

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



TESIS

**PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE *Maclura tinctoria* (L.) D. Don
ex Steud PARA USO ESTRUCTURAL SEGÚN NORMA TÉCNICA E-010,
JAÉN - 2024**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO FORESTAL

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
JAM MAYCOHOL LEON HERRERA**

ASESOR

ING. M. Sc. VITOLY BECERRA MONTALVO


JAÉN – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Jam Maycohol Leon Herrera
DNI: 74160448
Escuela Profesional/Unidad UNC:
Ingeniería Forestal
2. Asesores:
M. Sc. Ing. 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 *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud PARA USO ESTRUCTURAL SEGÚN NORMA TÉCNICA E-010, JAÉN – 2024"
6. Fecha de evaluación: 13/01/2026
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 22 %
9. Código Documento: oid: 3117:545809184
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 13/01/2026

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 <hr style="width: 20%; margin: auto;"/> M. Sc. Ing. Vitoly Becerra Montalvo DNI: 27727452



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Fundada por Ley Nº 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 Nº 1342 - Plaza de Armas
JAÉN - PERÚ



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Jaén, a los **treinta** días del mes de **diciembre** 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 Nº583-2025-FCA-UNC, de fecha 15 de octubre del 2025, con el objeto, de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: "**PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE *Maclura tinctoria* (L) D. Don ex Steud PARA USO ESTRUCTURAL SEGÚN NORMA TÉCNICA E-010, JAÉN - 2024**", ejecutado por el Bachiller en Ciencias Forestales, **Don JAM MAYCOHOL LEON HERRERA**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las **nueve** horas y **treinta** 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 **catorce (14)**; por tanto, el Bachiller queda expedito para el inicio de los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

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

Jaén, 30 de diciembre del 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

A Dios, por haberme dado la vida, la fuerza y la perseverancia necesaria para completar este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre Iselita Marianela Herrera Facundo que fue un pilar fundamental en el desarrollo de mi camino, acompaño en los momentos más difíciles y sobre todo por brindarme su amor y sabiduría; a mi padre Praxedes Leon Diaz que desde el cielo iluminó mi camino; a mis hermanos Jhunion y Xiomara que fueron parte de mi proceso profesional y fueron un gran apoyo emocional, a mi familia en general por brindarme su apoyo incondicionalmente.

Jam Maycohol

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme la salud, la vida, quien nos cuida de cualquier peligro y sobre todo que nos da los ánimos para seguir adelante y claro poder realizarse este trabajo; A mis padres y hermanos por el apoyo brindado, apoyo que a pesar de los momentos difíciles nunca.

A mis docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Cajamarca, por haber contribuido en mi formación profesional.

Quiero agradecer al M. Sc. Ing. Vitoly Becerra Montalvo, por su apoyo y orientación como asesor en la presente investigación; del cual estoy agradecido.

Jam Maycohol

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1. Antecedentes de la Investigación	15
2.2. Bases teóricas	20
2.2.1. <i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud.....	20
2.2.2. La madera en la industria de la construcción	22
2.2.3. Madera estructural	24
2.2.4. Agrupamiento estructural de las maderas según Normas Técnicas Peruanas – NTP	25
2.2.5. Norma Técnica E.010 Madera del Reglamento Nacional de Edificaciones.....	26
2.2.6. Propiedades de la madera estructural	27
2.3. Definición de términos básicos	34
CAPÍTULO III. MATERIALES Y METODOS	36
3.1. Localización de la investigación	36
3.2. Tipo y diseño de la investigación	37
3.3. Unidad de análisis, población y muestra	37
3.4. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos	38
3.5. Procedimiento.....	38

3.6. Validación y prueba de confiabilidad de los instrumentos	39
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	40
3.8. Presentación de la información	40
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
4.1. Resultados	41
4.2. Discusión	50
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
5.1. Conclusiones.....	53
5.2. Recomendaciones	54
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
CAPÍTULO VII. ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de la madera con materiales convencionales.....	23
Tabla 2. Densidades básicas para maderas latifoliadas	25
Tabla 3. Esfuerzos admisibles para maderas latifoliadas Mpa (kg/cm ²)	26
Tabla 4. Módulo de elasticidad para maderas latifoliadas Mpa (kg/cm ²).....	26
Tabla 5. Parámetros para ensayos de las propiedades físicas y mecánicas	33
Tabla 6. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos	38
Tabla 7. Propiedades físicas de la madera <i>Maclura tinctoria</i>	41
Tabla 8. Resistencia a la flexión de la madera <i>Maclura tinctoria</i>	43
Tabla 9. Resistencia a la compresión paralela de la madera <i>Maclura tinctoria</i>	44
Tabla 10. Resistencia a la compresión perpendicular de la madera <i>Maclura tinctoria</i>	45
Tabla 11. Resistencia al corte de la madera <i>Maclura tinctoria</i>	46
Tabla 12. Propiedades mecánicas de resistencia <i>Maclura tinctoria</i>	47
Tabla 13. Densidad básica para maderas latifoliadas	48
Tabla 14. Esfuerzos admisibles para maderas latifoliadas Mpa(kg/cm).....	48
Tabla 15. Módulo de elasticidad para la madera latifoliadas MPc (kg/cm)	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cabañas elaboradas con madera de pino, eucalipto y ciprés	23
Figura 2. Ubicación de muestreo de los árboles de <i>Maclura tinctoria</i>	36
Figura 3. Densidad básica de la madera <i>Maclura tinctoria</i>	41
Figura 4. Contracción volumétrica de la madera <i>Maclura tinctoria</i>	42
Figura 5. Contenido de humedad de la madera <i>Maclura tinctoria</i>	42
Figura 6. Esfuerzo de ruptura de flexión de la madera <i>Maclura tinctoria</i>	43
Figura 7. Esfuerzo a la deformación de flexión de la madera <i>Maclura tinctoria</i>	44
Figura 8. Esfuerzo de ruptura de la compresión paralela de la madera <i>Maclura tinctoria</i>	45
Figura 9. Esfuerzo a la ruptura a la compresión perpendicular de la madera <i>Maclura tinctoria</i>	46
Figura 10. Esfuerzo de ruptura de cizallamiento de la madera <i>Maclura tinctoria</i>	47

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud para uso estructural en el marco de la Norma E 010. Para alcanzarlo se realizó un muestreo basado en la NTP 251.008, seleccionándose cinco árboles, de los cuales se obtuvieron las probetas en número y dimensiones de acuerdo a lo establecido en cada NTP correspondiente. La investigación fue no experimental, descriptiva y tecnológica. Como resultados se obtuvo valores de 0,77 g/cm³ para la densidad básica, 43,70 % para el máximo contenido de humedad y 8,84 % de contracción volumétrica; del mismo modo, los esfuerzos admisibles fueron de 13,69 Mpa para la flexión, 8,29 Mpa para la compresión paralela, 5,44 Mpa para la compresión perpendicular y 1,76 Mpa para el corte o cizallamiento; así mismo, el MOE promedio fue de 17 010 Mpa y el MOE mínimo fue de 5 310 Mpa; de acuerdo a las propiedades físicas y mecánicas obtenidas, la madera se clasificó en el grupo C de acuerdo a la Norma E 010. Se concluye que la madera de *Maclura tinctoria* tiene propiedades físicas y mecánicas que le confieren un buen comportamiento para uso estructural en construcciones que demandan alta resistencia.

Palabras clave: Madera, flexión, compresión, corte, esfuerzo admisible, estructural.

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the physical and mechanical properties of *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud wood for structural use within the framework of Standard E 010. To achieve this, sampling was carried out based on NTP 251.008, selecting five trees, from which test specimens were obtained in numbers and dimensions in accordance with the provisions of each corresponding NTP. The research was non-experimental, descriptive, and technological. The results obtained were values of 0,77 g/cm³ for basic density, 43,70 % for maximum moisture content, and 8,84 % for volumetric shrinkage. Similarly, the allowable stresses were 13,69 MPa for bending, 8,29 MPa for parallel compression, 5,44 MPa for perpendicular compression, and 1,76 MPa for shear. Likewise, the average MOE was 17 010 MPa and the minimum MOE was 5 310 MPa. Based on the physical and mechanical properties obtained, the wood was classified in group C according to Standard E 010. It is concluded that *Maclura tinctoria* wood has physical and mechanical properties that make it suitable for structural use in constructions that require high strength.

Keywords: Wood, bending, compression, shear, allowable stress, structural.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el uso de la madera en la construcción ha ganado un creciente interés a nivel mundial, consolidándose como material preferido en el diseño arquitectónico de vanguardia. Son muchas las ventajas, como material estructural eficiente y sostenible, así como los avances en la estandarización de procesos de diseño, cálculo, fabricación y montaje (Ortega & Ruiz, 2021). Esta creciente demanda indica la necesidad de un diseño y capacitación especializados en estructuras de madera para garantizar su rendimiento óptimo en una variedad de aplicaciones (Alca, 2024).

La madera como material estructural no solo cumple requisitos físicos y mecánicos de los proyectos de construcción, si no también proporciona beneficios sostenibles como el bajo consumo de energía y protección del medio ambiente. Su uso en la arquitectura está respaldado por tradiciones y prácticas que enfatizan su importancia en la comprensión y uso de sus propiedades (Barrera et al., 2022). La madera presenta limitaciones, y para determinar con precisión su viabilidad como material estructural, es esencial conocer las propiedades físicas y mecánicas de cada especie maderable de uso estructural, ya que este conocimiento brinda las bases para evaluar la adecuación de la madera en diversos contextos de construcción (Hussein et al., 2020).

El Perú es uno de los países como mayor superficie forestal en el mundo, ocupando el noveno lugar a nivel mundial; alrededor del 60 % del territorio peruano está cubierto de bosques, siendo la Amazonía la más grande. En todo este territorio se albergan una variedad de especies forestales que en total se han identificado 2500 de potencial maderable, de las cuales solo 237 son comercializadas en la construcción y otras industrias relacionadas, que sustenta actividades comerciales y bienestar de las comunidades locales (Tello, 2023). El uso de madera para fines estructurales es bajo tanto en el Perú como en América Latina. Esto se refleja en los dos últimos censos realizados en el país, donde hasta 2017 solo el 8,6 % de las viviendas eran de madera, lo que representa un incremento de aproximadamente solo un 10 % desde 2007, un crecimiento porcentual limitado (INEI, 2018). En contraste, en Europa, las viviendas de madera predominan frente a otros materiales, ya que son varias las especies que cumplen los estándares para uso

estructural. Teniendo en cuenta a Tello (2023) destaca que, a pesar de la considerable riqueza arbórea de nuestro país, solo cinco especies forestales cuentan con Certificación internacional para la exportación, además, la Norma Técnica E-0.10 “Madera” del Registro Nacional de Edificaciones del Perú reconoce sólo 27 especies de árboles forestales cuyas propiedades físicas y mecánicas son aptas para su uso en estructuras en la industria de la construcción peruana.

En este contexto, se deben realizar ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas en nuevas especies forestales maderables presentes en nuestro territorio, como es el caso de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud presente en los ecosistemas de las Provincias de Jaén y San Ignacio, siguiendo la metodología descrita en NTP E-010 con el propósito de saber si es apta para darle un uso estructural, además las investigaciones referentes a esta especie no han abordado la propiedades de la madera conforme a estándares establecidos. Por ello se ha planteado el siguiente problema existente; ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud para uso estructural según la Norma Técnica E-010, Jaén– 2024?

La presente investigación se fundamentó teóricamente en la generación de más conocimiento del existente sobre especies maderable potenciales útiles para uso arquitectónico; y conceptualmente, se centró en la aplicación de la Norma Técnica E-010, que establece estándares para el uso de madera estructural en el Perú, y evaluar si *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud cumple con estos criterios permitiendo de esta manera diversificar las opciones de materiales en construcciones, potenciando la economía local. Además, metodológicamente se justificó por la aplicación de ensayos rigurosos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de esta especie utilizando técnicas normalizadas y siguiendo protocolos establecidos por la Norma Técnica E-010, buscando datos precisos replicables que permitieron evaluar la viabilidad de la especie como un material estructural.

La investigación es importante para la innovación tecnológica en el sector de la construcción del Perú, ya que buscó determinar si la especie *Maclura tinctoria* posee las propiedades físicas y mecánicas necesarias para su uso estructural en las viviendas. Al diversificar tecnológicamente el suministro de madera e introducir nuevas especies para la construcción, se promoverá un uso más amplio de la madera en la construcción, lo que es

especialmente importante en un país rico en recursos forestales, donde sólo un poco más del 10% de la madera que se utiliza en los hogares hoy en día.

El objetivo principal de la investigación fue determinar las propiedades físicas y mecánicas de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud para uso estructural según la Norma Técnica E-010, Jaén – 2024. Los objetivos específicos son los siguientes: determinar las propiedades físicas de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud necesarias para su uso estructural, determinar las propiedades mecánicas de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud necesarias para su uso estructural, y establecer las propiedades físicas y mecánicas de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud y su clasificación para su uso estructural según la Norma Técnica E-010.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la Investigación

Wang et al. (2024) en su investigación evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de álamo temblón, su finalidad fue determinar las propiedades del álamo temblón con fines de elaboración de productos de madera de ingeniería (EWP). Se usaron piezas de 2 (3,8 cm) x 4 (8,9 cm) en longitudes de 8, 10 y 12 pies con dos grados visuales el n° 2 y el estructural selecto (SS). Se encontró que a medida que se aumentaba el tamaño máximo del nudo, el módulo mínimo de elasticidad (MOE) y la resistencia máxima a la tracción (UTS) disminuían aproximadamente. 8,8 % y 29,8 %. El 44 % de la madera se clasificó como MSR 1450f-1.3E y el 62 % se clasificó como 1200f-1.2E. La madera es madera contra laminada (CLT) de grado E3 con un porcentaje de desperdicio del 29 %. Los valores promedio de UTS y MOE de la madera de calidad SS son 22,88 MPa y 9519 MPa, respectivamente, que son un 25,5 % y un 11,3 % más bajos que los de la madera SPF. La gravedad específica secada en horno es 0,40, que es un 3,5 % más alta que el valor manual de la madera.

Sousa et al. (2024) en su estudio sobre la caracterización físico-mecánica de la madera de tuturubá (*Pouteria oblanceolata* Pires), su objetivo fue determinar la propiedades físicas (contenido de humedad y densidad aparente) y mecánicas (Resistencia a la compresión paralela y perpendicular a las fibras, resistencia al corte paralelo, a la flexión y módulos de elasticidad a compresión paralela de fibras y la flexión) de la madera de tuturubá con un enfoque de uso estructural. Se tomó como base a la norma ABNT NBR7190-3, y los resultados obtenidos respecto a la humedad promedio fue de 13,88 % y la densidad aparente fue de 992,04 kg.m⁻³. La resistencia a la compresión paralela fue de 60,03 Mpa, el MOE a la compresión paralela a la fibra es de 22761 Mpa, para la resistencia a la compresión perpendicular y el corte paralelo a la fibra, los valores promedio fueron 10,74 MPa y 10,47 MPa, respectivamente. La resistencia a la flexión promedió 154,82 MPa, con un valor característico de 128,37 MPa, y un módulo de elasticidad a la flexión de 21 026 MPa. Estos resultados permitieron clasificar a la especie en estudio en la clase de resistencia mecánica D50, subrayando su potencial para uso en estructuras de construcción.

Abdelatif et al. (2022) en su investigación sobre caracterización estructural de tres tipos de madera en Sudán, (*Anogeisus leiocarpus*) Sahab, (*Balanites aegyptiaca*) Heglieg y (*Sclerocarya birrea*) Humeid, su propósito fue determinar las propiedades físicas y mecánicas de cada tipo de madera; para determinar el contenido de humedad y la densidad se realizó utilizando EN 13183-1 y EN 408-2010; la resistencia a la flexión, módulo de elasticidad, resistencia a la tracción y compresión, y el esfuerzo cortante se determinaron a través de la norma ASTM D143-2000, y la clasificación se basó en la norma EN338-2016. En total se realizaron más de 540 ensayos, el CH para las tres maderas fue aproximadamente del 10 %, Sahab posee una mayor densidad de 956 kg/m³, MOE de 13 KN/mm², resistencia a la compresión entre 81,45 y 46,17 27,06 N/mm², resistencia a la tracción entre 97,94 y 15,00 27,06 N/mm², pero Heglieg tiene mayor resistencia a la flexión con 43,93 N/mm² y al corte con 27,06 N/mm² que las otras especies. En conclusión, la madera de Sahab se clasifica como madera dura D22, Heglieg como madera dura D45 y Humeid como madera dura C14; siendo todas aptas para diseños estructurales.

Wu et al. (2022) en su estudio de las características estructurales y propiedades físicas y mecánicas de madera de raleo *Phoebe bournei* su finalidad es determinar el uso estructural de la madera de raleo de 14 años de *Phoebe bournei*; para determinar las propiedades físicas y mecánicas se realizó según las normas nacionales chinas: GB/T 1933-2009, GB/T 1933-2009 y GB/T 1934.2 – 2009, donde especifica el uso de 12 probetas para cada ensayo. Los resultados indican que la madera tiene una densidad básica entre 0,405 y 0,34 g/cm³; el contenido de humedad bajo (12 %), la resistencia a la compresión paralela a la fibra de 34,9 MPa, el MOE de 9,4 GPa, la resistencia al corte paralelo a la fibra en dirección radial y tangencial de 6,7 MPa y 9,6 MPa respectivamente, la dureza final es 1,7 veces la dureza lateral. En síntesis, la madera de *Phoebe bournei* es apta para el tallado, muebles, artesanía y artículos decorativos.

Aldana et al. (2021) en su estudio acerca de la determinación de usos potenciales de la madera de tachuelo (*Zanthoxylum rhoifolium* Lam.) de las propiedades físico-mecánicas y características anatómicas, tuvo el objetivo de establecer el uso potencial de la madera de tachuelo, para determinar la propiedades físico-mecánicas fue en base a las normas de la Cooperación Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) y Norma Técnica Colombiana (NTC). Los resultados muestran que la madera de tachuelo tiene un contenido de humedad del

12 %, una resistencia a la compresión paralela de 380,23 kg/cm² clasificándose como media, la perpendicular de 149,36 kg/cm² categorizándose como baja y al cizallamiento es 146,78 kg/cm². Asimismo, los resultados relacionados con las características anatómicas muestran que tiene poros de medianos a pequeños, con alta densidad que alcanza hasta 28 poros por mm², tiene radios organizados en series triseriadas, fibras septadas, y delgadas con un grosor de 2,9 µm. La madera de tachuelo puede ser usada en estructuras como vigas, columnas, pisos, tableros, etc.

Garzón (2022) en su investigación sobre la caracterización de propiedades físicas y mecánicas para el uso estructural de la madera de la especie *Acacia Mangium*, buscó determinar propiedades mecánicas como el módulo de elasticidad, resistencia a la flexión, tracción, compresión y cortante; así como las propiedades físicas, como la humedad y la densidad de la madera de *Acacia Mangium*. Se habilitaron 906 probetas y se siguieron los procedimientos de la NTC 3377 para todos los ensayos, junto con normas específicas, para cada uno como la NTC 784, NTC 785, NTC 633, NTC 944, NTC 775, NTC 206-1, y NTC 290. Los resultados mostraron que la densidad de la *Acacia Mangium* es de 0,52 g/cm³, con un contenido de humedad entre 11,5 % y 15 %. El módulo de elasticidad (MOE) en compresión paralela al grano fue de 14,71 MPa, mientras que en compresión perpendicular al grano fue de 2,36 MPa. La resistencia a la flexión fue de 9 323,6 MPa, la tracción paralela al grano alcanzó 13,96 MPa, la tracción perpendicular fue de 4,74 MPa, y la cortante fue de 1,42 MPa. En conclusión, la madera de *Acacia Mangium* es de buena calidad y se clasifica en la categoría ES5 según la NSR-10, siendo apta para uso estructural.

Cruz (2022) en su estudio del análisis de las propiedades físico-mecánicas de madera estructural Ecuatoriana y su aplicación en el diseño de vivienda social, desternó las propiedades de la madera de eucalipto, cipres, colorado, avío, yumbingue amarillo, chanul, intachi, arenillo, seique, motilón, pino y laurel; a cada una se le realizaron ensayos de compresión paralela y perpendicular a la fibra, flexión estática y tracción paralela a la fibra, usándose 6 probetas de cada especie para cada ensayo, estas probetas fueron dimensionadas según como lo establece la ASTM D143-14 y ASTM D 198-15 según el tipo de ensayo, además estas también describen el procedimiento usado en la investigación. El contenido de humedad más alto, seco al aire libre, fue del eucalipto con un 38 %, y también presentó un 5 % al secado al horno. En cuanto a densidad, yumbingue, eucalipto, avío e intachi están en el grupo estructural

A, con densidades entre 1,001 y 0,750 g/cm³. El yumbingue mostró la mayor resistencia en compresión paralela a la fibra con 75,73 MPa y un módulo de elasticidad (MOE) de 14 505 MPa; en compresión perpendicular, tuvo una resistencia de 33,43 MPa y un MOE de 643 MPa. La resistencia a la flexión estática del intachi fue de 139,03 MPa, la más alta entre las especies evaluadas. Además, el yumbingue tuvo una resistencia a la tracción paralela de 108,12 MPa, concluyendo que el yumbingue es muy resistente.

