen de la prueba de dos medias de muestras independiente

Media de la dureza de lados (kgf)	Media de la dureza de extremos (kgf)	$T_{observado}$	$T_{tabular}$		Nivel de significac.
			α=0.05	α=0.01	
283	387	4.606	2.042	2.750	**

La tabla 33 muestra que, si existe diferencias altamente significativas entre la dureza lateral o de lados y la dureza de extremos, resultando que la dureza de los extremos es mayor que la dureza lateral, en la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto).

Si se compara los valores de la dureza con la escala de clasificación establecida por Vignote y Jiménez (1996), quien señala que las maderas con dureza de lados comprendidas entre el rango de 150 - 350 kgf, son consideradas de baja dureza, por lo tanto, a la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) le corresponde dicha clasificación de baja resistencia. Por otro lado, Vignote y Jiménez (1996) manifiesta que las maderas con dureza de extremos comprendidos entre el rango de 160 – 400 kgf, también son considerados como madera de baja dureza, correspondiéndole de igual manera a la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) dicha clasificación.

4.3. Resumen de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto)

En la tabla 34 se aprecia el resumen de las propiedades físicas y mecánicas de la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) de

2.5 años de edad, proveniente de raleo de plantación. Esta madera presenta las siguientes características: es de mediana densidad básica, de alta contracción volumétrica, de muy bajo módulo de ruptura, de baja resistencia a la deformación, de muy baja resistencia a la compresión paralela al grano, de baja resistencia al cizallamiento, de baja dureza, entre otros. Por estas razones la madera de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto) proveniente de un raleo a los 2.5 años de edad, no tiene un uso definido.

Tabla 34

Resumen de las propiedades físicas y mecánicas de Eucaliptus urograndis (Eucalipto)

Propiedades físicas		Unid.	Valor medio	Nivel del fuste			Clasificación
				B	M	A	
C.H. máximo		%	108.4				-----
Densidad	Básica	g/cm³	0.50-0.44				Media
	Anhidra	g/cm³	0.56-0.50				Media
	Seca al aire	g/cm³	0.65-0.57				Baja
Contracción volumétrica		%	13.18				Alta
Índice de estabilidad dimensional T/R		----	2.34				Moderadam. estable
Propiedades mecánicas							
Flexión estática	MOR	Kgf/cm²	451.7				Muy baja
	MOE	Kgf/cm²	79663				Baja
Compresión paralela al grano		Kgf/cm²	240-288				Muy baja
Compresión perpendicular al grano		Kgf/cm²	65				Baja
Tensión perpendicular al grano		Kgf/cm²	30				Baja
Cizallamiento	Radial	Kgf/cm²	77				Baja
	Tangenci.	Kgf/cm²	64				Baja
Clivaje	Radial	Kgf/cm	4.4				Muy baja
	Tangenci.	Kgf/cm	3.6				Muy baja
Dureza	Lados	Kgf	283				Baja
	Extremos	Kgf	387				Baja

Las especies forestales de “rápido crecimiento” como es el caso del genero *Eucalyptus*, genera condiciones de producción de madera que en los primeros años origina lo que llamamos “madera juvenil” la cual presenta baja densidad, fibras más cortas, con un ángulo de microfibrillas alto y, por lo tanto, redunda en parámetros de baja calidad como la resistencia mecánica, dureza, estabilidad dimensional, etc. Todos estos parámetros comienzan a mejorar paulatinamente en el crecimiento del árbol, por lo cual, a medida que crece el árbol comienza a generar mejor calidad de madera hasta llegar a una estabilidad en las propiedades, material que llamamos “madera adulta” (Doldán, 2019).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En primer lugar, se evidenció que la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* proveniente de raleo a los 2,5 años presentó un contenido de humedad promedio elevado (108,4%), mientras que su densidad básica osciló entre 0,44 y 0,50 g/cm³, mostrando una disminución progresiva del nivel basal apical. Asimismo, las contracciones lineales y volumétricas no mostraron diferencias significativas entre niveles, alcanzando un valor volumétrico promedio de 13,18% y un índice de estabilidad dimensional (T/R) de 2,34, lo cual permitió establecer que la madera posee una mediana densidad, alta contracción y estabilidad moderada, condiciones propias de un material joven con estructura celular aún en formación.

