



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**
Seréis mis testigos

MANABÍ

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE MANABÍ

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN:

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LAS MADERAS
TECA (TECTONA GRANDIS) Y LAUREL (CORDIA ALLIODORA) EN MANABÍ,
ECUADOR**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

**DISEÑO, INFRAESTRUCTURA Y SISTEMAS SOCIALES Y AMBIENTALES PARA
UN HÁBITAT SOSTENIBLE**

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

**AMBIENTE, CIUDAD, TERRITORIO Y SOCIEDAD PARA UN HÁBITAT
SOSTENIBLE, PLANIFICADO, INCLUSIVO Y SEGURO**

PREVIO AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

AUTORES:

DAYANA DENISSE MACÍAS CAJAPE

DIEGO ALEJANDRO DELGADO BARBERÁN

TUTOR:

MG., JUAN FERNANDO QUIROZ ALONZO

PORTOVIEJO, ENERO 2025

Certificado del trabajo de integración curricular

Mg. Yandri Xavier Vélez Molina

Coordinador de la carrera de Ingeniería Civil

CERTIFICA

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación

(F) _____

Mg. Juan Fernando Quiroz Alonzo

C.I 1310179492

Acta de aprobación del tribunal

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí

(F)_____

Mg. Juan Fernando Quiroz Alonzo

Primer lector

(F)_____

Mg. Mauricio Henry Colpari Pozzo

Segundo lector

(F)_____

Mg. María Tatiana Ordóñez Zambrano

Tercer lector

Declaración de Originalidad

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo.

Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie

(F)_____

Dayana Denisse Macías Cajape

C.I. 1313232892

Dirección: Calle Rotaria, Portoviejo

Correo electrónico: dmacias2892@pucesm.edu.ec

Celular: 0969138597

(F)_____

Diego Alejandro Delgado Barberán

C.I. 1311666612

Dirección: Parroquia Manta, Manta

Correo electrónico: ddelgado6612@pucesm.edu.ec

Celular: 0969258018

Declaración de derechos de autor

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo

(F)_____

Dayana Denisse Macías Cajape

C.I. 1313232892

Dirección: Calle Rotaria, Portoviejo

Correo electrónico: dmacias2892@pucesm.edu.ec

Celular: 0969138597

(F)_____

Diego Alejandro Delgado Barberán

C.I. 1311666612

Dirección: Parroquia Manta, Manta

Correo electrónico: ddelgado6612@pucesm.edu.ec

Celular: 0969258018

Dedicatoria

A mis padres, Denisse y Mariano, que con tanto amor y sacrificio forjaron la persona que soy hoy en día, mis creencias y mis valores, que me enseñaron que las cosas buenas toman tiempo y que pase lo que pase nunca hay que rendirse. Este proceso llevó su huella en cada página.

A mi hermana, Andreita, por acompañarme en días de caos sin juzgarme, por enseñarme lo que es la paciencia y el amor incondicional.

A mis abuelitos, Auxi, Loly, Lolo y Wacho, por inculcar valores de resiliencia que perdurarán generación tras generación.

A la nena que por momentos se sintió insuficiente: lo logramos.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, Eloy y Lourdes, por siempre apoyarme y aconsejarme a lo largo de mi vida educativa y mi formación profesional, por brindarme la confianza e inculcarme los valores que me hacen la persona que soy ahora.

A mis hermanos, Andrés y Anthony que siempre nos escuchamos y nos ayudamos y apoyamos incondicionalmente.

Diego Delgado.

Agradecimiento

Con profunda gratitud, reconozco a quienes me acompañaron en este camino.

A mis padres, mi hermana y mi perro Max, quienes fueron mi refugio en medio de la tempestad. A mis primas Mayer y Daniela, quienes me regalaron esperanza cuando más la necesitaba, transformando mis silencios en sonrisas. A mi familia, verdaderos pilares de mi desarrollo personal. Sin duda, este camino no hubiera tenido el mismo significado sin su presencia.

A mis mejores amigas Sheyla, Diana y Delia, ese grupo de amor y apoyo que me recordó que nunca estuve sola en este proceso, gracias a su capacidad de acompañarme en los días más complejos. A mi mejor amigo Fernando, por ser quien llena mis días de luz y risas, transformando mis momentos difíciles con su presencia única. Son la definición más bonita de amistad.