Anchundia (2021) en su investigación “Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam) URB. (Balsa) de tres años” se elaboraron 36 viguetas de las cuales se realizaron 5 probetas de cada vigueta dando un total de 180 por tratamiento, y para los ensayos se usó las ASTM D 143 y D 4442-92. De acuerdo con los resultados obtenidos, la densidad de la madera de balsa está entre 0,36 gr/cm³ y 0,34 gr/cm³, la contracción radial entre 1,15 % y 0,69 %, la longitudinal entre 0,24 % y 0,21 % y la volumétrica entre 6,09 % y 5,37 %; el MOR para la flexión estática varía de 146,69 kg/cm² a 163,96 kg/cm², el MOE más alto fue 115 996,27 kg/cm² y el ELP de 126,44 kg/cm², para la compresión paralela el MOR es 110,55 kg/cm², el MOE 37802,91 kg/cm², el ELP 76,54 kg/cm², en la compresión perpendicular el MOR es 33, 92 kg/cm² y el ELP 17,13 kg/cm². Entonces, la madera de balsa se puede categorizar como muy baja para el MOR y mediana para el MOE.

Tello (2023) en su investigación sobre la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del “Ishpinguillo” y su posible uso estructura según la norma E.010. madera, el diseño aplicado fue no experimental, dónde se ensayaron 88 probetas con medidas establecidas en las NTP. Además, se realizaron 6 ensayos de acuerdo con la norma técnica E.010, donde la madera del ishpinguillo tiene una densidad básica de 0,48 g/cm³, contenido de humedad de 11,97 %, compresión perpendicular de 1,61 MPa, compresión paralela de 7,93 MPa, flexión estática y cizallamiento de 11,68 MPa y 1,73 MPa respectivamente. Por lo tanto, la madera de ishpinguillo según sus propiedades físicas y mecánicas se ubica en el grupo C, entonces sí se puede usar estructuralmente.

Quispe (2022) realizó una investigación sobre el análisis comparativo de la resistencia a la flexión en vigas de la madera shihuahuaco y quinilla comercializadas en el distrito de Irazola – provincia de Padre Abad – departamento de Ucayali – 2021, cuyo objetivo fue determinar la

resistencia a la flexión de vigas de shihuahuaco y quinilla. El diseño de la investigación fue experimental, las probetas para los ensayos y el procedimiento se realizó según normas técnicas peruanas y el reglamento nacional de edificaciones. Los resultados obtenidos respecto a las propiedades físicas muestran que la densidad básica del shihuahuaco es $0,75 \text{ g/cm}^3$ y la de quinilla es $0,72 \text{ g/cm}^3$, en las mecánicas el MOE de shihuahuaco es de $151\,134 \text{ kg/cm}^2$ y $172\,214 \text{ kg/cm}^2$ para la quinilla; y el MOR de 980 kg/cm^2 y 988 kg/cm^2 respectivamente. Por tanto, ambas maderas se ubican en el tipo A de la Norma E.010 y SENCICO, siendo recomendadas para su uso en vigas y estructuras.

Calderón (2022) en su investigación sobre la madera pino radiata y su agrupamiento estructural según Norma E.010 – Huánuco Perú, 2022, tuvo como propósito determinar el grupo estructura, de acuerdo con la Norma E.010. Para ello, las muestras de madera fueron adquiridas en el centro comercial Promart. Se realizaron 20 ensayos para determinar la densidad básica y 30 ensayos para medir la resistencia a la flexión utilizando vigas. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: una densidad básica de $0,42 \text{ g/cm}^3$, un esfuerzo admisible a la flexión de $10,60 \text{ MPa}$, un módulo de elasticidad (MOE) mínimo de $7\,700,62 \text{ MPa}$ y un promedio de $11\,366,34 \text{ MPa}$. Con base a los resultados, la madera de pino radiata comercializada en Huánuco fue clasificada dentro del grupo estructural C.

López (2021) en su estudio acerca de las propiedades físicas y mecánicas de la madera “quinilla” *Manilkara bidentata* como material de construcción en estado verde, Iquitos 2019, se planteó un diseño no experimental, las muestras para los ensayos se realizaron basándose en la norma E.010 y su análisis en función a la norma UNE y ASTM. Los resultados indican que, de acuerdo con las propiedades físicas la densidad básica de la quinilla es de $0,68 \text{ g/cm}^3$ y un contenido de humedad de $13,79 \%$, la contracción tangencial fue de $5,5 \%$, la radial 5 y la volumétrica es $10,85 \%$; en cuanto a las propiedades mecánicas la resistencia a la flexión estática es de $1\,006,84 \text{ kg/cm}^2$, la resistencia a la compresión paralela fue $574,35 \text{ kg/cm}^2$ y la perpendicular es $192,70 \text{ kg/cm}^2$, y la resistencia al cizallamiento fue $123,43 \text{ kg/cm}^2$. En síntesis, según la Norma E.010 la madera de quinilla por sus propiedades físicas está ubicada en el grupo B ($0,56$ a $0,70 \text{ g/cm}^3$), y por sus propiedades mecánicas se clasificaron como muy alto.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud

A. Taxonomía

De acuerdo con el portal web Tropicos (2025), la especie *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud presenta la siguiente clasificación taxonómica:

División	: Angiospermae
Clase	: Equisetopsida C. Agardh
Subclase	: Magnoliidae Nueva Zelanda
Superorden	: Rosanae Takht.
Orden	: Rosales Bercht. Y J. Presl
Familia	: Moraceae Guadich
Género	: <i>Maclura</i> Nutt.
Especie	: <i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud

Nombre común: En España, Bolivia, Ecuador y Nicaragua es conocida como mora grande, leilapo, zota; en Perú es insira (Ucayali), morero.

B. Descripción botánica

Quintero-Rincón et al. (2024) realizó una revisión sobre la etnobotánica de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud, donde esta especie se describe como árboles que alcanzan alturas entre 10 y 20 metros y diámetros que varían de 0,40 m a 0,60 m, es dioica, espinosa, lactescentes y parcialmente caducifolio. Las hojas presentan formas ovadas, elípticas con longitudes que oscilan entre 6 y 13 cm y ancho de 2 a 6 cm, el ápice es puntiagudo a atenuado mientras que la base suele ser asimétrica, pudiendo ser redondeadas o levemente cordada; los márgenes son aserrados o dentados, especialmente en la parte distal; la superficie es lisa o ligeramente áspera, con nervaduras visibles en la parte del envés. Los pecíolos miden de 5 a 11 mm y unen las hojas al tallo. Las estípulas son deciduas y miden entre 3 y 6,2 mm. Además, las flores se agrupan en inflorescencias solitarias, los frutos provienen de las inflorescencias femeninas, con forma subglobosa u oblonga, compuestas por nueces comprimidas y presentan un pericarpio carnoso y dulce; son indehiscentes y, al madurar se tornan de un color amarillo verdoso. El óvulo es

anacampilotropo, suspendido, bitégmico y crassinucelado. Las semillas cuando están maduras son aplanadas levemente ovadas y de color crema, con cubierta membranosa de células de paredes delgadas, contienen un embrión recto con dos cotiledones del mismo tamaño. Además, algunos de los estudios mencionan que los frutos son infrutescencias.

C. Distribución

Esta especie está ampliamente distribuida desde México hasta América Centra y parte de América del sur, extendiéndose incluso hasta Argentina, incluyendo las Antillas, como Cuba, República Dominicana, Puerto Rico y otras islas del Caribe (WFO, 2023).

D. Hábitat

Se encuentra tanto en bosques tropicales húmedos como en bosques secos, es especialmente común en las regiones del Pacífico y el centro-norte de su distribución geográfica. Esta especie prospera en un amplio rango altitudinal, desde el nivel de mar hasta los 1500 m.s.n.m.; y se adapta a diferentes tipos de suelos, particularmente los bien drenados (Bernal et al., 2019).

E. Propiedades de su madera

Descripción anatómica: Los anillos de crecimiento se pueden visualizar a simple vista al igual que los poros/líneas vasculares, la porosidad es difusa, los poros son solitarios o múltiples en disposición radial, de forma redonda a ovalada, con algunas sustancias inorgánicas; cada grupo radial presenta entre 2 a 4 poros, las platinas de perforación son simples y horizontales u oblicuas, con punteaduras intervasculares alternas y ovaladas. El parénquima es paratraqueal en bandas irregulares de más de 4 células de ancho; los radios son heterogéneos Tipo II y III de Kribs (MAE, 2014).

Propiedades físicas y mecánicas: En su estado verde, la madera de *Maclura tinctoria* presenta un contenido de humedad del 66,5 %, que se reduce al 12 % cuando está seca. Su densidad básica es de 0,71 g/cm³. Las contracciones son de 2,3 % en sentido radial, 3.9% en tangencial y 2,5 % en volumen. En estado seco, al 12 % de humedad, la madera exhibe las siguientes propiedades mecánicas: en flexión estática, el módulo de ruptura (MOR) es de 1407

kg/cm², el módulo de elasticidad (MOE) es de 152 000 kg/cm², y el límite elástico proporcional (ELP) es de 819 kg/cm². La resistencia a la compresión paralela es de 819 kg/cm², mientras que el ELP en compresión perpendicular es de 111 kg/cm². La dureza es de 1406 kg en los extremos y 752 kg en los lados, y la tenacidad radial es de 3,56 m·kg. (MAE, 2014).

La madera de *Maclura tinctoria* se distingue por ser moderadamente pesada, flexibles y extremadamente duradera. Además, es capaz de soportar condiciones ambientales adversas como la humedad y el clima, y ofrece una alta resistencia a los organismos que destruyen la madera (Quintero-Rincón et al., 2024).

F. Usos

Por sus características de la madera, esta especie es apropiada para la fabricación de muebles, construcción exterior y pesada, pisos, tornería, postes para cercas, durmientes. Además, de su madera se extrae la morina, que se usa para teñir textiles de color marrón, amarillo, caqui y verde, asimismo se utiliza para realizar pruebas para ciertos iones metálicos que cumple un papel en la prevención de ataques de hongos (Quintero-Rincón et al., 2024).

2.2.2. La madera en la industria de la construcción

La madera ha sido un material clave en la construcción desde los inicios de la historia. Aunque el acero, hormigón y hierro han impulsado avances en las edificaciones, la madera sigue siendo ampliamente utilizada, ya que países como Japón, Escocia y EE. UU lideran en la construcción con madera, con más del 60 % de nuevas viviendas hechas totalmente de este material. Mientras que, en otros países los proyectos de construcciones con madera son de baja calidad o presupuesto, sin embargo, la industria ha avanzado con nuevas tecnologías que fomentan su uso, llegando a construirse más de 50 edificios entre 7 y 24 pisos. Entre las ventajas por lo que la madera resulta ser un elemento constructivo de primera categorías en comparación con otros materiales, es por su gran flexibilidad y bajo peso, alta capacidad aislante, resistencia al fuego, y la velocidad de construcción y disminución de costes (Adler & Peciña-López, 2022). Las técnicas de ingeniería modernas permiten la construcción de estructuras de madera contralaminada (CLT) y paneles estructurales que brindan resistencia y estabilidad a edificios de gran altura (CLT, 2023).

Tabla 1*Comparación de la madera con materiales convencionales*

Aspecto		Madera	Hormigón	Acero
Flexión		120	80	1700
Tracción	Paralela	120	6	1700
	Perpendicular	1.5		
Compresión	Paralela	110	80	1700
	Perpendicular	28		
Cortante		12	6	1000
Módulo de elasticidad (MOE)		110 000	200,00	2 100 000
Técnicas		Rollos, contrachapados, tablas.	Agregados finos, agregados gruesos	Construcción de edificios de gran altura y puentes colgantes.
Propiedades estructurales		Estructura de fácil y rápido armado.	Hormigón armado muy buena resistencia a la tracción y compresión	Alta ductilidad, tolerante al calor, conserva su forma ante distintos esfuerzos,
Propiedades generales		Excelente aislante térmico, eléctrico y caustico.	Resistente	Resistente

Nota. Las tensiones admisibles en Kp/cm² de los tres materiales (Gómez, 2017), y los otros aspectos los establece Gómez (2023).

El mercado mundial de la construcción en madera generó ingresos de 857 millones de dólares en 2021 y se espera que alcance los 1 500 millones de dólares en 2031, creciendo a una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 6,0 % (Berruguete, 2024). Las construcciones de madera que se realizan siempre se tiene en cuenta la especificaciones técnicas, y en todas las situaciones siguen lineamientos de construcción establecidos en reglamentos extranjeros (Baño, 2015). La durabilidad, calidad, seguridad, calidez y color que ofrece la madera queda patente en cualquier estructura que utilice este preciado material, y los resultados son visualmente insuperables (Berruguete, 2024).

En la actualidad, constructoras con amplia trayectoria y especialización en el diseño y construcción de cabañas rusticas y semirústicas han desarrollado diseños únicos y atractivos utilizando madera de eucalipto, ciprés, pino, guayacán, pechiche y laurel. Este último tipo de madera tiene gran importancia en la industria de la construcción, y sus principales

aprovechamientos está la elaboración de muebles, entablados y cubiertas. Además, otros tipos de maderas nuevas están utilizándose estructuralmente como vigas, viguetas, cerchas, pisos, mangos, escaleras, ventanas, cielo raso y carpintería en general (Cruz, 2022).

Figura 1

Cabañas elaboradas con madera de pino, eucalipto y ciprés



Nota. Modelo de cabaña tomado de Constructora Andromeda (2024).

2.2.3. Madera estructural

La madera es el único material de origen natural que se utiliza ampliamente en la construcción de edificios y otras estructuras portantes. Tiene un gran potencial para ser utilizado de forma optimizada en un sistema de utilización en cascada, aprovechando al máximo sus cualidades y aplicaciones (Ernst & Sohn, 2024).

En la construcción de viviendas utilizando madera como material principal, es fundamental considerar diversas características, como la densidad básica, los esfuerzos admisibles y las propiedades de flexión, además de sus propiedades físicas y químicas. Esto es especialmente relevante cuando la madera se utiliza en elementos estructurales como columnas, vigas, viguetas, tijerales, cerchas y otros componentes estructurales comunes. Asimismo, es necesario tener en cuenta aspectos relacionados con las tabiquerías, vanos y otras aplicaciones que forman parte integral de la estructura del edificio (Rubio, 2021). Para utilizar madera aserrada en el diseño estructural, es necesario respetar los parámetros que garantizan su estabilidad, establecidos en Normas Técnicas emitidas por instituciones oficiales, estos lineamientos ayudan a diseñar estructuras que resistan cargas de construcción y condiciones

ambientales que puedes afectar a otros componentes (Castellanos, 2023). En Perú, la Norma Técnica E.010 establece los parámetros mínimos que deben cumplir las piezas de madera para ser utilizadas como elementos estructurales; esta norma proporciona a través de valores numéricos, la clasificación y agrupación de la madera según su densidad básica, esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad; así mismo, la madera que es sometida a ensayos debe estar dimensionada según los estándares de sus normativas pertinentes (Rubio, 2021).

2.2.4. *Agrupamiento estructural de las maderas según Normas Técnicas Peruanas – NTP*

La madera utilizada como elemento estructural debe cumplir unos requisitos: debe ser de calidad estructural y conforme a la norma E.010, proceder de especies forestales aptas para la construcción y estar incluida en los grupos estructurales de dicha norma. Además, deberá estar segmentado con dimensiones estandarizadas y secciones adecuadas para su uso en la edificación (Rubio, 2021). Para clasificar las especies de madera en los tipos A, B o C es necesario tener en cuenta su densidad básica y los resultados de los ensayos de resistencia mecánica, de acuerdo con la clasificación establecida en la Norma Técnica de la Construcción E.010 (Quispe, 2022).

- **Densidad básica:** La clasificación en grupos de maderas está relacionada con una categorización basada en la resistencia, sin que implique ventaja sobre otros grupos, ya que se consideran las diferencias en sus propiedades físicas y mecánicas. En algunos casos, un ejemplar puede no cumplir con los parámetros de la norma E.010 y podrá ser clasificado en otro grupo en futuras investigaciones, especialmente si su densidad es inferior a $0,4 \text{ g/cm}^3$ (Rubio, 2021).

Tabla 2
Densidades básicas para maderas latifoliadas

Grupo	Densidad básica (g/cm^3)
A	≥ 0.71
B	$0.56 - 0.70$
C	$0.40 - 0.55$
D	$0.36 - 0.39$

Nota. Agrupación estructural de la Norma Técnica E.010 (MVCS, 2021, p. 43)

- **Esfuerzos admisibles:** La clasificación del grupo se basa en la respuesta del material a cargas como flexión, compresión y corte, paralelas y perpendiculares. Esto no supone una ventaja entre grupos, ya que se tienen en cuenta las diferencias físicas y mecánicas. En algunos casos, las fuerzas se distribuyen entre varios elementos estructurales, lo que puede generar un aumento de su capacidad en un 10 % (Rubio, 2021).

Tabla 3

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)	14,3 (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)

Nota. Agrupación estructural de la Norma Técnica E.010 (MVCS, 2021, p. 43).

- **Módulo de elasticidad:** La clasificación de un individuo en un grupo se basa en la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación resultante, sin que ello implique que un grupo sea mayor o menor que el otro, ya que se consideran las diferencias en sus propiedades físicas y mecánicas (Rubio, 2021).

Tabla 4

Módulo de elasticidad para maderas 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	5 395 (55 000)	8 826 (90 000)
D	4 414 (45 000)	6 400 (65 000)

Nota. Agrupación estructural de la Norma Técnica E.010 (MVCS, 2021, p. 44).

2.2.5. Norma Técnica E.010 Madera del Reglamento Nacional de Edificaciones

La presente Norma Técnica establece los requisitos mínimos para el diseño de edificaciones cuya estructura sea completamente de madera o en combinación con otros materiales. Su finalidad es garantizar los niveles adecuados de seguridad, protegiendo la

integridad de las personas y la durabilidad de la estructura. Es de cumplimiento obligatorio a nivel nacional para los tres niveles de gobierno, así como las instituciones, empresas y profesionales responsables del diseño y construcción de los edificios en cuestión. En los casos en que los sistemas constructivos de madera no estén previstos en la norma, se deberá justificar técnicamente el proyecto ante la autoridad competente. Además, cuando la norma no cubre un aspecto específico, el diseñador debe cumplir con la normativa peruana vigente y en su defecto aplicar estándares internacionales como ISO u otros estándares mundialmente reconocidos. La Norma E.010 consta de trece capítulos que abarcan disposiciones generales, lineamientos técnicos y específicos para el diseño estructural, así como las propiedades físicas y mecánicas de la madera, incluyendo el agrupamiento estructural, contenido de humedad, densidad básica, esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad. También se detallan los diseños de elementos estructurales bajo diferentes tipos de carga, como flexión, tracción, compresión y corte. La norma clasifica la madera en cuatro grupos estructurales (A, B, C, D) según sus propiedades y otros parámetros (MVCS, 2021).

2.2.6. Propiedades de la madera estructural

A. Propiedades físicas

Según Chicaiza (2022), las propiedades físicas de la madera son características cuantitativas que determinan su comportamiento frente a influencias externas, como la humedad, propiedades térmicas, eléctricas y químicas, así como la densidad. Es importante entender estas propiedades, ya que influyen significativamente en el rendimiento y durabilidad de la madera cuando se emplea en aplicaciones estructurales.

Contenido de humedad: El agua en la madera se presenta en tres estados: anhidro, verde y seco, el estado anhidro es cuando se ha expulsado toda su humedad, el verde se refiere a la madera no secada, con un contenido de humedad superior al 30 %, y el seco es cuando la madera ha eliminado toda el agua libre (Tello, 2023). Según la NTP 251.010:2014 MADERA. Método para determinar el contenido de humedad, menciona que primero se debe pesar la muestra húmeda y luego secarla a una temperatura de 103 ± 2 °C; y se determina a través de la siguiente fórmula:

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

Donde:

CH = Contenido de humedad (%)

m1 = Masa de la probeta antes de ser secada (g)

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

Densidad básica: Este ensayo se realiza según lo establecido en la NTP 251.011 (2014), que define la densidad como la relación entre el peso y el volumen de la madera a una humedad específica. Para ello, las muestras se secan en una estufa a $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar el peso deseado. Luego, se enfrían y se pesan las probetas. El volumen se determina con medidas estandarizadas, y finalmente se calcula la densidad aplicando la fórmula correspondiente (Tello, 2023).

$$DB\text{ g/cm}^3 = \frac{ma}{Vv}$$

Donde:

DB = Densidad básica (g/cm^3)

ma = Masa anhidra de la probeta en g

Vv = Volumen verde de la probeta en cm^3

Contracción: La contracción de la madera ocurre cuando su contenido de humedad desciende por debajo del punto de saturación de las fibras, lo que reduce su volumen debido a la contracción de las paredes celulares y la proximidad de las microfibrillas. Este proceso es proporcional a la disminución de la humedad y se clasifica en tres tipos: gran contracción (20 % a 15,1 %), contracción mediana (15 % a 10,1 %) y pequeña contracción (10 % a 5 %) (Anchundia, 2021). Existen diferentes tipos de contracciones, entre ellas la contracción tangencial ocurre en las direcciones tangentes a los anillos anuales, mientras que la contracción longitudinal se da en direcciones paralelas a las fibras, siendo aproximadamente el 2 % de la contracción radial. La contracción radial se manifiesta perpendicular a las fibras, atravesando los anillos anuales. La contracción volumétrica es proporcional al aumento de humedad hasta alcanzar alrededor del 25 %, después de lo cual el volumen sigue aumentando, pero de forma decreciente hasta el punto de saturación de las fibras, donde se estabiliza y alcanza su

deformación máxima (López, 2021). Para determinar la contracción volumétrica total, se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$B \% = \frac{V_s - V_0}{V_0}$$

Donde:

B % = Contracción Volumétrica Total

V_s= Volumen de la Probeta Saturada de agua

V₀= Volumen de la probeta en estado anhidro

La medida de la contracción volumétrica no es suficiente para determinar la calidad de la madera, por eso se debe calcular la contracción diferencial, que es la relación entre la contracción tangencial y radial (Anchundia, 2021).

