

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
FILIAL JAÉN



PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE *Colubrina glandulosa* Perkins PARA USO ESTRUCTURAL SEGÚN NORMA TÉCNICA E-010, JAÉN 2023

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO FORESTAL**

**PRESENTADO POR LA BACHILLER:
ESTEFANY JOSELY JIMÉNEZ MOROCHO**

**ASESOR
Ing. M. Sc. VITOLY BECERRA MONTALVO.**

**JAÉN – PERÚ
2025**

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Estefany Josely Jiménez Morocho
DNI: 72020474
Escuela Profesional/Unidad UNC:
Ingeniería Forestal
2. Asesor:
Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo
Facultad/Unidad UNC:
Ingeniería Forestal
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE Colubrina glandulosa Perkins PARA USO ESTRUCTURAL SEGÚN NORMA TÉCNICA E-010, JAÉN 2023
6. Fecha de evaluación: 04/06/2024
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 24 %
9. Código Documento: oid:::3117:464614988
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 04/06/2025

Firma y/o Sello
Emisor Constancia



Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo
DNI: 27727452



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Fundada por Ley N° 14015 del 13 de febrero de 1,962
"Norte de la Universidad Peruana"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
FILIAL JAÉN
Bolívar N° 1342 - Plaza de Armas
JAÉN - PERÚ



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Jaén, a los **treinta** días del mes de **enero** del año dos mil veinticinco, se reunieron en el **Ambiente de la Sala de Docentes de Ingeniería Forestal- Filial Jaén**, los miembros del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N°672-2024-FCA-UNC, de fecha **16 de diciembre del 2024**, con el objeto, de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: **"PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE Colubrina glandulosa Perkins PARA USO ESTRUCTURAL SEGÚN NORMA TÉCNICA E-010, JAÉN 2023"**, ejecutado por la Bachiller en Ciencias Forestales, **Doña ESTEFANY JOSELY JIMÉNEZ MOROCHO**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las **quince** horas y **cero** minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de quince **(15)**; por tanto, la Bachiller queda expedita para el inicio de los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

A las **dieciséis** horas y **diez** minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Jaén, 30 de enero de 2025.


Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado
PRESIDENTE


Ing. M. Sc. Francisco Fernando Aguirre De Los Ríos
SECRETARIO


Ing. M. Cs. Leiver Flores Flores
VOCAL


Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo
ASESOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, mi primera maestra y mi mayor inspiración. A mi padre por su apoyo constante y su confianza en mí. A mis hermanos, mi refugio en los momentos difíciles y mi mayor alegría en los buenos. Que cada día contribuyeron con su apoyo emocional y económico para llegar hasta este punto de mi carrera profesional y poder obtener mi título profesional. A mis amigos que juntos compartimos grandes experiencias durante nuestra etapa universitaria. A mis maestros que compartieron su sabiduría contribuyendo en mi proceso de aprendizaje y formación de mis valores.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme fortaleza y sabiduría para poder realizar con buen desempeño mi proyecto de tesis. A mis padres Edi Morocho Peña y Santos Cleofe Jiménez Ruiz, por brindarme apoyo incondicional en todo el transcurso de mi carrera universitaria.

A mis hermanos Jhon Carlos Jiménez Morocho, Liliam Lizbeth Jiménez Morocho por ser motivo de mi superación y fortaleza durante el desarrollo de mi carrera universitaria.

Expreso mi más sincero agradecimiento al Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo, mi asesor de tesis, por su invaluable guía, paciencia y conocimientos. Su orientación fue esencial para la culminación de este estudio. A los docentes de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Cajamarca por brindarme los conocimientos necesarios para mi formación profesional.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	9
CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. Antecedentes de la investigación	11
2.2. Bases teóricas	15
2.2.1. Madera estructural	15
2.2.2. Norma técnica E. 010 madera del Reglamento Nacional de Edificaciones	16
2.2.3. Propiedades físicas y mecánicas de la madera para uso estructural.....	17
2.2.4. Generalidades de la especie Colubrina glandulosa Perkins	23
2.3. Definición de términos básicos	24
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	26
3.1. Localización de la investigación	26
3.2. Tipo y diseño de investigación.....	27
3.2.1. Matriz de operacionalización de variables	27
3.2.2. Unidad de análisis – población y muestra	27
3.2.3. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos	28
3.2.4. Validación y prueba de confiabilidad de los instrumentos	29
3.2.5. Técnica del procesamiento y análisis de datos	30
3.2.6. Aspectos éticos considerados.....	30
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. Resultados.....	31
4.2. Discusión	39
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
5.1. Conclusiones.....	43
5.2. Recomendaciones	44
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
CAPÍTULO VII. ANEXO.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Grupos según densidad básica para maderas latifoliadas.....	15
Tabla 2. Grupos según esfuerzos admisibles para maderas latifoliadas MPa (kg/cm ²)	16
Tabla 3. Grupos según Módulo de elasticidad para madera latifoliadas MPa (kg/cm ²)	16
Tabla 4. Matriz de operacionalización de variables	27
Tabla 5. Propiedades físicas de la madera <i>Colubrina glandulosa</i> Perkins.....	31
Tabla 6. Densidad básica de la madera <i>Colubrina glandulosa</i> Perkins	31
Tabla 7. Humedad de la madera <i>Colubrina glandulosa</i> Perkins.....	32
Tabla 8. Resistencia a la flexión de la madera de <i>Colubrina glandulosa</i> Perkins	33
Tabla 9. Resistencia a la comprensión paralela de la madera <i>Colubrina glandulosa</i> Perkins	35
Tabla 10. Resistencia a la comprensión perpendicular de la madera <i>Colubrina glandulosa</i> Perkins	36
Tabla 11. Resistencia al corte de la madera <i>Colubrina glandulosa</i> Perkins.....	36
Tabla 12. Densidad básica para maderas latifoliadas	37
Tabla 13. Esfuerzos admisibles para maderas latifoliadas Mpa (kg/cm ²).....	38
Tabla 14. Módulo de elasticidad para madera latifoliadas MPa (kg/cm ²).....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Probeta de cizallamiento (NTP 251.013)	22
Figura 2. Mapa de ubicación	26
Figura 3. Densidad básica de madera <i>Colubrina glandulosa</i> Perkins.....	32
Figura 4. Humedad de la madera <i>Colubrina glandulosa</i> Perkins.....	33
Figura 5. Esfuerzo de ruptura de flexión de la madera <i>Colubrina glandulosa</i> Perkins	34
Figura 6. Esfuerzo de deformación de flexión de la madera de <i>Colubrina glandulosa</i> Perkins	34
Figura 7. Esfuerzo de ruptura de la compresión paralela de la madera <i>Colubrina</i> <i>glandulosa</i> Perkins	35
Figura 8. Esfuerzo de ruptura a la compresión perpendicular de la madera <i>Colubrina</i> <i>glandulosa</i> Perkins	36
Figura 9. Resistencia al corte de la madera de <i>Colubrina glandulosa</i> Perkins	37

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como propósito determinar las propiedades físicas y mecánicas de *Colubrina glandulosa* Perkins para uso estructural según norma técnica E-010. La investigación fue de tipo descriptiva, aplicada, no experimental. se aplicó la observación como técnica y los instrumentos fueron los establecidos por las diferentes normas técnicas peruanas usadas para determinar las propiedades físicas y mecánicas. El muestreo fue no probabilístico y se siguió lo establecido por la NTP 251.008, las propiedades físicas determinadas fueron densidad básica y contenido de humedad, mientras que las propiedades mecánicas estuvieron expresadas en el esfuerzo admisible de flexión, compresión paralela y perpendicular al grano y corte, también se midió el módulo de elasticidad promedio y mínimo de la flexión. como resultados se obtuvieron valores de 0,58 g/cm³ para densidad básica; 56,44 % de humedad máxima; 16,21 Mpa; 11,19 Mpa; 3,79 Mpa y 1,29 Mpa para los esfuerzos admisibles de flexión, compresión paralela y perpendicular al grano y corte. El MOE promedio fue de 23627 Mpa y el MOE mínimo fue de 12414 Mpa. De acuerdo a lo establecido en la norma técnica E-010 del RNE, la madera está clasificada dentro del grupo B tanto por sus propiedades físicas y mecánicas; concluyéndose que es una especie promisorio para ser usada en estructuras de construcciones con madera.

Palabras clave: *Madera de plantaciones, propiedades físicas y mecánicas, esfuerzos y estructuras.*

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the physical and mechanical properties of *Colubrina glandulosa* Perkins for structural use according to technical standard E-010. The research was descriptive, applied, non-experimental. Observation was applied as a technique and the instruments were those established by the different Peruvian technical standards used to determine the physical and mechanical properties. The physical properties determined were basic density and moisture content, while the mechanical properties were expressed in allowable bending stress, compression parallel and perpendicular to the grain and shear; the average and minimum modulus of elasticity of bending were also measured. As results, values of 0,58 g/cm³ were obtained for basic density, 56,44 % of maximum humidity, 16,21 Mpa, 11,19 Mpa, 3,79 Mpa and 1,29 Mpa for the admissible bending, parallel and perpendicular to the grain compression and shear stresses; the average MOE was 23627 Mpa and the minimum MOE was 12414 Mpa. According to RNE technical standard E-010, the wood is classified in group B for its physical and mechanical properties, concluding that it is a promising species to be used in wood construction structures.

Keywords: *Plantation timber, physical and mechanical properties, stresses and structures.*

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos milenarios la madera ha sido un material utilizado en la construcción. Sin embargo, su uso generalmente ha sido empírico o se desconocen las propiedades físicas y mecánicas especialmente de especies poco estudiadas y que están siendo recientemente aprovechadas como material de construcción (Quispe 2022, p. 14).

En Perú la utilización de la madera como material estructural está ampliamente difundido gracias a que es material de fácil acceso en muchos lugares y a las herramientas utilizadas; por lo que es fundamental considerar el buen desempeño de este material, siendo necesario el conocimiento de sus propiedades físicas y mecánicas (Rubio 2021, p. 15). El desconocimiento de estas propiedades de la madera de diferentes especies causa una disminución del prestigio del material limitando su utilización en diferentes ramas de la industria constructiva. Las características mecánicas determinan el comportamiento, aptitud y capacidad de la madera para soportar fuerzas externas. Para el uso de la madera en construcción es fundamental conocer sus valores de resistencia, en especial para realizar el dimensionamiento de las diferentes piezas según su resistencia y deformación. Estas propiedades varían de una especie a otra, inclusive pueden variar en diferentes árboles de la misma especie (Osis y Muñoz 2022, p. 4).

En la actualidad son las zonas rurales las que hacen mayor uso de la madera en distintos tipos de construcciones, sin embargo, esta utilización se hace sin ningún criterio técnico que permita su correcto aprovechamiento, ya que la madera de numerosas especies aún no ha sido estudiada como recurso para uso estructural (Chuquimango 2020, p. 19).

En la provincia de Jaén y otras regiones del país se cuenta con especies maderables forestales como lo es la *Colubrina glandulosa* Perkins, que en la actualidad se viene utilizando en proyectos de reforestación, construcciones, etc., convirtiéndose en una opción económica viable como madera estructural; Sin embargo, a pesar de su uso se carece de información técnica relacionada a las propiedades físicas y mecánicas de esta especie, así como también hay un desconocimiento sobre a qué grupo estructural pertenece según la norma E.010.

En la presente investigación se obtuvo valores reales de las propiedades físicas y mecánicas de la *Colubrina glandulosa* Perkins para lo cual se realizó ensayos tomando en cuenta las Normas Técnicas Peruanas correspondientes, así mismo se identificó a que grupo estructural pertenece (A, B, C, D) según la norma técnica E-010. De esta manera se evitará el uso empírico de dicha especie en la construcción.

Finalmente, los resultados del presente estudio podrán ser utilizados por todos aquellos que se dedican al rubro de la construcción con madera, garantizando el uso correcto de la *Colubrina glandulosa* Perkins como material estructural, y dando valor agregado a dicha especie. Así mismo, servirá para disminuir riesgos causados por su uso empírico, contribuyendo con la seguridad y economía de los habitantes de construcciones con madera.

La presente investigación tuvo como objetivo principal, Determinar las propiedades físicas y mecánicas de *Colubrina glandulosa* Perkins para uso estructural según norma técnica E-010 y como objetivos específicos tuvo; determinar las propiedades físicas de densidad y contenido de humedad de *Colubrina glandulosa* Perkins para su uso estructural; determinar las propiedades mecánicas de flexión, compresión paralela, compresión perpendicular y corte de *Colubrina glandulosa* Perkins para su uso estructural; establecer el cumplimiento las propiedades físicos y mecánicas de *Colubrina glandulosa* Perkins y su clasificación para su uso estructural según norma técnica E-010.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la investigación

Carro (2021, p. 1) en su tesis de maestría presentada a la Universidad de Valladolid, España, caracterizó elasto-mecánicamente la madera de *Eucalyptus nitens*, con y sin termotratamiento, para determinar si es posible su uso estructural. Los resultados indicaron que la madera sin termotratada obtuvo una densidad de 614 Kg/m³, MOEG de 18.112 N/mm² y MOR de 74 N/mm² clasificándose en la clase resistente C27; la madera termotratada tuvo una densidad de 536 Kg/m³, MOEG de 15.682 N/mm² y MOR de 39 N/mm², estando en la clase resistente C24. Se concluye que el termotratamiento disminuye la calidad estructural de la madera ya que se produjo una reducción del 13,42 % en el módulo de elasticidad global, del 47,43 % en la resistencia a flexión y del 12,69 % en la densidad.

Garzón (2022, p. 21) en su investigación realizada en Bogotá, Colombia, caracterizó las propiedades mecánicas de la madera de *Acacia mangium* Wild para uso estructural en edificaciones. Los resultados demostraron una madera de buena calidad, siendo apta para su uso estructural, además se realizó una clasificación según el módulo de elasticidad como lo precisa el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente (NSR-10), ubicándose dentro de la categoría ES5 de NSR-10.

Cubillos et al. (2019, p. 36) estudió las propiedades físicas y mecánicas de la especie *Hyeronima macrocarpa* Schltr, fue un estudio de carácter descriptivo, se utilizó las normas del Comité Panamericano de Normas Técnicas COPANT, Norma Técnica Colombiana y la Sociedad Americana para pruebas y Materiales ASTM. Los resultados arrojaron los siguientes valores para las propiedades físicas: 0,722 g/cm³, 0,613 g/cm³, 24,2 %, 14,9 %; y 1,921 de densidad anhidra, densidad básica, contenido de humedad en el punto de saturación de las fibras, contracción volumétrica y coeficiente de estabilidad dimensional respectivamente; respecto a las propiedades mecánicas se obtuvo que el esfuerzo de compresión paralela la resistencia en el límite proporcional (RLP) fue de 378,410 kg/cm², la resistencia unitaria máxima (RUM) de 547,330 kg/cm² y el módulo de elasticidad (MOE) de 43.415,34 kg/cm², para el esfuerzo de flexión estática la RLP fue 711,357 kg/cm², MOE 84.859,97 kg/cm², RUM 858,197 kg/cm², compresión perpendicular RLP 48,430 kg/cm², y

RUM $62,790 \text{ kg/cm}^2$, y un MOE de $15874,85 \text{ kg/cm}^2$, para cizallamiento EUM 8.20 kg/cm^2 . Los autores concluyeron que la especie *Hyeronima macrocarpa* Schltr tiene una madera pesada apta para ser utilizada en estibas, muebles y pisos.

López (2021, p. 12) realizó una investigación en Iquitos donde determinó las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Manilkara Bidentata* en estado verde, para su uso en construcción, el estudio tuvo un diseño no experimental – Transeccional descriptivo, las probetas fueron condicionadas de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas correspondientes. Los resultados arrojaron una densidad básica de $0,68 \text{ g/cm}^3$ y un CH seco al aire de $13,79 \%$, Contracción de tangencial de $5,55 \%$, Contracción radial de $5,00 \%$ y Contracción volumétrica de $10,85 \%$. Por lo tanto, se concluye que según la Norma E.010. Madera, Cap.1: Agrupamiento de maderas para uso estructural, Art.5: Agrupamiento, (2018), que pertenece al Grupo B, siendo una madera de muy alta densidad por lo que debe ser trabajada en estado verde para facilitar su clavado y labrado.