A Daniel, por su amor paciente e incondicional que fue inquebrantable y solidario en este proceso, por darme fuerzas cuando yo misma dudaba.

En el ámbito académico, mi más profundo agradecimiento a cada docente que contribuyó a mi formación. De manera especial, al Mg. Fernando Quiroz y al Mg. Mauricio Colpari quienes han sido una guía fundamental en mi travesía por la ingeniería. Al Arq. Fabián y la Arq. Jaire, mentores quienes vieron más allá de mis limitaciones iniciales, convirtieron mis dudas en fortalezas y mi curiosidad en competencia profesional en el universo de la construcción.

Dayana Macias

Agradecimiento

Extiendo mi agradecimiento a mis padres por siempre estar para mí y acompañarme a lo largo de toda mi vida en todas las cosas que he querido y apoyándome en mis decisiones. A mis hermanos por siempre ver el lado positivo de nuestro día a día.

A todos los docentes que estuvieron presentes en mi formación profesional y sobre todo al Mgtr. Fernando Quiroz y al Mgtr. Mauricio Colpari quienes estuvieron acompañándonos en el transcurso de toda esta investigación. A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por contar con los espacios adecuados y laboratorios los cuales fueron fundamentales para terminar esta investigación.

Diego Delgado.

Resumen

El presente estudio muestra las propiedades físico-mecánicas de las maderas teca (*Tectona grandis*) y laurel (*Cordia alliodora*) provenientes de la región de Manabí, Ecuador. Esta investigación se fundamenta en la significativa importancia comercial de estas especies maderables en la zona y la notable ausencia de datos específicos sobre sus características estructurales en este contexto geográfico particular. La metodología propuesta se basa en un enfoque cuantitativo y experimental, empleando ensayos estandarizados de resistencia de materiales conforme a la norma ASTM D143-22, con el fin de evaluar parámetros críticos como la resistencia a la flexión, compresión, tracción y corte. Los resultados anticipados comprenden la obtención de datos precisos sobre las propiedades físicas y mecánicas de ambas especies, su análisis comparativo con las normas ecuatorianas vigentes y su consecuente clasificación estructural según normas internacionales. Este proyecto de investigación, que tuvo una duración aproximada de siete meses, aspira a generar conocimiento científico relevante que contribuya a optimizar la utilización y aplicación de estas maderas en diversos ámbitos estructurales e industriales dentro de la región, promoviendo así un aprovechamiento más eficiente y sostenible de estos recursos forestales.

Palabras clave: propiedades físico-mecánicas, teca (*Tectona grandis*), laurel (*Cordia alliodora*), madera estructural, ensayos de resistencia, caracterización de maderas, construcción sostenible.

Abstract

This study investigates the physical and mechanical properties of teak (*Tectona grandis*) and laurel (*Cordia alliodora*) woods from the Manabí region, Ecuador. This research is grounded in the significant commercial importance of these timber species in the region and the notable absence of specific data on their structural characteristics in this particular geographic context. The proposed methodology is based on a quantitative and experimental approach, employing standardized materials testing according to ASTM D143-22 to evaluate critical parameters such as flexural strength, compression, tension, and shear strength. The anticipated results include obtaining precise data on the physical and mechanical properties of both species, their comparative analysis with current Ecuadorian standards, and their subsequent structural classification according to international standards. This research project, which lasted approximately seven months, aims to generate relevant scientific knowledge that contributes to optimizing the use and application of these woods in various structural and industrial fields within the region, thus promoting a more efficient and sustainable use of these forest resources.

Keywords: physical and mechanical properties, teak (*Tectona grandis*), laurel (*Cordia alliodora*), structural timber, strength tests, wood characterization, sustainable construction.