B. Propiedades mecánicas

Las principales propiedades mecánicas de madera estructural son:

Flexión estática: Chicaiza (2022) señala que el ensayo de flexión estática mide la capacidad de una viga para soportar cargas aplicadas en el centro de la distancia entre los apoyos, mediante este ensayo se pueden obtener valores como el módulo de ruptura (MOR), que representa la tensión máxima de apoyo, el módulo de elasticidad (MOE) y la tensión unitaria básica o tensión última proporcional (ELP). En el Perú este ensayo se realiza siguiendo la NTP. 251.017: 2014 (revisada el 2019), donde precisa que se debe buscar el plano neutral para medir las deformaciones, la carga se aplica en el centro de la muestra, con una distancia de 35 cm entre los soportes, por eso se colocan las placas de acero con rodillo entre los soportes y la probeta.

Según la NTP. 251.017: 2014 (revisada el 2019) los resultados de la flexión estática se expresan de la siguiente manera:

1. La carga al límite proporcional (P') se determina en la curva carga-deformación trazando una tangente desde el origen. Esta tangente marca el punto en el que se aleja de la curva, indicando la carga correspondiente al límite proporcional.

2. El esfuerzo de la fibra al límite proporcional (ELP) se calcula utilizando la siguiente formula:

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

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

3. Cálculo de módulo de ruptura (MOR): Se determina con la siguiente fórmula:

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

Donde:

MOR = Módulo de ruptura en kg/cm²

P = Carga máxima en kg

L = Distancia entre soportes en cm

a = ancho de la probeta en cm

e = espesor de la probeta en cm

4. Cálculo del módulo de elasticidad (MOE): se determina con la siguiente fórmula:

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

Donde:

MOE = Módulo de elasticidad en kg/cm²

P' = Carga al límite proporcional en kg

L = Distancia entre soportes 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 a las fibras: Según la NTP 251.014-2014, el ensayo para esta propiedad implica aplicar una carga sobre las bases del prisma, utilizando probetas preparadas previamente. La carga se aplica de manera continua a lo largo del ensayo, y los valores para elaborar la curva de fuerza versus deformación se registran después de la rotura de la probeta (Tello, 2023). Así mismo, López (2021) dice que la resistencia a la compresión Paralela a las fibras de la madera es aproximadamente la mitad de sus resistencia a la tracción. De acuerdo con esta norma para determinar esta propiedad mecánica se hace a través de las siguientes fórmulas:

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

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

Donde:

MOR = Módulo de ruptura por compresión paralela o axial en kg/cm^2

P = Carga máxima en kg

P' = Carga al límite proporcional en kilogramos

A = Área de la sección transversal de la probeta antes del ensayo en cm^2

Compresión perpendicular: De acuerdo con la NTP 251.016, esta propiedad se determina aplicando una fuerza en la cara tangencial o radial de las probetas de madera preparadas. La carga se aplica de forma progresiva, y es necesario registrar las cargas y las deformaciones a lo largo del ensayo. Se calcula utilizando la fórmula proporcionada a continuación:

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

Donde:

ELP = Esfuerzo de la fibra al límite proporcional en kg/cm^2

P' = Carga al límite proporcional en kilogramos

S = Superficie de contacto de la probeta con la pieza de presión se mide en cm^2

Resistencia al corte paralelo a la fibra (Cizallamiento): Los análisis teóricos de esfuerzos muestran que, en un punto específico, los esfuerzos de corte son iguales en ambas direcciones, tanto a lo largo como perpendicularmente al eje del elemento. Sin embargo, debido a que la madera no es homogénea y sus fibras generalmente siguen el eje longitudinal, la resistencia al corte varía según la dirección. La resistencia al corte es menor en la dirección paralela a las fibras, mientras que perpendicular a ellas, la resistencia puede ser de tres a cuatro veces superior a la resistencia a la compresión (López, 2021). Para llevar a cabo este ensayo, se debe seguir la NTP 251.013-2015, que especifica que la probeta debe colocarse en el dispositivo de cizalla con la superficie longitudinal paralela a la pieza móvil, y la superficie B debe ser la que reciba la presión de la cizalla. Se determina usando la siguiente fórmula:

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

Donde:

MOR = Módulo de ruptura por compresión paralela o axial en kg/cm²

P = Carga máxima en kg

A = Área de la sección transversal de la probeta antes del ensayo en cm²

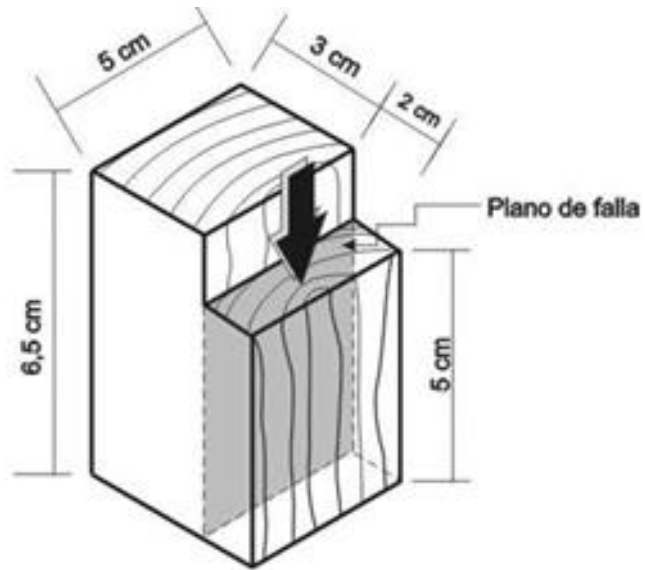
Dureza: Mide la resistencia al colapso y a la penetración de objetos, La dificultad para clavar o atornillar en la madera es un indicio de su dureza. Esta propiedad varía según la especie de árbol, el área del tronco y la edad, siendo generalmente mayor en el duramen que en la albura (Chicaiza, 2022).

De acuerdo con las Normas Técnicas Peruanas (NTP) los ensayos para determinar las propiedades deben ser según la siguiente tabla:

Tabla 5*Parámetros para ensayos de las propiedades físicas y mecánicas*

Propiedades físicas		
	Norma	Muestra
<i>Ensayo</i>	<i>Contenido de humedad</i>	
		2,5 cm x 4 cm x 4 cm
NTP 251.010:2014		2,5 cm x 3 cm x 5 cm
		No menor de 2,5 cm a lo largo del grano
<i>Ensayo</i>	<i>Densidad</i>	
NTP 251.011:2014		3 cm x 3 cm x 10 cm
Propiedades mecánicas		
<i>Ensayo</i>	<i>Compresión paralela</i>	
NTP 251.014:2015		5 cm x 5 cm x 20 cm
<i>Ensayo</i>	<i>Compresión perpendicular</i>	
NTP 251.016:2016		5 cm x 5 cm x 15 cm
<i>Ensayo</i>	<i>Flexión estática</i>	
NTP 251.017:2014		2,5 cm x 2,5 cm x 41 cm (Luz 35 cm)
		5 cm x 5 cm x 76 cm (Luz 70 cm)
<i>Ensayo</i>	<i>Cizallamiento</i>	

NTP 251.013:2015

*Nota.* Adaptación propia en base a las NTP.

2.3. Definición de términos básicos

Madera para uso estructural: es aquella que cumple con los parámetros establecidos en la norma NTP 251.104:1988, y se caracteriza por su capacidad para resistir esfuerzos. Está compuesta principalmente por celulosa, que le confiere una estructura fibrosa y resistente, y lignina, que aporta dureza y rigidez, propiedades esenciales para su uso en estructuras (Rubio, 2021, p. 36).

Esfuerzo admisible: Es la resistencia que ofrece el cuerpo cuando es sometido a una carga. Esta fuerza se mide por unidad de área aplicada a una superficie, definidos para grupos estructurales (INACAL, 2015, p. 21) .

Densidad: La densidad de la madera es la relación entre la masa (m) de una pieza de madera y su volumen (V), expresada en g/cm^3 . Ambos valores se determinan con el mismo contenido de humedad (INACAL, 2015, p. 20) .

Contenido de humedad: Cantidad de agua que contiene la madera, se expresa en porcentaje en relación con su masa anhidra (MVCS, 2021, p. 7).

Flexión: La flexión es el resultado de la combinación de esfuerzos de compresión y tracción, donde las fibras superiores de una pieza se alargan y las inferiores se acortan, o viceversa, generando una deformación a lo largo de su eje que tiende a doblarla. Un aspecto clave de este fenómeno es la presencia de una fibra neutra, una superficie donde los puntos no experimentan cambios en su longitud tras la deformación. El esfuerzo que genera la flexión se conoce como momento flector (Suárez, 2021, p. 4)

Módulo de ruptura: es el esfuerzo máximo que puede soportar una fibra en flexión, calculado a partir del momento máximo de flexión y basado en la distribución de esfuerzos asumida en la pieza (INACAL, 2015, p. 22) .

Módulo de elasticidad: Mide la rigidez de un material y se expresa como la proporción entre la tensión aplicada y la deformación resultante en la región lineal de la curva tensión-deformación. Este parámetro indica cómo un material se deforma bajo carga y es clave para evaluar su comportamiento elástico (Utan-Chimborazo & Maldonado-Noboa, 2023, p. 4).

Vigueta: Son elementos estructurales cuya principal función es soportar directamente las cargas de techos y pisos. Estas vigas, a su vez, están apoyadas por otros componentes estructurales como vigas principales o muros portantes (MVCS, 2021, p. 10).

Dureza: La resistencia al impacto de la madera es su capacidad para soportar golpes de herramientas u otros objetos. Esta resistencia depende de la cohesión de las fibras y el desarrollo estructural de la madera (Rubio, 2021, p. 28).

Carga: Es una fuerza externa que genera esfuerzos internos en el material, resultando en su deformación. En ingeniería, se distinguen dos tipos de carga: las concentradas y las distribuidas (INACAL, 2015, p. 20) .

CAPÍTULO III

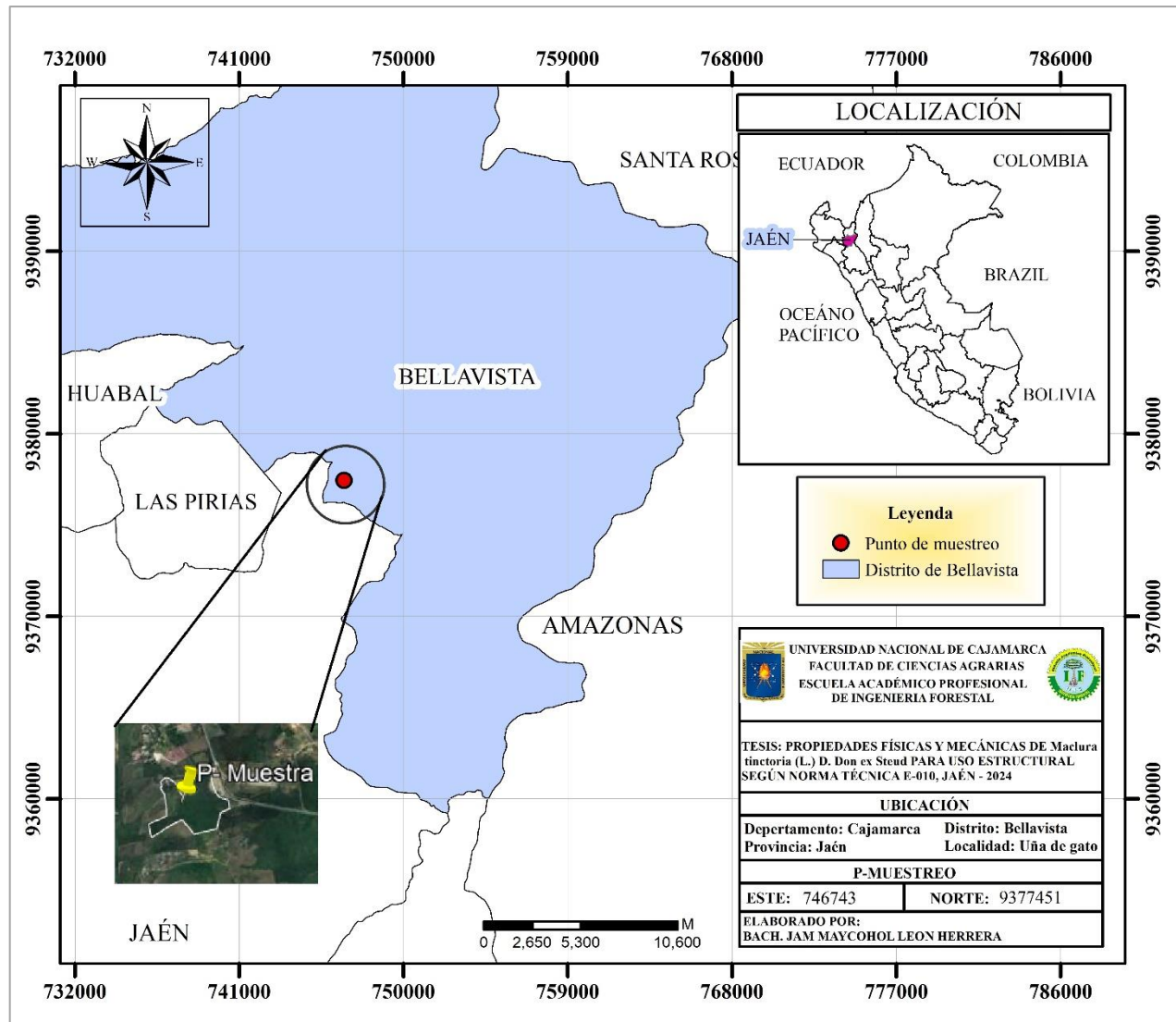
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización de la investigación

La investigación se realizó en la ciudad de Jaén, en el Laboratorio de Anatomía y Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional de Cajamarca – Filial Jaén. Los árboles para los ensayos se aprovecharon en el sector Uña de Gato, ubicado en el distrito de Bellavista, provincia de Jaén y departamento Cajamarca.

Figura 2

Ubicación de muestreo de los árboles de Maclura tinctoria



3.2. Tipo y diseño de la investigación

La presente investigación fue de tipo aplicada, ya que buscó generar conocimiento de aplicación directa para resolver problemas en la sociedad de la industria de la madera y construcción; ya que según Lozada (2019) dice que este tipo de investigaciones se basan en descubrimientos tecnológicos derivados de la investigación básica y se enfoca en enlazar la teoría con la práctica. Por tanto, los resultados de las propiedades físicas y mecánicas de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud para uso estructural según la Norma Técnica E-010, Jaén – 2024, contribuye en la optimización en los materiales de construcción. Según el nivel es descriptiva, porque se centró en determinar las propiedades en base a una norma sin intervenir en las características del objeto de estudio. Además, según su enfoque es una investigación cuantitativa porque el análisis de datos fue numérico.

La investigación es no experimental porque no se manipularon variables independientes, solo se limitó a observar y describir las condiciones y resultados de las propiedades físicas y mecánica de la madera de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud.

3.3. Unidad de análisis, población y muestra

Población: Estuvo construida por todos los árboles de la especie *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud, adultos con DAP mayor a 30 cm, presentes en el distrito de Bellavista, provincia de Jaén,

Muestra: La muestra estuvo constituida por los árboles seleccionados para obtener las probetas, que se sometieron a ensayos para determinar sus propiedades físicas y mecánicas. El proceso de muestreo fue de tipo no probabilístico, ya que la Norma Técnica Peruana (NTP) 251.008 fija el número de árboles necesarios para evaluar ambas propiedades. De acuerdo con esta normativa, para el nivel de investigación inicial y exploratorio, se deben seleccionar al azar 5 árboles con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor de 30 cm, garantizando así su viabilidad para el aserrío. El número de probetas utilizadas se determinó según las normas técnicas específicas para cada propiedad, asegurando así que se cumplan los estándares y protocolos que permitieron obtener datos precisos y confiables en el estudio.

Unidad de análisis: Estuvo conformada por las probetas de madera que fueron sometidas a ensayos con la finalidad de determinar sus propiedades físicas y mecánicas de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud.

3.4. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 6

Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Fuentes	Técnicas	Instrumentos
Primaria	Observación directa	Formatos de recolección de datos

Fuentes: En esta investigación la fuente fue primaria porque se proporciona datos originales y directos a partir de los ensayos y pruebas realizadas en el estudio sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera en estudio. Esto implicó, que los datos fueron recolectados directamente por el investigador en campo y en el laboratorio a través de observaciones y mediciones específicas, asegurando la veracidad de su información.

Técnica: La técnica fue la observación directa, ya que el investigador estuvo presente en todas las fases de ejecución de la investigación.

Instrumentos: Se utilizó un formato simple como herramienta de recolección de datos, diseñado específicamente para registrar información esencial durante la caracterización física y mecánica. Estos formatos se basaron en los estándares técnicos establecidos, entre ellos E.010, NTP 251.107, NTP 251.017, NTP 251.008, NTP 251.011 y NTP 251.010. En cambio, se evitaron herramientas pre estructuradas como encuestas o entrevistas y se eligieron formatos flexibles y adaptables para garantizar que los datos relevantes se capturen con precisión y detalle. La elección de este instrumento garantizó el cumplimiento de las normas técnicas y mejoró la calidad y confiabilidad de los datos recopilados en el estudio.

3.5. Procedimiento

La investigación constó de seis fases, las cuales se detallan a continuación:

Se realizó el muestro de los árboles de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud., que luego fueron talados con la finalidad de adquirir las probetas para los ensayos. Se seleccionaron trozas de 2 m de longitud, que estuvo ubicada en la parte central del fuste, y de esta se obtuvieron cuartones con la orientación adecuada en los planos de la madera. Estos cuartones se trasladaron al laboratorio.

Se obtuvieron las probetas siguiendo los lineamientos establecidos en la Norma Técnica Peruana (NTP) 251. en cuanto a dimensiones y número requerido para cada propiedad. Para las propiedades físicas de densidad y contenido de humedad, se obtuvieron 10 probetas estándar por cada árbol muestreado. Para las propiedades mecánicas, se extrajeron 2 probetas por árbol. Este proceso se realizó en el laboratorio de Anatomía y Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional de Cajamarca, Filial Jaén

Las muestras utilizadas para medir las propiedades físicas fueron sometidas a un proceso de remojo de 7 días hasta alcanzar una condición de sobresaturación, y luego se realizaron las pruebas correspondientes. Por otro lado, las muestras utilizadas para la evaluación de propiedades mecánicas se colocaron en un ambiente controlado para acondicionamiento y aclimatación antes del ensayo hasta que alcanzaron un nivel de humedad de equilibrio higroscópico (aproximadamente 12 %).

Se determinó las propiedades físicas siguiendo las normas técnicas correspondientes, en el laboratorio de anatomía y tecnología de la madera UNC-FJ.

Para las propiedades mecánicas los ensayos se realizaron en el laboratorio de anatomía y tecnología de la madera de la UNC-FJ.

Todos los resultados obtenidos de las propiedades físicas y mecánicas fueron registrados en los formatos correspondientes, luego fueron digitalizados en una hoja de cálculo de Excel. Finalmente, se aplicó estadística descriptiva para calcular las propiedades de la madera.

3.6. Validación y prueba de confiabilidad de los instrumentos

Los instrumentos utilizados en este estudio están basados en normas técnicas específicas, eliminando la necesidad de validación externa. La confiabilidad de los datos dependió de la

calidad de los instrumentos y de la capacitación del personal en su uso. Además, se tomó en cuenta la certificación de calibración de los instrumentos y equipos utilizados en laboratorio, que garantizó el cumplimiento de estándares de calidad y confiabilidad en los procesos y resultados.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el análisis de los datos recopilados, se utilizó una hoja de cálculo en Excel. Esta herramienta facilitó la tabulación y organización de los datos para su procesamiento estadístico descriptivo. Primero, se importaron los datos a Excel y se organizaron de manera estructurada. Luego, se aplicaron funciones y herramientas estadísticas del software para realizar el análisis descriptivo, generando tablas con indicadores clave como la media, desviación estándar y coeficiente de variabilidad. Además, se crearon gráficos adecuados, como barras, para complementar la interpretación de los resultados.