Chuquimango (2020, p. 15) en su investigación realizada en Chota evaluó la madera de eucalipto con fines estructurales con la finalidad de clasificarla según la norma técnica E.010, se aplicó un diseño no experimental en la cual se consideró 3 árboles como muestra de los cuales se elaboraron las probetas para los ensayos utilizando las Normas Técnicas Peruanas correspondientes. Los resultados arrojaron $0,79 \text{ g/cm}^3$, $4,46 \%$, $123,3 \text{ kg/cm}^2$, $500,88 \text{ kg/cm}^2$, $745,46 \text{ kg/cm}^2$, $2094,87 \text{ kg/cm}^2$, $54,24 \text{ kg/cm}^2$ de densidad básica, contenido de humedad promedio, cizallamiento, compresión paralela al grano, flexión estática, tensión paralela a las fibras y tensión perpendicular a las fibras respectivamente. Según los resultados el autor concluyó que la madera de eucalipto cumple con los requerimientos de la Norma E.010, para ser clasificada en el grupo estructural A.

Chura y Muchica (2020, p. 12) realizaron una investigación en Puno, evaluaron la factibilidad del uso de uso de la madera *Pinus radiata* como material estructural para la construcción de tijerales en viviendas, para ello es usaron 5 árboles de los cuales se extrajo las vigas para los ensayos. Los resultados indicaron valores de $0,45 \text{ g/cm}^3$, $27,25 \%$, $54549,61 \text{ kg/cm}^2$ y $76601,80 \text{ kg/cm}^2$ $89,091 \text{ kg/cm}^2$ para densidad básica, contenido de humedad, módulo de elasticidad mínima y promedio y esfuerzo admisible a flexión respectivamente. Por lo tanto, se llegó a la conclusión que según RNE E.010 la madera de *pinus radiata* no clasifica en el grupo C debido a que no alcanza a los valores mínimos de resistencia mecánica.

Suasnabar y Monge (2019, p. 13) determinó las características anatómicas y propiedades físico – mecánicas de las especies *Sloanea obtusifolia*, *Ocotea cinérea* y *Chrysophyllum sanguinolentum*, para ello se tomó una muestra de 3 árboles por especie y los ensayos fueron realizados según la COPANT y Normas Técnicas Peruanas. Los resultados respecto a las propiedades físico – mecánicas indicaron que la especie *Sloanea obtusifolia* tuvo Contenido de humedad 74 %, densidad básica 0.60 g/cm³, Flexión estática MOR 686 kg/cm² y MOE 309,8 x 10³ kg/cm², compresión paralela MOR 370 kg/cm² y MOE 15,7 x 10³ kg/cm², dureza lados 601 kg y extremos 610 kg, clivaje tangencial 37,88 kg/cm² y radial 69,46 kg/cm²; la especie *Ocotea cinérea* tuvo Contenido de humedad 50 %, densidad básica 0,51 g/cm³, Flexión estática MOR 741 kg/cm² y MOE 295.2 x 10³ kg/cm² compresión paralela MOR 389 kg/cm² y MOE 15.8 x 10³ kg/cm², dureza lados 346 kg y extremos 355 kg, clivaje tangencial 41,79 kg/cm² y radial 56,32 kg/cm² y la especie *Chrysophyllum sanguinolentum* tuvo Contenido de humedad 58 %, densidad básica 0,64 g/cm³, Flexión estática MOR 890 kg/cm² y MOE 418 x 10³ kg/cm², compresión paralela MOR 421 kg/cm² y MOE 17,5 x 10³ kg/cm², dureza lados 591 kg y extremos 629 kg, clivaje tangencial 46,16 kg/cm² y radial 75,14 kg/cm².

Arbildo (2015, p. 10) determinó valores de algunas propiedades físicas y su variación por niveles de fuste de la madera de *Dipteryx odorata* (shihuahuco), para ello realizó un inventario forestal en una plantación de 3 años de la especie de la Empresa Bosques Amazónicos, donde aleatoriamente seleccionaron 5 árboles de los cuales realizaron posteriormente los ensayos necesarios, donde se obtuvo como resultado contenido de humedad 56,09 %, contenido de humedad en condición seca al aire 13,70 %, densidad saturada 1,07 g/cm³, densidad seca al aire 0,84 g/cm³, densidad seca al horno 0,79 g/cm³, densidad básica 0,69 g/cm³, contracción volumétrica 12,57 %, contracción radial 5,77 %, contracción longitudinal 1,24 %. Encontrándose con variaciones significantes en contenido de humedad saturado y seco al aire entre la copa y base del fuste, para la densidad se obtuvo que para cada condición se obtuvo diferencia significativa donde se determinó que nivel base presento mayores valores seguido por el nivel medio y por el nivel copa. Para la contracción se encontró diferencia entre contracción radial y volumétrica, los valores mayores los obtuvo el nivel base, seguido del nivel medio y nivel copa.

Alca (2024, p. 6) realizó una clasificación estructural de la madera palo blanco utilizado en la construcción en el distrito de Kumpirushiato, provincia La Convención,

departamento Cusco, donde concluyó que la madera Palo Blanco de tonalidad amarilla corresponde a la clase B (grupo B) tal como lo determina su densidad básica ($0,59 \text{ g/cm}^3$), destacando su alta resistencia en los casos de compresión paralela al grano (esfuerzo admisible $311,35 \text{ kg/cm}^2$), tensión paralela a las fibras (esfuerzo admisible $240,68 \text{ kg/cm}^2$) y cizallamiento paralelo al grano (esfuerzo admisible $30,16 \text{ kg/cm}^2$) correspondiendo a la clase A en esfuerzos admisibles, y en flexión su esfuerzo admisible corresponde a la clase C ($146,70 \text{ kg/cm}^2$). Su módulo de elasticidad corresponde a la clase A para el caso de flexión ($102\,517,98 \text{ kg/cm}^2$) y a la clase C para el caso de compresión ($65\,127,45 \text{ kg/cm}^2$).

Becerra et al. (2023, p. 1) realizaron una investigación en Jaén, en la cual determinaron las propiedades de trabajabilidad de *Colubrina glandulosa* Rich. ex Brongn, metodológicamente fue una investigación de tipo descriptiva no experimental, en la cual se habilitaron 17 muestras para los ensayos de trabajabilidad. Así mismo, se determinó la densidad básica de la especie en estudio según la NTP 251.011:2014 (revisada el 2019). Luego de realizar todos los ensayos correspondientes los resultados mostraron que la especie tuvo una densidad de $0,71 \text{ g/cm}^3$, su comportamiento al cepillado fue regular, y como defectos se presentaron grano arrancado y grano vellosos; en el lijado su comportamiento va de bueno a excelente; y en el torneado su comportamiento es bueno. En conclusión, la especie *Colubrina glandulosa* tiene una trabajabilidad de regular a excelente y buena densidad, esto permite poder utilizarla en carpintería en general, como material de estructuras, postes, etc. En conclusión, la especie *Colubrina glandulosa* tiene un comportamiento de regular a excelente en los diferentes ensayos de trabajabilidad de la madera, la cual nos permite establecer una propuesta de uso en carpintería en general, como material de estructuras, postes, etc.

Fernández (2018, p. 11) determinó las propiedades organolépticas, físicas y mecánicas de la madera de *Cordia alliodora* (R. y P.) Oken, para lo cual se consideró 15 árboles provenientes de parcelas agroforestales de Jaén, los ensayos se realizaron según las Normas Técnicas Peruanas correspondientes. Como resultados se obtuvo que la madera de laurel presenta albura amarilla a crema, duramen oscuro, diferencia de duramen y albura, vetado con arcos superpuestos, textura fina y grano entrecruzado, por otra parte, se tuvo una densidad básica entre $0,35$ y $0,36 \text{ g/cm}^3$, contracciones totales entre $8,26 \%$ y $9,15 \%$, módulo de ruptura en compresión paralela entre $131,61$ a $154,69 \text{ kg/cm}^2$ y módulo de ruptura

en flexión estática entre 470,98 a 449,50 kg/cm². Por ende, se concluye que la madera de *Cordia alliodora* se encuentra dentro del grupo II madera de baja densidad y baja resistencia.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Madera estructural

Se define como aquella madera que es sometida a esfuerzos permanentes y específicos por lo que es fundamental llevar a cabo un proceso de análisis y diseño estructural. La madera estructural es empleada como columnas, columnetas, vigas, viguetas, tijerales, entre otros elementos estructurales, por lo tanto, es indispensable conocer la densidad básica, contenido de humedad, esfuerzos admisibles, entre otras propiedades físicas y mecánicas. Los parámetros mínimos establecidos para la madera estructural están especificados en la norma NTP E.010, por ende para que la madera se considere como elemento estructural deberá cumplir con ciertos requisitos los cuales son: Material seleccionado y cumplir con los requerimientos de la norma E.010, material provenientes de especies forestales y aptas para su uso estructural estando presentes dentro de cualquiera de los grupos estructurales especificados por la NTP E.010, debe estar segmentada y con medidas y secciones adecuadas para la construcción según las normas correspondientes (Rubio, 2021, p. 31).

Grupos de madera para uso estructural. Para realizar la agrupación de las especies según tipos A, B, C o D se debe tomar en cuenta la densidad básica y los resultados de los ensayos de la resistencia mecánica (Tabla 1, 2, 3), de acuerdo a la clasificación de la Norma Técnica de Edificación E.010 (Chuquimango, 2020, p. 24).

Tabla 1

Grupos según densidad básica para maderas latifoliadas

Grupo	Densidad Básica (g/cm³)
A	≥ 0,71
B	0,56 a 0,70
C	0,40 a 0,55
D	0,36 a 0,39

Fuente: NTP E.010 Madera del RNE (Misterio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021).

Tabla 2*Grupos según esfuerzos admisibles para maderas latifoliadas MPa (kg/cm²)*

Grupo	Flexión f_m	Tracción Paralela f_t	Compresión Paralela $f_c //$	Compresión Perpendicular $f_c \perp$	Corte Paralelo f_v
A	20,6 (210)	14,2 (145)	14,2 (145)	3,9 (40)	1,5 (15)
B	14,7 (150)	10,3 (105)	10,8 (110)	2,7 (28)	1,2 (12)
C	9,8 (100)	7,3 (75)	7,8 (80)	1,5 (15)	0,8 (8)
D	6,8 (70)	5,8 (60)	6,2 (63)	1,3 (13)	0,6 (6)

Contenido de humedad < 22 %

*Fuente: NTP E.010 Madera del RNE (Misterio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021).***Tabla 3***Grupos según Módulo de elasticidad para madera latifoliadas MPa (kg/cm²)*

Grupo	E_{min}	E_{prom}
A	9 316 (95 000)	12 748 (130 000)
B	7 355 (75 000)	9 806 (100 000)
C	5 394 (55 000)	8 826 (90 000)
D	4 414 (45 000)	6 400 (65 000)

*Fuente: NTP E.010 Madera del RNE (Misterio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021).***2.2.2. Norma técnica E. 010 madera del Reglamento Nacional de Edificaciones**

Esta norma peruana se elaboró con el objetivo de establecer los requisitos mínimos para diseñar edificaciones con estructuras de madera pura o combinada con otros materiales, esto con la finalidad de brindar seguridad a las edificaciones construidas con este material y al mismo tiempo salvaguardar la integridad de las personas que utilizan o habitan estas estructuras, además de garantizar la durabilidad de la estructura construida. La aplicación de esta norma es obligatoria a nivel nacional por los tres niveles de gobierno, así como también por profesionales, empresas o instituciones involucradas en el diseño y construcción de edificaciones comprendidas en la presente norma técnica. La NTP E.010 cuenta con trece capítulos y cincuenta artículos en los cuales se detalla aspectos generales de la madera y

productos derivados de la misma, lineamientos específicos para el diseño con madera, proyecto y ejecución de obra, propiedades físicas y mecánicas de la madera, diseños de elementos de madera en flexión, diseño de elementos de madera en tracción y flexo tracción, diseño de elementos de madera en compresión y flexo compresión, Diafragmas y muros de corte, requisitos para la habilitación y montaje para la construcción, armaduras, uniones y criterios de protección de la madera. Así mismo, permite clasificar a las maderas en grupos estructurales A, B, C y D según su densidad, esfuerzos admisibles, y otros criterios, también brinda una lista de especies ya clasificadas por grupo (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento 2021, pp. 4 - 41).

2.2.3. Propiedades físicas y mecánicas de la madera para uso estructural

Propiedades físicas. Son características cuantitativas que definen el comportamiento de la madera frente a influencias del entorno, por lo que es fundamental conocer estas propiedades ya que influyen en el rendimiento y durabilidad de la madera como elemento estructural (Chicaiza 2022, p. 20).

Densidad básica (g/cm^3). Es una de las propiedades físicas de la madera más importante para su clasificación técnica, debido a que existe una relación bastante constante entre densidad y resistencia mecánica, por lo general las maderas con mayor densidad son más resistentes (Suasnabar y Monge 2019, p. 25).

NTP 251.011-2014 (revisada el 2019) Madera. Método para determinar la densidad. La densidad básica es el cociente entre el peso de la probeta anhidra (seca al horno) y el volumen en estado saturado, para su determinar esta propiedad se usa probetas en formas de prismas rectos cuyas dimensiones son 3 cm por 3 cm de sección transversal y 10 cm de longitud, las cuales se secan en un horno a una temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar peso constante, aumentando gradualmente la temperatura ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $103\text{ }^{\circ}\text{C}$), el peso (Psh) de las probetas en gramos se obtendrá por lectura directa en la balanza con la exactitud requerida, el volumen (V) de la probeta se calcula ya se sea por medición directa o por medición indirecta, finalmente se determina la densidad básica usando la siguiente fórmula (INACAL 2019, pp. 1 - 9).

$$\text{Densidad básica (g/cm}^3\text{)} = \frac{Psh}{Vs}$$

Donde:

Psh: Peso de la probeta seca al horno (g).

Vs: Volumen de la probeta en estado saturado (cm³).

Contenido de humedad (%). La madera se caracteriza por ser un material higroscópico, es decir absorbe agua del ambiente. El contenido de humedad de la madera es el porcentaje de agua en la madera (Chicaiza 2022, p. 20). Esta propiedad tiene gran influencia el peso, resistencia mecánica y durabilidad de la madera. El agua en la madera se puede encontrar de tres formas: Agua libre que es la que ocupa las cavidades celulares de los elementos vasculares, la cual se pierde fácilmente por evaporación hasta llegar al punto de saturación de la fibras (21 y 32 %.); agua de saturación que es la que se encuentra en las paredes celulares y se pierde con mayor lentitud; y el agua de constitución que es la que se encuentra en la materia celular de la madera y que no puede ser eliminada mediante técnicas normales de secado por lo que su pérdida causaría la aparición de defectos en la madera (Suasnabar y Monge 2019, pp. 23 - 24).

NTP 251.010 – 2014 Madera. Método para determinar el contenido de humedad. Para determinar el contenido de humedad se coloca la probeta previamente pesada a una estufa ventilada a temperatura de 103 ± 2 °C el tiempo que sea necesario hasta alcanzar un peso constante, para posteriormente ser pesada (INACAL 2014, pp. 1- 19).

El contenido de humedad se calcula con la siguiente fórmula:

$$CH\% = \frac{m1 - m2}{m2} * 100$$

Donde:

m1= masa de la probeta antes de ser secada (g).

m2 = masa de la probeta después de ser secada en la estufa (g).

Propiedades mecánicas. Son características cuantitativas de la madera que determinan su rendimiento y capacidad de soportar cargas externas, los valores de estas propiedades se obtienen mediante ensayos en laboratorio hechos en madera sin defectos (Chicaiza 2022, p. 22).

Flexión (Mpa). Es la capacidad de la madera para doblarse longitudinalmente sin romperse inmediatamente, si es flexibles, esta recupera su forma original cuando se deje de aplicar la fuerza (Chicaiza, 2022, p. 23). Flexión estática se produce si la acción de las fuerzas a curvar el cuerpo tendrá tracción en una zona y compresión en la otra (Suasnabar y Monge 2019, p. 30).