- Por otro lado, en cuanto a las propiedades mecánicas, se determinó que los valores obtenidos fueron en general bajos o muy bajos, lo que confirma el carácter juvenil de la madera. En ese sentido, el módulo de ruptura (451,7 kgf/cm²) y el módulo de elasticidad (79 663 kgf/cm²) no presentaron diferencias significativas a lo largo del fuste, mientras que la compresión paralela al grano mostró ligera superioridad en el nivel apical (288 kgf/cm²) respecto al basal (240 kgf/cm²). Del mismo modo, la compresión perpendicular (65 kgf/cm²), la tensión perpendicular

(30 kgf/cm²), el cizallamiento (64–77 kgf/cm²), el clivaje (3,6–4,4 kgf/cm) y la dureza (283–387 kgf) reflejaron un comportamiento homogéneo entre niveles, aunque con resistencias insuficientes para usos estructurales.

- Finalmente, considerando la relación entre las propiedades físicas y mecánicas evaluadas, se concluye que la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* de 2,5 años no presenta las condiciones necesarias para aplicaciones estructurales ni de alta exigencia mecánica. Por consiguiente, se recomienda orientar su aprovechamiento hacia usos secundarios o de bajo requerimiento, como componentes interiores, embalajes o producción de tableros y pulpa. A medida que la especie incremente su edad, se espera que las propiedades físicas y mecánicas mejoren significativamente, permitiendo su empleo futuro en productos de mayor valor agregado.

5.2. Recomendaciones

- En vista de que la madera juvenil de *Eucalyptus urograndis* proveniente de raleo a los 2,5 años presenta baja densidad, alta contracción y limitadas propiedades mecánicas, se recomienda posponer su aprovechamiento comercial hasta edades mayores, de modo que el árbol alcance un estado de madera adulta con características físicas y estructurales más estables. Esta práctica permitiría mejorar la calidad del material y aumentar su

competitividad frente a otras especies forestales empleadas con fines industriales.

- Asimismo, resulta conveniente destinar la madera juvenil a usos alternativos, orientados a productos de bajo requerimiento mecánico o de valor agregado secundario, tales como tableros aglomerados, biomasa energética, pulpa celulósica, o elementos temporales para construcción ligera. De esta forma, se aprovecharía racionalmente el volumen extraído en los raleos, contribuyendo a la gestión sostenible de las plantaciones forestales y a la reducción de residuos maderables.

- Finalmente, se sugiere realizar investigaciones complementarias que incluyan árboles de distintas edades, manejos silvícolas y condiciones de sitio, con el propósito de establecer curvas de evolución de las propiedades físicas y mecánicas de *Eucalyptus urograndis*. Dichos estudios permitirían definir con mayor precisión la edad óptima de aprovechamiento y los usos industriales más adecuados, fortaleciendo la cadena productiva forestal en la región de Ucayali.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABC EN EL ESTE. (2010). Raleo en una plantación forestal.

Albuquerque Nogueira, M. (2019). Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Eucalyptus saligna* para estructuras de madera.

AMBIENTUM. (2019). *Residuos agrícolas y forestales*.

Anquise Ticahuanca, R. C., Ccahuana Jihuallanca, E. Á., Zevallos Pollito, P. A., & Portal Cahuana, L. A. (2019). *Propiedades físicas, mecánicas y características anatómicas de Vochysia kosnipatae Huamantupa (Alco kaspi) proveniente de plantación del distrito San Gabán*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) – Subestación Experimental Agraria San Gabán

Aróstegui, A. (1975). Estudio Tecnológico de la Madera del Perú (zona Pucallpa). Vol. 1: Características tecnológicas y usos de la madera de 145 especies del país. Lima: Ministerio de Agricultura, Universidad Nacional Agraria - La Molina.

Aróstegui, A. (1982). Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. Lima: Proyecto PNUD/FAO/PER/81/002.

Arroyo, J. (1983). Propiedades físico-mecánicas de la madera. Mérida: Universidad de los Andes.

Aula Silvicultura. (2008). Rodal. Recuperado el 31 de mayo de 2021, de https://silvicultor.blogspot.com/2008/10/rodal.html#:~:text=Es%20un%20%C3%A1rea%20que%20comprende,forestal%20a%20la%20que%20pertenecen%22.

Biblioteca Agroecológica. (2017). *FUNDESYRAM - Raleos de árboles forestales*.

Boletín Agrario. (2019). *Ralear*.