3.8. Presentación de la información

Al finalizar el trabajo de campo y el análisis, se redactó el informe final siguiendo el formato de la Facultad de Ciencias Agrarias y las Normas APA 7ª edición para las citas bibliográficas. En la sección de resultados, se incluyeron tablas y gráficos diseñados para presentar la información de manera clara y comprensible. La discusión se centró en validar los hallazgos mediante un análisis crítico y comparativo con la literatura relevante, asegurando la fiabilidad del informe y su contribución al conocimiento en el área de estudio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. *Propiedades físicas de Maclura tinctoria (L.) D. Don ex Steud*

Tabla 7

Propiedades físicas de la madera de Maclura tinctoria

Nº	Propiedad física	Ítem	Valor	Norma de referencia
1	Densidad básica	X (g.cm ⁻³)	0,77	NTP 251.011:2014 (Revisada el 2019)
		C.V. (%)	3,80	
2	Densidad anhidra	X (g.cm ⁻³)	0,84	NTP 251.011:2014 (Revisada el 2019)
		C.V. (%)	3,82	
3	Densidad Verde	X (g.cm ⁻³)	1,11	NTP 251.011:2014 (Revisada el 2019)
		C.V. (%)	3,20	
4	Contracción tangencial	X (%)	4,51	NTP 251.012:2015
		C.V. (%)	17,57	
5	Contracción Radial	X (%)	3,78	NTP 251.012:2015
		C.V. (%)	18,21	
6	Contracción Volumétrica	X (%)	8,84	NTP 251.012:2015
		C.V. (%)	10,20	
7	Relación CT/CR	Relación	1,34	NTP 251.012:2015
		C.V. (%)	31,41	
8	Humedad	X (%)	43,70	NTP 251.010:2014
		C.V. (%)	10,20	

Figura 3

Densidad básica de la madera de Maclura tinctoria

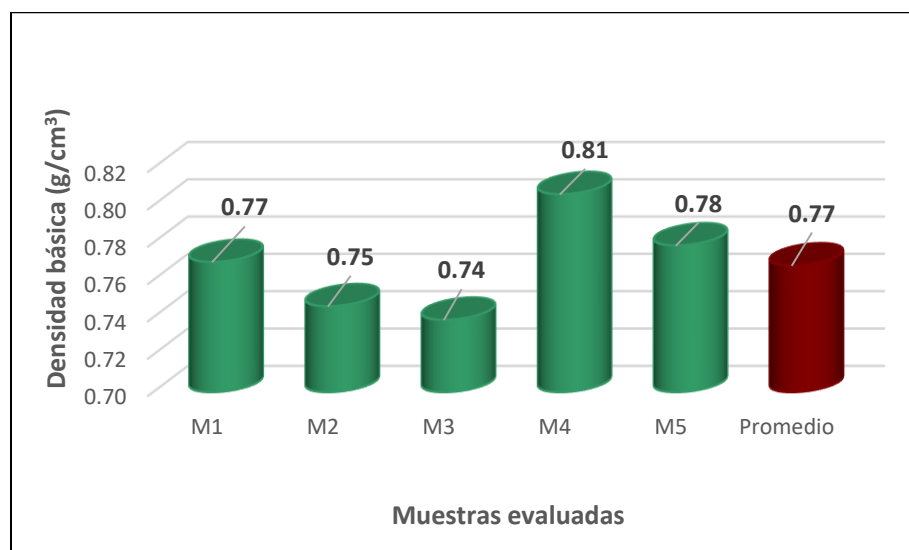


Figura 4

Contracción volumétrica de la madera de Maclura tinctoria

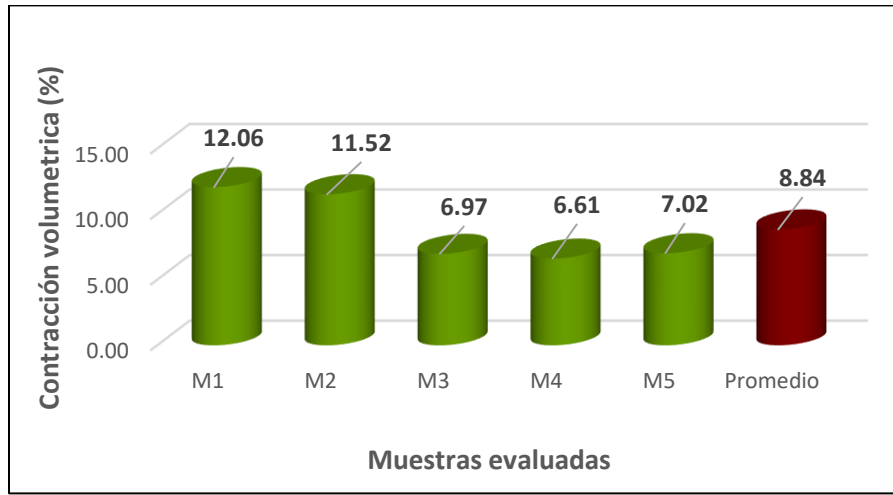
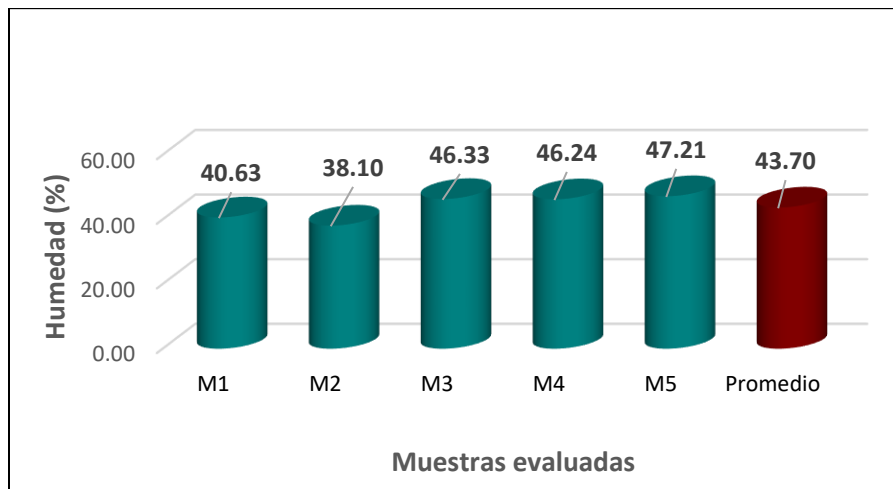


Figura 5

Contenido de humedad de la madera de Maclura tinctoria



En la Tabla 7, se presentan las propiedades físicas de la madera *Maclura tinctoria*, las cuales se complementan gráficamente en las Figuras 3, 4 y 5. En la Figura 3, se muestran los valores de densidad básica, donde la muestra M4 registró el mayor valor con $0,81 \text{ g/cm}^3$, mientras que la muestra M3 presentó el menor valor con $0,74 \text{ g/cm}^3$, obteniéndose un promedio general de $0,77 \text{ g/cm}^3$, estos valores indican una madera con alta densidad. La Figura 4 muestra los resultados de contracción volumétrica, siendo la muestra M1 la que presentó el mayor valor con $12,26 \%$, mientras que la muestra M4 obtuvo el menor valor con $6,61 \%$, con un promedio general de $8,84 \%$, estos datos reflejan una variabilidad en el comportamiento higroscópico de la

madera. En cuanto al contenido de humedad, representado en la Figura 5, la muestra M3 alcanzó el valor más alto con 46,33 %, y la muestra M2 presentó el valor más bajo con 38,10 %, estableciéndose un promedio de 43,10 %. Adicionalmente, se analizó la relación entre la contracción tangencial y radial, obteniéndose un valor de 1,34, lo cual sugiere un comportamiento relativamente estable y predecible durante el secado, al encontrarse dentro de los rangos aceptables para maderas con buen desempeño dimensional.

4.1.2. *Propiedades mecánicas de Maclura tinctoria (L.) D. Don ex Steud*

4.1.2.1. Resistencia a la flexión

Tabla 8

Resistencia a la flexión de la madera de Maclura tinctoria

Propiedad	Valor MPa
Esfuerzo máximo a la flexión($f_{m,u}$)	160,12
Esfuerzo admisible a flexión ($f_{am,m}$)	13,69
Módulo de elasticidad promedio (E_{prom})	17010
Módulo de elasticidad mínimo (E_{min})	5310

Figura 6

Esfuerzo de ruptura de flexión de la madera de Maclura tinctoria

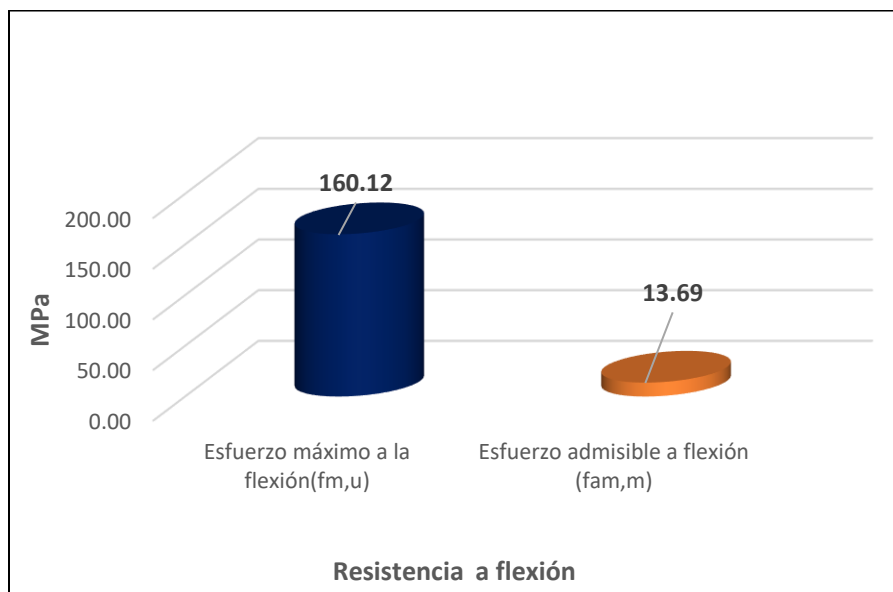
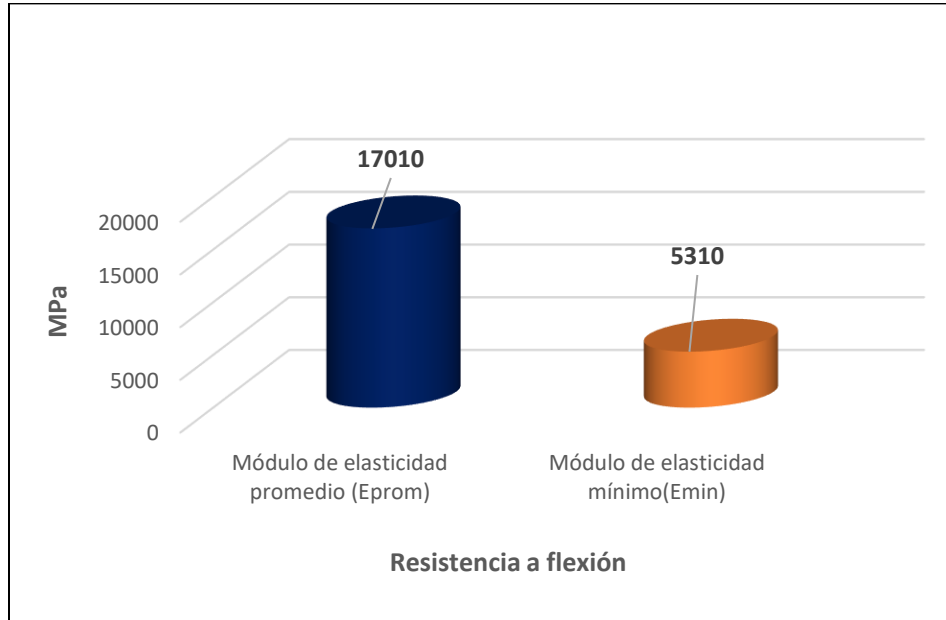


Figura 7

Esfuerzo a la deformación de flexión de la madera de Maclura tinctoria



En la tabla 8 y figura 6, se muestran esfuerzos máximos y admisibles a la flexión para la madera de *Maclura tinctoria*. El esfuerzo máximo a la flexión ($f_{m, u}$) alcanza un valor de 160,12 Mpa, mientras que el esfuerzo admisible medio ($f_{am, m}$) fue de 13,69 Mpa, esta diferencia evidencia el margen de seguridad adoptado, así como la capacidad portante del material bajo cargas flexionales. Por su parte, la Figura 7, muestra los valores correspondientes al módulo de elasticidad, tanto promedio como mínimo. El módulo de elasticidad promedio (E_{prom}) fue de 17010 MPa, y el mínimo (E_{min}) fue de 5310 Mpa, esto indica una baja variabilidad en la rigidez del material, lo cual es favorable para aplicaciones estructurales.

4.1.2.2. Resistencia a la compresión paralela

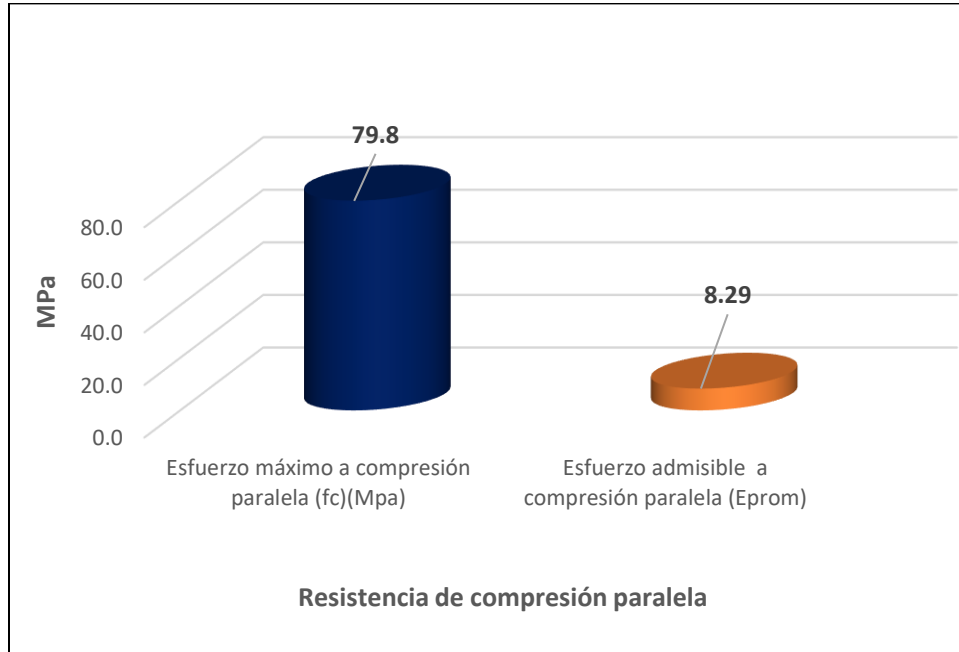
Tabla 9

Resistencia a la compresión paralela de la madera de Maclura tinctoria

Propiedad	Valor MPa
Esfuerzo máximo a compresión paralela (f_c)(MPa)	79,8
Esfuerzo admisible a compresión paralela (E_{prom})	8,29

Figura 8

Esfuerzo de ruptura de la compresión paralela de la madera de Maclura tinctoria



En la tabla 9 y figura 8, se muestran los valores de la resistencia a la compresión paralela de la madera *Maclura tinctoria*, siendo de 79,8 Mpa en el esfuerzo máximo a la compresión paralela (f_c) y de 8,29 Mpa en el esfuerzo a la compresión paralela (E_{prom}). Estos valores indican que posee una elevada capacidad de carga en dirección paralela a las fibras.

4.1.2.3. Resistencia a la compresión perpendicular

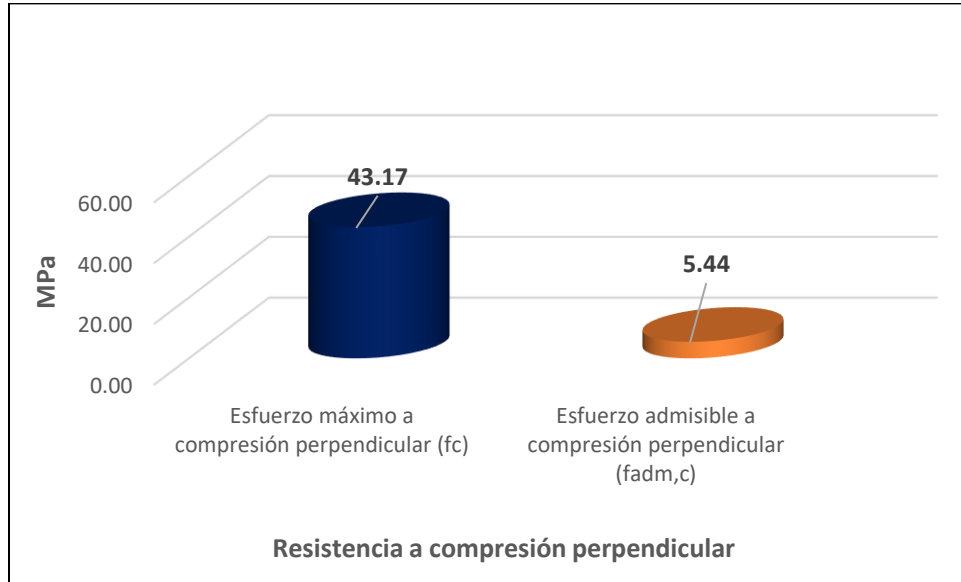
Tabla 10

Resistencia a la compresión perpendicular de la madera de Maclura tinctoria

Propiedad	Valor MPa
Esfuerzo máximo a compresión perpendicular (f_c)	43,17
Esfuerzo admisible a compresión perpendicular ($f_{adm,c}$)	5,44

Figura 9

Esfuerzo a la ruptura a la compresión perpendicular de la madera de Maclura tinctoria



En la tabla 10 y figura 9, se observan los valores obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión perpendicular a las fibras de la madera *Maclura tinctoria*, donde el esfuerzo máximo admisible alcanzado fue de 43,17 MPa, mientras que el esfuerzo admisible fue de 5,44 MPa.

4.1.2.4. Resistencia al corte

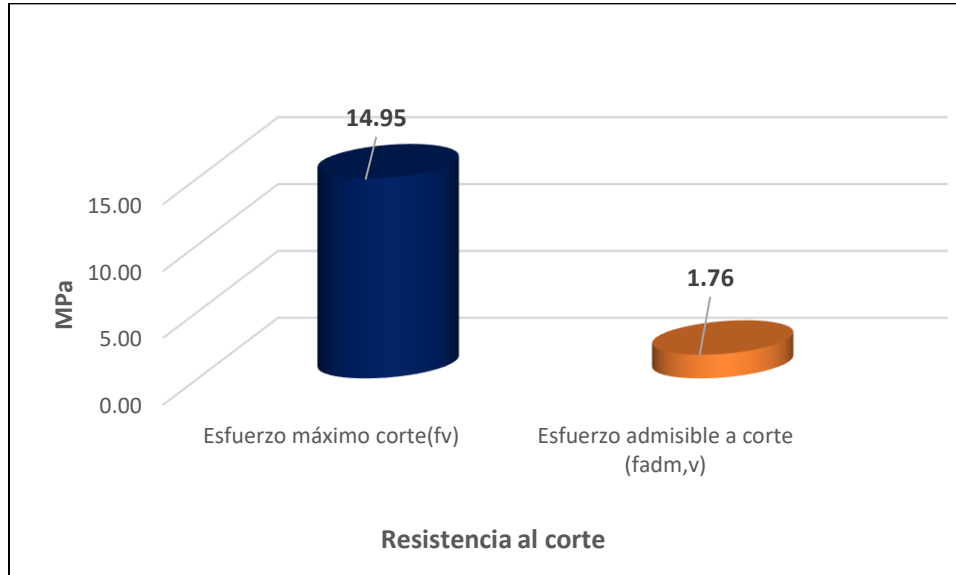
Tabla 11

Resistencia al corte de la madera de Maclura tinctoria

Propiedad	Valor
Esfuerzo máximo corte(f_v)	14,95
Esfuerzo admisible a corte ($f_{adm,v}$)	1,76

Figura 10

Esfuerzo de ruptura de cizallamiento de la madera de Machura tinctoria



En la tabla 11 y figura 10, se visualiza la resistencia al corte de la madera *Machura tinctoria*, donde el esfuerzo máximo de corte tuvo valores de 14,95 Mpa y el esfuerzo admisible de corte ($F_{adm, v}$) obtuvo valores 1,76 Mpa.

Tabla 12

Propiedades mecánicas de resistencia Machura tinctoria

N°	Propiedad física	Ítem	Valor	Normas de referencia
1	Esfuerzo máximo a la flexión (fm,u)	X (Mpa)	160,12	NTP 251.107:1988 (REVISADA EL 2019)
		C.V. (%)	33,61	
2	Esfuerzo admisible a flexión (fadm,m)	X (Mpa)	13,69	NTP 251.107:1988 (REVISADA EL 2019)
3	Módulo de elasticidad promedio (Eprom)	X (Mpa)	17010	NTP 251.107:1988 (REVISADA EL 2019)
		C.V. (%)	49,07	
4	Módulo de elasticidad mínimo (Emin)	X (Mpa)	5310	NTP 251.107:1988 (REVISADA EL 2019)
5	Esfuerzo máximo a compresión paralela (fc) (Mpa)	X (Mpa)	79,80	NTP 251.014:2015; RNE E 010
		C.V. (%)	26,61	
6	Esfuerzo admisible a compresión paralela (fadm,c)	X (Mpa)	8,29	NTP 251.014:2015; RNE E 010
7	Módulo de elasticidad promedio compresión pa. (Eprom)	X (Mpa)	9286,33	NTP 251.014:2015; RNE E 010
		C.V. (%)	36,01	
8	Esfuerzo máximo compresión perp. (fc)	X (Mpa)	43,17	NTP 251.016:2015; RNE E 010
		C.V. (%)	18,00	
9	Esfuerzo admisible a compresión perp. (fadm,c)	X (Mpa)	5,44	NTP 251.016:2015; RNE E 010
10	Esfuerzo máximo corte (fv)	X (Mpa)	14,95	NTP 251.013:2015; RNE E 010
		C.V. (%)	27,29	
11	Esfuerzo admisible a corte (fadm,v)	X (Mpa)	1,76	NTP 251.013:2015; RNE E 010

En la tabla 12, se visualizan las propiedades mecánicas de la madera de *Maclura tinctoria* donde puede verse que el esfuerzo admisible a la flexión es de 13,69 Mpa; a la compresión paralela es de 8,29 Mpa; a la compresión perpendicular de 5,44 Mpa y al corte es de 1,76 Mpa. También se observa la variabilidad más baja de las propiedades destacando la compresión paralela con el 26,61 % y la compresión perpendicular con el 18,00 %.