Tabla de Contenido

Certificado del trabajo de integración curricular	i
Acta de aprobación del tribunal	ii
Declaración de Originalidad	iii
Declaración de derechos de autor	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
Índice de Figuras.....	xiv
Índice de Tablas	xvi
Introducción	1
Objetivos	5
Metodología	6
Selección de Número de Muestras.....	6
Obtención de Probeta para los Ensayos	7
Información Preliminar	7
<i>Registro</i>	7
<i>Control de Humedad</i>	7
<i>Peso Específico y Gravedad Especifica</i>	8
Ensayos de Resistencia de Materiales.....	8

<i>Ensayo a Flexión</i>	9
<i>Pruebas de Compresión</i>	10
<i>Pruebas de tracción</i>	11
<i>Corte paralelo al grano</i>	13
Análisis de datos	13
<i>Valores característicos</i>	13
<i>Categorización</i>	15
Materiales.....	19
Resultados	20
Contenido de Humedad.....	20
Resultados de los Ensayos Mecánicos	25
<i>Resultados De Ensayo De Flexión</i>	26
<i>Resultados Del Ensayo A Compresión Paralela Al Grano</i>	30
<i>Resultados Del Ensayo De Compresión Perpendicular Al Grano</i>	34
<i>Resultados Del Ensayo A Tracción Paralela Al Grano</i>	38
<i>Resultados Del Ensayo A Tracción Perpendicular Al Grano</i>	42
<i>Resultados Del Ensayo A Corte Paralelo Al Grano</i>	46
Resultados De Valores Característicos	50
<i>Resumen de Laurel</i>	50
<i>Resumen de teca</i>	51
Discusión.....	53

Conclusiones	56
Recomendaciones	58
Referencias bibliográficas.....	60
Anexos	65

Índice de Figuras

Figura 1 Probetas para ensayo a flexión	10
Figura 2 Probetas para ensayo de compresión paralela al grano	10
Figura 3 Probetas para ensayo de compresión perpendicular al grano.....	11
Figura 4 Dimensiones de probetas para tracción paralela al grano	12
Figura 5 Dimensiones de probetas para ensayos de tracción perpendicular al grano.	12
Figura 6 Dimensiones de probetas para ensayo de corte paralelo al grano	13
Figura 7 Gráfico de esfuerzo vs deformación para los ensayos de flexión	26
Figura 8 Esfuerzos y módulos de elasticidad ante flexión.....	29
Figura 9 Gráficos de esfuerzo vs deformación para los ensayos de compresión paralela al grano	30
Figura 10 Esfuerzos máximos ante compresión paralela al grano.....	33
Figura 11 Gráfico de esfuerzo vs deformación para los ensayos de compresión perpendicular al grano	34
Figura 12 Esfuerzo máximo ante compresión perpendicular al grano	37
Figura 13 Gráficos de esfuerzo vs deformación para los ensayos de tracción paralela al grano.....	38
Figura 14 Esfuerzo máximo ante tracción paralela al grano	41
Figura 15 Gráfico de esfuerzo vs deformación para los ensayos de tracción perpendicular al grano.....	42
Figura 16 Esfuerzo máximo ante tracción perpendicular al grano	45
Figura 17 Gráfico de esfuerzo vs deformación para los ensayos de corte paralelo al grano.....	46
Figura 18 Esfuerzo máximo ante corte paralelo al grano	49
Figura 19 Comparación de esfuerzos admisibles teca y laurel.....	52

Figura 20 Gráfica de esfuerzo ante tracción paralela y densidad53

Figura 21 Gráfica de esfuerzo ante traccion paralela y humedad.....54

Índice de Tablas

Tabla 1 Fórmulas para valores característicos BS EN 384.....	14
Tabla 2 Clases de resistencia, valores característicos	16
Tabla 3 Clases de resistencia según la NEC	18
Tabla 4 Esfuerzos admisibles según clase de madera.....	18
Tabla 5 Módulo de elasticidad según NEC.....	18
Tabla 6 Contenido de humedad del Laurel	20
Tabla 7 Contenido de humedad de la Teca.....	21
Tabla 8 Densidad del Laurel	23
Tabla 9 Densidad del Teca.....	24
Tabla 10 Ensayo a flexión de laurel.....	27
Tabla 11 Ensayo a flexión de teca	28
Tabla 12 Ensayo a compresión paralela al grano laurel.....	31
Tabla 13 Ensayo a compresión paralela al grano teca	32
Tabla 14 Ensayo a compresión perpendicular al grano laurel	35
Tabla 15 Ensayo a compresión perpendicular al grano teca.....	36
Tabla 16 Ensayo a tracción paralela al grano laurel	39
Tabla 17 Ensayo a tracción paralela al grano teca	40
Tabla 18 Ensayo a tracción perpendicular al grano laurel.....	43
Tabla 19 Ensayo a tracción perpendicular al grano teca.....	44
Tabla 20 Ensayos a corte paralelo al grano laurel	47
Tabla 21 Ensayo a corte paralelo al grano teca.....	48
Tabla 22 Resumen de propiedades del laurel.....	50
Tabla 23 Resumen de preopiedades de la teca.....	51