Casimiro, J. (2015). Efecto de la inmersión en agua caliente en las propiedades fisico-mecánicas de la madera de Eucalyptus nitens procedente de una plantacion forestal. Tesis para optar grado de Maestro en Ciencias y Tecnologia de la Madera. Universidad de Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Mexico.

Cobas, A., & Monteoliva, S. (2018). Duramen y propiedades físicas de la madera de Robinia pseudoacacia en relación a su pontencial uso en la industria de la madera sólida. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata, 1-5.

Contextoganadero. (2020, 24 de marzo). *Importancia del raleo en los sistemas silvopastoriles*. Contexto Ganadero.

Cruz, J. (2005). La construcción de viviendas en madera. Viña Los Robles. Santiago de Chile.

Cueto, G., Rachid, C., O´Neill, H., Ohta, S. & Resquin, F. (2012). Influencia del raleo sobre las propiedades físico - mecánicas de la madera de *Eucalyptus grandis.* Revista INIA - Nº 34.

Dávalos, R., & Bárcenas, G. (1999). *C*lasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición "seca". Vol. 5, 61-69.

De La O, S. (2016). Anatomía y propiedades físicas de la madera de primera y tercera corta de *Eucalyptus globulus Labill* - Huanchar, Concepció*n.* Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente.

Doldán, J. (2019). Entrevista. Jefe del Departamento de Materiales y Productos Forestales del Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU).

FAO. (1999). Educación ambiental para el trópico de Cochabamba. Texto del alumno séptima de Primaria.

FAO. (2018). Conjunto de Herramientas para la Gestión Forestal Sostenible (GFS) - Manejo de bosques plantados.

Galloway, G. (1993). Manejo de Plantaciones Forestales - Guía técnica para la extensión forestal. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Guariguata, M. R., Cornelius, J. P., Locatelli, B., Forner, C., & Sánchez-Azofeifa, G. A. (2017). *Regulatory frameworks for forest plantations in Latin America: Progress and shortcomings*. Forest Policy and Economics, 83, 41–49.

Haygreen, J. & Bowyer, J. (1982). Forest products and wood science. An introduction. USA.

Huamán, T. (2020). Caracterización físico-mecánica de la madera de raleo de *Guazuma crinita* Martius proveniente de plantaciones de tres años, Huánuco, Perú. Lima: Universidad Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales.

JUNAC. (1989). Manual del Grupo Andino para el Secado de Madera - 1era. edicición. Cali: Carbajal S.A.

Kollman, T. (1959). Tecnología de la madera y sus aplicaciones - Tomo I. Traducción de la 2da. edición. Madrid: Experiencias y servicios de la madera.

Lyiola, E., Olufemi, B., Olubukola, V., Owoyemi, J., & Samuel, A. (2019). Propiedades físicas y mecánicas de la madera de Daniella Oliveri (árbol

de bálsamo de África) tratada térmicamente. *Revista actual de Ciencias y Tecnologías Aplicadas*, 1-9.

Llúncor, D. (1977). Relaciones entre las características de cepillado de algunas maderas de Venezuela y sus propiedades físico-mecánicas y anatómicas - Tesis para optar grado de Magíster Scientiae. Mérida: Universidad de Los Andes.

Mansilla, K. (2021). Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera *Eucalyptus glóbulus* procedente de la localidad de Ollaytaytambo, en estado seco tratada con aceite de linaza por inmersión prolongada para uso estructural.

Mendoza, R. (2015). Anatomía y propiedades físicas de la madera de *Eucalyptus urograndis* H.B.K. Oxapampa – Pasco. Tesis para optar título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo.

Nogueira, M. (2018). Caracterización físico-mecánica de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* para uso estructural proveniente de Restinga, Brasil. Revista forestal del Perú, UNA La Molina. Vol. 33, Núm. 1 (2018): Enero a Junio.

NORMADERA. (2019). *Madera juvenil*.

Nutsch, W. (2000). Tecnología de la madera y el mueble. Barcelona: REVERTE, S.A.

Panshin, A., & De Zeeuw, C. (1980). Texbook of wood technology. 4 ed. New York: McGraw-Hill.

Rivero, J. (2004). Propiedades físico-mecánicas de *Gmelina arbórea* Roxb. y Tectona grandis Linn. Cochabamba.