4.1.3. Cumplimiento de las propiedades físicas y mecánicas y su clasificación según la Norma Técnica E-010

4.1.3.1. Comparación de propiedades físicas de la madera según la RNE-010

Tabla 13

Densidad básica para maderas latifoliadas

Grupo	Densidad básica g/cm ³
A	≥0,71
B	0,56 a 0,70
C	0,40 a 0,55
D	0,36 a 0,39

Nota. Tabla obtenida de la NTP E.010 Madera del RNE (MVCS, 2021, p. 43).

La tabla 13, ha sido obtenida de la tabla 2 anexo 2 de la norma E-010, donde se observa la comparación de las propiedades físicas según los requerimientos de la RNE E 010; y la tabla 6; donde según las propiedades físicas de la madera *Maclura tinctoria* se obtuvo un promedio de 0,77 g/cm³ de densidad básica; de acuerdo a esta comparación de la madera evaluada se encuentra en el grupo A que se establece una densidad ≥0,71.

4.1.3.2. Comparación de las propiedades mecánicas según la RNE-010

Tabla 14.

Esfuerzos admisibles para maderas latifoliadas Mpa (kg/cm)

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)

Nota. Tabla obtenida de la NTP E.010 Madera del RNE (MVCS, 2021, p. 43).

La tabla 13 ha sido obtenida de la tabla 3 anexo 2 de la norma E 010 de las propiedades mecánicas expresadas en esfuerzos admisibles de la flexión, compresión paralela, compresión perpendicular y corte paralelo; estos valores se compararon con los datos obtenidos de la especie evaluada, en donde la tabla 8 se muestran los valores de la resistencia a la flexión con un promedio de f_{adm} 13,69 Mpa, de acuerdo con la comparación la madera evaluada se encuentra en el grupo C que establece los esfuerzos admisibles de 9,8 Mpa; en la tabla 9, se obtuvo un valor promedio de E_{prom} 8,29 Mpa, de la resistencia a la compresión paralela; de acuerdo a la comparación la madera se encuentra en el grupo C que establece los esfuerzos admisibles que establece los esfuerzos admisibles 7,8 Mpa; en la tabla 10, se obtuvo un promedio de $f_{adm,c}$ 5,44 Mpa, de la resistencia a la compresión perpendicular; donde la comparación de la madera evaluada se ubica en la grupo A que establece los esfuerzos admisibles 3.9 Mpa; en la tabla 11, se obtuvo un valor promedio de $f_{adm,v}$ 1.76 Mpa, de la resistencias al corte; donde la comparación de la madera evaluada se encuentra en el grupo A que establece los esfuerzos admisibles 1,5 Mpa.

4.1.3.3. Comparación del módulo de elasticidad para la madera de *Maclura tinctoria* según la RNE-010

Tabla 15

Módulo de elasticidad para la madera latifoliadas Mpa (kg/cm)

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)

Nota. Tabla obtenida de la NTP E.010 Madera del RNE (MVCS, 2021, p. 44).

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 E_{prom} 17010 Mpa del módulo de elasticidad promedio; donde de acuerdo a la comparación de la madera evaluada se encuentra en el grupo A que establece el módulo de elasticidad de 12748 Mpa; y en la misma tabla se muestran las propiedad mecánica obtuvo un valor promedio de E_{min} 5310 Mpa, del módulo de elasticidad

mínimo; donde la comparación de la madera evaluada se encuentra en el grupo D que establece en módulo de elasticidad de 4414 Mpa.

4.2. Discusión

La investigación culminó con resultados que sirvieron para cumplir los objetivos planteados, así como responder el problema de investigación; así fue posible determinar las propiedades físicas y mecánicas de *Maclura tinctoria* en el marco de la Norma E 010, para validar el uso de la madera de esta especie como estructural. La metodología planteada al amparo de Normas Técnicas permitió alcanzar los resultados esperados, válidos y confiables para arribar a conclusiones luego de la validación por las discusiones que se realizan a continuación.

Las discusiones de los resultados obtenidos, se detallan en el marco de los objetivos específicos planteados en la investigación, tal como se desarrolla a continuación.

En cuanto a las propiedades físicas de la madera de *Maclura tinctoria*, se obtuvo un valor de densidad básica igual a 0,77 g/cm³, así como un contenido máximo de humedad de 43,70 % y la contracción volumétrica fue de 8,84 %; sin embargo, la relación de contracción radial y tangencial fue de 1,34. Los resultados muestran una madera de alta densidad, lo que está relacionado con el máximo contenido de humedad bajo, así como una baja contracción volumétrica; así mismo, es importante que la especie muestre un valor tan bajo, que lo vuelve un recurso maderable ideal para la fabricación de pisos y estructuras de madera. Otros investigadores determinaron valores de propiedades físicas de madera de densidad alta como Quispe (2022), que estudió *Dipteryx ferrea* y *Manilkara bidentata*, encontró valores de densidad básica de 0,75 y 0,72 g/cm³ respectivamente, estos valores son muy similares a los encontrados en la presente investigación, lo que homologa a la especie estudiada con estas especies importantes por su alta comercialización en la selva baja peruana. Por su parte Cruz (2022), estudió varias especies, dentro de las cuales contempló especies de densidad alta, calificadas como maderas pesadas y estableció valores de densidad para la especie *Maclura tinctoria*; sin embargo, encontró valores de 0,75 g/cm³, valor muy similar al encontrado en la presente investigación, y lo considera dentro de las especies densas en el intervalo de 1,001 a 0,750 g/cm³, como especies muy buenas para el uso estructural.

También se determinaron las propiedades mecánicas de la madera de *Maclura tinctoria*, obteniéndose como resultado un esfuerzo admisible de 13,69 Mpa para flexión, 8,29 Mpa para compresión paralela, 5,44 Mpa para compresión perpendicular y 1,76 Mpa para el corte o cizallamiento; así mismo se determinó el módulo de elasticidad promedio de flexión en 17010 Mpa y el módulo de elasticidad mínimo de flexión en 5310 Mpa. Los resultados se muestran en esfuerzos admisibles y no en resistencias máximas, pero los resultados obtenidos indican que la especie tiene valores medio a altos de resistencia. Similar resultado obtuvo Cruz (2022) en su estudio de propiedades mecánicas de la especie, siendo valores muy similares en la resistencia a la flexión, con un valor de 13,9 Mpa de esfuerzo admisible y un valor del MOE promedio de 14505 Mpa; en cuanto a las resistencia a la compresión y corte, este investigador obtuvo resultados con valores menor a los encontrados en la presente investigación, las diferencias en algunas propiedades mecánicas, se debe a la diferencia de origen, en la presente investigación, la muestra procedió de un bosque estacionalmente seco, mientras que el investigador obtuvo su muestra de un bosque tropical húmedo. Otros investigadores estudiaron especies que tuvieron valores similares como es el caso de Sousa et al. (2024), estudió la madera de *Pouteria oblanceolata*, que obtuvieron similares valores de resistencia a la compresión paralela al grano, compresión perpendicular y corte; similares resultados obtuvieron Aldana et al. (2021), al estudiar la madera de *Zanthoxylum rhoifolium*, con valores de las propiedades mecánicas muy similares en flexión, compresión paralela, compresión perpendicular y corte; todas estas especies tienen uso potencial estructural, similar a la especie estudiada en el presente trabajo de investigación.

Como parte final, y tomando en cuenta las propiedades físicas y mecánicas obtenidas a nivel de esfuerzos admisibles y MOE, se procedió a ubicar a la especie de acuerdo a la clasificación realizada por la Norma E 010, encontrándose que de acuerdo a la densidad básica, la compresión perpendicular, la resistencia al cizallamiento y el módulo de elasticidad promedio, se trata de una madera de categoría A; sin embargo debido a las propiedad de esfuerzo admisible a la flexión y compresión paralela al grano se ubica dentro del grupo C. De acuerdo a los criterios de clasificación establecidos en la Norma E 010, la madera de la especie tiene que ubicarse en la clase de menor valor encontrado; es decir se clasificó dentro del grupo C; según la tabla de clasificación de especies de la Norma E 010, la especie se ubicaría junto a otra especie muy conocida en el uso estructural como es la *Cedrelinga cateniformis*, lo que infiere, que se

trata de una madera muy buena para uso estructural. Similar resultado de clasificación obtuvo Tello (2023) para la madera de *Ocotea jelskii*, que se clasificó también en el grupo C de acuerdo a la Norma E 010, pero en este caso, la madera de esta especie alcanzó en todas las propiedades la clasificación del grupo C, lo que discrepa con los resultados obtenidos en la presente investigación, ya que en la mayoría de propiedades físicas y mecánicas se obtuvo la clasificación dentro del grupo A; en esta línea, Quispe (2022) analizó la madera de dos especies forestales de alta densidad como *Dipteryx ferrea* y *Manilkara bidentata*, estas especies arrojaron propiedades físicas y mecánicas que ubicaron a las maderas dentro del grupo A de acuerdo a la Norma E 010; Los resultados de estos dos investigadores explican como una madera que tiene valores muy similares en las propiedades físicas y algunas propiedades mecánicas, alcanza una clasificación de un grupo inferior, siendo equiparada con otra especie que tiene valores de propiedad física de densidad muy inferior, ya que la *Ocotea jelskii*, obtuvo una densidad básica de solo $0,48 \text{ g/cm}^3$, frente al $0,77 \text{ g/cm}^3$ que se obtuvo en la presente investigación; lo mismo obtuvo Calderón (2022), que en su investigación de madera en *Pinus radiata*, obtuvo una clasificación en el grupo C, de acuerdo a la Norma E 010, y obtuvo como resultado de densidad básica de $0,42 \text{ g/cm}^3$, valor muy por debajo de lo encontrado en la presente investigación. Por su parte López (2021) estudió la madera de *Manilkara bidentata*, y obtuvo propiedades físicas y mecánicas similares a los obtenidos en la presente investigación; sin embargo, debido a la mayor uniformidad de las fibras de la madera, se alcanzó una clasificación dentro del grupo C, de acuerdo a la Norma E 010.

Luego de la discusión y comparación de los resultados obtenidos en la presente investigación con la de otros investigadores, se validó los resultados obtenidos y calificó la madera dentro del grupo C de acuerdo a la Norma E 010, esto permite considerar la madera de *Maclura tinctoria* como potencial para uso estructural de manera similar a las especies consideradas dentro de este grupo por la mencionada Norma Técnica.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se determinó las propiedades físicas de la madera *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud encontrándose una densidad básica promedio de $0,77 \text{ g/cm}^3$; el contenido máximo de humedad fue de 43,70 %, la contracción volumétrica fue de 8,84 % y la relación contracción radial y contracción tangencial fue de 1,34.

Se determinó las propiedades mecánicas de flexión, compresión paralela, compresión perpendicular y corte de la madera de *Maclura tinctoria* expresadas en su esfuerzo admisible encontrándose que para la flexión es de 13,69 Mpa, compresión paralela es de 8,29 Mpa, resistencia a la compresión perpendicular es de 5,44 Mpa, resistencia al cizallamiento es de 1,76 Mpa; así mismo el módulo de elasticidad promedio es de 17 010 Mpa y el módulo de elasticidad mínimo fue de 5310 Mpa.

Se estableció la clasificación de la madera de *Maclura tinctoria* para su uso estructural según la Norma Técnica E 010, encontrándose que según la densidad básica pertenece al grupo A; por la flexión y la compresión paralela pertenece al grupo C, por la compresión perpendicular y por la resistencia al cizallamiento pertenece al grupo A; así mismo, de acuerdo al módulo de elasticidad promedio pertenece al grupo A.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda a los programas de reforestación, empresas forestales, y a instituciones públicas y privadas vinculadas a la reforestación y manejo forestal sostenible, considerar la inclusión de la especie *Maclura tinctoria* en sus planes y proyectos, por tener propiedades físicas y mecánicas adecuadas para diversos usos estructurales como vigas, columnas, durmientes, tijerales, pisos y entramados.

Se recomienda a la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, promover la investigación de la especie *Maclura tinctoria*, en temas relacionados a dendrometría y dasometría de la especie, propagación sexual y asexual de la especie, silvicultura aplicada a la especie, así como las propiedades de trabajabilidad de la madera, y así proponer su manejo y uso correcto de este recurso.

A los estudiantes egresados de la Escuela de Ingeniería Forestal realizar investigaciones de la especie *Maclura tinctoria*, para complementar los conocimientos existentes, y generar un conocimiento completo de la especie para promover su uso por la industria forestal, así como su manejo en plantaciones forestales.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelatif, A. O., Abdrahman, R. A., & Abdalla, A. M. A. (2022). Structural characterization of three types of woods in Sudan: (*Anogeissus leiocarpus*) Sahab, (*Balanites aegyptiaca*) Heglieg, and (*Sclerocarya birrea*) Humeid. *Structures*, 43, 351–357.
<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.06.062>
- Adler, V., & Peciña-López, D. (2022). *La madera como material de construcción de viviendas: ¿cuáles son sus beneficios?* <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/la-madera-como-material-de-construccion-de-viviendas-cuales-son-sus-beneficios/>
- Alca, G. A. (2024). *Clasificación estructural de la madera palo blanco utilizada en construcción en el distrito de Kumpirushiato, provincia La Convención, departamento Cusco, 2021* [Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].
<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/8515>
- Aldana, C., Silva, A., & Soler, L. (2021). Determinacion de usos potenciales de la madera de tachuelo (*Zanthoxylum rhoifolium* Lam.) de las propiedades físico-mecánicas y características anatómicas. *IDEA Construcción Y Madera*, 3–12.
- Anchundia, J. J. (2021). *Determinacion de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de Ochroma pyramidale (Cav. Ex Lam.) Urb. (Balsa) de tres años de edad* [Universidad Técnica Estatal de Quevedo].
<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/090ec47f-c223-43ef-8307-4f17b78f30e6/content>
- Baño, V. (2015). *Tecnología de la construcción en madera en Uruguay. Estado del arte y perspectivas*.
https://www.researchgate.net/publication/307583845_Technology_of_timber_construction_in_Uruguay_State_of_the_art_and_prospects/figures?lo=1
- Barrera, L., Llerena, A., & Proaño, D. (2022). La Madera en Arquitectura Identificación y Caracterización de la Madera Estructural en el Ecuador. *Centro de Estudios En Diseño y*

Comunicación, 159(2), 203–215.

Bernal, R., Gradstein, S. R., & Celis, M. (2019). *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

<http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co/>

Berruguete, B. (2024). *La madera, el futuro del sector de la construcción*. El Economista.

<https://www.eleconomista.es/opinion/noticias/12789160/04/24/la-madera-el-futuro-del-sector-de-la-construccion.html>

Calderón, E. R. (2022). *La madera pino radiata y su agrupamiento estructural según norma E010 – Huánuco Perú, 2022* [Universidad Nacional Hermilio Valdizán].

<https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/8425/TIC00334C22.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Castellanos, P. (2023). Características de la madera estructural para construcción. In *EN OBRA*.

<https://www.en-obra.com/es/noticias/requisitos-para-construir-con-madera-estructural>

Chicaiza, 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]. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8879/1/1>. Tesis Final.pdf

CLT. (2023). *Construcción industrializada en madera: Innovación y eficiencia*.

<https://www.madera21.cl/blog/2023/06/14/construccion-industrializada-en-madera-innovacion-sostenible-para-chile/>

Constructora Andromeda [@constructoraandromeda]. (2024.). *Pinterest* [Perfil de Pinterest].

Pinterest. Recuperado el 9 de octubre de 2024, de

<https://www.pinterest.com/constructoraandromeda/>

Cruz, C. E. (2022). *Análisis de las propiedades físico-mecánicas de madera estructural ecuatoriana y su aplicación en el diseño de vivienda social* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/36301>

Ernst, & Sohn, G. &. (2024). *Timber as a Structural Material* (pp. 1–18). Ernst & Sohn GmbH.

- https://application.wiley-vch.de/books/sample/3433034044_c01.pdf
- Garzón, 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].
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/82854/1049646832.2022.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Gómez, B. (2023). *Estudio comparativo de materiales alternativos e innovadores en un cohousing estudiantil en quito, 2022*. Universidad Indoamericana.
- Gómez, E. (2017). *Refuerzo y reparación con FRP de vigas de madera aserradas sometidas a flexión* [Universidad Politécnica de Madrid].
https://oa.upm.es/46658/1/ENRIQUE_GOMEZ_DE_LA_PENA.pdf
- Hussein, A., Heyliger, P., & Mahmoud, H. (2020). Structural performance of a wood-sand-wood wall for blast protection. *Engineering Structures*, 219, 110954.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110954>
- INACAL. (2015). *Norma Técnica Peruana (NTP 251.001:2015. MADERA, Terminología)*.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2018). *En el país existen más de diez millones de viviendas particulares censadas*.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1538/part_e01.pdf
- López, 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 Sur]. <http://hdl.handle.net/20.500.14503/1269>
- Lozada, J. (2019). Investigación Aplicada. *Cienciaamérica*, 1(3), 34–39.
<http://www.uti.edu.ec/documents/investigacion/volumen3/06Lozada-2014.pdf>
- Ministerio de Vivienda, C. y S. (2021). *Norma Técnica E.010 Madera del reglamento de edificaciones*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2079964/NORMA>

TÉCNICA E.010 MADERA DEL REGLAMENTO NACIONAL DE
EDIFICACIONES.pdf

- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2014). *Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales* (p. 171).
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e38440e9-a137-43cb-bdcf-f8fa1c8c6dce/content>
- Ortega, M. G., & Ruiz, S. B. (2021). La madera como material para la construcción: Mitos, realidades y oportunidades. In *INFOR* (p. 14).
<https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/31358/31358.pdf?sequence=1&isAllowed>
- Quintero-Rincón, P., Pájaro-González, Y., & Diaz-Castillo, F. (2024). *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud. (Moraceae): a review of the advances in ethnobotanical knowledge, phytochemical composition, and pharmacological potential. *Advances in Traditional Medicine*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s13596-024-00764-z>
- Quispe, S. V. (2022). *Análisis comparativo de la resistencia a la flexión en vigas de la madera shihuahuaco y quinilla comercializada en el distrito de Irazola - provincia de Padre Abad – departamento de Ucayali - 2021* [Universidad Nacional Hermilio Valdizán].
<https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/7446/TIC00286Q78.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rubio, Y. A. (2021). *Análisis de densidad básica de la madera de pona (Socratea exorrhiza) y categorización dentro de los grupos de la madera de acuerdo a la Norma E.010, en el Valle del Monzón, provincia de Huamaliaes, departamento de Huánuco - 2019* [Universidad de Huánuco]. <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/3118>
- Sousa, V., Sales da Silva, M. G., Cruz, G., Araújo, R. D., Fábio, S., Silva, A. F., & Santos, J. M. (2024). Caracterização físico-mecânica da madeira de tuturubá (*Pouteria oblanceolata* Pires). *Matéria (Rio de Janeiro)*, 29(1). <https://doi.org/10.1590/1517-7076-rmat-2023-0270>

- Suárez, E. (2021). *La Resistencia a la flexion es maxima a un contenido de humedad, y desde el indice del porcentaje de humedad hasta el punto de saturación de la fibra. ¿Cuál o cuáles serían las dimensiones de resistencia?*
<https://www.researchgate.net/publication/328554100>
- Tello, R. (2023). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del “ishpinguillo” y su posible uso estructural según la norma E.010 “madera”* [Universidad Cesar Vallejo].
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Trópicos. (2025). *Maclura tinctoria (L.) D. Don ex Steud.* Missouri Botanical Garden.
<https://www.tropicos.org/name/21300516>
- Universidad Nacional de Cajamarca. (2016). *Resolución de Consejo Universitario N° 1378-2016-UNC* (p. 12).
<http://institucional.unc.edu.pe/Documentos/ObtenerArchivo?codigo=0000000227>
- Utan-Chimborazo, M. N., & Maldonado-Noboa, J. S. (2023). Propiedades mecánicas de la madera con polilla. *Dominio de las ciencias*, 9(3), 295–316.
<https://doi.org/https://doi.org/10.23857/dc.v9i1>
- Wang, D., Zhang, M., Gong, M., & Chui, Y.-H. (2024). Evaluation of Major Physical and Mechanical Properties of Trembling Aspen Lumber. *Materials*, 17(12), 2952.
<https://doi.org/10.3390/ma17122952>
- WFO. (2023). *Maclura tinctoria (L.) D. Don ex Steud.*
<http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000447821>
- Wu, J., Liang, J., Chen, M., Zheng, S., & Xu, J. (2022). Study on the Structural Characteristics and Physical and Mechanical Properties of Phoebe bournei Thinning Wood. *Journal of Renewable Materials*, 10(11), 3025–3039. <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.019989>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala
Propiedades físicas y mecánicas	Las características físico-mecánicas de la madera son indicadores clave de su calidad y ayudan a determinar los posibles usos que se le pueden asignar a este materia (Tello, 2023, p. 25)	Propiedades físicas	Densidad básica (g/cm ³) Contenido de humedad (%) Flexión (MPa) Compresión paralela (MPa) Compresión perpendicular (MPa) Corte (MPa)	De razón
		Propiedades mecánicas		
Uso estructural de la madera	Es aquella que cumple con los parámetros establecidos en la norma NTP 251.104:1988, y se caracteriza por su capacidad para resistir esfuerzos (Rubio, 2021, p. 36)	Densidad Esfuerzos admisibles	Kg/m ³ MPa	De razón

Anexo 2. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de <i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud para uso estructural según la Norma Técnica E-010, Jaén – 2024?	General			
	Determinar las propiedades físicas y mecánicas de <i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud para uso estructural según la Norma Técnica E-010, Jaén – 2024		Propiedades físicas y mecánicas	Diseño de investigación: No Experimental
	Específicos	Es posible determinar las		Nivel de investigación: Descriptiva
	Determinar las propiedades físicas de <i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud necesarias para su uso estructural.	propiedades físicas y mecánicas de <i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud para uso	Uso estructural de la madera	Técnica: Observación directa
	Determinar las propiedades mecánicas de <i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud necesarias para su uso estructural	estructural según la Norma Técnica E-010, Jaén – 2024		Fuente: Primaria
	Establecer las propiedades físicas y mecánicas de <i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud y su clasificación para su uso estructural según la Norma Técnica E-010.			Instrumento: Formato de recolección de datos
				Muestra: La muestra estuvo constituida por los árboles seleccionados para obtener las probetas, que se someterán a ensayos para determinar sus propiedades físicas y mecánicas.