NTP 251.017 – 2014 (revisada el 2019) Madera. Método para determinar la flexión estática. Para realizar este ensayo se utiliza probetas de 5 cm x 5 cm x 76 cm de longitud (luz 70 cm) bajo el método primario o probetas de 2,5 cm x 2,5 cm x 41 cm de longitud (luz 35 cm) bajo el método secundario. Se ubica la probeta en la máquina de ensayo y en aplica la carga en el centro de la probeta, dicha carga es aplicada continuamente con una velocidad constante de ,5 mm/min para probetas de 5 cm x 5 cm x 76 cm, y de 1,3 mm/min para probetas de 2,5 cm x 2,5 cm x 41 cm. Se registra automáticamente la curva de la carga-deformación, para elaborar la gráfica correspondiente de carga vs deformación para cada probeta ensaya en caso de que la maquina no cuente con registro automático se debe medir las deflexiones cada cierto tiempo, también se debe describir la forma de ruptura producida, concluido el ensayo, se corta una probeta de 2 cm de largo de la parte no agrietada y cercana a la zona donde ha ocurrido la falla y se determina el contenido de humedad (INACAL 2019, pp. 1 - 19). Los resultados se expresan de la siguiente forma:

- Determinación de la carga al límite proporcional (P'): La carga al límite proporcional, se determina sobre la curva carga – deformación, trazando una tangente desde cero y que corresponde al punto de carga donde la tangente se separa de la curva.

- Cálculo del esfuerzo de la fibra al límite proporcional (ELP): se calcula según la fórmula siguiente:

$$ELP = \frac{3 P' L}{2 a e^2}$$

Donde:

ELP: esfuerzo de la fibra al límite proporcional en kg/cm²

P' : carga al límite proporcional en kg.

L : distancia entre soportes, luz de la probeta en cm.

a : ancho de la probeta en cm.

e : espesor de la probeta en cm.

- Cálculo del módulo de ruptura (MOR): Se calcula con la siguiente fórmula:

$$MOR = \frac{3 PL}{2 ae^2}$$

Donde:

MOR : módulo de ruptura en kg/cm².

P : carga máxima en kg.

L : distancia entre los soportes, luz de la probeta en cm.

a : ancho de la probeta en cm.

e : espesor de la probeta en cm.

- Cálculo del módulo de elasticidad (MOE): Se calcula con la siguiente fórmula:

$$MOE = \frac{P'L^3}{4 ae^3Y}$$

Donde:

MOE: módulo de elasticidad en kg/cm²

P': carga al límite proporcional en kg.

L: distancia entre los soportes, luz de la probeta en cm.

a: ancho de la probeta en cm.

e: espesor de la probeta en cm.

Y: deflexión en el centro de la luz al límite proporcional en cm.

Compresión paralela (Mpa). Es la resistencia que tiene la madera para soportar cargas que producen su aplastamiento, reduciendo su longitud y aumentando su sección transversal, es importante cuando la madera actúa como columna (Osis y Muñoz 2022, p. 16).

NTP 251.014 – 2014 Madera. Método para determinar compresión axial o paralela al grano. Para realizar este ensayo se utilizan probetas de 5 cm x 5 cm de sección y 20 cm de longitud (luz 15 cm) bajo el método primario, y de 2,5 cm x 2,5 cm y 10 cm de longitud (luz 7,5 cm) bajo el método secundario, se coloca la probeta en la máquina de ensayo, se aplica la carga de forma continua en una de las caras transversales de la probeta a una velocidad de 0,6 mm/min para el caso de probetas del método primario, y 0,3 mm/min para probetas del método secundario, se registra las cargas progresivas con sus respectivas

deformaciones para la elaboración de la gráfica correspondiente, se describe las rupturas producida (INACAL 2014, pp. 1 - 14). Se realizan los siguientes cálculos:

- Cálculo del esfuerzo al límite proporcional y la resistencia máxima por compresión axial: el esfuerzo al límite proporcional (ELP) y la resistencia máxima (RM) por compresión axial se determina aplicando las siguientes fórmulas:

$$ELP = \frac{P'}{A}$$

$$RM = \frac{P}{A}$$

Donde:

ELP : esfuerzo al límite proporcional, en kg/cm².

RM : resistencia máxima por compresión axial, en kg/cm².

P' : carga soportada por la probeta hasta el límite proporcional, en kg.

P : carga máxima soportada por la probeta, en kg.

A : área de la sección transversal de la probeta calculada antes del ensayo, en cm²

Compresión perpendicular (Mpa). Es la resistencia que tiene la madera para soportar cargas que producen su aplastamiento en sentido normal de las fibras (Osis y Muñoz 2022, p. 17).

NTP 251.016 – 2015 Madera. Método para determinar la compresión perpendicular al grano. Este ensayo se realiza utilizando probetas en forma de 5 cm x 5 cm de sección y de 15 cm de longitud cortada de tal forma que las caras sean paralelas al grano y una de las caras paralelas también a los anillos de crecimiento. Se ubica la probeta en la máquina de ensayos de modo que la carga se aplique sobre la cara radial a una velocidad constante de 0,3 (mm/min), se registra las cargas progresivas aplicadas en la probeta con las respectivas deformaciones para la gráfica de curva de carga – deformación (INACAL 2015, pp.1 - 9). Se realizan los siguientes cálculos:

- Determinación de la carga al límite proporcional: se determina sobre la curva carga – deformación, trazando una tangente desde cero y que corresponde al punto de carga donde la tangente se separa de la curva.

- Cálculo del esfuerzo al límite proporcional. Se aplica la siguiente fórmula:

$$ELP = \frac{P'}{S}$$

Donde:

ELP: esfuerzo al límite proporcional en kg/cm²

P' : carga al límite proporcional

S : superficie impresa sobre la probeta por la pieza de presión medida en cm²

Corte o cizallamiento (Mpa). Es aquél que ofrece un objeto cuando es desplazado una parte del mismo con respecto a otra en dirección paralela a su plano de contacto. También es conocido como resistencia al corte (INACAL, 2015).

NTP 251.013-2015 Madera. Método para determinar el cizallamiento paralelo al grano. preparación de las probetas. Para realizar este ensayo se usan probetas conforme se indica en la figura 1. Se ubica la probeta en la máquina de ensayo de modo que cara transversal reciba la fuerza de la cizalla, la cual se aplicará a una velocidad continua de 0.6 mm/min, se registrara la fuerza máxima aplicada con la cual se produce el corte. Finalmente se calcula la resistencia al corte o cizallamiento usando la siguiente fórmula (INACAL, 2015).

$$\text{Resistencia cizallamiento} = \frac{P'}{A} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

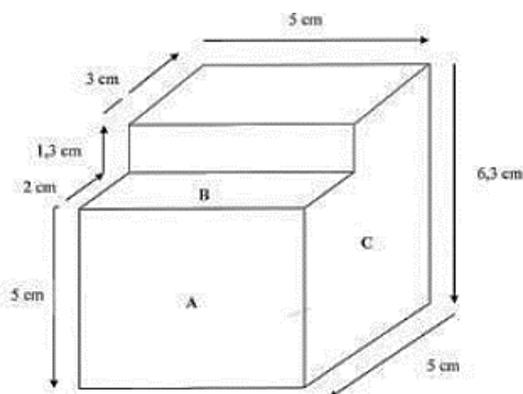
Donde:

P : peso máximo soportado por la muestra en kg.

A : superficie en que se origina el cizallamiento en cm².

Figura 1

Probeta de cizallamiento (NTP 251.013)



Fuente: INACAL, 2015.

2.2.4. Generalidades de la especie *Colubrina glandulosa* Perkins

Taxonomía. Salazar (2020, p. 11) indica que de acuerdo al sistema de clasificación taxonómica de Cronquist (1981) la especie *Colubrina glandulosa* Perkins se clasifica de la siguiente forma:

División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida (Dicotiledóneas)
Subclase	:	Rosidae
Orden	:	Rhamnales
Familia	:	Rhamnaceae
Género	:	Colubrina
Especie	:	<i>Colubrina glandulosa</i> Perkins.

Nombre común: Shaina

Descripción botánica. Árbol que puede llegar a medir de 10 a 25 m de altura y de 10cm a 50 cm de diámetro, generalmente presenta un tronco recto de forma cilíndrica, corteza de color marrón o gris fisurada; sus hojas simples, opuestas o sub opuestas, con ápice acuminado o redondeado, bordes enteros y base cardada, pecíolos de 1 a 4 cm de largo; presenta flores amarillentas y frutos tipo cápsulas triloculares de 0,6 a 0,8 cm de largo, verdes, tornándose marrón oscuro y dehiscentes al madura (Salazar 2020, p. 12).

Distribución. En el Perú esta especie se encuentra en los departamentos de San Martín, Huánuco y Cajamarca, a nivel internacional se encuentra en países como Bolivia, Brasil, Venezuela, Colombia, Paraguay, Costa Rica, Honduras y Panamá (Salazar 2020, p. 11).

Ecología. Esta especie pertenece al grupo ecológico de las heliófilas durables, crece en medianas y bajas elevaciones, en tipos de clima húmedos o muy húmedos, común bosques secundarios y áreas abiertas (Salazar 2020, p. 13).

Usos. La madera de shaina es utilizada en techos para construcciones como vigas, viguetas y caibros; también se usa en cercas de protección y palos de escoba, esto en 5 años de crecimiento, de 8 a 10 años la madera puede ser usado para postes eléctricos (Salazar 2020, p. 13).

2.3. Definición de términos básicos

Madera

Tejido principal de sostén y conducción de agua de los tallos y raíces. Se caracteriza por la presencia de elementos traqueales (INACAL 2015, p. 12).

Madera estructural

Es aquella madera destinada a ser sometida a la acción de esfuerzos permanentes y específicos, y por lo tanto requiere de un proceso de análisis y diseño estructural (INACAL 2017).

Viga de madera

Elemento horizontal o inclinado que trabaja en dos o más apoyos, de medidas longitudinales mayores que las transversales, sometida principalmente a flexión (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento 2021, p. 9).

Columna de madera

Apoyo generalmente vertical, de medida longitudinal muy superior a la transversal, cuyo fin principalmente es soportar esfuerzos de compresión (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento 2021, p. 6).

Densidad de la madera

Es el cociente entre el peso anhidro de una muestra de madera y su volumen saturado o verde. Esta propiedad hace que cada espécimen sea único, además, permite su clasificación dentro de los grupos de madera establecidos por la norma E.010 madera del Reglamento Nacional de Edificaciones (Rubio 2021, p. 34).

Resistencia de la madera

Es la capacidad de la madera para soportar cargas o rupturas (INACAL 2015, p. 17).

Esfuerzo admisible

Se definen como valores de resistencia que tiene la madera, estos se obtienen mediante ensayos, estos valores sirven para que el profesional estructural pueda proyectar dimensiones de los elementos y las conexiones que componen la estructura tales como vigas, columnas y armaduras (Moya y Gonzáles 2014, p. 2).

Flexión estática

Flexión estática se produce si la acción de las fuerzas a curvar el cuerpo tendrá tracción en una zona y compresión en la otra (Suasnabar y Monge 2019, p. 30).

Compresión paralela

Se define como la capacidad que tiene la madera para resistir a fuerzas que causan su aplastamiento en sentido paralelo a sus fibras produciendo disminución en su longitud y crecimiento de su sección transversal (Osis y Muñoz 2022, p. 16).

Corte o cizallamiento

Es aquél que ofrece un objeto cuando es desplazado una parte del mismo con respecto a otra en dirección paralela a su plano de contacto. También es conocido como resistencia al corte (INACAL 2015, p. 16).

Probetas de madera

Es la pieza de dimensión y forma específicas preparada a partir de la vigueta seleccionada (INACAL 2016, p. 3).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

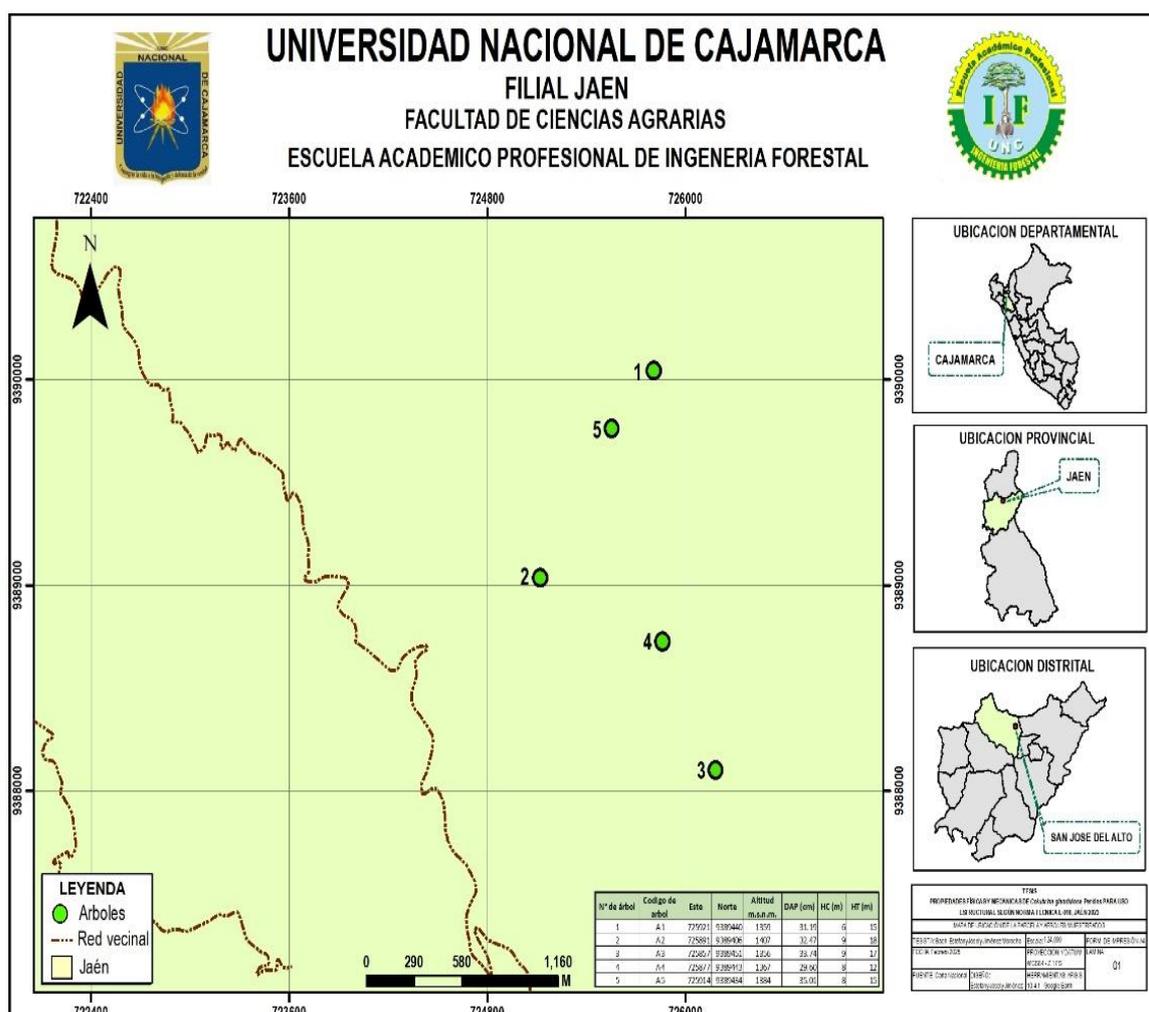
3.1. Localización de la investigación

La investigación se llevó a cabo en la ciudad de Jaén, en las instalaciones del laboratorio de tecnología de la madera de la Universidad Nacional de Cajamarca - SJ, el que se encuentra ubicado en la calle Arana Vidal esquina con calle Marieta.

Los árboles que se utilizó en el estudio fueron obtenidos de una plantación agroforestal ubicada en el distrito San José del Alto, provincia Jaén, departamento Cajamarca (Figura 2).

Figura 2

Mapa de ubicación



Descripción edafoclimática del distrito San José del alto (lugar de la plantación agroforestal de donde se obtuvieron las muestras). Los suelos predominantes son del tipo franco arenoso, predomina el material suelto; respecto al clima, la temperatura media del aire es poco variable que va de 15 °C a 25 °C en los meses de invierno. Una característica importante es la poca variación diaria de la temperatura con mínimas de 12° C y máximas de 25° C. Las precipitaciones son significativas con un promedio anual de 380 y 700 mm (Municipalidad Distrital de San José del Alto 2020, p. 8).

3.2. Tipo y diseño de investigación

Es una investigación descriptiva, aplicada y no experimental; con la que se determinó las propiedades físicas y mecánicas de una especie comercial en la ciudad de Jaén.