Introducción

La madera estructural, definida por su resistencia mecánica a diversos esfuerzos, desarrolla un papel fundamental en la construcción moderna. Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2580 (2011), las maderas se clasifican en duras y semiduras, diferenciándose por su densidad básica: las duras presentan una densidad superior a 0.71 g/cm³, mientras que las semiduras superan los 0.56 g/cm³.

En la provincia de Manabí, Ecuador, dos especies madereras destacan por su importancia comercial y potencial estructural: la teca (*Tectona grandis*) y el laurel (*Cordia alliodora*). Las propiedades físico-mecánicas de estas maderas varían significativamente según las condiciones locales de crecimiento, la edad del árbol y sus características físicas.

El laurel, estudiado por Howe (1974) en Costa Rica, presenta una variación de densidad básica entre 0.384 y 0.624 g/cm³. Córdoba Foglia (1997) señala que sus propiedades mecánicas son favorables en relación con su peso específico. Aunque los ensayos en árboles jóvenes muestran propiedades menores, el laurel mantiene su relevancia en el mercado industrial, especialmente en rales tempranos a los tres años, con métodos de secado artificial desarrollados por Garro Zavaleta (2001). La teca se distingue como una de las maderas tropicales más utilizadas en construcción, reconocida por Barreto Castañeda (2013) por sus excepcionales propiedades físicas y mecánicas. Sus ventajas incluyen una gran estabilidad dimensional, durabilidad natural y resistencia a la abrasión. Con una densidad que oscila entre 550-700 kg/m³, se clasifica como una madera moderadamente pesada y dura, según Gumbira-Sa'id et al. (2012).

Desde una perspectiva de sostenibilidad, la investigación contemporánea posiciona a la madera como un material crucial en la mitigación del cambio climático. Ramage et al. (2017) demuestran que puede reducir las emisiones de carbono entre un 30-50% en

comparación con el hormigón. Su eficiencia estructural es notable: presenta un módulo de elasticidad comparable al acero, titanio y aluminio en diferentes aplicaciones constructivas. Los beneficios ambientales se extienden más allá de la reducción de emisiones. Liang et al. (2020) revelan que los edificios de madera pueden actuar como sumideros de carbono, almacenando aproximadamente 1 tonelada de CO₂ por metro cúbico. Churkina et al. (2020) proyectan un potencial de almacenamiento entre 10 mil millones y 700 mil millones de toneladas de CO₂ para 2050, lo que subraya su importancia en la estrategia climática global.

En el contexto local de Manabí, la industria maderera representa un sector económico fundamental. El Ministerio de Agricultura y Ganadería (2016) indica que la superficie forestal de la provincia constituye aproximadamente el 8% del total nacional. Andrade & Hernández (2019) estiman que esta industria genera más de 3,000 empleos directos, contribuyendo significativamente a la economía local.

Las estadísticas regionales son reveladoras. La teca domina el panorama, ocupando el 77% de las 5,236.70 hectáreas plantadas (Céspedes Duque, 2013). El laurel, por su parte, cuenta con cerca de 1,200 hectáreas, principalmente en sistemas agroforestales que integran cultivos de café y cacao (Intriago et al., 2020).

La limitada información en las normas ecuatorianas de 2015 representa un desafío para la selección y aprovechamiento eficiente de estas maderas. Determinar con precisión sus propiedades permitiría establecer estándares técnicos más rigurosos, optimizando su uso en aplicaciones estructurales e industriales. Conclusivamente, maderas como la teca y el laurel emergen como alternativas sostenibles y multifuncionales. Su potencial para la construcción, combinado con beneficios ambientales, económicos y estructurales, posiciona a Manabí como un actor relevante en la transición hacia prácticas constructivas más ecológicas y eficientes.