Anexo 3. Inventario de árboles de *Maclura tinctoria*

N°	Código	Especie	Nombre común	Este	Norte	Altitud	DAP (cm)	HC (m)	HT (m)	Área basal (m²)	Volumen comercial (m³)
1	A1	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	746684	9377684	766	0,32	5	8	0,080	0,3619
2	A2	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	746682	9377685	767	0,35	4	7	0,096	0,3464
3	A3	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	746674	9377690	767	0,38	5	8	0,113	0,5104
4	A4	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	746667	9377396	767	0,23	4	7	0,042	0,1496
5	A5	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	746408	9377684	764	0,32	4	8	0,080	0,2895
6	A6	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	746653	9377656	771	0,34	6	9	0,091	0,4903
7	A7	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	746651	9377651	772	0,37	5	8	0,108	0,4838
8	A8	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	746651	9377709	769	0,28	4	7	0,062	0,2217
9	A9	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	746645	9377719	769	0,27	3	9	0,057	0,1546
10	A10	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	746638	9377697	770	0,32	4	7	0,080	0,2895
11	A11	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	746609	9377715	770	0,39	6	9	0,119	0,6451
12	A12	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	746596	9377699	771	0,33	5	8	0,086	0,3849
13	A13	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	746471	9377664	758	0,31	5	8	0,075	0,3396
14	A14	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	747772	9377671	756	0,25	4	7	0,049	0,1767
15	A15	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	746790	9377683	752	0,37	3	6	0,108	0,2903
16	A16	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	746800	9377703	749	0,23	3	6	0,042	0,1122
17	A17	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	746800	9377721	749	0,22	4	7	0,038	0,1368
18	A18	<i>Maclura tinctoria</i>	Morero	746769	9377750	751	0,20	5	3	0,031	0,1414
Total										1,358	5,5247

Anexo 4. Datos de la medición de probetas para propiedades físicas de la madera de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud en laboratorio.

4.1. Datos de las probetas en húmedo de la madera *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud.

Código	R			Promedio radial	T			Promedio tangencial	L	Peso
	1	2	3		1	2	3			
M1-1	29,53	29,72	29,68	29,64	29,90	29,78	29,76	29,82	97,23	94,98
M1-2	29,31	29,39	29,40	29,37	28,58	28,60	28,49	28,56	97,18	87,85
M1-3	29,58	29,50	29,55	29,54	27,22	27,08	27,53	27,28	95,30	84,06
M1-4	29,25	29,27	29,39	29,30	28,44	28,46	28,30	28,40	96,50	85,02
M1-5	29,44	29,32	29,15	29,30	29,74	29,74	30,03	29,84	97,67	93,98
M1-6	29,04	28,97	28,76	28,92	28,97	28,95	29,05	28,99	98,13	90,34
M1-7	30,75	30,06	29,96	30,26	28,42	28,67	28,67	28,59	98,96	90,55
M1-8	29,99	29,79	29,46	29,75	28,04	27,94	28,00	28,00	96,36	85,13
M1-9	29,44	29,99	30,09	29,84	28,80	28,75	29,57	29,04	97,05	91,37
M1-10	29,96	29,93	30,00	29,96	26,98	27,41	28,04	27,48	96,27	85,26
M1-11	29,80	29,17	29,04	29,34	29,54	29,27	29,21	29,34	97,05	91,49
M1-12	29,26	30,24	30,11	29,87	29,14	28,93	28,84	28,97	99,10	90,49
M1-13	30,27	30,12	30,14	30,18	28,94	28,88	28,64	28,82	97,99	89,09
M1-14	30,15	29,31	29,42	29,63	27,86	28,14	28,36	28,12	94,82	84,40
M1-15	29,42	29,61	28,91	29,31	28,72	28,62	28,45	28,60	96,10	88,33
M1-16	30,01	30,65	30,70	30,45	28,48	28,58	28,92	28,66	97,79	93,72
M2-1	29,19	29,16	29,14	29,16	29,00	28,91	29,07	28,99	99,60	83,66
M2-2	29,15	29,03	29,21	29,13	28,68	28,65	27,71	28,34	98,75	83,73
M2-3	30,40	30,54	30,65	30,53	26,28	26,63	26,77	26,56	99,24	83,24
M2-4	28,44	27,59	28,37	28,13	27,63	28,10	27,93	27,88	98,20	95,65
M2-5	28,93	29,00	28,81	28,91	29,61	30,26	28,73	29,53	95,81	89,41
M2-6	28,64	28,75	28,74	28,71	28,81	28,60	28,74	28,71	98,97	79,39
M2-7	27,19	28,74	28,75	28,23	27,82	28,49	29,01	28,44	96,88	88,05
M2-8	28,77	28,74	28,77	28,76	28,33	28,22	28,35	28,30	97,15	80,55
M2-9	29,88	30,05	29,82	29,92	28,93	29,10	29,12	29,05	99,06	86,01
M2-10	28,58	28,46	28,43	28,49	27,83	28,76	28,56	28,38	96,82	79,78
M2-11	29,41	29,35	29,33	29,36	29,89	29,71	29,60	29,73	96,40	89,69

M2-12	29,37	28,79	28,74	28,97	28,84	28,96	28,93	28,91	98,25	82,21
M2-13	29,06	29,01	29,00	29,02	28,29	28,46	28,31	28,35	96,34	98,19
M2-14	29,16	29,03	29,15	29,11	29,37	29,26	29,09	29,24	99,08	87,20
M2-15	29,96	30,19	30,18	30,11	28,91	28,86	28,64	28,80	99,02	86,76
M2-16	29,61	29,63	29,33	29,52	28,93	28,93	28,78	28,88	96,10	85,02
M2-17	29,29	29,55	29,84	29,56	28,79	28,97	29,04	28,93	99,86	87,68
M2-18	29,70	29,44	29,19	29,44	29,35	29,50	29,45	29,43	97,86	80,30
M3-1	28,15	28,18	28,22	28,18	28,65	28,37	28,36	28,46	95,13	85,34
M3-2	28,27	28,07	28,25	28,20	28,45	28,36	28,4	28,40	94,87	83,23
M3-3	30	30,06	30,04	30,03	25,78	26,16	26,26	26,07	94,83	82,87
M3-4	28,09	27,69	27,61	27,80	28	27,43	27,59	27,67	96,2	80,87
M3-5	28,2	28,18	28,12	28,17	29,19	29,08	28,51	28,93	94,94	80,98
M3-6	27,95	28,06	28,03	28,01	28,77	28,16	28,4	28,44	96,93	82,08
M3-7	26,14	25,79	25,6	25,84	27,72	28,25	28,66	28,21	93,57	66,87
M3-8	28,31	28,63	28,43	28,46	27,91	27,61	27,45	27,66	94,99	83,14
M3-9	29,16	29,29	29,2	29,22	28,62	28,53	28,56	28,57	95,55	87,17
M3-10	28,03	27,4	27,74	27,72	28,58	28,63	28,2	28,47	93,98	78,9
M3-11	28,61	28,64	28,37	28,54	29,75	29,86	29,42	29,68	96,75	89,71
M3-12	27,94	27,71	27,62	27,76	28,8	28,69	28,72	28,74	94,58	82,12
M3-13	28,03	27,93	27,98	27,98	28,3	28,42	28,28	28,33	93,89	79,28
M3-14	28,27	28,06	28,17	28,17	29,22	29,43	29,1	29,25	95,38	87,02
M3-15	30,02	29,54	28,46	29,34	28,65	28,3	28,05	28,33	96,22	87,75
M3-16	28,65	28,7	28,44	28,60	28,42	28,28	28,32	28,34	96,03	87,39
M3-17	28,5	28,63	28,77	28,63	28,85	28,66	28,51	28,67	95,41	83,43
M3-18	28,58	28,68	28,19	28,48	29,13	28,89	29,03	29,02	95,8	79,88
M4-1	29,12	29,25	29,33	29,23	28,09	28,19	28,22	28,17	91,36	87,51
M4-2	30,29	29,89	29,7	29,96	28,5	28,31	28,18	28,33	92,56	91,4
M4-3	28,6	28,43	28,4	28,48	28,8	28,74	28,51	28,68	93,08	90,63
M4-4	28,99	29,09	28,91	29,00	26,08	25,95	26,16	26,06	94,18	89,41
M4-5	28,96	28,96	28,8	28,91	28,09	28,01	27,82	27,97	93,3	90,11
M4-6	29,47	29,26	29,06	29,26	26,5	26,56	26,3	26,45	93,62	86,59
M4-7	28,61	28,63	28,65	28,63	28,85	28,94	29,23	29,01	94,66	93,7
M4-8	27,54	27,12	27	27,22	27,98	27,99	28,17	28,05	92,09	84,84

M4-9	27,37	27,63	27,32	27,44	28,2	28,27	28,27	28,25	91,81	84,85
M4-10	28,03	28,02	28,07	28,04	29,13	29,32	28,287	28,91	92,33	89,65
M4-11	29,47	30,03	30,22	29,91	29,26	28,91	28,86	29,01	92,27	93,82
M4-12	28,13	28,00	27,92	28,02	29,14	29,03	28,95	29,04	91,51	87,12
M4-13	27,78	27,89	27,90	27,86	28,23	28,05	28,11	28,13	92,83	87,12
M4-14	30,18	29,95	29,90	30,01	28,41	28,24	28,18	28,28	93,05	90,44
M4-15	29,44	29,53	30,00	29,66	27,18	27,78	26,35	27,10	92,18	86,37
M4-16	28,48	28,34	28,12	28,31	28,24	27,72	27,87	27,94	93,71	80,43
M4-17	29,55	28,64	28,57	28,92	28,62	28,63	28,74	28,66	90,87	80,23
M5-1	28,05	27,78	27,92	27,92	27,91	27,72	27,7	27,78	91,62	71,94
M5-2	28,11	27,90	28,28	28,10	28,32	28,36	28,24	28,31	92,51	83,18
M5-3	27,52	27,83	27,85	27,73	28,68	28,81	28,9	28,80	91,51	83,78
M5-4	28,98	28,81	28,65	28,81	29,78	29,02	28,64	29,15	92,42	85,86
M5-5	27,55	27,62	27,74	27,64	28,1	27,84	27,75	27,90	91,91	81,75
M5-6	28,53	28,65	28,32	28,50	27,85	28,05	28,33	28,08	92,52	82,68
M5-7	28,17	27,94	27,5	27,87	28,47	28,43	28,34	28,41	91,72	82,82
M5-8	28,76	28,75	28,44	28,65	28,68	28,71	28,64	28,68	91,94	82,37
M5-9	27,83	27,91	28,02	27,92	28,74	28,55	28,65	28,65	91,32	82,45
M5-10	27,62	27,78	28,24	27,88	28,34	28,10	28,17	28,20	91,00	82,52
M5-11	29,53	28,81	28,27	28,87	29,08	28,98	28,84	28,97	91,04	83,78
M5-12	27,24	27,35	27,10	27,23	27,91	27,88	27,97	27,92	90,67	80,16
M5-13	28,95	28,93	28,81	28,90	28,78	29,13	29,26	29,06	91,47	85,81
M5-14	27,30	26,92	26,74	26,99	28,68	28,55	28,77	28,67	90,62	81,88
M5-15	27,15	26,92	26,96	27,01	28,38	28,36	28,51	28,42	89,58	80,63
M5-16	28,21	27,71	27,72	27,88	27,98	28,07	28,21	28,09	90,73	82,99
M5-17	27,71	27,34	26,85	27,30	28,42	28,42	28,48	28,44	89,71	81,30
M5-18	28,44	28,34	28,56	28,45	27,94	27,91	27,78	27,88	91,51	82,16
M5-19	28,73	28,69	28,99	28,80	28,91	28,6	28,38	28,63	91,88	86,05
M5-20	27,54	27,58	27,66	27,59	28,87	28,71	28,6	28,73	91,47	82,58
M5-21	28,57	28,55	28,54	28,55	28,00	27,94	28,1	28,01	91,12	82,82

4.2. Datos de las probetas en secado de la madera *Machura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud.

Código	R			Promedio radial	T			Promedio tangencial	L	Peso
	1	2	3		1	2	3			
M1-1	27,78	27,97	27,94	27,90	28,22	28,10	28,07	28,13	96,4	69,04
M1-2	27,56	27,64	27,66	27,62	26,90	26,92	26,80	26,87	96,55	59,91
M1-3	27,83	27,75	27,81	27,80	25,54	25,4	25,84	25,59	94,47	58,12
M1-4	27,5	27,52	27,65	27,56	26,76	26,78	26,61	26,72	95,87	59,08
M1-5	27,69	27,57	27,41	27,56	28,06	28,06	28,34	28,15	96,94	68,04
M1-6	27,29	27,22	27,02	27,18	27,29	27,27	27,36	27,31	97,30	64,4
M1-7	29,00	28,31	28,22	28,51	26,74	26,99	26,98	26,90	98,23	64,61
M1-8	28,24	28,04	27,72	28,00	26,36	26,26	26,31	26,31	95,93	59,19
M1-9	27,69	28,24	28,35	28,09	27,12	27,07	27,88	27,36	96,52	65,43
M1-10	28,21	28,18	28,26	28,22	25,3	25,73	26,35	25,79	95,74	59,32
M1-11	28,05	27,42	27,30	27,59	27,86	27,59	27,52	27,66	96,32	65,55
M1-12	27,51	28,49	28,37	28,12	27,46	27,25	27,15	27,29	98,47	64,55
M1-13	28,52	28,37	28,40	28,43	27,26	27,2	26,95	27,14	97,26	63,15
M1-14	28,40	27,56	27,68	27,88	26,18	26,46	26,67	26,44	94,19	58,46
M1-15	27,67	27,86	27,17	27,57	27,04	26,94	26,76	26,91	95,37	62,39
M1-16	28,26	28,9	28,96	28,71	26,8	26,9	27,23	26,98	97,06	67,78
M2-1	27,41	28,37	27,41	27,73	27,87	27,88	26,99	27,58	98,8	60,66
M2-2	28,16	27,58	27,55	27,76	27,08	27,2	27,06	27,11	98,02	60,00
M2-3	27,77	27,78	28,13	27,89	26,48	26,66	26,74	26,63	98,74	63,29
M2-4	27,44	27,05	26,60	27,03	26,42	26,33	26,43	26,39	97,70	60,00
M2-5	27,85	27,74	28,04	27,88	26,98	27,16	27,27	27,14	95,21	63,36
M2-6	27,36	27,33	27,54	27,41	26,85	27,00	27,26	27,04	98,17	61,50
M2-7	26,83	26,72	26,91	26,82	27,85	27,45	27,45	27,58	96,18	63,23
M2-8	27,78	27,44	27,10	27,44	27,35	27,10	27,35	27,27	96,85	63,72
M2-9	27,71	27,86	28,11	27,89	27,67	27,61	27,74	27,67	98,46	67,36
M2-10	27,17	26,8	26,69	26,89	26,34	26,21	26,28	26,28	96,12	56,94
M2-11	27,47	28,00	28,18	27,88	27,64	27,66	28,06	27,79	95,80	63,92
M2-12	27,47	27,24	27,16	27,29	27,31	27,16	26,93	27,13	97,85	65,16
M2-13	27,28	27,08	28,47	27,61	27,77	27,67	27,67	27,70	95,84	62,45

M2-14	26,5	26,49	26,57	26,52	27,13	27,02	26,82	26,99	98,48	60,62
M2-15	29,45	28,72	27,24	28,47	27,34	27,49	27,53	27,45	98,32	59,60
M2-16	24,60	24,96	25,53	25,03	27,70	27,50	24,41	26,54	95,6	60,60
M2-17	28,00	28,40	28,83	28,41	28,17	28,35	28,53	28,35	99,26	69,38
M2-18	28,12	28,20	28,18	28,17	27,05	26,93	27,78	27,25	97,06	64,65
M3-1	27,66	27,63	27,61	27,63	27,49	27,39	27,56	27,48	94,59	58,52
M3-2	27,62	27,50	27,68	27,60	27,17	27,13	26,20	26,83	95,00	58,59
M3-3	28,87	29,01	29,12	29,00	24,77	25,11	25,26	25,05	94,78	58,10
M3-4	26,91	26,06	26,84	26,60	26,12	26,58	26,42	26,37	95,18	54,51
M3-5	27,40	27,47	27,28	27,38	28,10	28,74	27,22	28,02	94,51	54,27
M3-6	27,11	27,22	27,21	27,18	27,30	27,08	27,23	27,20	96,22	54,25
M3-7	25,66	25,21	25,22	25,36	26,31	26,97	27,5	26,93	93,60	42,91
M3-8	27,24	27,21	27,24	27,23	26,82	26,70	26,84	26,79	94,95	55,41
M3-9	28,35	28,52	28,29	28,39	27,42	27,58	27,61	27,54	95,07	60,87
M3-10	27,05	26,93	26,90	26,96	26,32	27,24	27,05	26,87	93,36	54,64
M3-11	27,88	27,82	27,80	27,83	28,38	28,19	28,09	28,22	95,95	64,55
M3-12	27,84	27,26	27,21	27,44	27,33	27,44	27,42	27,40	93,98	57,07
M3-13	27,53	27,48	27,47	27,49	26,78	26,94	26,80	26,84	94,71	55,05
M3-14	27,63	27,5	27,62	27,58	27,86	27,74	27,58	27,73	95,39	62,06
M3-15	28,43	28,66	28,65	28,58	27,40	27,34	27,13	27,29	95,60	61,62
M3-16	28,08	28,1	27,8	27,99	27,42	27,41	27,27	27,37	95,20	54,88
M3-17	27,76	28,02	28,31	28,03	27,28	27,45	27,53	27,42	95,02	55,54
M3-18	28,17	27,91	27,66	27,91	27,84	27,98	27,94	27,92	94,87	55,16
M4-1	28,35	28,36	28,49	28,40	27,59	27,51	27,62	27,57	90,25	60,35
M4-2	29,01	29,07	29,11	29,06	27,46	27,50	27,43	27,46	92,80	65,60
M4-3	27,64	27,5	27,50	27,55	27,69	27,91	27,58	27,73	93,01	61,01
M4-4	28,40	28,52	28,50	28,47	24,62	24,92	25,12	24,89	93,52	62,65
M4-5	28,19	28,30	28,10	28,20	27,32	27,28	27,06	27,22	92,33	62,36
M4-6	28,58	28,67	28,37	28,54	25,36	25,53	25,47	25,45	92,75	60,94
M4-7	27,91	27,83	28,20	27,98	27,86	27,86	28,08	27,93	94,14	67,00
M4-8	26,63	26,34	26,07	26,35	27,19	27,24	27,28	27,24	91,60	58,44
M4-9	26,16	26,44	26,70	26,43	27,26	27,25	27,26	27,26	91,82	58,59
M4-10	27,20	27,24	27,63	27,36	27,87	27,73	27,72	27,77	91,52	56,88
M4-11	28,76	29,25	29,45	29,15	27,85	27,78	27,77	27,80	92,62	66,98

M4-12	27,41	27,31	27,33	27,35	28,43	27,25	28,37	28,02	90,85	59,92
M4-13	27,03	27,12	27,07	27,07	27,69	27,38	27,40	27,49	92,27	60,68
M4-14	29,33	29,28	29,34	29,32	27,18	27,13	27,29	27,20	92,28	63,04
M4-15	28,85	29,13	29,44	29,14	26,26	25,9	25,57	25,91	91,29	59,74
M4-16	27,51	27,42	27,18	27,37	27,14	27,24	27,23	27,20	92,52	52,41
M4-17	28,27	28,12	28,00	28,13	27,59	27,56	27,69	27,61	90,90	55,38
M5-1	26,65	26,78	26,85	26,76	27,15	27,32	27,16	27,21	91,20	46,16
M5-2	27,21	27,07	27,05	27,11	27,65	27,54	27,39	27,53	91,74	57,29
M5-3	26,78	26,75	26,99	26,84	27,83	27,88	27,48	27,73	90,75	57,87
M5-4	28,05	27,84	27,72	27,87	27,79	28,4	27,59	27,93	92,20	59,01
M5-5	26,81	26,80	26,98	26,86	26,82	26,92	26,68	26,81	91,17	55,76
M5-6	27,59	27,56	27,47	27,54	26,87	27,06	27,32	27,08	91,52	56,97
M5-7	27,56	27,24	26,69	27,16	27,53	27,58	27,54	27,55	91,84	56,97
M5-8	27,89	28,16	27,67	27,91	27,87	27,72	27,64	27,74	92,09	55,95
M5-9	27,29	27,24	27,23	27,25	27,81	27,77	27,77	27,78	90,53	56,45
M5-10	26,84	27,02	27,19	27,02	27,45	27,35	27,31	27,37	90,20	55,72
M5-11	27,95	27,70	27,44	27,70	27,97	28,01	27,90	27,96	90,43	57,7
M5-12	26,56	26,54	26,42	26,51	26,99	26,99	27,02	27,00	89,98	53,32
M5-13	28,02	28,05	28,00	28,02	27,50	27,80	28,05	27,78	91,08	59,13
M5-14	26,4	26,58	26,50	26,49	27,71	27,67	27,89	27,76	89,52	54,53
M5-15	26,41	26,06	26,04	26,17	27,57	27,61	27,51	27,56	88,36	53,88
M5-16	27,04	26,85	26,90	26,93	27,27	27,26	27,24	27,26	89,70	55,49
M5-17	26,89	26,67	26,52	26,69	27,72	27,64	27,58	27,65	89,35	53,89
M5-18	27,50	27,28	27,42	27,40	27,02	27,04	26,81	26,96	90,81	56,22
M5-19	28,00	27,53	27,75	27,76	28,04	27,79	27,41	27,75	91,33	58,56
M5-20	26,53	26,51	26,50	26,51	27,68	27,65	27,52	27,62	91,23	56,60
M5-21	27,63	27,75	27,65	27,68	27,06	26,96	27,09	27,04	91,05	57,13

4.3. Datos obtenidos de las probetas y determinación de las propiedades físicas de la madera de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud.