Robles, J. (2007). Comparación de las cantidades ofertadas y demandadas de madera de diámetros menores (8-18 cm.) procedente del primer raleo, en plataciones del programa de incentivos forestales, en la región II del Instituto Nacional de Bosque. Guatemala: Facultad de Agronomía - Universidad de San Carlos de Guatemala.

Rodríguez, F. (2006). Propiedades y acondicionamiento de la madera.

SERFOR. (2015). Ley Foresta y de Fauna Silvestre N° 29763 y sus Reglamentos. Ministerio de Agricultura y Riego.

TODO EN MADERA SHOP. (2020). Propiedades de la madera.

USDA, U. D. (1999). Wood handbook wook as an engineering material United States departament of agriculture, forest service, forest products laboratory general technical report. Madison, Wisconsin: FPL-GTR.

Vargas, J. (1987). Anatomía y tecnología de la madera. Manual técnico forestal. Cochabamba, Bolivia: Escuela Técnica Superior Forestal (ETSFOR) - Cooperación Técnica Alemana (GTZ).

Vignote, S., & Jiménez, F. (1996). Tecnología de la madera. Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.

Vinueza, M. (2012). Eucalipto - Ficha Técnica N° 10. *Ecuador Forestal*.

Wikipedia. (2019). *Silvicultura*. Recuperado el 15 de abril de 2019, de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Silvicultura

ANEXOS

ANEXO 1

DATOS DE DENSIDAD BÁSICA DE LA MADERA DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* (EUCALIPTO) DE RALEO DE 5 AÑOS DE EDAD, POR NIVELES DEL FUSTE

ARBOL	Densidad básica (g/cm³)		
	N. BASAL	N. MEDIO	N. COPA
1	0.36	0.36	0.34
2	0.45	0.45	0.45
3	0.38	0.39	0.39
4	0.45	0.46	0.46
5	0.43	0.44	0.46
6	0.47	0.42	0.47
7	0.52	0.44	0.38
9A	0.57	0.52	0.53
9B	0.56	0.54	0.52
11	0.48	0.42	0.40
12	0.54	0.48	0.39
13	0.65	0.61	0.54
14	0.52	0.43	0.37
15	0.45	0.42	0.34
16	0.61	0.50	0.52
17	0.52	0.54	0.45
19	0.58	0.46	0.44
X	0.50	0.46	0.44
S	0.08	0.06	0.06
CV (%)	15.63	13.31	14.69

ANEXO 2

DATOS DE DENSIDAD ANHIDRA DE LA MADERA DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* (EUCALIPTO) DE RALEO DE 5 AÑOS DE EDAD, POR NIVELES DEL FUSTE

ARBOL	Densidad anhidra (g/cm³)		
	N. BASAL	N. MEDIO	N. COPA
1	0.45	0.41	0.41
2	0.54	0.54	0.55
3	0.46	0.48	0.47
4	0.49	0.50	0.42
5	0.47	0.47	0.49
6	0.59	0.52	0.60
7	0.61	0.50	0.42
9A	0.63	0.58	0.59
9B	0.65	0.61	0.59
11	0.56	0.49	0.48
12	0.57	0.51	0.45
13	0.70	0.65	0.58
14	0.61	0.52	0.44
15	0.53	0.48	0.40
16	0.45	0.55	0.56
17	0.56	0.60	0.52
19	0.65	0.53	0.51
X	0.56	0.53	0.50
S	0.08	0.06	0.07
CV (%)	13.57	11.08	13.74

ANEXO 3

DATOS DE DENSIDAD SECA AL AIRE DE LA MADERA DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* (EUCALIPTO) DE RALEO DE 5 AÑOS DE EDAD, POR NIVELES DEL FUSTE

ARBOL	Densidad seca al aire (g/cm³)		
	N. BASAL	N. MEDIO	N. COPA
1	0.51	0.47	0.46
2	0.61	0.60	0.61
3	0.52	0.53	0.52
4	0.56	0.57	0.60
5	0.53	0.53	0.55
6	0.62	0.54	0.63
7	0.68	0.56	0.47
9A	0.69	0.64	0.65
9B	0.71	0.66	0.65
11	0.63	0.55	0.54
12	0.64	0.58	0.50
13	0.78	0.73	0.65
14	0.67	0.57	0.48
15	0.58	0.53	0.44
16	0.72	0.62	0.65
17	0.88	0.90	0.71
19	0.73	0.59	0.57
X	0.65	0.60	0.57
S	0.10	0.10	0.08
CV (%)	15.23	16.50	14.09