3.2.1. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 4

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala
Propiedades físicas y mecánicas	Las propiedades físicas son características cuantitativas que definen el comportamiento de la madera frente a influencias del entorno	Propiedades físicas	Densidad básica (g/cm ³) Contenido de humedad (%)	De razón
	Las propiedades mecánicas son características cuantitativas de la madera que determinan su rendimiento y capacidad de soportar cargas externas (Chicaiza, 2022, pp. 20, 22).	Propiedades mecánicas	Flexión (Mpa) Compresión paralela (Mpa) Compresión perpendicular (Mpa) Corte (Mpa)	De razón

3.2.2. Unidad de análisis – población y muestra

La población. La población estuvo constituida por todos los árboles *Colubrina glandulosa* Perkins existentes en la parcela agroforestal del distrito de San José del Alto. La población objetiva fue los árboles ubicados en la parcela que se seleccionó para obtener la muestra, que se encuentra ubicado dentro del distrito San José del Alto.

La muestra. La muestra lo constituyeron los árboles seleccionados para obtener las probetas donde se practicó los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas. El muestreo es no probabilístico dado que el número de la muestra está determinado por NTP 251.008 que estipula el número de árboles para propiedades físicas y mecánicas; según esta norma para el nivel de investigación inicial y exploratorio que se realizó se muestreo 5 árboles seleccionados al azar de los existentes en la parcela agroforestal que tuvieron un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor de 30 cm para poder aserrarlo. El número de probetas que se utilizó para determinar las propiedades físicas y mecánicas están establecidas en cada norma técnica específica para cada propiedad.

Unidad de análisis. Estuvo conformada por las probetas de madera se utilizó en los ensayos correspondientes para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

3.2.3. *Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos*

Fuentes. Los datos fueron obtenidos de fuentes primarias; ya que la información se obtuvo de los ensayos del laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas.

Técnicas e instrumentos

Técnicas. La que se utilizó fue la observación directa con presencia del investigador. Durante toda la investigación se realizó mediciones en las actividades realizadas.

Instrumentos. Como instrumentos de recolección de datos se utilizó formatos simples para el registro de la información obtenida durante todo el proceso de determinación las propiedades físicas y mecánicas, según las normas técnicas E.010, NTP 251.107, NTP 251.017, NTP 251.008, NTP 251.011, NTP 251.010. No se utilizó instrumentos elaborados con una estructuración previa como encuestas, entrevistas y otros.

Procedimiento de la investigación: La investigación se realizó tomando en cuenta las siguientes etapas:

- Primero. Se realizó el muestreo de los árboles de *Colubrina glandulosa* Perk en la parcela agroforestal para posteriormente ser talados para la obtención de las probetas. De los árboles talados se seleccionó una troza de 2 m de largo ubicado en la parte central del fuste y de esta se obtuvo los cuarterones debidamente orientados en los planos de la madera los

cuales fueron transportados posteriormente al laboratorio realizando una protección adecuada de las testas.

- Segundo. Obtención de las probetas siguiendo las recomendaciones de la NTP 251.008 y en las dimensiones y número establecido para cada propiedad física y mecánica que se realizó, así tenemos que para las propiedades físicas de densidad y contenido de humedad se obtuvo 10 probetas estándar por cada árbol. Para las propiedades mecánicas se obtuvo 2 probetas por cada árbol. La obtención de las probetas se realizó en el laboratorio de industrias forestales de la Universidad Nacional de Cajamarca Filial Jaén.

- Tercero. Las probetas obtenidas para propiedades físicas fueron colocados a remojo por inmersión por 7 días para llegar a estado de sobresaturación, posteriormente se realizó el ensayo correspondiente. Las probetas que se utilizó para determinar las propiedades mecánicas fueron colocadas en un ambiente para su acondicionamiento y aclimatación hasta llegar a la humedad de equilibrio higroscópico (12 % aproximadamente), posteriormente se realizó los ensayos correspondientes.

- Cuarto. Se realizó la determinación de las propiedades físicas de densidad y contenido de humedad siguiendo las normas técnicas correspondientes. Estas se llevaron a cabo en el laboratorio de anatomía y tecnología de la madera de la Universidad Nacional de Cajamarca Filial Jaén.

- Quinto. Las propiedades mecánicas se determinaron en un laboratorio particular de la ciudad de Jaén debidamente certificado por INDECOPI.

- Sexto. Todos los datos que se obtuvieron de las propiedades físicas y mecánicas fueron registrados en los formatos correspondientes para luego ser digitalizados y tabulados en una hoja de cálculo como MS Excel; posteriormente se realizó el cálculo de las propiedades físicas y mecánicas aplicándose la estadística descriptiva correspondiente.

3.2.4. Validación y prueba de confiabilidad de los instrumentos

Los instrumentos estuvieron respaldados de las normas técnicas en el ítem 2.2.3. por lo que no necesitan la validación de un experto. Sin embargo, la confiabilidad de los datos obtenidos fue por la calidad de los instrumentos utilizados en los laboratorios, el personal capacitado, así como por la certificación otorgada por INDECOPI al laboratorio.

3.2.5. Técnica del procesamiento y análisis de datos

Para análisis de los datos recolectados se utilizó una hoja de cálculo tipo Excel, donde se tabulo y sistematizo los datos para el procesamiento estadístico descriptivo necesario elaborándose tablas y gráficos estadísticos para explicar mejor los resultados obtenidos. La estadística descriptiva en el software Excel.

3.2.6. Aspectos éticos considerados

En el transcurso del desarrollo de todo este trabajo de investigación, se respetó los aspectos éticos recomendados por la Universidad Nacional de Cajamarca. El proceso de obtención de probetas se hizo teniendo en cuenta el debido cuidado del medio ambiente, se respetó los derechos de todos los autores en los que se basó esta investigación citando correctamente las fuentes evitando el plagio. Todos los datos obtenidos fueron verídicos y reales, la información se manejó con total transparencia, lo que logro resultados confiables.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Propiedades físicas de la madera *Colubrina glandulosa*

Tabla 5

Propiedades físicas de la madera Colubrina glandulosa Perkins

Nº	Propiedad Física	Ítem	Valor	Norma De Referencia
1	Densidad básica	X (g.cm ⁻³)	0,58	NTP 251.011:2014 (Revisada el 2019)
		C.V. (%)	5,85	
2	Densidad anhidra	X (g.cm ⁻³)	0,68	NTP 251.011:2014 (Revisada el 2019)
		C.V. (%)	8,80	
3	Densidad Verde	X (g.cm ⁻³)	0,91	NTP 251.011:2014 (Revisada el 2019)
		C.V. (%)	4,85	
4	Contracción tangencial	X (%)	8,96	NTP 251.012:2015
		C.V. (%)	30,31	
5	Contracción Radial	X (%)	5,00	NTP 251.012:2015
		C.V. (%)	51,14	
6	Contracción Volumétrica	X (%)	13,77	NTP 251.012:2015
		C.V. (%)	28,26	
7	Relación CT/CR	Relación	2,42	NTP 251.012:2015
		C.V. (%)	57,84	
8	Humedad	X (%)	56,44	NTP 251.010:2014
		C.V. (%)	15,34	

En la tabla 5, se visualiza todas las propiedades físicas de la madera de *Colubrina glandulosa* Perkin destacando en caso de las densidades la uniformidad de los datos al tener un coeficiente de variabilidad bajo menor al 10 %; al mismo tiempo podemos ver que la relación de contracciones es alta, de 2,42 de promedio, lo que nos indica que se trata de una madera inestable y que puede presentar problemas durante el proceso de secado.

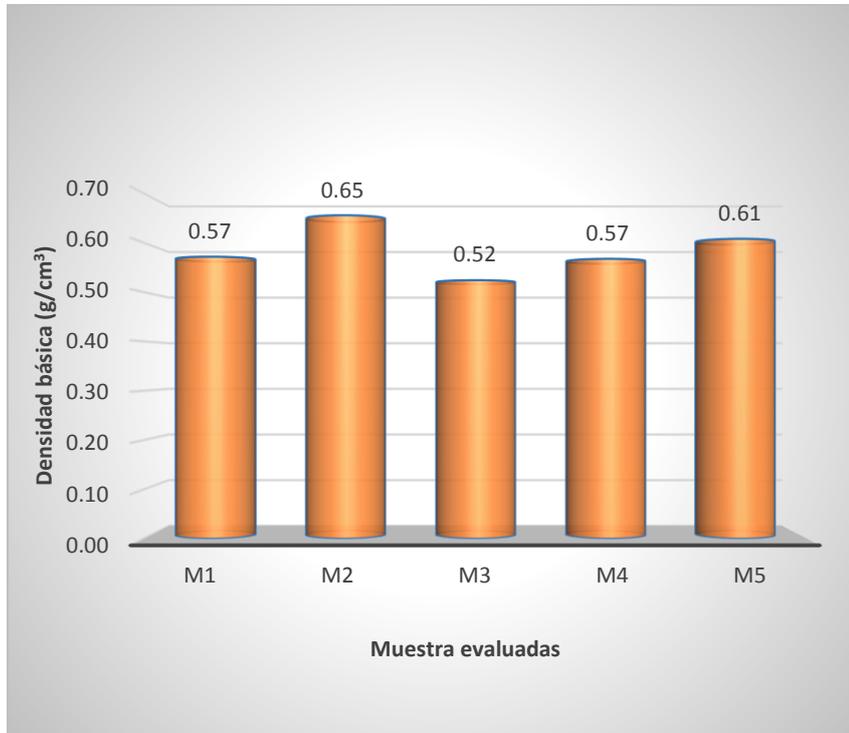
Tabla 6

Densidad básica de la madera Colubrina glandulosa Perkins

Muestras	Densidad básica (g/cm ³)
M1	0,57
M2	0,65
M3	0,52
M4	0,57
M5	0,61
Promedio	0,58

Figura 3

Densidad básica de madera Colubrina glandulosa Perkins



En la tabla 6 y figura 3, se visualiza los valores de la densidad básica por árbol ensayado de la madera *Colubrina glandulosa* Perkins, lo cual da un promedio de 0,58 g/cm³. Puede visualizarse también que la densidad básica es uniforme de los 5 árboles muestreados.

Tabla 7

Humedad de la madera Colubrina glandulosa Perkins

Muestra	Humedad máxima (%)
M1	57,02
M2	37,30
M3	62,71
M4	68,93
M5	56,25
Promedio	56.44

Figura 4

Humedad de la madera Colubrina glandulosa Perkins

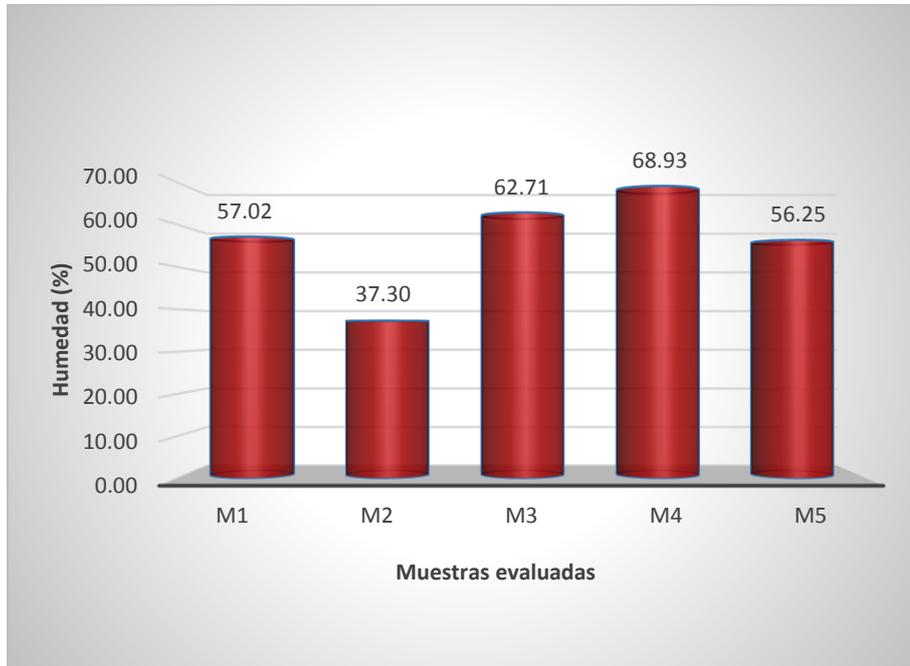


Tabla 7 figura 4, se visualiza los diferentes valores de contenido de humedad máxima de la especie *Colubrina glandulosa* Perkins procedentes de los 5 árboles, alcanzando promedios de 56,44 %. Cabe mencionar que el resultado está expresado en contenido de humedad sobre base seca.

4.1.2. Propiedades mecánicas de la madera de *Colubrina glandulosa* Perkins para su uso estructural

- **Resistencia a la flexión de la madera *Colubrina glandulosa* Perkins**

Tabla 8

*Resistencia a la flexión de la madera de *Colubrina glandulosa* Perkins*

Propiedad	Valor (Mpa)
Esfuerzo máximo a la flexión (fm, u)	121,28
Esfuerzo admisible a flexión (fam,m)	16.21
Módulo de elasticidad promedio (Eprom)	23627
Módulo de elasticidad mínimo (Emin)	12414

Figura 5

Esfuerzo de ruptura de flexión de la madera Colubrina glandulosa Perkins

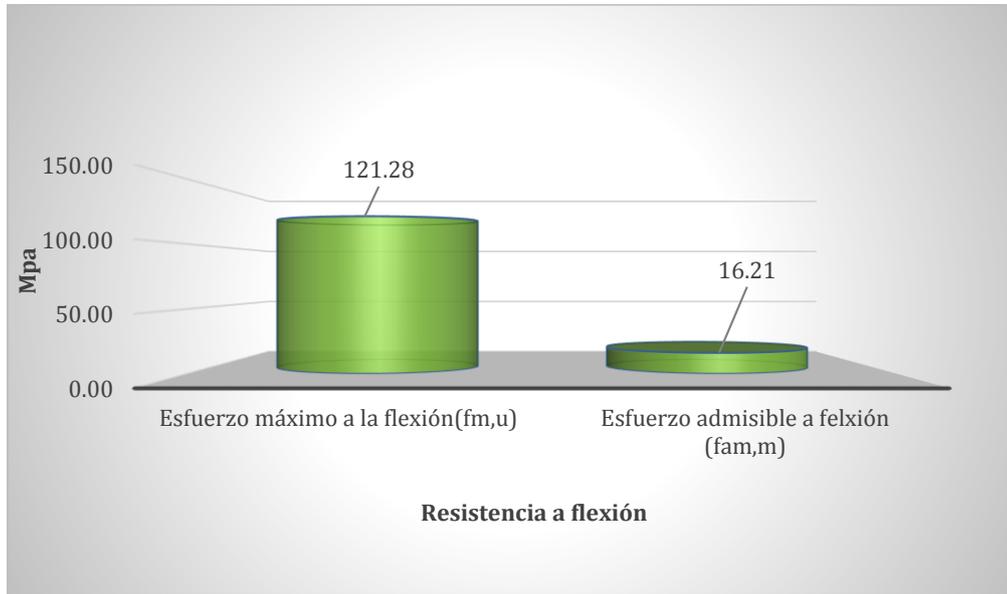
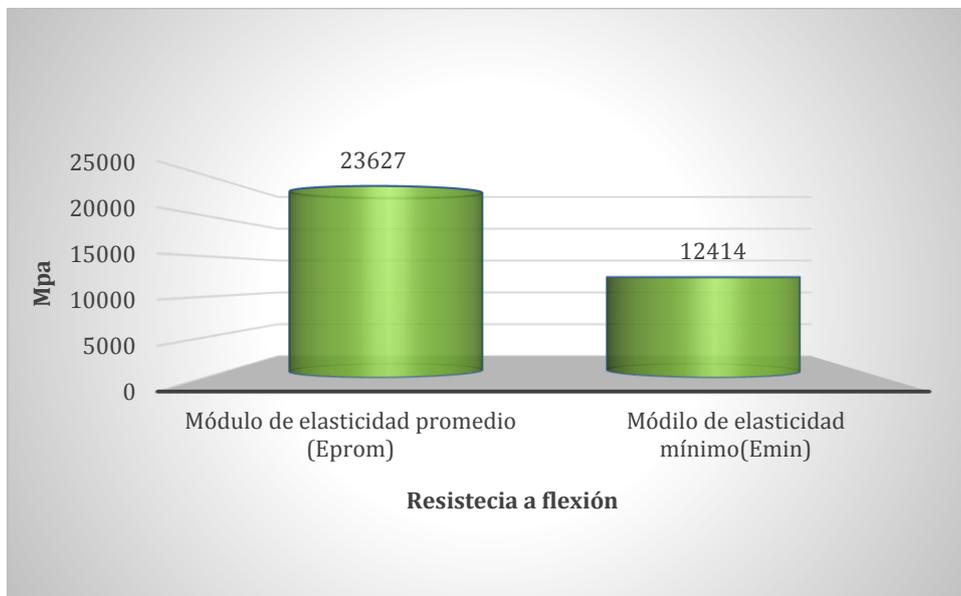


Figura 6

Esfuerzo de deformación de flexión de la madera de Colubrina glandulosa Perkins



En la tabla 8, se muestran los resultados de la propiedad mecánica de flexión de la madera de *Colubrina glandulosa* Perkins, en la figura 5 se visualiza los esfuerzos admisibles y en la figura 6 se visualiza los módulos de elasticidad.