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	M1 - 1	94,98	69,04	97,23	96,40	29,82	28,13	29,64	27,90	85,93	75,65	0,80	0,91	1,11	37,57	27,31	0,85	5,65	5,89	11,96	0,96
2	M1 - 3	84,06	58,12	95,30	94,47	27,28	25,59	29,54	27,80	76,80	67,21	0,76	0,86	1,09	44,63	30,86	0,87	6,18	5,91	12,49	1,05
3	M1 - 5	93,98	68,04	97,67	96,94	29,84	28,15	29,30	27,56	85,39	75,21	0,80	0,90	1,10	38,13	27,60	0,74	5,65	5,96	11,93	0,95
4	M1 - 6	90,34	64,40	98,13	97,30	28,99	27,31	28,92	27,18	82,28	72,21	0,78	0,89	1,10	40,28	28,71	0,84	5,81	6,03	12,24	0,96
5	M1 - 7	90,55	64,61	98,96	98,23	28,59	26,90	30,26	28,51	85,59	75,34	0,75	0,86	1,06	40,15	28,65	0,73	5,90	5,77	11,97	1,02
6	M1 - 12	90,49	64,55	99,10	98,47	28,97	27,29	29,87	28,12	85,75	75,57	0,75	0,85	1,06	40,19	28,67	0,63	5,82	5,84	11,88	1,00
7	M1 - 13	89,09	63,15	97,99	97,26	28,82	27,14	30,18	28,43	85,22	75,04	0,74	0,84	1,05	41,08	29,12	0,74	5,85	5,78	11,95	1,01
8	M1 - 14	84,40	58,46	94,82	94,19	28,12	26,44	29,63	27,88	78,99	69,42	0,74	0,84	1,07	44,37	30,74	0,66	5,99	5,89	12,12	1,02
9	M1 - 15	88,33	62,39	96,10	95,37	28,60	26,91	29,31	27,57	80,56	70,76	0,77	0,88	1,10	41,58	29,37	0,76	5,89	5,95	12,17	0,99
10	M1 - 16	93,72	67,78	97,79	97,06	28,66	26,98	30,45	28,71	85,35	75,16	0,79	0,90	1,10	38,27	27,68	0,74	5,88	5,73	11,93	1,03
	Promedio	90,00	64,05	97,30	96,57	28,77	27,08	29,71	27,96	83,19	73,16	0,77	0,88	1,08	40,63	28,87	0,76	5,86	5,87	12,06	1,00
	D.S.	3,733	3,733	1,458	1,464	0,749	0,749	0,480	0,480	3,329	3,065	0,024	0,027	0,023	2,424	1,216	0,078	0,154	0,095	0,190	0,032
	C.V. (%)	4,15	5,83	1,50	1,52	2,60	2,76	1,62	1,72	4,00	4,19	3,07	3,04	2,09	5,97	4,21	10,25	2,63	1,62	1,57	3,23
11	M2 - 1	83,66	60,66	99,60	98,80	28,99	27,58	29,16	27,73	84,21	75,56	0,72	0,80	0,99	37,92	27,49	0,80	4,86	4,92	10,27	0,99
12	M2 - 2	83,73	60,00	98,75	98,02	28,34	27,11	29,13	27,76	81,54	73,79	0,74	0,81	1,03	39,55	28,34	0,74	4,34	4,70	9,51	0,92
13	M2 - 5	89,41	63,36	95,81	95,21	29,53	27,14	28,91	27,88	81,81	72,02	0,77	0,88	1,09	41,12	29,14	0,63	8,10	3,59	11,96	2,26
14	M2 - 6	79,39	61,50	98,97	98,17	28,71	27,04	28,71	27,41	81,59	72,75	0,75	0,85	0,97	29,09	22,54	0,81	5,84	4,53	10,83	1,29
15	M2 - 7	88,05	63,23	96,88	96,18	28,44	27,58	28,23	26,82	77,77	71,15	0,81	0,89	1,13	39,26	28,19	0,72	3,00	4,99	8,51	0,60
16	M2 - 10	79,78	56,94	96,82	96,12	28,38	26,28	28,49	26,89	78,29	67,91	0,73	0,84	1,02	40,12	28,63	0,72	7,41	5,63	13,26	1,32
17	M2 - 11	89,69	63,92	96,40	95,80	29,73	27,79	29,36	27,88	84,16	74,22	0,76	0,86	1,07	40,32	28,73	0,62	6,54	5,05	11,80	1,30
18	M2 - 14	87,20	60,62	99,08	98,48	29,24	26,99	29,11	26,52	84,34	70,49	0,72	0,86	1,03	43,85	30,48	0,61	7,68	8,91	16,42	0,86
19	M2 - 15	86,76	59,60	99,02	98,32	28,80	27,45	30,11	28,47	85,87	76,85	0,69	0,78	1,01	45,57	31,31	0,71	4,68	5,45	10,51	0,86
20	M2 - 18	80,30	64,65	97,86	97,06	29,43	27,25	29,44	28,17	84,80	74,51	0,76	0,87	0,95	24,21	19,49	0,82	7,40	4,34	12,14	1,70
	Promedio	84,80	61,45	97,92	97,22	28,96	27,22	29,07	27,55	82,44	72,93	0,75	0,84	1,03	38,10	27,43	0,72	5,99	5,21	11,52	1,21

	D.S.	3,979	2,365	1,343	1,300	0,505	0,426	0,529	0,630	2,750	2,632	0,034	0,036	0,055	6,537	3,633	0,079	1,710	1,422	2,208	0,484
	C.V. (%)	4,69	3,85	1,37	1,34	1,74	1,56	1,82	2,29	3,34	3,61	4,55	4,28	5,39	17,16	13,24	11,01	28,57	27,29	19,17	40,05
21	M3 - 1	85,34	58,52	95,13	94,59	28,46	27,48	28,18	27,63	76,30	71,83	0,77	0,81	1,12	45,83	31,43	0,57	3,44	1,95	5,87	1,76
22	M3 - 5	80,98	54,27	94,94	94,51	28,93	28,02	28,17	27,38	77,35	72,52	0,70	0,75	1,05	49,22	32,98	0,45	3,13	2,78	6,25	1,13
23	M3 - 6	82,08	54,25	96,93	96,22	28,44	27,20	28,01	27,18	77,23	71,14	0,70	0,76	1,06	51,30	33,91	0,73	4,36	2,97	7,88	1,47
24	M3 - 9	87,17	60,87	95,55	95,07	28,57	27,54	29,22	28,39	79,76	74,31	0,76	0,82	1,09	43,21	30,17	0,50	3,62	2,84	6,83	1,27
25	M3 - 10	78,90	54,64	93,98	93,36	28,47	26,87	27,72	26,96	74,18	67,63	0,74	0,81	1,06	44,40	30,75	0,66	5,62	2,75	8,82	2,04
26	M3 - 11	89,71	64,55	96,75	95,95	29,68	28,22	28,54	27,83	81,94	75,36	0,79	0,86	1,09	38,98	28,05	0,83	4,91	2,48	8,03	1,98
27	M3 - 12	82,12	57,07	94,58	93,98	28,74	27,40	27,76	27,44	75,44	70,64	0,76	0,81	1,09	43,89	30,50	0,63	4,66	1,15	6,36	4,04
28	M3 - 15	87,75	61,62	96,22	95,60	28,33	27,29	29,34	28,58	79,99	74,56	0,77	0,83	1,10	42,41	29,78	0,64	3,68	2,59	6,78	1,42
29	M3 - 16	87,39	54,88	96,03	95,20	28,34	27,37	28,60	27,99	77,83	72,93	0,71	0,75	1,12	59,24	37,20	0,86	3,43	2,11	6,29	1,63
30	M3 - 18	79,88	55,16	95,80	94,87	29,02	27,92	28,48	27,91	79,18	73,94	0,70	0,75	1,01	44,82	30,95	0,97	3,78	2,00	6,62	1,89
	Promedio	84,13	57,58	95,59	94,94	28,70	27,53	28,40	27,73	77,92	72,49	0,74	0,79	1,08	46,33	31,57	0,69	4,06	2,36	6,97	1,86
	D.S.	3,788	3,662	0,944	0,876	0,417	0,410	0,552	0,514	2,333	2,296	0,034	0,039	0,035	5,687	2,560	0,164	0,792	0,560	0,951	0,824
	C.V. (%)	4,50	6,36	0,99	0,92	1,45	1,49	1,94	1,85	2,99	3,17	4,67	4,88	3,21	12,28	8,11	23,92	19,50	23,70	13,64	44,23
31	M4 - 1	87,51	60,35	91,36	90,25	28,17	27,57	29,23	28,40	75,23	70,67	0,80	0,85	1,16	45,00	31,04	1,21	2,11	2,85	6,05	0,74
32	M4 - 4	89,41	62,65	94,18	93,52	26,06	24,89	29,00	28,47	71,18	66,27	0,88	0,95	1,26	42,71	29,93	0,70	4,51	1,80	6,90	2,50
33	M4 - 5	90,11	62,36	93,30	92,33	27,97	27,22	28,91	28,20	75,44	70,86	0,83	0,88	1,19	44,50	30,80	1,04	2,69	2,46	6,07	1,10
34	M4 - 6	86,59	60,94	93,62	92,75	26,45	25,45	29,26	28,54	72,47	67,38	0,84	0,90	1,19	42,09	29,62	0,93	3,78	2,47	7,03	1,53
35	M4 - 10	89,65	56,88	92,33	91,52	28,91	27,77	28,04	27,36	74,85	69,54	0,76	0,82	1,20	57,61	36,55	0,88	3,94	2,44	7,10	1,62
36	M4 - 12	87,12	59,92	91,51	90,85	29,04	28,02	28,02	27,35	74,45	69,61	0,80	0,86	1,17	45,39	31,22	0,72	3,52	2,38	6,50	1,48
37	M4 - 13	87,12	60,68	92,83	92,27	28,13	27,49	27,86	27,07	72,74	68,67	0,83	0,88	1,20	43,57	30,35	0,60	2,28	2,81	5,60	0,81
38	M4 - 14	90,44	63,04	93,05	92,28	28,28	27,20	30,01	29,32	78,96	73,59	0,80	0,86	1,15	43,46	30,30	0,83	3,81	2,31	6,81	1,65
39	M4 - 15	86,37	59,74	92,18	91,29	27,10	25,91	29,66	29,14	74,09	68,93	0,81	0,87	1,17	44,58	30,83	0,97	4,40	1,74	6,98	2,53
40	M4 - 16	80,43	52,41	93,71	92,52	27,94	27,20	28,31	27,37	74,14	68,89	0,71	0,76	1,08	53,46	34,84	1,27	2,65	3,33	7,09	0,79
	Promedio	87,48	59,90	92,81	91,96	27,81	26,87	28,83	28,12	74,36	69,44	0,81	0,86	1,18	46,24	31,55	0,91	3,37	2,46	6,61	1,47
	D.S.	2,908	3,173	0,946	0,972	0,978	1,065	0,742	0,795	2,102	2,007	0,047	0,049	0,044	5,099	2,277	0,217	0,873	0,473	0,532	0,650
	C.V. (%)	3,32	5,30	1,02	1,06	3,52	3,96	2,57	2,83	2,83	2,89	5,84	5,71	3,76	11,03	7,22	23,72	25,91	19,22	8,04	44,10
41	M5 - 2	83,18	57,29	92,51	91,74	28,31	27,53	28,10	27,11	73,58	68,46	0,78	0,84	1,13	45,19	31,13	0,83	2,76	3,51	6,95	0,78
42	M5 - 3	83,78	57,87	91,51	90,75	28,80	27,73	27,73	26,84	73,08	67,54	0,79	0,86	1,15	44,77	30,93	0,83	3,70	3,22	7,58	1,15

43	M5 - 5	81,75	55,76	91,91	91,17	27,90	26,81	27,64	26,86	70,86	65,65	0,79	0,85	1,15	46,61	31,79	0,81	3,91	2,80	7,35	1,40
44	M5 - 6	82,68	56,97	92,52	91,52	28,08	27,08	28,50	27,54	74,03	68,26	0,77	0,83	1,12	45,13	31,10	1,08	3,54	3,37	7,79	1,05
45	M5 - 9	82,45	56,45	91,32	90,53	28,65	27,78	27,92	27,25	73,04	68,55	0,77	0,82	1,13	46,06	31,53	0,87	3,01	2,39	6,15	1,26
46	M5 - 10	82,52	55,72	91,00	90,20	28,20	27,37	27,88	27,02	71,55	66,70	0,78	0,84	1,15	48,10	32,48	0,88	2,95	3,10	6,79	0,95
47	M5 - 12	80,16	53,32	90,67	89,98	27,92	27,00	27,23	26,51	68,93	64,40	0,77	0,83	1,16	50,34	33,48	0,76	3,30	2,66	6,58	1,24
48	M5 - 14	81,88	54,53	90,62	89,52	28,67	27,76	26,99	26,49	70,11	65,83	0,78	0,83	1,17	50,16	33,40	1,21	3,17	1,83	6,10	1,74
49	M5 - 16	82,99	55,49	90,73	89,70	28,09	27,26	27,88	26,93	71,05	65,84	0,78	0,84	1,17	49,56	33,14	1,14	2,96	3,41	7,33	0,87
50	M5 - 18	82,16	56,22	91,51	90,81	27,88	26,96	28,45	27,40	72,57	67,07	0,77	0,84	1,13	46,14	31,57	0,76	3,30	3,68	7,57	0,90
Promedio		82,36	55,96	91,43	90,59	28,25	27,33	27,83	27,00	71,88	66,83	0,78	0,84	1,15	47,21	32,05	0,92	3,26	3,00	7,02	1,13
D.S.		0,983	1,337	0,709	0,750	0,344	0,361	0,475	0,346	1,648	1,396	0,007	0,010	0,018	2,159	0,991	0,164	0,366	0,576	0,604	0,288
C.V. (%)		1,19	2,39	0,77	0,83	1,22	1,32	1,71	1,28	2,29	2,09	0,86	1,21	1,58	4,57	3,09	17,86	11,22	19,24	8,60	25,43

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 4.4. Consolidado de las propiedades físicas de las 5 muestras de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud.

Muestra	Estadístico	Densidad básica	Densidad anhidra	Densidad verde	Contracción tangencial	Contracción radial	Contracción volumétrica	Relación ct/cr	Max. Contenido de humedad
M1	X	0,77	0,88	1,08	5,86	5,87	12,06	1,00	40,63
	C.V.	3,07	3,04	2,09	2,63	1,62	1,57	3,23	5,97
M2	X	0,75	0,84	1,08	5,99	5,21	11,52	1,21	38,10
	C.V.	4,55	4,28	5,39	28,57	27,29	19,17	40,05	17,16
M3	X	0,74	0,79	1,08	4,06	2,36	6,97	1,86	46,33
	C.V.	4,67	4,88	3,21	19,50	23,70	13,64	44,23	12,28
M4	X	0,81	0,86	1,18	3,37	2,46	6,61	1,47	46,24
	C.V.	5,84	5,71	3,76	25,91	19,22	8,04	44,10	11,03
M5	X	0,78	0,84	1,15	3,26	3,00	7,02	1,13	47,21
	C.V.	0,86	1,21	1,58	11,22	19,24	8,60	25,43	4,57
Promedio	X	0,77	0,84	1,11	4,51	3,78	8,84	1,34	43,70
	C.V.	3,80	3,82	3,20	17,57	18,21	10,20	31,41	10,20

Anexo 5. Datos obtenidos de laboratorio de las probetas de la madera de *Maclura tinctoria* para propiedades mecánicas

Anexo 5.1. Datos de flexión de la madera de *Maclura tinctoria*

Nº	Probeta	Carga (q)	Carga (p)	Luz (a) (mm)	Ancho viga (mm)	Espesor viga (mm)	Módulo de sección (z)	Momento inercia (i)	Deformación (d)	Esfuerzo máximo a la flexión ($f_{m,u}$)	Módulo de elasticidad (E_m)
1	M1 - 1 F	54810	62468	300	50,50	50,50	128788	6503775	1,00	191,51	16208
2	M1 - 2F	17276	25032	300	51,00	48,50	119965	5818290	0,50	64,80	14520
3	M1 - 3F	41188	47264	300	51,00	51,00	132651	6765201	1,00	139,72	11789
4	M2 - 1F	55972	65856	300	47,00	50,00	117500	5875000	1,00	214,36	18916
5	M2 - 2F	50246	59234	300	47,00	50,00	117500	5875000	1,00	192,43	17014
6	M2 - 3F	28644	33726	300	50,00	47,50	112813	5358594	2,00	114,26	5310
7	M3 - 1F	51058	52514	300	49,50	49,00	118850	5823626	1,00	193,32	15217
8	M3 - 2F	31080	46578	300	50,20	52,00	135741	7058522	1,00	103,03	11136
9	M3 - 3F	28644	33726	300	51,00	50,70	131095	6646516	0,50	98,32	17126
10	M4 - 1F	45430	62230	300	51,20	50,20	129026	6477108	0,50	158,44	32426
11	M4 - 2F	62188	70882	300	50,00	50,20	126002	6325300	1,50	222,10	12607
12	M4 - 3F	24164	28434	300	51,00	49,00	122451	6000099	1,00	88,80	7997
13	M5 - 1F	57204	59752	300	50,00	50,00	125000	6250000	0,50	205,93	32266
14	M5 - 2F	58646	62734	300	50,00	52,00	135200	7030400	0,50	195,20	30116
15	M5 - 3F	61614	70126	300	50,50	50,00	126250	6312500	1,50	219,61	12498
Promedio										160,12	17010
D.S.										53,82	8347,35
C.V. (%)										33,61	49,07
Esfuerzo básico a flexión ($f_{básico,m}$)										84	
Esfuerzo admisible a flexión ($f_{adm,m}$)										13,7	
Módulo de elasticidad mínimo (E_{min})											5310
Módulo de elasticidad promedio (E_{prom})											17010

Contenido de humedad

Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Contenido de humedad (%)
988,40	905,30	9,18
962,80	885,00	8,79
919,00	839,80	9,43
1026,70	933,20	10,02
940,6	858,3	9,59
Promedio		9,40

Anexo 5.2. Datos de compresión paralela de la madera de *Maclura tinctoria*

N°	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)
1	M1 - 1//	11176	9499,60	15,20	4,45	4,70	0,15	54,47	4692
2	M1 - 2//	23066	19606,10	14,95	4,45	4,75	0,09	111,24	15706
3	M1 - 3//	16490	14016,50	15,05	4,75	4,80	0,15	73,73	6288
4	M2 - 1//	9648	8200,80	15,10	4,85	4,50	0,10	45,06	5784
5	M2 - 2//	23860	20281,00	15,00	4,95	4,80	0,10	102,37	13052
6	M2 - 3//	13590	11551,50	15,10	4,70	4,75	0,10	62,05	7964
7	M3 - 1//	19152	16279,20	15,10	4,75	4,80	0,10	85,63	10990
8	M3 - 2//	19018	16165,30	15,00	4,80	4,90	0,10	82,42	10509
9	M3 - 3//	9028	7673,80	15,00	4,80	4,90	0,10	39,13	4989
10	M4 - 1//	22088	18774,80	15,00	4,95	4,85	0,10	93,79	11958
11	M4 - 2//	20294	17249,90	15,00	5,05	5,10	0,10	80,32	10241
12	M4 - 3//	19926	16937,10	15,10	5,05	4,90	0,10	82,08	10536
13	M5 - 1//	22837	19411,45	15,00	4,78	4,92	0,10	98,99	12621
14	M5 - 2//	21812	18540,20	15,20	4,9	4,78	0,15	94,93	8177
15	M5 - 3//	20911	17774,35	15,00	4,90	4,79	0,20	90,82	5790
Promedio								79,80	9286
D.S.								21,23	3344,10
C.V. (%)								26,61	36,01
Esfuerzo básico a compresión paralela ($f_{básico,c}$)								46,22	
Esfuerzo admisible a compresión paralela ($f_{adm,c}$)								8,29	
Módulo de elasticidad mínimo compresión pa. (E_{min})									4692
Módulo de elasticidad promedio compresión pa. (E_{prom})									9286