Justificación

La elección adecuada de especies maderables es crucial en diversas aplicaciones estructurales y de manufactura. En este estudio se seleccionaron la teca (*Tectona grandis*) y el laurel (*Cordia alliodora*) debido a su importancia comercial y amplio uso en la industria maderera. La teca, originaria del sureste asiático, se destaca por sus excepcionales propiedades que la convierten en un material idóneo para las construcciones en donde se demandan alta resistencia, estabilidad dimensional y durabilidad prolongada. Para las cubiertas, la teca sobresale entre las otras especies de madera (Cedeño, 2007).

En Ecuador existe un total de 5,236.7 hectáreas cultivadas de teca, esto abarca un porcentaje sustancial del 77%. Considerando el total de plantaciones de las tres principales provincias: Guayas, Los Ríos y Manabí, se evidencia que existe una preferencia por esta especie, debido a que presenta un desarrollo estable y prometedoras perspectivas comerciales. Se prevé que la superficie total plantada con teca alcance las 45,000 hectáreas en las provincias de: Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos, Guayas, Esmeraldas y Sucumbíos (Castro R., 2022).

Por otro lado, el laurel (*Cordia alliodora*) representa una especie forestal de singular importancia para Manabí, Ecuador, por su relevancia ecológica y económica. Con aproximadamente 1,200 hectáreas de plantaciones, esta especie nativa se destaca por su integración en sistemas agroforestales, combinándose estratégicamente con cultivos de café y cacao.

Sus características de crecimiento son notables, con tasas de desarrollo entre 12-15 m³/ha/año en condiciones óptimas de la costa ecuatoriana, lo que lo convierte en una alternativa atractiva para productores locales. Científicamente, presenta un perfil de

propiedades físico-mecánicas de gran interés, con una densidad básica variable entre 0.384 y 0.624 g/cm³, documentada por investigadores como Howe (1974) y Córdoba Foglia (1997).

La versatilidad del laurel en sistemas de producción mixtos, su adaptabilidad a los ecosistemas de Manabí y su potencial para la generación de ingresos complementarios lo posicionan como un recurso forestal estratégico. Más allá de su valor maderero, representa un elemento crucial en la intersección entre conservación ecológica, desarrollo económico sostenible e investigación científica, justificando plenamente su selección como objeto de estudio en investigaciones sobre propiedades estructurales. En la actualidad la especie está reconocida entre las 10 especies prioritarias para la reforestación y creación de plantaciones comerciales (Grijalva, Checa, Ramos, Barrera, & Limongi, 2012).

Objetivos

General

Determinar las propiedades físico-mecánicas de las maderas teca (*Tectona grandis*) y el laurel (*Cordia alliodora*) que se producen en Manabí, Ecuador.

Específico

- Establecer las propiedades físicas básicas de los especímenes de teca y de laurel.
- Realizar los ensayos de resistencia de materiales a los especímenes de teca y laurel mediante los métodos estandarizados por ASTM D143-22.
- Determinar las propiedades mecánicas de diseño de la teca y el laurel en base a las normas ASTM D2915-17.
- Categorizar las maderas teca y laurel según sus propiedades en base a normativas internacionales como la EN 338:2003.

Metodología

El tipo de investigación es cuantitativo y experimental. En una primera fase, se caracterizaron propiedades físicas básicas como el contenido de humedad, peso específicos y gravedad específica. Posteriormente se determinaron las propiedades mecánicas como módulo de elasticidad (MOE) en tracción y compresión, esfuerzos admisibles para tracción paralela y perpendicular al grano, compresión paralela y perpendicular al grano, corte paralelo al grano y flexión con el fin de evaluar la resistencia estructural de estas maderas. Los ensayos se realizaron con equipos de ensayo universal, siguiendo procedimientos estándar de medición de deformaciones, velocidad, entre otros lineamientos normativos. Se realizó un análisis estadístico según la distribución de los datos en base a la ASTM D2915-17. Los resultados permitieron obtener valores representativos de esfuerzos máximos y admisibles para el diseño de estructuras de madera.