- Resistencia a la compresión paralela de la madera *Colubrina glandulosa* Perkins.

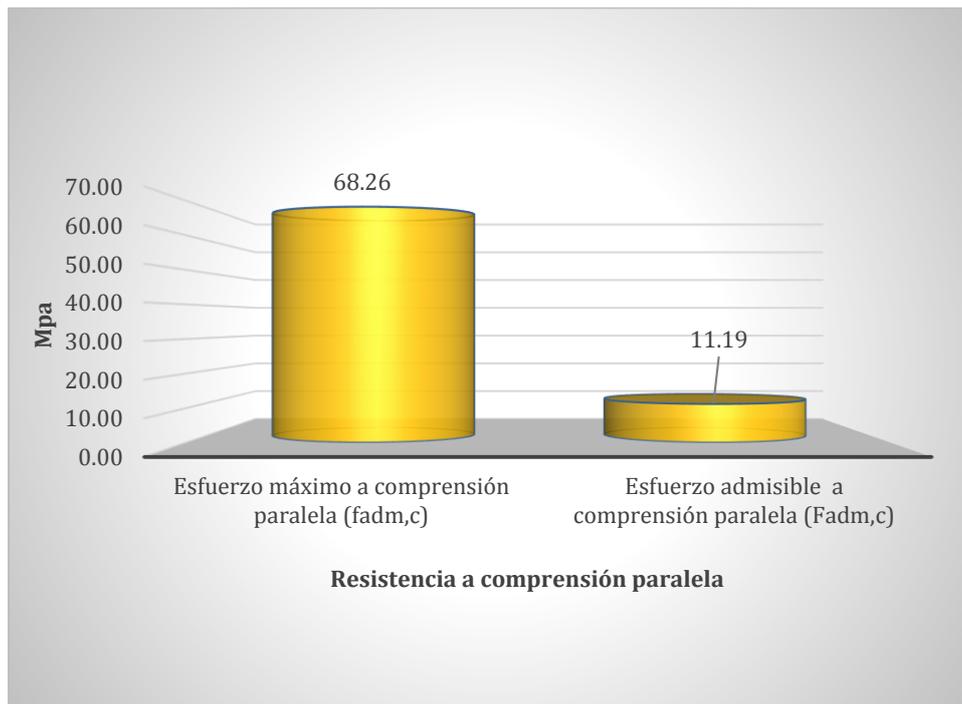
Tabla 9

Resistencia a la compresión paralela de la madera Colubrina glandulosa Perkins

Propiedad	Valor (Mpa)
Esfuerzo máximo a compresión paralela ($f_{\max,c}$)	68,26
Esfuerzo admisible a compresión paralela ($F_{\text{adm},c}$)	11,19

Figura 7

Esfuerzo de ruptura de la compresión paralela de la madera Colubrina glandulosa Perkins



En la tabla 9 y figura 7, se visualiza la resistencia a la compresión paralela de la madera *Colubrina glandulosa* Perkins donde alcanzaron los valores del esfuerzo máximo a la compresión paralela ($f_{\max,c}$) 68,26 Mpa y esfuerzo admisible a la compresión paralela ($F_{\text{adm},c}$) 11,19 Mpa.

- **Resistencia a la compresión perpendicular de la madera *Colubrina glandulosa* Perkins.**

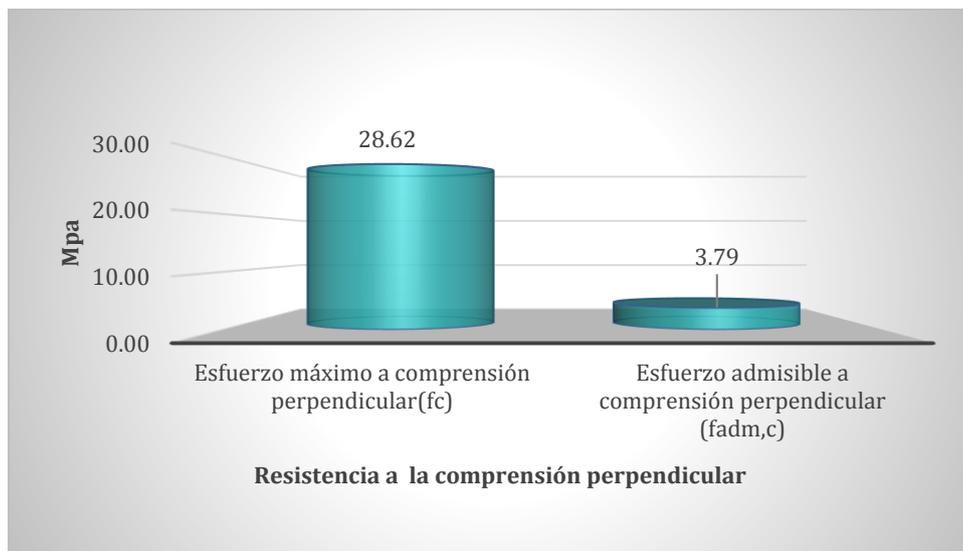
Tabla 10

*Resistencia a la compresión perpendicular de la madera *Colubrina glandulosa* Perkins*

Propiedad	Valor (Mpa)
Esfuerzo máximo a compresión perpendicular(f_c)	28,62
Esfuerzo admisible a compresión perpendicular ($f_{adm, c}$)	3,79

Figura 8

*Esfuerzo de ruptura a la compresión perpendicular de la madera *Colubrina glandulosa* Perkins*



En la tabla 10 y figura 8 se visualiza los valores a la resistencia a la compresión perpendicular de la madera de *Colubrina glandulosa* Perkins, donde el esfuerzo máximo alcanzo valores de 28,62 Mpa y el esfuerzo admisible alcanzo valores de 3.79 Mpa.

- **Resistencia al corte o cizallamiento de la madera *Colubrina glandulosa* Perkins.**

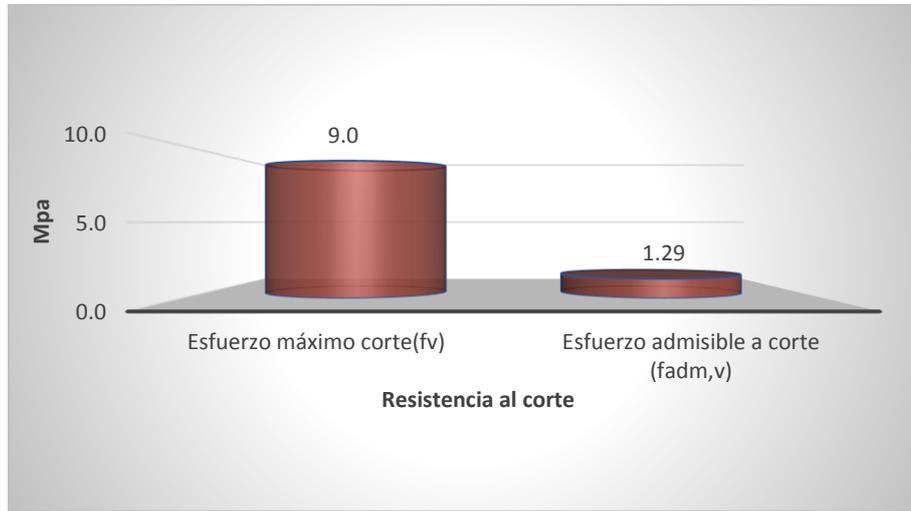
Tabla 11

*Resistencia al corte de la madera *Colubrina glandulosa* Perkins*

Propiedad	Valor (Mpa)
Esfuerzo máximo corte(f_v)	9.00
Esfuerzo admisible a corte ($f_{adm, v}$)	1.29

Figura 9

Resistencia al corte de la madera de Colubrina glandulosa Perkins



En la tabla 11 y figura 9, se observa la resistencia al cizallamiento o corte de la madera *Colubrina glandulosa* Perkins donde el esfuerzo máximo de corte (f_v) tuvo valores de 9,00 Mpa y el esfuerzo admisible a corte ($F_{adm,v}$) obtuvo valor de 1,29 Mpa.

4.1.3. Cumplimiento de propiedades físicas y mecánicas de *Colubrina glandulosa* Perkins y su clasificación para su uso estructural según norma técnica E-010

- **Comparación de propiedades físicas de la madera *Colubrina glandulosa* Perkins con los requerimientos de la RNE E 010**

Tabla 12

Densidad básica para maderas latifoliadas

Grupo	Densidad básica g/cm³
A	$\geq 0,71$
B	0,56 a 0,70
C	0,40 a 0,55
D	0,36 a 0,39

En la tabla 12, se visualiza la propiedad física de densidad básica según los requerimientos de la RNE E 010; y en la tabla 5, donde se muestran las propiedades físicas de la madera *Colubrina glandulosa* Perkins se obtuvo una densidad básica en promedio de 0,58 g/cm³; de acuerdo a esta comparación la madera evaluada se encuentra en el **grupo B** que establece una densidad de 0,56 a 0,70.

- **Comparación de las propiedades mecánicas de la madera *Colubrina glandulosa* Perkins con los requerimientos de RNE E 010**

Tabla 13

Esfuerzos admisibles para maderas latifoliadas Mpa (kg/cm²)

Grupo	Flexión f_m	Tracción Paralela f_t	Compresión Paralela $f_{c//}$	Compresión Perpendicular $f_{c\perp}$	Corte Paralelo f_v
A	20,6 (210)	14,2 (145)	14,2 (145)	3,9 (40)	1,5 (15)
B	14,7 (150)	10,3 (105)	10,8 (110)	2,7 (28)	1,2 (12)
C	9,8 (100)	7,3 (75)	7,8 (80)	1,5 (15)	0,8 (8)
D	6,8 (70)	5,8 (60)	6,2 (63)	1,3 (13)	0,6 (6)

En la tabla 13, se visualiza los requerimientos según la RNE E 010 de las propiedades mecánicas expresadas en esfuerzos admisibles de flexión, compresión paralela, compresión perpendicular y corte paralelo; estos valores se compararon con los valores obtenidos de las especie evaluada, y así, en la tabla 8 se muestra que en la propiedad mecánica de esfuerzo admisible a la flexión, se obtuvo un promedio de 16,21 Mpa de f_m , donde, de acuerdo a la comparación, la madera evaluada se encuentra en el **grupo B**, que establece esfuerzos admisibles de 14,7 Mpa de f_m ; En la tabla 9, se muestra el valor que se obtuvo en la resistencia a la compresión paralela, con un esfuerzo admisible de 11,19 Mpa $F_{adm,c}$ y, de acuerdo a lo establecido en la tabla 13, la especie evaluada, encuentra en el **grupo B** que establece los esfuerzos admisibles de 10,3 Mpa $F_{adm,c}$; en la tabla 10, se obtuvo un valor promedio de 3,79 Mpa de $f_{adm,c}$ de la resistencia a la compresión perpendicular en su esfuerzo admisible; y al compararlo con lo que establece la tabla 13 la madera evaluada se encuentra en el **grupo B**, que establece los esfuerzos admisibles de 2,70 Mpa de $f_{adm,c}$; en la tabla 11, se obtuvo un valor de esfuerzo admisible de 1,29 Mpa de $f_{adm,v}$ de la resistencia al corte y comparando ese valor con lo establecido en la tabla 13, la madera evaluada se encuentra en el **grupo B** que establece los esfuerzos admisibles de 1,2 Mpa de $f_{adm,v}$.

Tomando en cuenta las comparaciones realizadas, la madera de *Colubrina glandulosa* Perkins, estaría clasificada dentro del **grupo B** de madera de latifoliadas, según sus propiedades Mecánicas de esfuerzos o resistencia a la rotura.

- **Comparaciones del módulo de elasticidad para madera de según los requerimientos de RNE E 010**

Tabla 14

Módulo de elasticidad para madera latifoliadas MPa (kg/cm²)

Grupo	E_{min}	E_{prom}
A	9 316 (95 000)	12 748 (130 000)
B	7 355 (75 000)	9 806 (100 000)
C	5 394 (55 000)	8 826 (90 000)
D	4414 (45 000)	6 400 (65 000)

En la tabla 14, se visualiza los requerimientos según la RNE E 010 de las propiedades mecánicas expresadas en módulo de elasticidad, donde en la tabla 8, se muestran que la propiedad mecánica obtuvo un valor promedio de 23627 Mpa del módulo de elasticidad promedio E_{prom}; donde de acuerdo a la comparación de la madera evaluada se encuentra en el **grupo A** que establece el módulo de elasticidad de 12748; y en la misma tabla se muestran las propiedad mecánica obtuvo un valor promedio de 12414 Mpa del módulo de elasticidad mínimo E_{min}; y, de acuerdo a lo establecido en la tabla 14, la madera evaluada se encuentra en el **grupo A** que establece en módulo de elasticidad mínimo de 9316 Mpa.

4.2. Discusión

La investigación realizada para cumplir con el objetivo planteado se llevó a cabo de manera exitosa, lográndose responder la pregunta de investigación, siguiendo una rigurosa metodología al amparo de Normas Técnicas Peruanas. Se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de la madera, necesarias para determinar su uso como madera estructural, encontrándose que la madera de *Colubrina glandulosa* Perkins, cumple con los requerimientos establecidos en la norma técnica REN E010 “Madera”, clasificándose dentro del **Grupo B** de dicha norma.

Para la determinación del uso estructural de la madera de *Colubrina glandulosa* Perkins, se siguieron una serie de pasos conglomerados en tres objetivos específicos, los cuales se discuten a continuación en función a los resultados obtenidos.

En primer lugar, se obtuvieron las propiedades físicas de la madera de *Colubrina glandulosa* Perkins, para esto se siguió la metodología establecida en la NTP 251.011

(Revisada el 2019), donde se estable el proceso a seguir para determinar la densidad básica (INACAL, 2019). Como resultado se obtuvo que en promedio la madera de *Colubrina glandulosa* Perkins tiene una densidad básica de $0,58 \text{ g/cm}^3$, por su parte investigadores como Becerra et al. (2023, p. 4), encontraron una densidad básica para la especie de $0,71 \text{ g/cm}^3$, este valor es mayor al encontrado en el presente estudio, debido que los investigadores utilizaron muestras de árboles más adultos, mientras que la investigación realizada usó como muestra árboles jóvenes proveniente de sistemas agroforestales, donde el crecimiento es más rápido. Por su parte Moya (2016, p. 48), establece que mientras más rápido crezca un árbol, la densidad básica disminuye, lo mismo sucede al comparar la densidad básica de árboles de diferentes edades, estableciendo una relación directa para este caso.

De la misma forma se determinaron las demás propiedades físicas de la madera de *Colubrina glandulosa* Perkins, especialmente el contenido de humedad máximo, encontrándose como resultado un valor de 56,44 %. De la misma manera, se determinaron las densidades anhidra y verde, así como las contracciones de la madera, destacando la relación contracción tangencial – contracción radial, donde el valor de 2,42, es alto y da a entender que se trata de una madera inestable, que no puede usarse para mueblería o carpintería, sin un proceso de secado de calidad. Los valores de contracción establecen una dificultad para el uso de la madera, por lo que necesita un tratamiento de secado adecuado para disminuir la estabilidad dimensional; esto lo detalla López (2021, p. 70), quien, en su investigación con madera estructural, estableció que la relación de las contracciones es primordial para lograr estabilidad estructural, en la especie evaluada alcanzó un valor de 1,00.