Contenido de humedad

Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Contenido de humedad (%)
461,13	426,99	8,00
476,96	438,62	8,74
507,74	457,47	10,99
550,15	470,97	16,81
579,07	513,39	12,79
Promedio		11,47

Anexo 5.3. Datos de compresión perpendicular de la madera de *Maclura tinctoria*

Nº	Probeta	Carga (q)	Superficie contacto (a)	Esfuerzo máximo compresión perp. (fc)
1	M1 - 1 \perp	10331	25,00	42,12
2	M1 - 2 \perp	10237	24,50	42,59
3	M1 - 3 \perp	10067	25,25	40,64
4	M2 - 1 \perp	11055	25,75	43,76
5	M2 - 2 \perp	11151	25,50	44,58
6	M2 - 3 \perp	14601	25,00	59,54
7	M3 - 1 \perp	11376	25,25	45,93
8	M3 - 2 \perp	12920	25,25	52,16
9	M3 - 3 \perp	13933	25,75	55,16
10	M4 - 1 \perp	9785	23,75	42,00
11	M4 - 2 \perp	9909	23,95	42,18
12	M4 - 3 \perp	7847	24,50	32,65
13	M5 - 1 \perp	8115	25,50	32,44
14	M5 - 2 \perp	8747	25,50	34,97
15	M5 - 3 \perp	9041	25,00	36,86
Promedio				43,17
D.S.				7,77
C.V. (%)				18,00
Esfuerzo básico a compresión perp. ($f_{básico,c}$)				33,35
Esfuerzo admisible a compresión perp. ($f_{adm,c}$)				5,44

Contenido de humedad

Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Contenido de humedad (%)
346,06	311,17	11,21
343,04	312,57	9,75
313,91	283,77	10,62
325,01	293,23	10,84
354,79	320,78	10,60
Promedio		10,60

Anexo 5.4. Datos del corte de la madera de *Machura tinctoria*

N°	Probeta	Carga (q)	Ancho (falla)	Alto (falla)	Mor
1	M1 - 1C	3054	5,00	4,95	12,58
2	M1 - 2C	2850	5,00	5,00	11,62
3	M1 - 3C	3374	4,95	4,70	14,78
4	M2 - 1C	5371	5,10	5,00	21,47
5	M2 - 2C	5939	5,20	5,02	23,19
6	M2 - 3C	2990	5,20	4,80	12,21
7	M3 - 1C	4579	5,00	4,95	18,86
8	M3 - 2C	2724	5,10	5,02	10,85
9	M3 - 3C	3005	5,10	4,90	12,26
10	M4 - 1C	4403	5,00	4,95	18,13
11	M4 - 2C	4542	4,80	4,90	19,69
12	M4 - 3C	5750	4,90	4,95	24,17
13	M5 - 1C	3613	4,90	5,03	14,94
14	M5 - 2C	3395	5,00	4,95	13,98
15	M5 - 3C	3395	5,02	5,05	13,65
Promedio					16
D.S.					4,52
C.V. (%)					27,97
Esfuerzo admisible a corte (fadm,v)					2,05

N°	Probeta	Carga (q)	Ancho (falla)	Alto (falla)	MOR
1	M1 - 1C	2596	5,00	4,95	10,69
2	M1 - 2C	2423	5,00	5,00	9,88
3	M1 - 3C	2868	4,95	4,70	12,57
4	M2 - 1C	4565	5,10	5,00	18,25
5	M2 - 2C	5048	5,20	5,02	19,71
6	M2 - 3C	2542	5,20	4,80	10,38
7	M3 - 1C	3892	5,00	4,95	16,03
8	M3 - 2C	2315	5,10	5,02	9,22
9	M3 - 3C	2554	5,10	4,90	10,42
10	M4 - 1C	3743	5,00	4,95	15,41
11	M4 - 2C	3861	4,80	4,90	16,73
12	M4 - 3C	4888	4,90	4,95	20,54
13	M5 - 1C	3071	4,90	5,03	12,70
14	M5 - 2C	2886	5,00	4,95	11,89
15	M5 - 3C	2886	5,02	5,05	11,60
Promedio					14
D.S.					3,95
C.V. (%)					28,77

Nº	Probeta	Esfuerzo máximo corte (fv)
1	M1 - 1C	11,64
2	M1 - 2C	10,75
3	M1 - 3C	13,67
4	M2 - 1C	19,86
5	M2 - 2C	21,45
6	M2 - 3C	11,30
7	M3 - 1C	17,44
8	M3 - 2C	10,03
9	M3 - 3C	11,34
10	M4 - 1C	16,77
11	M4 - 2C	18,21
12	M4 - 3C	22,35
13	M5 - 1C	13,82
14	M5 - 2C	12,93
15	M5 - 3C	12,63
PROMEDIO		14,95
D.S.		4,08
C.V. (%)		27,29
Esfuerzo básico a flexión (fbásico, m)		10,81
Esfuerzo admisible a corte (fadm,v)		1,76

Contenido de humedad

Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Contenido de humedad (%)
129,40	117,20	10,41
129,70	117,60	10,29
129,20	117,20	10,24
101,10	91,90	10,01
118,50	107,20	10,54
Promedio		10,30

Anexo 5. Ficha de identificación de la especie

LEIWER FLORES FLORES
ESPECIALISTA EN DENDROLOGÍA
C.I.P. N° 56894
Cel. 918217105
Email: lflores@unc.edu.pe

LEIWER FLORES FLORES, CON REGISTRO C.I.P. N° 56894 - ESPECIALISTA EN DENDROLOGÍA.

CERTIFICA:

La identificación de la muestra botánica de un árbol con fines de investigación para la tesis titulado: **“PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud PARA USO ESTRUCTURAL SEGÚN NORMA TÉCNICA E-010, JAÉN - 2024”**, proveniente del Bosque Seco – Sector Cruce Shumba, distrito Bellavista, provincia Jaén, solicitada por el señor **JAM MAYCOHOL LEÓN HERRERA**, exalumno de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Cajamarca. La muestra es conocida en la zona de estudio como **“morero”**, la cual fue estudiada, identificada y ordenada para grupos taxonómicos de Gimnospermae y Angiospermae, de acuerdo al Sistema de Clasificación APG IV - 2016, se presenta a continuación:

Categorías -Clados	Sistema APG IV - 2016
Reino	Plantae
División	Gymnospermae L.
Clase	Equisetopsida C. Agardh
Subclase	Risidae Takht.
Orden	Rosales Bercht. & J.Presl
Familia	Moraceae Gaudich.
Género	<i>Maclura</i> L.
Especie	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex G. Don

Jaén, 23 de diciembre del 2025.



Ing. M. Cs. Leiwer Flores Flores
Especialista en Dendrología
C.I.P. N° 56894

Maclura tinctoria (L.) D. Don ex G. Don.

Familia. MORACEAE

Nombres comunes. Morero (zona de estudio). Brasil: fustete; kanklisché (maya-GU); macano (PA); mora (CR, ES, GU, HO, NI, PA); mora colorada (ES); mora de clavo (Petén-GU); morán (Rivas-NI); morillo (CR); palo amarillo (CR, ES, GU, HO, NI, PA); palo moro.

Sinónimos botánicos. *Chlorophora tinctoria* (L.) Gaud. Ex Benth. (Tropicos.org).

Descripción botánica. Árbol semiperennifolio, de tamaño mediano a grande, alcanzan hasta 30 metros de altura y 90 centímetros de DAP. Tronco corto y copa irregular y abierta. Los ejemplares más grandes suelen mostrar contrafuertes en la parte inferior. La corteza de color gris pardo y salpicada de lenticelas amarillas. Es algo agrietada y escamosa, desprendiéndose en fragmentos irregulares. Las ramas jóvenes y las ramitas frecuentemente están cubiertas de espinas cortas y rígidas. Hojas de 5 a 15 cm de longitud, simples, alternas y se disponen en dos hileras con un pecíolo corto. Forma ovalada, con punta aguda y base plana o cordada. Pueden ser lisas, aserradas, dentadas o incluso lobuladas. Las flores masculinas y femeninas se encuentran en árboles distintos (especie dioica). Las masculinas brotan en amentos, que son pequeños cordones colgantes, mientras que las femeninas se agrupan en cabezuelas aisladas de 4 a 5 milímetros de diámetro. Los frutos son pequeños, comestibles y se organizan en cabezuelas de 1 a 2 centímetros de diámetro. Tienen una pulpa carnosa y comestible, siendo verdes en su juventud y adquiriendo un color rojo al madurar. En su superficie presentan diminutos pelos. Contienen un gran número de semillas aplanadas de color marrón, de 2 a 3 milímetros de longitud, con una base redondeada y terminando en punta.

La madera. El corazón de la madera es amarillo brillante recién cortada, pero al ser expuesto se oscurece, adoptando un matiz marrón dorado o rojizo. El corazón se distingue claramente de la albura que es casi blanca. Tiene un peso considerable (0,59-0,97), es dura y robusta, mostrando gran resistencia al pandeo, impacto y compresión en el sentido de la fibra. Las fibras son rectas, a veces es entrecruzada. Textura de fina a media, logrando un acabado suave y un brillo excepcional. Al secar al aire, presenta solo mínimas grietas y deformaciones. Durable ante termitas y hongos (como la pudrición blanca y marrón), muy vulnerable a

perforadores marinos. Su dureza la hace complicada tanto para el trabajo manual como para el mecánico.

Distribución. Su distribución es amplia, desde buena parte de México a través de América Central y las Antillas hasta América del Sur (Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, Paraguay y Argentina) (Tropicos.org).

Ecología. Esta especie se desarrolla en una variedad de entornos: en selvas tropicales y subtropicales, tanto húmedas como secas, y en América Central se encuentra en praderas y sabanas. Es poco frecuente hallarla en selvas primarias, pero es más habitual en selvas secundarias. Prefiere zonas húmedas, frecuentemente creciendo cerca de ríos y corrientes, aunque también puede adaptarse a terrenos secos. Es una planta heliófila que crece con bastante rapidez en plena luz, pero acepta algo de sombra durante su etapa juvenil. La dispersión de sus semillas ocurre a través del agua y por aves, murciélagos y otros mamíferos que consumen sus frutos. No es una especie que presente una alta capacidad de regeneración natural.

Usos. La madera posee una calidad superior que la hace ideal para múltiples usos. Ha sido utilizada en diversos tipos de estructuras pesadas y embarcaciones, como cubiertas y armazones de barcos de tamaño mediano, así como en la fabricación de muebles, mangos para herramientas, cuchillos y herramientas agrícolas, carrocerías, decoración de interiores, durmientes, postes, puertas, pontones de puentes y pilotes. Además, se ha empleado en la producción de chapa, duela, parquet, triplay, suelos tanto interiores como exteriores, armazones y ruedas de carretas, hogares rurales, trabajos en ebanistería, estructuras de minas, estantes, artículos torneados, esculturas y artesanías en general. También sirve como leña de alta calidad, aunque su corte presenta dificultad. Un uso comercial muy relevante en épocas pasadas fue la obtención de un colorante amarillo de la madera, conocido como maclurina o morina, que se aplicaba en la tintura de tejidos y cueros. La corteza de este árbol contiene taninos que son efectivos para curtir pieles. La infusión del cocido de la corteza se utiliza en medicina alternativa como astringente, tónico, diurético, cicatrizante y, en dosis elevadas, como purgante. Asimismo, también se ha empleado en el tratamiento de enfermedades venéreas.

Aunque la literatura cita muchas aplicaciones y usos, en el lugar de la investigación (Jaén), la especie no tiene uso comercial importante, y su aplicación generalmente es para postes de cercos de predios rurales, pequeñas vigas y columnas, mangos de herramientas y como leña,

su comercialización es incipiente, y de acuerdo a la calidad estaría económicamente al mismo precio que especies más conocidas comercialmente como *Aspidosperma polineuron* y *Manilkara bidentata*, cuyo valor en obra es aproximadamente de 3,50 soles por pie tablar.

Ficha silvicultural:

Semillas. Los frutos se recolectan en junio-julio cuando cambian de color de amarillo verdoso a marrón oscuro o comienzan a caer del árbol naturalmente. Se pueden recolectar agitando las ramas, cortado directamente del árbol o del suelo si están recién caídos. Se dejan en agua para que se descompongan y maceren y así separar las minúsculas semillas. Estas se separan de la pulpa tamizándolas, filtrándolas o por suspensión y a continuación se ponen a secar. El número de semillas por kilogramo es de 200000 a 380000. Para almacenar las semillas se deben secar al aire y almacenarlas en contenedores herméticos a 47 °C. Bajo estas condiciones se pueden almacenar por 3-6 meses, pero a temperatura ambiente pierden viabilidad en 3 semanas. La tasa de germinación para semilla fresca es de 80-85 %.

Propagación. Las semillas no necesitan pretratamiento. Sembrar en camas de germinación o bolsas a profundidad de 1 cm (son pequeñas). Germinan de 10-30 días. En germinadores se coloca arena desinfectada y se mantienen inicialmente bajo sombra. SE repica de 4-6 semanas de la germinación, en bolsas con tierra areno-arcillosa rica en humus. Las plantitas deben mantenerse bajo sombra parcial por unos pocos días después del trasplante. Se puede propagar de estaquitas o in vitro. También puede propagarse a raíz desnuda o mediante siembra directa. Las plantitas permanecen en el vivero por 3-5 meses, cuando alcanzan 25-30 cm de altura, en algunos lugares podrían necesitar hasta 8 meses para alcanzar estas dimensiones.

Plantación. En enriquecimiento de bosque secundario, la plantación puede ser estrecha de 2-3 m. En sistemas agroforestales se requieren mayores espaciamientos. Su tendencia a bifurcar desde muy abajo ha reducido su uso en plantaciones. Sin embargo, esto puede mejorarse plantando a espaciamientos estrechos y realizando deshijas tempranas.

Calendario de la especie. Las hojas caen poco antes de la floración. El momento de la floración varía de febrero a septiembre en diferentes partes de la región: mayo-septiembre en El Salvador, febrero-junio en Honduras, abril a julio y septiembre en Costa Rica. Los frutos se recolectan en junio-julio.

Manejo. La especie regenera bien después del corte y rebrota muy bien.

Turno y crecimiento. Es una especie de crecimiento relativamente lento. En plantaciones de 30 años en Lancetilla, Honduras, a espaciamiento de 4,6 x 4,6 m alcanzó una altura total promedio de 19,5 m y 25,9 cm de diámetro, con un incremento medio anual de 0,86 cm en DAP. En Cuba alcanzó 8,1 m de altura y 16 cm de DAP a los 12 años, en un lugar con 1400 mm de precipitación anual y temperatura media de 25,5 °C.

Clima y Suelo en condiciones naturales. Suelo: calcáreos, arenosos. Textura: ligera a media. Drenaje: bueno o inundados temporalmente. Pluviometría: 700 a 3500 mm. Estación seca: 0 a 6 meses. Altitud: 0 a 1200 m s. n. m. T máx. media mes más cálido: 21 a 32 °C. T mín. media mes más frío: 13 a 21 °C. T media anual: 20 a 27 °C.

Condiciones para su crecimiento. Tolera suelos poco profundos y prospera en suelos pobres. Prefiere suelos calcáreos, pero también se encuentra en suelos aluviales arenosos cercanos a corrientes de agua. En cuanto a textura prefiere suelos arcillo arenosos fértiles. Prefiere suelos bien drenados, pero tolera inundaciones por cortos periodos de tiempo.

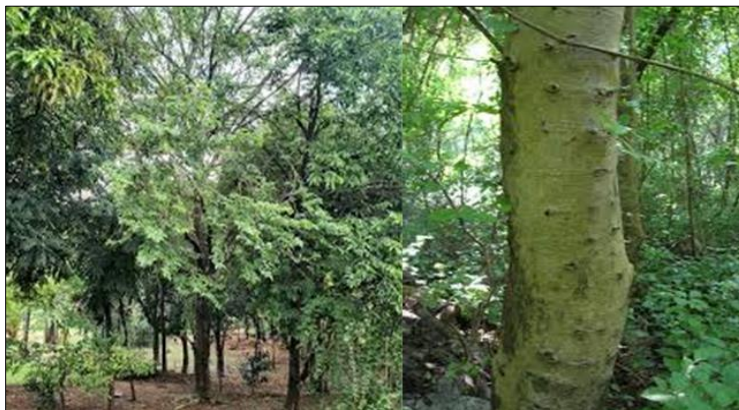


Foto 1. Árbol completo y tronco de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex G. Don.



Foto 2. Rama terminal femenina y masculina de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex G. Don.

REFERENCIAS

- Aguilar JM & Aguilar MA, (1992). Árboles de la biosfera maya Petén. CECON (346).
- Betancourt A. (1995). Silvicultura especial de árboles maderables tropicales. Editorial Científico-Técnica, Cuba.
- Reynel Y., Pennington R., Pennington, R. T., Flores, C. y Daza, A. (2003). Árboles útiles de la Amazonia peruana y sus usos. Ed. 1. Edit. Tarea Asociación Gráfica Educativa. Lima - Perú. 536 p.
- Reynel, C.; Pennington, T. D.; Pennington, R. T.; Marcelo P, J. L. y Daza, A. (2007). Árboles útiles del Ande peruano. Diseño e impresión: Tarea Gráfica Educativa, Perú. Lima - Perú. 466 p.
- Tropicos.org. (website). Missouri Botanical Garden. <https://tropicos.org>
- Vásquez M. (1997). Flórula de las Reservas Biológicas de Iquitos Perú - Missouri Botanical Garden. Vol. 63. USA. 1046 p.

FICHA TÉCNICA PRENSA PARA ROTURA DE CILINDROS DE CONCRETO Y OTROS MATERIALES



PyS
EQUIPOS

PRENSA PARA ROTURA DE CONCRETO Y OTROS MATERIALES

SKU: STYE-2000; Categoría: CONCRETO Y MADERA

- **Descripción**

La máquina de prueba de compresión hidráulica se utiliza para la prueba de compresión de hormigón y otros materiales de construcción, como madera, metales, carga manual, visualización digital del valor de la presión y la relación de carga.

Características: Carga manual, Cubierta protectora

Capacidad de carga máxima: 2000 kN

Espacio de compresión: 360 mm

Carrera del pistón: 120 mm

Tamaño de las placas de compresión superiores: 300 mm

Tamaño de las placas de compresión inferiores: 300 mm

Dimensión (marco de carga: 900 × 400 × 1250 mm

Energía: 220V, 50Hz /60Hz , 1.3kW

Peso: 600kg

Anexo 8. Panel fotográfico



Foto 1 y 2. Inventario y selección arboles muestreados



Fotos 3 y 4. Habilitado de muestreo en campo



Foto 5 y 6. Codificado de muestreo en campo



Foto 7 y 8. Elaboración de probetas en laboratorio para propiedades físicas y mecánicas



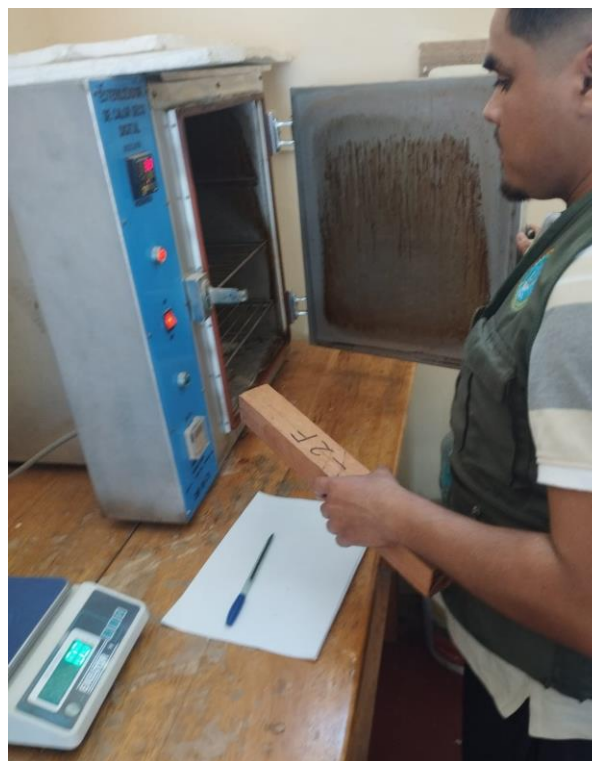
Fotos 9 y 10. Aclimatación y medición de probetas para propiedades físicas



Fotos 11 y 12. Pesado y secado de las probetas de propiedades físicas



Fotos13 y 14. Ensayo de propiedades mecánicas en laboratorio



Fotos 15 y 16. Pesado y secado de las probetas para propiedades mecánicas