Selección de Número de Muestras

La selección del tamaño de la muestra depende de la o las propiedades que se estimarán, la variación real de las propiedades que ocurren en la población y la precisión con la que se estimará la propiedad. Para cualquier propiedad, los valores de resistencia o el módulo de elasticidad se pueden estimar varios percentiles de la población y para todas las propiedades, se pueden aplicar técnicas no paramétricas o paramétricas. Comúnmente, se estima la media para propiedades que eventualmente utilizará el estándar del producto para evaluar una preocupación de diseño. Por lo general, se evalúan estimaciones cercanas al valor mínimo de la propiedad cuando la resistencia es el objetivo principal. Entre mayor sea el tamaño de la muestra, es más probable que el límite de tolerancia esté cercano al valor poblacional. Por lo tanto, es deseable seleccionar un tamaño de muestra tan grande como sea posible, acorde con el costo del muestreo y las pruebas. En base a lo anterior, se decidió

tomar treinta muestras por ensayo, dando un total de 360 muestras entre los seis ensayos y las dos especies establecidas.

Obtención de Probeta para los Ensayos

Cada pieza representa todos los factores que influyeron en su crecimiento: anillos de crecimiento, densidad, textura, botones, depósitos, ataque de hongos e insectos. Las piezas de madera, por su origen y los procesos de tala, aserrado, transporte, secado, inmunidad y trabajabilidad, pueden desarrollar diversos defectos que pueden no afectar su durabilidad.

Las muestras fueron obtenidas mediante un depósito de madera ubicado en la ciudad de Portoviejo, Manabí. La comercialización de este tipo de madera suele presentarse mediante tiras de 5cm por 5cm por 2.2 metros de largo. Dichas tiras fueron adaptadas a las dimensiones dispuestas por la norma ASTM D143-22 para los respectivos ensayos de compresión, corte, flexión y tracción.

Información Preliminar

Registro

Se debe llevar un registro y conocer todos los parámetros de las probetas a ensayar, quiere decir que se debe registrar las dimensiones y peso de cada probeta. Adicional a esto se realizaron registros fotográficos de cada probeta con sus respectivas nomenclaturas antes y después de cada ensayo.

Control de Humedad

El control de humedad de las muestras es muy importante para asegurar resultados comparables. Todas las probetas se mantuvieron en las mismas condiciones y lugar. Los especímenes estuvieron bajo dos procesos de medición de humedad. Por un lado, se tomaron las humedades de cada probeta usando un higrómetro de marca Bosch universalhumid wood

moisture meter A/B 6.4-74.7% para madera. Por otro lado, para corroborar los datos del higrómetro se pesaron probetas para luego ser secadas en un horno a 105 grados Celsius. Consecuente a eso se calculó las humedades de cada muestra.

Peso Específico y Gravedad Específica

Adicionalmente a la humedad, se determinó el peso y la gravedad específicos. Las probetas fueron pesadas y dimensionadas con un calibrador, los valores de peso y volúmenes ayudaron a calcular el peso específico y gravedad específica representado en las fórmulas 1 y 2.

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} \quad (1)$$

$$\text{Gravedad específica} = \frac{\text{peso específico}}{\text{peso específico del agua}} \quad (2)$$

Ambas son fundamentales en los ensayos de madera, ya que estos parámetros ofrecen información clave sobre la densidad y la calidad estructural del material. El peso específico indica la densidad de la madera en relación con el volumen que ocupa. Por otro lado, la gravedad específica proporciona una medida relativa de la densidad de la madera en comparación con el agua, facilitando la clasificación de la madera en función de su capacidad de carga y comportamiento en diferentes condiciones de humedad.

Ensayos de Resistencia de Materiales

El proceso de preparación de especímenes involucró una caracterización de las probetas, documentando parámetros fundamentales como masa, contenido de humedad y dimensiones geométricas. Posteriormente, se implementó un sistema de ensayos mecánicos utilizando una máquina universal, equipada con el software de análisis Trapezium X, que

permitió la captura, registro y procesamiento de datos experimentales con un alto grado de precisión y confiabilidad.

Para los ensayos de tracción y compresión paralelas, se implementó un sistema de medición extensométrica, utilizando extensómetros digitales de alta resolución. Estos dispositivos permitieron cuantificar con precisión micrométrica las deformaciones experimentadas por los especímenes durante los procesos de carga y deformación, garantizando una caracterización mecánica detallada y minimizando los márgenes de error inherentes a las mediciones directas.