ANEXO 4

DATOS DE LA CONTRACCIÓN LONGITUDINAL DE LA MADERA DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* (EUCALIPTO) DE RALEO DE 5 AÑOS DE EDAD, POR NIVELES DEL FUSTE

ARBOL	Contracción longitudinal (%)		
	N. BASAL	N. MEDIO	N. COPA
1	0.49	0.41	0.56
2	0.61	0.67	0.65
3	0.44	0.50	0.44
4	0.51	0.55	0.62
5	0.20	0.44	0.73
6	0.62	0.56	0.79
7	0.62	0.56	0.79
9A	0.20	0.12	0.11
9B	0.23	0.36	0.13
11	1.65	1.86	1.84
12	0.23	0.29	0.90
13	0.16	0.39	0.55
14	0.67	0.57	0.48
15	0.58	0.42	**0.40**
16	0.19	0.83	0.47
17	0.88	0.90	0.80
19	0.33	0.76	0.82
X	0.51	0.60	0.65
S	0.36	0.38	0.38
CV (%)	71.78	63.14	58.55

ANEXO 5

DATOS DE LA CONTRACCIÓN TANGENCIAL DE LA MADERA DE ***EUCALYPTUS UROGRANDIS*** **(EUCALIPTO) DE RALEO DE 5 AÑOS DE EDAD, POR NIVELES DEL FUSTE**

ARBOL	Contracción tangencial (%)		
	N. BASAL	N. MEDIO	N. COPA
1	16.96	13.32	12.06
2	12.78	10.85	12.48
3	12.56	12.16	11.34
4	4.68	3.80	3.25
5	12.10	9.58	9.32
6	9.86	9.09	8.49
7	10.69	6.17	5.56
9A	8.25	7.83	7.92
9B	12.01	9.58	9.36
11	10.75	9.90	10.11
12	4.66	4.89	8.66
13	4.68	3.80	3.25
14	11.58	11.89	11.95
15	9.65	8.80	**9.51**
16	9.56	9.91	10.34
17	2.21	4.88	4.83
19	7.34	7.60	8.92
X	9.43	8.47	8.67
S	3.75	2.93	2.90
CV (%)	39.80	34.57	33.41

ANEXO 6

DATOS DE LA CONTRACCIÓN RADIAL DE LA MADERA DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* (EUCALIPTO) DE RALEO DE 5 AÑOS DE EDAD, POR NIVELES DEL FUSTE

ARBOL	Contracción radial (%)		
	N. BASAL	N. MEDIO	N. COPA
1	9.37	6.12	7.98
2	6.91	7.85	6.73
3	6.53	7.00	7.99
4	3.10	2.46	4.95
5	2.34	1.91	2.58
6	5.54	5.79	0.96
7	5.97	1.32	1.21
9A	1.68	2.24	2.86
9B	3.18	2.47	4.46
11	4.00	4.33	5.52
12	2.13	2.23	4.56
13	2.75	3.05	2.65
14	4.56	7.05	6.72
15	6.74	5.93	**6.50**
16	0.89	3.25	3.50
17	1.64	3.95	2.92
19	4.46	1.18	1.42
X	4.22	4.01	4.32
S	2.33	2.19	2.31
CV (%)	55.24	54.59	53.32

ANEXO 7

DATOS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* (EUCALIPTO) DE RALEO DE 5 AÑOS DE EDAD, POR NIVELES DEL FUSTE

ARBOL	Contenido de humedad (%)		
	N. BASAL	N. MEDIO	N. COPA
1	177.90	186.18	199.89
2	128.54	124.88	128.01
3	172.58	162.59	159.33
4	72.89	59.74	54.69
5	134.17	128.62	110.50
6	126.45	132.80	69.07
7	85.89	85.82	96.74
9A	78.30	92.03	90.65
9B	77.70	87.30	82.74
11	108.41	143.97	146.27
12	89.88	101.43	132.91
13	52.84	54.94	76.29
14	94.29	125.68	171.94
15	120.49	137.31	**146.63**
16	64.63	90.39	94.44
17	79.43	60.53	92.18
19	74.52	77.24	87.41
X	102.29	108.91	114.10
S	36.23	37.70	40.16
CV (%)	35.42	34.62	35.20