En cuanto a las propiedades mecánicas, el cumplimiento del segundo objetivo específico, permitió determinarlos, encontrándose valores de las propiedades mecánicas de esfuerzos a la flexión, compresión paralela a la fibra o grano, compresión perpendicular al grano y corte o cizallamiento; para cumplir con lo requerido en la norma E010, aparte de los esfuerzos máximos y promedios, se calculó el esfuerzo básico y el esfuerzo admisible de las propiedades descritas. El esfuerzo admisible es la expresión de las propiedades mecánicas como se determina su uso estructural de una madera (MVCS, 2021).

En cuanto a las propiedades mecánicas, se obtuvieron como esfuerzos admisibles 16,21 Mpa para la flexión, 11,19 Mpa para la compresión paralela al grano, 3,79 Mpa para

la compresión perpendicular al grano y 1,29 Mpa para el corte o cizallamiento. Estos valores se caracterizan por haber sido determinados a un contenido de humedad cercano a la humedad de equilibrio higroscópico de 12 %, y muy por debajo del valor máximo establecido por la norma E010. Estos valores encontrados tienen una dispersión media, generalmente por encima del 10 % de coeficiente de variabilidad, y esto se debe a la corta edad de los árboles evaluados, dando a notar que la madera aún se encuentra en proceso de duraminización, que es donde esta alcanza la estabilidad característica. La propiedad de deformación a través del módulo de elasticidad encontrado para la especie fue expresada en elasticidad promedio y elasticidad mínima, siendo la más importante la medida realizada a la propiedad de flexión, se obtuvo como resultado 23627 Mpa y 12414 Mpa respectivamente, estos valores tienen mayor variabilidad que el esfuerzo admisible. Estas propiedades son similares a las obtenidas por López (2021, p. 70) para otra especie estructural, donde también fue catalogada en el grupo B, con similares propiedades físicas y mecánicas. Por su parte Chuquimango (2020, p. 85) en un estudio realizado de una especie exótica en plantaciones forestales, obtuvo valores similares; sin embargo, se utilizó valores de esfuerzos promedio, dando una interpretación diferente.

Con las propiedades físicas y mecánicas determinadas, y calculado los esfuerzos admisibles de las propiedades mecánicas, se desarrolló el tercer objetivo específico que buscó categorizar a la madera de *Columbina glandulosa* Perkins, de acuerdo a lo establecido en la norma técnica E010 del Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE. Para esto se tomó en cuenta la densidad básica obtenida de la madera de *Columbina glandulosa* Perkins, y según el resultado obtenido, la madera fue categorizada en el grupo B, el segundo mejor grupo de especies estructurales donde se encuentran especies como *Calycophyllum spruceanum*, *Ormosia coccinea* y *Apuleia leiocarpa*, de acuerdo a lo establecido en la norma E010, estas maderas pueden ser utilizadas como estructuras primarias de madera aserrada, es decir como vigas y columnas, así como estructuras complejas como tijerales o cerchas, estas especies no necesitan ningún tipo de diseño adicional para su uso como estructural (MVCS, 2021).

En cuanto a las propiedades mecánicas, el esfuerzo admisible de las mismas ubica a la madera de *Columbina glandulosa* Perkins dentro del grupo B también, por lo que tendrían las mismas propiedades que las otras especies mencionadas para su uso estructural. Las especies del grupo B, inclusive son superiores en propiedades mecánicas que la especie más

utilizada para estructuras que el tornillo *Cedrelinga cateniformis*, la cual se encuentra categorizada como grupo C; por lo que su uso como madera estructural es potencialmente alto. Tomando en cuenta otras investigaciones, podemos citar a López (2021, p. 70) que categorizó la especie *Manilkara bidentata* dentro del grupo B por tener similares valores de propiedades mecánicas que la especie evaluada; mientras que Chuquimango (2020, p. 85) categorizó la madera de *Eucalyptus globulus* dentro del grupo A, pero esto con determinaciones de esfuerzo promedio, por su parte Chura y Muchica (2020, p. 82), categorizaron a la madera de *Pinus radiata* en el grupo C, por no alcanzar los valores mínimos de resistencia; en su estudio, Alca (2024, p. 157) categorizó a la madera de *Brosimum utile* (Palo blanco), dentro del grupo B en función a sus propiedades mecánicas.

Luego de la discusión de los resultados, se puede afirmar que los mismos son confiables y pueden ser utilizados en la solución del problema de investigación; esto debido a que siguió rigurosamente la metodología establecida en las Norma Técnicas Peruanas consultadas, la aplicación de la estadística para considerar la validez de los resultados y porque se encuentra alineado con otras investigaciones realizadas por otros investigadores. La investigación realizada se encuentra inmersa en la necesidad de detallar las propiedades físicas y mecánicas de la madera para ser utilizada como estructural en la industria de la construcción, aportando nuevos conocimientos tecnológicos que pueden ser considerados para la formulación de proyectos de infraestructura de madera, donde se contempla reemplazar las clásicas especies para uso estructural proveniente de bosques por especies proveniente de plantaciones que tienen similares propiedades tecnológicas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se determinó las propiedades físicas de la madera *Colubrina glandulosa* Perkins encontrándose una densidad básica promedio de 0,58 g/cm³; una humedad máxima promedio de 56,44 % y una contracción volumétrica de 13,77 %.

Se determinó las propiedades mecánicas de flexión, compresión paralela, compresión perpendicular y corte de *Colubrina glandulosa* Perkins expresadas en su esfuerzo admisible encontrándose que para la flexión $f_{am,m}$ es de 16,21 Mpa, compresión paralela $f_{adm,c}$ es de 11,19 Mpa, resistencia a la compresión perpendicular $f_{adm,c}$ es de 3,79 Mpa y la resistencia al cizallamiento $f_{adm,v}$ es de 1.29 Mpa; así mismo el módulo de elasticidad promedio E_{prom} fue de 23 627 Mpa y el módulo de elasticidad mínimo E_{min} fue de 12 414 Mpa.

Se estableció la clasificación las propiedades físicos y mecánicas de *Colubrina glandulosa* Perkins para su uso estructural según norma técnica E-010, encontrándose que según la densidad básica pertenece al grupo B; flexión pertenece al grupo B, la compresión paralela pertenece al grupo B, compresión perpendicular pertenece al grupo B y la resistencia al cizallamiento pertenece al grupo B; así mismo, el módulo de elasticidad promedio pertenece al grupo A, y el módulo de elasticidad mínima pertenece al grupo A; quedando establecido su clasificación promedio general en el grupo B.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda a los programas de reforestación, empresas reforestadoras, instituciones públicas y privadas que se dedican a la actividad de reforestación, considerar la especie *Colubrina glandulosa* Perkins por tener un crecimiento y propiedades físicas y mecánicas adecuadas para diversos usos como estructural, construcción, pisos, durmientes de minas, entre otros.

Se recomienda a la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Cajamarca Filial Jaén, promover la investigación en especies introducidas por los programas de reforestación para establecer a nivel local sus propiedades dendrométricas, silviculturales, tecnológicas y generar recomendaciones de uso.

A los estudiantes egresados de la Escuela de Ingeniería Forestal realizar sus investigaciones de tesis de *Colubrina glandulosa* Perkins para complementar los conocimientos sobre silvicultura, ecología, regeneración, industrialización entre otros con el fin de generar conocimiento aplicado que sea de utilidad para las instituciones que se dedican a la reforestación

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alca Vargas, G. A. (2024). Clasificación estructural de la madera palo blanco utilizada en construcción en el distrito de Kumpirushiato, provincia La Convención, departamento Cusco, 2021. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/8515>
- Arbildo Trinidad, L. G. (2015). Determinación de los valores de algunas propiedades físicas y su variación por niveles de fuste de la madera de *dipteryx odorata* (Shihuahuaco) de una plantación de tres años de edad del distrito de Campoverde, región Ucayali. <https://apirepositorio.unu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/27af2e93-d5aa-4210-a09d-e7762700dd89/content>
- Becerra Montalvo, V., Alberca Cruz, E. Y., Díaz Pérez, J., y Diaz Bautista, K. M. (2023). *Evaluación de las propiedades de trabajabilidad de la madera de Colubrina glandulosa Rich. ex Brongn, Jaén, 2023*. Universidad Nacional de Cajamarca. https://www.researchgate.net/publication/373923984_Evaluacion_de_la_trabajabilidad_de_la_madera_de_Columbrina_glandulosa
- Carro LLorente, S. (2021). *Caracterización elasto-mecánica de probetas sin termotratar y termotrataadas para uso estructural de madera de Eucaliptus nitens H. Deane and Maiden*. Universidad de Valladolid. Valladolid, España: Repositorio Institucional UV. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/50748>
- Chicaiza Aucancela, M. R. (2022). *Comparación de las propiedades físicas y mecánicas entre las especies arbóreas estudiadas: Platuquero, Pino Caribe y Pino Patula*. Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería. Riobamba, Ecuador: Repositorio Digital UNACH. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8879/1/1.%20Tesis%20Final.pdf>
- Chuquimango Guerrero, A. (2020). *Evaluación de la madera eucalipto con fines estructurales, Chalarca (sector tierra negra), Chota, 2018*. Universidad Nacional Autónoma de Chota, Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Chota, Perú: Repositorio Institucional UNACH. <https://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/173>

- Chura Quispe, N. S., & Muchica Sillo, J. (2019). *Factibilidad del uso de la madera Pinus radiata como material estructural para la construcción de tijerales en la región Puno*. Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Puno: Repositorio Institucional UPEU. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4354>
- Cubillos Liévano, A. M., Inilla Castañeda, C. A., Vanegas Casa, K., Alfonso Martínez, M. F., & Hernández, M. Á. (2019). Propiedades mecánicas de la madera de Chuguaca (*Hyeronima macrocarpa* Schltr.) para la identificación de su uso potencial. *Boletín Semillas Ambientales*, 13(2), 36–48. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/15871/15472>
- Fernández Zárate, F. H. (2018). *Propiedades organolépticas, físicas y mecánicas de la madera de Cordia alliodora (R. y P.) Oken de parcelas agroforestales en Jaén, Cajamarca*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Jaén, Facultad de Ingeniería Forestal y Ambiental, Jaén, Perú. https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/113/1/Fernandez_ZFH.pdf
- Garzón López, C. D. (2022). *Caracterización de propiedades físicas y mecánicas para el uso estructural de la madera de la especie Acacia Mangium*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia: Repositorio Institucional UN. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/82854/1049646832.2022.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Gutiérrez Pacheco, L. A. (2006). *Cómo elegir madera según los usos en arquitectura y construcción*. Universidad Privada Antenor Orrego. https://issuu.com/ideasconviccion/docs/guia_maderas
- Hass, O. O., Sanches Ornellas, T., & Bittencourt, R. (2022). Propagação in vitro de Colubrina glandulosa Perkins: espécie nativa com potencial para programas de reflorestamento. *Ciência Florestal*, 32(1), 287-308. <https://www.scielo.br/j/cflo/a/8YfJ6FH7qQzWxv8ntRYXLpS/?format=pdf&lang=pt>

- INACAL. (2014). *NTP 251.010 Madera. Método para determinar el contenido de humedad*. Lima, Perú: Dirección de Normalización.
- INACAL. (2014). *NTP 251.014 Madera. Método para determinar compresión axial o paralela al grano*. Lima, Perú: Dirección de Normalización.
- INACAL. (2015). *NTP 251. 001 Madera. Terminología*. Lima, Perú: Dirección de Normalización.
- INACAL. (2015). *NTP 251.013 Madera. Método para determinar el cizallamiento paralelo al grano*. Lima, Perú: Dirección de Normalización.
- INACAL. (2015). *NTP 251.016 Madera. Método para determinar la compresión perpendicular al grano*. Lima, Perú: Dirección de Normalización.
- INACAL. (2016). *NTP 251. 008 Madera y Carpintería para Construcción. Selección y colección de muestras*. Lima, Perú: Dirección de Normalización.
- INACAL. (2017). *NTP 251.104. Madera Aserrada. Madera aserrada para uso estructural. Clasificación visual y requisitos*. Lima, Perú: Dirección de Normalización.
- INACAL. (2019). *NTP 251.011 Madera. Método para determinar la densidad*. Lima, Perú: Dirección de Normalización.
- INACAL. (2019). *NTP 251.017 Madera. Método para determinar la flexión estática*. Lima, Perú: Dirección de Normalización.
- López Varas, B. J. (2021). *Propiedades físicas y mecánicas de la madera "quinilla" Manilkara bidentata como material de construcción en Estado Verde, Iquitos 2019*. Universidad Científica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Iquitos: Repositorio Institucional UCP.
<http://repositorio.ucp.edu.pe:8080/server/api/core/bitstreams/11045515-3b1b-4a93-b514-d3f702bef451/content>
- Luciano de A. Melo Junior, J., Ferreira de Andrade Melo, L. D., Ferreira, V., & Araujo Neto, J. (2019). Seed longevity of *Colubrina glandulosa* Perkins stored. *Revista de Ciencias Agrarias*, 42(2), 101-110.

https://www.researchgate.net/publication/335739170_Seed_longevity_of_Colubrina_glandulosa_Perkins_stored

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2021). *Norma Técnica E. 010 Madera del Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2079964/NORMA%20T%C3%89CNICA%20E.010%20MADERA%20DEL%20REGLAMENTO%20NACIONAL%20DE%20EDIFICACIONES.pdf>
- Moya Roque, R. (2016). Influencia de la edad del cambium, tasa de crecimiento y nivel de precipitación sobre la densidad básica de la teca en Costa Rica. *Madera Y Bosques*, 8(1), 39–49. <https://doi.org/10.21829/myb.2002.811304>
- Moya-Roque, R., & Gonzáles Beltrán, G. (2014). Esfuerzos admisibles de diseño por grado estructural para nueve maderas de plantación de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 11(26), 01 - 14. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/1589/1486>
- Municipalidad Distrital San José del Alto. (2020). *Memoria descriptiva para el proyecto: Mejoramiento del camino vecinal CA-665: EMP_PE-02B (cruce Cochalàn) – San Miguel – San José del Alto – La Laguna, Distrito San José del Alto, Provincia de Jaén, Departamento de Cajamarca*.
- Muñoz Sisniegas, R. d. (2014). *Efecto de un fertilizante foliar en tres especies forestales producidas con sustrato espuma agrícola en vivero*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables. <https://docplayer.es/138985808-Universidad-nacional-agraria-de-la-selva.html>
- Oré Cierta, L. E., Hidalgo Ríos, D., Rengifo Trigozo, J. P., & Loarte Aliaga, W. C. (2022). Efecto de sustrato orgánico en crecimiento de plantulas de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) y shaina (*Colubrina glandulosa* Perkins.) en fase de vivero – San Martín, 2022. *FitoVida*, 1(1), 12 - 23. <https://revistas.unid.edu.pe/index.php/FitoVida/article/view/3/3>
- Osis Lipa, D. B., & Muñoz Fernández, A. (2022). *Determinación de las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Pino (*Pinus radiata*) y*

Ciprés (Cupressus lusitánica), para su uso como Material Estructural y su Aplicación al Diseño de un Tijeral Par y Nudillo, Abancay. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Facultad de Ingeniería. Abancay, Perú: Repositorio Institucional UNAMBA.
https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1147/T_776.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Quispe Rojas, S. V. (2022). *Análisis comparativo de la resistencia a la flexión en vigas de la madera de Shihuahuaco y Quinilla Comercializada en el distrito de Irazola - provincia de Padre Abad - departamento de Ucayali - 2021.* Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura. Huánuco, Perú: Repositorio Institucional UNHEVAL.
<https://repositorio.unheval.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/ad84a6c5-852d-4bfa-90d4-e0923eedadfb/content>

Rubio Esteban, Y. A. (2021). *Análisis de densidad básica de la madera de Pona (Socratea Exorrhiza) y su categorización dentro de los grupos de la madera de acuerdo a la norma E.010, en el Valle del Monzón, provincia de Huamalíes, departamento de Huánuco - 2019.* Universidad de Huánuco, Facultad de Ingeniería. Huánuco: Repositorio Institucional UDH.
<https://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/3118>

Salazar Polonio, K. L. (2020). *Efecto de la fertilización en el crecimiento de Colubrina glandulosa Perkins (shaina) establecido en suelo degradado en el centro poblado de Naranjillo.* Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables. Tingo Marí, Perú: Repositorio Institucional UNAS.
<https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/be6b1e9d-cfba-47d4-b79c-7c39932aed82/content>

Suasnabar Berrospi, C., & Monge Davila, W. K. (2019). *Características anatómicas y propiedades físico - mecánicas de tres especies forestales, iscozacín, Oxapampa – Pasco.* Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. Huancayo, Perú: Repositorio Institucional UNCP.
https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5192/T010_N%c2%b072551964_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CAPÍTULO VII

ANEXO

Anexos 1. Matriz de consistencia de la investigación

PROBLEMA	OBJETIVOS	IPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p>General:</p> <p>¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de Colubrina glandulosa Perkins para uso estructural según norma técnica E-010?</p>	<p>General:</p> <p>Determinar las propiedades físicas y mecánicas de Colubrina glandulosa Perkins para uso estructural según norma técnica E-010.</p> <p>Específicos:</p> <p>Determinar las propiedades físicas de densidad y contenido de humedad de Colubrina glandulosa Perkins para su uso estructural.</p> <p>Determinar las propiedades mecánicas de flexión, compresión paralela, compresión perpendicular y corte de Colubrina glandulosa Perkins para su uso estructural.</p> <p>Verificar el cumplimiento las propiedades físicas y mecánicas de Colubrina glandulosa Perkins y su clasificación para su uso estructural según norma técnica E-010.</p>	<p>General:</p> <p>Las propiedades físicas y mecánicas de Colubrina glandulosa Perkins cumplen con los requerimientos para uso estructural según la norma técnica E-010.</p>	<p>Propiedades físicas y mecánicas</p>	<p>Tipo de Investigación: Descriptiva, aplicada, no experimental.</p> <p>Fuentes de información: Primaria</p> <p>Técnica e instrumentos: Observación directa y los instrumentos son formatos de recolección de información de campo.</p>

Anexo 2. Datos obtenidos de las probetas *Colubrina glandulosa* Perkins para la determinación de las propiedades físicas

Nº	CÓDIGO	PESO HÚMEDO	PESO SECO	DLH	DLS	DTH	DTS	DRH	DRS	V.H.	V.S.	DB	DA	DV	CHbs	CHbh	CL	CT	CR	CV	CT/CR
1	S1-1	80,72	51,93	99,63	99,59	30,74	29,45	29,75	29,03	91,12	85,13	0,57	0,61	0,89	55,44	35,67	0,04	4,22	2,42	6,57	1,74
2	S1-2	75,37	48,22	100,09	99,91	30,62	27,95	29,19	28,80	89,46	80,43	0,54	0,60	0,84	56,30	36,02	0,18	8,71	1,34	10,09	6,52
3	S1-3	78,69	56,71	99,76	99,72	29,95	28,40	30,34	28,49	90,63	80,70	0,63	0,70	0,87	38,76	27,93	0,04	5,15	6,08	10,95	0,85
4	S1-4	78,63	48,34	99,68	99,65	30,12	27,75	30,30	28,75	90,97	79,48	0,53	0,61	0,86	62,66	38,52	0,03	7,88	5,13	12,63	1,54
5	S1-5	84,84	49,85	99,70	99,63	28,97	25,59	30,44	28,68	87,93	73,10	0,57	0,68	0,96	70,19	41,24	0,07	11,69	5,79	16,86	2,02
6	S1-6	86,02	60,44	100,03	99,92	30,30	27,38	30,84	27,83	93,49	76,14	0,65	0,79	0,92	42,32	29,74	0,11	9,65	9,77	18,56	0,99
7	S1-7	76,74	47,75	99,90	99,75	29,79	27,81	30,01	28,65	89,32	79,48	0,53	0,60	0,86	60,71	37,78	0,15	6,67	4,52	11,02	1,48
8	S1-8	84,40	52,49	99,70	99,57	29,91	27,60	30,30	29,43	90,38	80,90	0,58	0,65	0,93	60,79	37,81	0,13	7,72	2,87	10,49	2,69
9	S1-9	82,68	52,37	100,15	99,43	29,71	27,35	30,28	27,31	90,11	74,29	0,58	0,70	0,92	57,88	36,66	0,72	7,94	9,80	17,56	0,81
10	S1-10	80,61	48,80	99,70	99,65	29,95	27,87	30,51	28,93	91,10	80,35	0,54	0,61	0,88	65,18	39,46	0,05	6,95	5,18	11,81	1,34
	PROMEDIO	80,87	51,69	99,83	99,68	30,01	27,71	30,20	28,59	90,45	79,00	0,57	0,66	0,89	57,02	36,08	0,15	7,66	5,29	12,65	2,00
	D.S.	3,578	4,129	0,192	0,151	0,498	0,963	0,456	0,607	1,460	3,553	0,040	0,064	0,039	9,736	4,177	0,206	2,135	2,821	3,818	1,688
	C.V. (%)	4,42	7,99	0,19	0,15	1,66	3,47	1,51	2,12	1,61	4,50	6,92	9,82	4,32	17,07	11,58	135,43	27,89	53,33	30,17	84,54
11	S2-1	84,90	57,61	100,00	99,40	33,42	29,91	30,15	27,21	100,78	80,90	0,57	0,71	0,84	47,37	32,14	0,60	10,52	9,75	19,73	1,08
12	S2-2	86,97	61,22	99,99	99,88	32,65	26,31	28,53	27,57	93,14	72,43	0,66	0,85	0,93	42,06	29,61	0,11	19,44	3,37	22,23	5,78
13	S2-3	80,65	63,82	100,69	99,60	31,67	29,63	30,63	29,07	97,67	85,79	0,65	0,74	0,83	26,37	20,87	1,08	6,44	5,09	12,17	1,26
14	S2-4	80,99	60,12	99,01	98,99	30,52	25,86	27,28	23,34	82,42	59,76	0,73	1,01	0,98	34,71	25,77	0,02	15,26	14,42	27,49	1,06
15	S2-5	84,06	66,22	99,11	98,75	33,62	26,08	30,09	28,07	100,26	72,29	0,66	0,92	0,84	26,94	21,22	0,36	22,42	6,72	27,90	3,33
16	S2-6	80,93	64,71	100,50	99,15	32,76	29,29	29,52	28,55	97,20	82,92	0,67	0,78	0,83	25,07	20,04	1,34	10,59	3,29	14,69	3,22
17	S2-7	88,98	60,61	99,52	99,48	32,56	29,78	29,61	28,29	95,94	83,80	0,63	0,72	0,93	46,81	31,88	0,04	8,54	4,46	12,65	1,92
18	S2-8	90,95	62,65	99,78	99,65	32,28	29,02	29,46	28,18	94,89	81,51	0,66	0,77	0,96	45,17	31,12	0,13	10,09	4,33	14,10	2,33
19	S2-9	83,33	63,85	100,16	98,90	32,52	30,28	29,67	28,58	96,64	85,59	0,66	0,75	0,86	30,51	23,38	1,26	6,88	3,68	11,44	1,87
20	S2-10	97,44	65,84	100,28	99,35	32,88	29,30	30,31	29,41	99,94	85,61	0,66	0,77	0,98	48,00	32,43	0,93	10,90	2,96	14,34	3,68
	PROMEDIO	85,92	62,67	99,90	99,32	32,49	28,55	29,52	27,83	95,89	79,06	0,65	0,80	0,90	37,30	26,85	0,59	12,11	5,81	17,67	2,55
	D.S.	5,340	2,748	0,557	0,361	0,882	1,739	0,979	1,702	5,321	8,431	0,038	0,094	0,064	9,546	5,135	0,526	5,297	3,652	6,265	1,480
	C.V. (%)	6,22	4,39	0,56	0,36	2,71	6,09	3,32	6,12	5,55	10,66	5,86	11,76	7,08	25,59	19,13	89,53	43,75	62,88	35,45	57,98

21	S3-1	75,77	48,38	99,83	99,69	29,80	28,64	29,70	29,56	88,35	84,40	0,55	0,57	0,86	56,61	36,15	0,14	3,88	0,47	4,47	8,23
22	S3-2	74,90	45,90	99,72	99,70	30,30	27,75	30,18	29,39	91,19	81,30	0,50	0,56	0,82	63,18	38,72	0,02	6,89	2,63	10,84	2,62
23	S3-3	81,12	49,11	99,83	99,66	29,91	27,86	29,68	28,74	88,62	79,81	0,55	0,62	0,92	65,18	39,46	0,17	6,84	3,17	9,95	2,16
24	S3-4	82,33	47,25	99,73	99,61	30,81	28,44	28,39	24,47	87,23	69,32	0,54	0,68	0,94	74,24	42,61	0,12	7,69	13,81	20,53	0,56
25	S3-5	77,53	48,84	99,87	99,57	30,20	28,44	30,37	29,38	91,58	83,18	0,53	0,59	0,85	58,74	37,01	0,30	5,83	3,26	9,17	1,79
26	S3-6	75,50	45,50	99,84	99,65	30,23	25,95	30,07	29,04	90,74	75,10	0,50	0,61	0,83	65,93	39,74	0,19	14,14	3,41	17,23	4,14
27	S3-7	72,79	45,38	100,06	99,64	30,12	28,41	29,86	29,08	89,99	82,31	0,50	0,55	0,81	60,40	37,66	0,42	5,68	2,62	8,54	2,16
28	S3-8	76,22	47,94	100,02	99,94	30,36	28,27	30,07	29,24	91,31	82,59	0,53	0,58	0,83	58,99	37,10	0,08	6,88	2,78	9,55	2,47
29	S3-9	75,10	45,26	99,93	99,84	30,23	27,76	30,09	28,93	90,90	80,19	0,50	0,56	0,83	65,93	39,73	0,09	8,15	3,87	11,78	2,11
30	S3-10	72,80	46,11	99,86	99,33	30,64	28,25	28,59	28,43	87,49	79,79	0,53	0,58	0,83	57,88	36,66	0,53	7,79	0,57	8,80	13,64
	PROMEDIO	76,41	46,97	99,87	99,66	30,26	27,98	29,70	28,63	89,74	79,80	0,52	0,59	0,85	62,71	38,48	0,21	7,38	3,66	11,09	3,99
	D.S.	3,160	1,512	0,110	0,161	0,302	0,776	0,673	1,497	1,663	4,483	0,021	0,037	0,044	5,328	1,964	0,162	2,684	3,743	4,599	3,974
	C.V. (%)	4,14	3,22	0,11	0,16	1,00	2,77	2,27	5,23	1,85	5,62	3,96	6,34	5,11	8,50	5,10	78,72	36,38	102,30	41,48	99,62
31	S4-1	88,82	45,34	99,70	99,63	29,56	27,95	30,50	29,15	89,89	81,17	0,50	0,56	0,99	95,90	48,95	0,07	5,45	4,43	9,70	1,23
32	S4-2	85,64	52,87	99,92	99,63	29,78	26,96	30,18	28,65	89,79	76,95	0,59	0,69	0,95	61,98	38,26	0,29	9,48	5,05	14,30	1,88
33	S4-3	80,75	53,05	100,15	100,09	28,92	26,74	29,61	28,34	85,76	75,85	0,62	0,70	0,94	52,21	34,30	0,06	7,55	4,28	11,56	1,76
34	S4-4	87,42	52,34	100,22	99,95	29,92	27,05	30,56	29,09	91,63	78,65	0,57	0,67	0,95	67,02	40,13	0,27	9,58	4,81	14,16	1,99
35	S4-5	87,07	44,87	100,09	99,68	29,36	27,66	30,22	29,30	88,81	80,78	0,51	0,56	0,98	94,05	48,47	0,41	5,78	3,07	9,04	1,88
36	S4-6	83,62	50,83	99,79	99,59	29,83	27,16	29,24	27,87	87,03	75,38	0,58	0,67	0,96	64,51	39,21	0,20	8,94	4,70	13,39	1,90
37	S4-7	86,21	52,50	100,28	99,76	30,48	28,06	29,81	28,50	91,10	79,76	0,58	0,66	0,95	64,21	39,10	0,52	7,94	4,39	12,44	1,81
38	S4-8	79,23	49,28	99,80	99,79	29,00	25,79	29,17	27,92	84,40	71,85	0,58	0,69	0,94	60,78	37,80	0,01	11,06	4,29	14,88	2,58
39	S4-9	86,35	52,23	100,08	100,00	29,95	27,44	30,02	28,74	89,99	78,86	0,58	0,66	0,96	65,33	39,51	0,08	8,38	4,27	12,37	1,96
40	S4-10	76,27	46,69	100,19	99,60	28,79	26,41	29,11	28,21	83,99	74,20	0,56	0,63	0,91	63,35	38,78	0,59	8,28	3,10	11,65	2,67
	PROMEDIO	84,14	50,00	100,02	99,77	29,56	27,12	29,84	28,58	88,24	77,34	0,57	0,65	0,95	68,93	40,45	0,25	8,24	4,24	12,35	1,97
	D.S.	4,089	3,239	0,204	0,182	0,537	0,700	0,542	0,503	2,760	3,030	0,036	0,051	0,022	14,306	4,634	0,203	1,707	0,660	1,935	0,408
	C.V. (%)	4,86	6,48	0,20	0,18	1,82	2,58	1,82	1,76	3,13	3,92	6,40	7,94	2,34	20,75	11,45	81,40	20,71	15,57	15,67	20,72
41	S5-1	89,38	56,84	99,99	99,81	30,71	27,98	31,26	29,34	95,99	81,92	0,59	0,69	0,93	57,25	36,41	0,18	8,89	6,16	14,66	1,44
42	S5-2	100,16	66,22	100,31	99,50	31,57	28,82	30,29	28,56	95,92	81,90	0,69	0,81	1,04	51,25	33,89	0,81	8,71	5,71	14,62	1,52

43	S5-3	85,81	55,25	99,62	99,50	31,29	28,97	30,46	28,79	94,95	82,99	0,58	0,67	0,90	55,31	35,61	0,12	7,40	5,49	12,60	1,35
44	S5-4	95,40	61,76	100,04	99,80	31,25	27,19	30,38	27,88	94,98	75,66	0,65	0,82	1,00	54,47	35,26	0,24	13,00	8,21	20,33	1,58
45	S5-5	91,01	57,08	99,92	99,56	31,45	28,51	30,38	28,50	95,47	80,91	0,60	0,71	0,95	59,44	37,28	0,36	9,35	6,18	15,25	1,51
46	S5-6	92,20	58,44	100,15	100,07	31,23	28,18	30,23	27,75	94,54	78,25	0,62	0,75	0,98	57,77	36,62	0,08	9,77	8,19	17,23	1,19
47	S5-7	87,07	55,93	99,99	99,94	31,19	29,49	30,60	29,25	95,42	86,20	0,59	0,65	0,91	55,68	35,76	0,05	5,44	4,42	9,67	1,23
48	S5-8	85,54	54,77	99,89	99,63	30,69	27,88	31,34	29,56	96,09	82,09	0,57	0,67	0,89	56,18	35,97	0,26	9,17	5,70	14,57	1,61
49	S5-9	88,84	55,31	99,86	99,46	30,08	26,44	30,34	28,95	91,13	76,13	0,61	0,73	0,97	60,62	37,74	0,40	12,11	4,57	16,46	2,65
50	S5-10	81,44	52,70	100,67	99,83	30,27	27,19	29,82	28,22	90,87	76,60	0,58	0,69	0,90	54,54	35,29	0,83	10,18	5,35	15,70	1,90
	PROMEDIO	89,69	57,43	100,04	99,71	30,97	28,06	30,51	28,68	94,54	80,26	0,61	0,72	0,95	56,25	35,98	0,33	9,40	6,00	15,11	1,60
	D.S.	5,357	3,922	0,285	0,209	0,507	0,935	0,465	0,611	1,928	3,456	0,037	0,058	0,051	2,685	1,103	0,281	2,148	1,296	2,802	0,421
	C.V. (%)	5,97	6,83	0,29	0,21	1,64	3,33	1,52	2,13	2,04	4,31	6,11	8,12	5,38	4,77	3,06	84,18	22,85	21,60	18,54	26,35

DLH: dimensión longitudinal humedad en mm.

DTH: dimensión tangencial húmeda en mm.

DRH: dimensión radial humedad en mm.

DRS: dimensión radial seca en mm.

CHbs: contenido humedad base seca.

CHbh: contenido humedad base humedad.
contracciones

DLS: dimensión longitudinal seca en mm

DTS: dimensión tangencial seca en mm.

V.H: volumen húmedo en cm³.

V.S: volumen seco en cm³.

CL: contracción longitudinal %.

CT: contracción tangencial %.