ANEXO 8

DATOS DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD DIMENSIONAL (T/R) DE LA MADERA DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* (EUCALIPTO) DE RALEO DE 5 AÑOS DE EDAD, POR NIVELES DEL FUSTE

ARBOL	Índice de estabilidad dimensional (T/R) (%)		
	N. BASAL	N. MEDIO	N. COPA
1	2.51	2.21	1.54
2	1.95	1.42	1.86
3	1.98	1.78	1.44
4	1.96	1.58	1.68
5	2.90	2.57	2.69
6	1.77	1.60	2.77
7	1.84	4.77	5.32
9A	3.94	3.73	3.30
9B	3.89	4.20	2.19
11	3.22	2.39	1.85
12	2.29	2.21	1.91
13	2.06	1.39	1.23
14	2.70	1.71	1.82
15	1.49	1.49	**1.46**
16	3.93	1.58	1.60
17	1.39	2.04	1.92
19	1.77	3.27	3.09
X	2.45	2.35	2.22
S	0.85	1.04	1.00
CV (%)	34.77	44.16	45.09

ANEXO 9

DATOS DE FLEXIÓN ESTÁTICA DE LA MADERA DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* (EUCALIPTO) DE RALEO DE 5 AÑOS DE EDAD, POR NIVELES DEL FUSTE

N° de probeta	Módulo de ruptura (MOR) (kgf/cm²)		
	Niveles del fuste		
	Basal	Medio	Apical
1	449	328	573
2	235	372	494
3	510	546	467
4	603	722	427
5	334	222	
6	342	299	
7	355	348	
8	555	413	
9	579	341	
10	254		
11	373		
12	429		
13	343		
n	13	9	4
X	417	391	427
S	120	150	62
CV (%)	28.8	38.3	14.4

N° de probeta	Módulo de elasticidad (MOE) (kgf/cm²)		
	Niveles del fuste		
	Basal	Medio	Apical
1	68500	63800	98500
2	63800	58200	95300
3	73100	114400	114300
4	73200	107200	98100
5	65900	77900	
6	65500	77200	
7	77800	93600	
8	68900	77900	
9	113800	102500	
10	29400		
11	41700		
12	118300		
13	83600		
n	13	9	4
X	73810	89383	98100
S	24081	19558	8618
CV (%)	32.6	21.9	8.8

ANEXO 10

DATOS DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO DE LA MADERA DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* (EUCALIPTO) DE RALEO DE 5 AÑOS DE EDAD, POR NIVELES DEL FUSTE

N° de probeta	Compresión paralela al grano (kgf/cm²)		
	Niveles del fuste		
	Basal	Medio	Apical
1	257	223	289
2	275	260	265
3	218	254	279
4	212	273	320
5	233	239	289
6	254	232	
7	227	338	
8	261	224	
9	196	258	
10	263		
N	10	9	5
X	240	256	288
S	26.07	35.22	20.16

ANEXO 11

DATOS DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO DE LA MADERA DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* (EUCALIPTO) DE RALEO DE 5 AÑOS DE EDAD, POR NIVELES DEL FUSTE

N° de probeta	Compresión perpendicular al grano (kgf/cm²)		
	Niveles del fuste		
	Basal	Medio	Apical
1	60	73	80
2	61	67	95
3	70	67	57
4	61	81	53
5	42	95	
6	65	65	
7	58	61	
8	56	51	
9	60	55	
10		43	
n	9	10	4
X	59	66	71
s	7.6	13.4	19.8
CV (%)	12.9	20.4	27.8

ANEXO 12

DATOS DE CIZALLAMIENTO DE LA MADERA DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* (EUCALIPTO) DE RALEO DE 5 AÑOS DE EDAD, POR NIVELES DEL FUSTE

N° de probeta	Cizallamiento radial (kgf/cm²)		
	Niveles del fuste		
	Basal	Medio	Apical
1	85	110	79
2	90	96	103
3	76	86	75
4	100	88	85
5	87	44	33
6	82	61	66
7	24	71	73
8	74		
9	71		
10	90		
n	10	7	7
X	78	80	74
s	21.0	22.4	21.4
CV (%)	26.9	28.1	29.1