DB: densidad básica g/cm³.

DA: densidad anhidra g/cm³.

DV: densidad verde g/cm³.

CR: contracción radial %.

CV: contracción verde %.

CT/CR: relación de

Anexo 2.1. Consolidado de las propiedades físicas de los 5 árboles muestreados de *Colubrina glandulosa* Perkins.

MUESTRA	ESTADÍSTICO	DENSIDAD BÁSICA	DENSIDAD ANHIDRA	DENSIDAD VERDE	CONTRACCIÓN TANGENCIAL	CONTRACCIÓN RADIAL	CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA	RELACIÓN CT/CR	MAX. CONTENIDO DE HUMEDAD
M1	X	0,57	0,66	0,89	7,66	5,29	12,65	2,00	57,02
	C.V.	6,92	9,82	4,32	27,89	53,33	30,17	84,54	17,07
M2	X	0,65	0,80	0,90	12,11	5,81	17,67	2,55	37,30
	C.V.	5,86	11,76	7,08	43,75	62,88	35,45	57,98	25,59
M3	X	0,52	0,59	0,85	7,38	3,66	11,09	3,99	62,71
	C.V.	3,96	6,34	5,11	36,38	102,30	41,48	99,62	8,50
M4	X	0,57	0,65	0,95	8,24	4,24	12,35	1,97	68,93
	C.V.	6,40	7,94	2,34	20,71	15,57	15,67	20,72	20,75
M5	X	0,61	0,72	0,95	9,40	6,00	15,11	1,60	56,25
	C.V.	6,11	8,12	5,38	22,85	21,60	18,54	26,35	4,77
Promedio	X	0,58	0,68	0,91	8,96	5,00	13,77	2,42	56,44
	C.V.	5,85	8,80	4,85	30,31	51,14	28,26	57,84	15,34

Anexo 2.2. Cuadro resumen de las propiedades físicas de *Colubrina glandulosa* Perkins.

Nº	PROPIEDAD FÍSICA	ITEM	VALOR	NORMA DE REFERENCIA
1	Densidad básica	X (g.cm ⁻³)	0,58	NTP 251.011:2014 (Revisada el 2019)
		C.V. (%)	5,85	
2	Densidad anhidra	X (g.cm ⁻³)	0,68	NTP 251.011:2014 (Revisada el 2019)
		C.V. (%)	8,80	
3	Densidad Verde	X (g.cm ⁻³)	0,91	NTP 251.011:2014 (Revisada el 2019)
		C.V. (%)	4,85	
4	Contracción tangencial	X (%)	8,96	NTP 251.012:2015
		C.V. (%)	30,31	
5	Contracción Radial	X (%)	5,00	NTP 251.012:2015
		C.V. (%)	51,14	
6	Contracción Volumétrica	X (%)	13,77	NTP 251.012:2015
		C.V. (%)	28,26	
7	Relación CT/CR	Relación	2,42	NTP 251.012:2015
		C.V. (%)	57,84	
8	Humedad	X (%)	56,44	NTP 251.010:2014
		C.V. (%)	15,34	

Anexo 3. Propiedades mecánicas de la madera de *Colubrina glandulosa* Perkins.

Anexos 3.1. Datos de flexión de la madera de *Colubrina glandulosa* Perkins.

Nº	PROBETA	CARGA (Q) (N)	CARGA (P) (N)	DISTANCIA (a) (mm)	ANCHO VIGA (mm)	ESPESOR VIGA (mm)	MÓDULO DE SECCIÓN (Z)	MOMENTO INERCIA (I)	DEFORMACIÓN (d)(mm)	ESFUERZO MÁXIMO A LA FLEXIÓN ($f_{m,u}$) (Mpa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_m) (Mpa)
9	M3 - 3F	21817	21070	375	50	50	125000	6250000	4,90	98,18	13061
10	M4 - 1F	22014	25872	375	50	50	125000	6250000	4,00	99,06	19647
11	M4 - 2F	22465	23030	375	50	50	125000	6250000	4,20	101,09	16656
14	M5 - 2F	22681	19208	375	50	50	125000	6250000	4,70	102,06	12414
6	M2 - 3F	22926	26950	375	50	50	125000	6250000	5,10	103,17	16051
8	M3 - 2F	24800	24598	375	50	50	125000	6250000	4,20	111,60	17790
7	M3 - 1F	25663	25676	375	50	50	125000	6250000	5,00	115,48	15598
1	M1 - 1F	28057	30184	375	50	50	125000	6250000	2,50	126,25	36674
12	M4 - 3F	28351	29792	375	50	50	125000	6250000	5,10	127,58	17744
4	M2 - 1F	28940	31262	375	50	50	125000	6250000	4,00	130,23	23740
13	M5 - 1F	29136	29400	375	50	50	125000	6250000	4,50	131,11	19845
2	M1 - 3F	30705	30772	375	50	50	125000	6250000	2,50	138,17	37388
5	M2 - 2F	30803	31066	375	50	50	125000	6250000	4,20	138,62	22467
3	M1 - 4F	32962	33712	375	50	50	125000	6250000	2,00	148,33	51200
15	M5 - 3F	32962	33712	375	50	50	125000	6250000	3,00	148,33	34133
PROMEDIO										121,28	23627
D.S.										18,03	11142,77
C.V. (%)										14,86	47,16
		ESFUERZO BÁSICO A FLEXIÓN ($f_{básico,m}$)								99,44	
		ESFUERZO ADMISIBLE A FLEXIÓN ($f_{adm,m}$)								16,21	
		MÓDULO DE ELASTICIDAD MÍNIMO (E_{min})									12414
		MÓDULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO (E_{prom})									23627

Anexo 3.2. Datos de la compresión paralela de la madera de *Colubrina glandulosa* Perkins.

Nº	PROBETA	CARGA (Q)	CARGA (P)	LUZ (L)	ANCHO (a)	ESPESOR (e)	DEFORMACIÓN (d)	ESFUERZO MÁXIMO A COMPRESIÓN PARALELA (f_c)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_c)
11	M4 - 2//	14850	12623	15,00	5,00	5,00	0,20	60,55	3860
12	M4 - 3//	15360	13056	15,00	5,00	5,00	0,15	62,63	5324
10	M4 - 1//	15680	13328	15,00	5,00	5,00	0,10	63,93	8152
8	M3 - 2//	15680	13328	15,00	5,00	5,00	0,15	63,93	5434
7	M3 - 1//	15770	13405	15,00	5,00	5,00	0,11	64,30	7453
2	M1 - 3//	16110	13694	15,00	5,00	5,00	0,10	65,69	8375
5	M2 - 2//	16160	13736	15,00	5,00	5,00	0,20	65,89	4201
9	M3 - 3//	16830	14306	15,00	5,00	5,00	0,10	68,62	8750
4	M2 - 1//	17020	14467	15,00	5,00	5,00	0,10	69,40	8848
6	M2 - 3//	17440	14824	15,00	5,00	5,00	0,30	71,11	3022
14	M5 - 2//	18140	15419	15,00	5,00	5,00	0,20	73,97	4715
3	M1 - 4//	18210	15479	15,00	5,00	5,00	0,10	74,25	9467
1	M1 - 1//	18520	15742	15,00	5,00	5,00	0,10	75,51	9628
13	M5 - 1//	18590	15802	15,00	5,00	5,00	0,10	75,80	9665
PROMEDIO								68,26	6921
D.S.								5,14	2384,33
C.V. (%)								7,54	34,45
ESFUERZO BÁSICO A COMPRESIÓN PARALELA ($f_{básico,c}$)								62,37	
ESFUERZO ADMISIBLE A COMPRESIÓN PARALELA ($f_{adm,c}$)								11,19	
MÓDULO DE ELASTICIDAD MÍNIMO COMPRESIÓN PA. (E_{min})									8750
MÓDULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO COMPRESIÓN PA. (E_{prom})									6921

Anexos 3.3. Datos de la compresión perpendicular de la madera de *Colubrina glandulosa* Perkins.

Nº	PROBETA	CARGA (Q)	SUPERFICIE CONTACTO (A)	ESFUERZO MÁXIMO COMPRESIÓN PERP. (fc)
10	M4 - 1⊥	5466	25,00	22,29
11	M4 - 2⊥	5648	25,00	23,03
12	M4 - 3⊥	5998	25,00	24,46
8	M3 - 2⊥	6420	25,00	26,18
7	M3 - 1⊥	6500	25,00	26,50
2	M1 - 2⊥	6690	25,00	27,28
9	M3 - 3⊥	6920	25,00	28,22
15	M5 - 3 ⊥	7080	25,00	28,87
13	M5 - 1⊥	7390	25,00	30,13
3	M1 - 3⊥	7550	25,00	30,78
4	M2 - 1⊥	7560	25,00	30,83
14	M5 - 2⊥	7820	25,00	31,89
5	M2 - 2⊥	7940	25,00	32,38
1	M1 - 1⊥	8070	25,00	32,91
6	M2 - 3⊥	8250	25,00	33,64
PROMEDIO				28,62
D.S.				3,60
C.V. (%)				12,57
ESFUERZO BÁSICO A COMPRESIÓN PERP. (f_{básico,c})				23,26
ESFUERZO ADMISIBLE A COMPRESIÓN PERP. (f_{adm,c})				3,79

Anexos 3.4. Datos de resistencia al cizallamiento de la madera de *Colubrina glandulosa* Perkins.

Tangencial corte paralelo del grano

N°	PROBETA	CARGA (Q)	ANCHO (falla)	ALTO (falla)	MOR (kg/cm ²)
1	M1 - 1C	2305	5,00	5,00	92,21
2	M1 - 3C	2259	5,00	5,00	90,37
3	M1 - 4C	2066	5,00	5,00	82,62
4	M2 - 2C	1832	5,00	5,00	73,27
5	M2 - 4C	2312	5,00	5,00	92,48
6	M2 - 5C	1972	5,00	5,00	78,88
7	M3 - 1C	1904	5,00	5,00	76,16
8	M3 - 2C	1862	5,00	5,00	74,46
9	M3 - 3C	1717	5,00	5,00	68,68
10	M4 - 1C	1811	5,00	5,00	72,42
11	M4 - 2C	1989	5,00	5,00	79,56
12	M4 - 3C	2049	5,00	5,00	81,94
13	M5 - 1C	2151	5,00	5,00	86,02
14	M5 - 2C	2108	5,00	5,00	84,32
15	M5 - 3C	2091	5,00	5,00	83,64
PROMEDIO					81,14
D.S.					7,32
C.V. (%)					9,02

Radial corte paralelo del grano

N°	PROBETA	CARGA (Q)	ANCHO (falla)	ALTO (falla)	MOR (kg/cm ²)
1	M1 - 1C	2712	5,00	5,00	108,48
2	M1 - 3C	2658	5,00	5,00	106,32
3	M1 - 4C	2430	5,00	5,00	97,20
4	M2 - 2C	2155	5,00	5,00	86,20
5	M2 - 4C	2720	5,00	5,00	108,80
6	M2 - 5C	2320	5,00	5,00	92,80
7	M3 - 1C	2240	5,00	5,00	89,60
8	M3 - 2C	2190	5,00	5,00	87,60
9	M3 - 3C	2020	5,00	5,00	80,80
10	M4 - 1C	2130	5,00	5,00	85,20
11	M4 - 2C	2340	5,00	5,00	93,60
12	M4 - 3C	2410	5,00	5,00	96,40
13	M5 - 1C	2530	5,00	5,00	101,20
14	M5 - 2C	2480	5,00	5,00	99,20
15	M5 - 3C	2460	5,00	5,00	98,40
PROMEDIO					95,45
D.S.					8,61
C.V. (%)					9,02

Promedio corte paralelo del grano

Nº	PROBETA	CARGA (Q)	ANCHO (falla)	ALTO (falla)	ESFUERZO MÁXIMO CORTE (Mpa), (fv)
9	M3 - 3C				10,23
10	M4 - 1C				10,03
4	M2 - 2C				9,17
8	M3 - 2C				8,13
7	M3 - 1C				10,26
6	M2 - 5C				8,75
11	M4 - 2C				8,45
12	M4 - 3C				8,26
3	M1 - 4C				7,62
16	M5 - 4C				8,03
15	M5 - 3C				8,83
14	M5 - 2C				9,09
13	M5 - 1C				9,54
2	M1 - 3C				9,35
1	M1 - 1C				9,28
PROMEDIO					9,00
D.S.					0,81
C.V. (%)					9,02
ESFUERZO BÁSICO A CORTE ($f_{básico,v}$)					7,93
ESFUERZO ADMISIBLE A CORTE ($f_{adm,v}$)					1,29

Anexo 3.5. Contenido de humedad de las muestras de probetas post ensayo

Flexión

PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
781,01	711,33	9,80
844,86	776,45	8,81
767,62	711,42	7,90
812,91	741,32	9,66
758,75	684,89	10,78
780,94	712,02	9,68
PROMEDIO		9,44

Compresión paralela al grano

PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
288,51	264,24	9,18
391,86	354,11	10,66
341,13	310,44	9,89
370,91	334,9	10,75
369,81	337,14	9,69
288,52	262,04	10,11
PROMEDIO		10,05

Compresión perpendicular al grano

PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
215,72	197,65	9,14
319,99	289,55	10,51
257,1	234,3	9,73
264,07	240,33	9,88
239,23	217,36	10,06
179,9	160,5	12,09
172,53	154,89	11,39
PROMEDIO		10,40

Corte o cizallamiento

PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
89,71	81,76	9,72
110,4	99,81	10,61
92,71	84,43	9,81
92,11	84	9,65
103,16	93,52	10,31
97,24	88,1	10,37
PROMEDIO		10,08

Anexos 3.6. Resumen de las propiedades mecánicas de la madera de *Colubrina glandulosa* Perkins.

N°	PROPIEDAD MECÁNICA	ITEM	VALOR	NORMAS DE REFERENCIA
1	ESFUERZO MÁXIMO A LA FLEXIÓN (fm, u)	X (Mpa)	121,3	NTP 251.107:1988 (REVISADA EL 2019)
		C.V. (%)	14,86	
2	ESFUERZO ADMISIBLE A FLEXIÓN (fadm, m)	X (Mpa)	98,62	NTP 251.107:1988 (REVISADA EL 2019)
3	MÓDULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO (Eprom)	X (Mpa)	35584	NTP 251.107:1988 (REVISADA EL 2019)
		C.V. (%)	91,49	
4	MÓDULO DE ELASTICIDAD MÍNIMO (Emin)	X (Mpa)	12414	NTP 251.107:1988 (REVISADA EL 2019)
5	ESFUERZO MÁXIMO A COMPRESIÓN PARALELA (fc) (Mpa)	X (Mpa)	68,3	NTP 251.014:2015; RNE E 010
		C.V. (%)	7,54	
6	ESFUERZO ADMISIBLE A COMPRESIÓN PARALELA (fadm, c)	X (Mpa)	11,19	NTP 251.014:2015; RNE E 010
7	MÓDULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO COMPRESIÓN PA. (Eprom)	X (Mpa)	706	NTP 251.014:2015; RNE E 010
		C.V. (%)	34,45	
8	ESFUERZO MÁXIMO COMPRESIÓN PERP. (fc)	X (Mpa)	28,6	NTP 251.016:2015; RNE E 010
		C.V. (%)	12,57	
9	ESFUERZO ADMISIBLE A COMPRESIÓN PERP. (fadm, c)	X (Mpa)	0,38	NTP 251.016:2015; RNE E 010
10	ESFUERZO MÁXIMO CORTE (fv)	X (Mpa)	9,0	NTP 251.013:2015; RNE E 010
		C.V. (%)	8,72	
11	ESFUERZO ADMISIBLE A CORTE (fadm, v)	X (Mpa)	1,29	NTP 251.013:2015; RNE E 010

Anexo 4. Panel fotográfico de la investigación



Fotos 1 y 2. Inventario de árboles en parcela agroforestal.



Fotos 3 y 4. Otención de trozas para habilitación de cuarterones o vigas.



Fotos 5 y 6. Habilitado de cuarterones o vigas para traslado a laboratorio



Foto 7 y 8. Habilitado de vigas en aserradero para obtención de probetas.



Foto 9 y 10. Obtención de probetas en aserradero.



Foto 11 y 12. Ensayo de propiedades físicas.



Fotos 13 a 15. Ensayo de propiedades físicas.



Fotos 16 a 19. Ensayo de propiedades mecánicas.