N° de probeta	Cizallamiento tangencial (kgf/cm²)		
	Niveles del fuste		
	Basal	Medio	Apical
1	56	79	48
2	120	79	43
3	72	59	74
4	77	53	68
5	74	62	61
6	93	41	57
7	58	49	
8	53	51	
9	65	55	
10	70		
n	10	9	6
X	74	54	58
s	20.1	13.0	11.9
CV (%)	27.3	24.2	20.3

ANEXO 13

DATOS DE CLIVAJE O HENDIDURA DE LA MADERA DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* (EUCALIPTO) DE RALEO DE 5 AÑOS DE EDAD, POR NIVELES DEL FUSTE

N° de probeta	Clivaje radial (kgf/cm)		
	Niveles del fuste		
	Basal	Medio	Apical
1	4.5	8.1	5.0
2	6.3	4.9	2.6
3	3.5	2.8	5.6
4	3.9	1.3	5.1
5	5.3	2.8	5.5
6	1.5	3.8	
7	5.5	4.8	
8	2.5	3.6	
9	5.5		
10	5.0		
n	10	8	5
X	4.3	4.0	4.8
s	1.5	1.2	0.2
CV (%)	34.6	29.3	4.9
N° de	Clivaje tangencial		

probeta	(kgf/cm)		
	Niveles del fuste		
	Basal	Medio	Apical
1	1.9	4.5	3.0
2	1.0	4.5	1.1
3	3.2	2.4	3.6
4	3.9	5.2	4.5
5	4.0	2.6	3.1
6	6.1	7.0	
7	2.7	4.7	
8	3.4	3.8	
9	5.5	2.1	
10	3.5		
11	6.1		
n	11	9	5
X	3.8	4.1	3.0
s	1.6	1.6	1.3
CV (%)	43.3	38.0	41.9

ANEXO 14

DATOS DE DUREZA DE LADOS Y EXTREMOS DE LA MADERA DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* (EUCALIPTO) DE RALEO DE 5 AÑOS DE EDAD, POR NIVELES DEL FUSTE

N° de probeta	Dureza de lados (kgf)		
	Niveles del fuste		
	Basal	Medio	Apical
1	295	264	359
2	344	277	265
3	279	289	255
4	315	246	
5	270	258	
6	220	297	
7	257		
n	7	6	3
X	283	272	293
s	40.25	19.36	57.38
CV (%)	14.23	7.12	19.58

N° de probeta	Dureza de extremos (kgf)		
	Niveles del fuste		
	Basal	Medio	Apical
1	333	333	415
2	422	422	323
3	412	412	381
4	348	348	
5	474	474	
6	408	408	
7	312		
n	7	6	3
X	340	343	373
s	57.62	51.69	46.52
CV (%)	43.3	38	41.9

ANEXO 15

EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS

Figura 1A

Medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) de un árbol de eucalipto antes de ser cosechado



Figura 2A

Tumbado de árbol de eucalipto



Figura 3A

Producción de las trozas de eucalipto, posterior a la cosecha del árbol



Figura 4A

Sellado con pintura del corte reciente de la troza, para evitar infección de hongos e insectos



Figura 5A

Recepción de trozas de eucalipto en las instalaciones de la carpintería de la UNU



Figura 6A

Rodajas de madera de la especie eucalipto, codificadas, para su posterior producción de probetas



Figura 7A

Probetas de madera de Eucalyptus urograndis obtenidas posterior a la cosecha del árbol



Figura 8A

Probetas de madera de Eucalyptus urograndis para ensayos mecánicos



Figura 9A

Probetas de madera con perforaciones para ensayo de compresión perpendicular



Figura 10A

Registro de la codificación de las probetas para determinar su trazabilidad



Figura 11A

Probetas de madera de eucalipto, codificadas, para la determinación de propiedades físicas



Figura 12A

Ensayo mecánico de flexión estática



Figura 13A

Ensayo mecánico de compresión paralela a las fibras



Figura 14A

Ensayo mecánico de clivaje



Figura 15A

Probeta de Eucalyptus urograndis posterior al ensayo de clivaje, mostrando la zona de fractura



Figura 16A

Ensayo mecánico de dureza



Figura 17A

Medición y pesado de probetas de madera de eucalipto para determinar propiedades físicas



Figura 18A

Ensayo mecánico de flexión estática



Figura 19A

Falla de la probeta al someter el ensayo mecánico de compresión paralela a las fibras



Figura 20A

Madera escuadrada de la especie eucalipto en estufa para su posterior secado