La instrumentación empleada, caracterizada por su alta sensibilidad y precisión, aseguró el registro sistemático de las propiedades mecánicas de las probetas, proporcionando los datos experimentales necesarios para el análisis posterior de las propiedades físico-mecánicas de las especies madereras objeto de estudio.

Ensayo a Flexión

Los ensayos de flexión podrán presentar medidas del método primario o secundario, en esta investigación utilizamos el método primario que consta de las medidas de 2x2x30 pulg. (50x50x760mm). Con una longitud libre del tramo de 28 pulg. (710mm). La velocidad de la carga establecida por la norma es de 2,5mm/min.

Figura 1

Probetas para ensayo a flexión



(a)



(b)

Nota. La figura 1 muestra las probetas para el ensayo a flexión (a) Probeta de laurel, (b) Probeta de teca

Pruebas de Compresión

Paralela al Grano

Las pruebas de compresión paralelo al grano pueden presentar medidas del método primario y del método secundario, en esta investigación utilizamos el método primario la cual tiene las dimensiones de 2x2x8 pulg (50x50x200mm) según la norma. La carga se aplicó de forma continua durante toda la prueba a una velocidad de 0,6mm/min.

Figura 2

Probetas para ensayo de compresión paralela al grano



(a)



(b)

Nota. La figura 2 muestra las probetas para el ensayo de compresión paralela al grano (a) Probeta de laurel, (b) Probeta de teca.

Perpendicular al grano

La compresión perpendicular al grano se realiza con especímenes de 2x2x6 pulg (50x50x150mm). La carga se aplicó de forma continua durante todo el ensayo a una velocidad de movimiento de la cruceta móvil 0,305mm/min.

Figura 3

Probetas para ensayo de compresión perpendicular al grano



(a)



(b)

Nota. La figura 3 muestra las probetas para el ensayo de compresión perpendicular al grano (a) Probeta de laurel, (b) Probeta de teca.

Pruebas de tracción

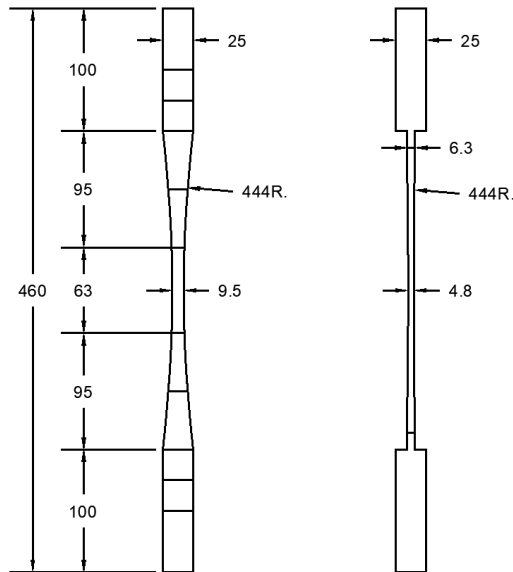
Tracción paralela al grano

El dimensionamiento de los especímenes para los ensayos de tracción paralela al grano se muestra en la figura 4.

La carga aplicada a esta prueba fue continua durante todo el transcurso del ensayo a una velocidad de movimiento de la cruceta móvil de 1mm/min. Se llevó un registro fotográfico de cada tipo de modo de falla observado.

Figura 4

Dimensiones de probetas para tracción paralela al grano



Nota. La figura 4 muestra las dimensiones de las probetas usadas para el ensayo de tracción paralela al grano en milímetros. Adaptado de ASTM D143-22 (p.22)

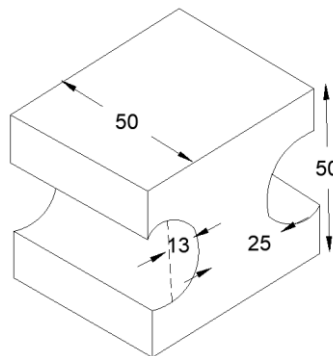
Tracción perpendicular al grano

El dimensionamiento para las pruebas de tensión perpendicular al grano se muestra en

Figura 5.

Figura 5

Dimensiones de probetas para ensayos de tracción perpendicular al grano



Nota. La figura 4 muestra las dimensiones de las probetas usadas para el ensayo de tracción perpendicular al grano en milímetros. Adaptado de ASTM D143-22 (p.24)

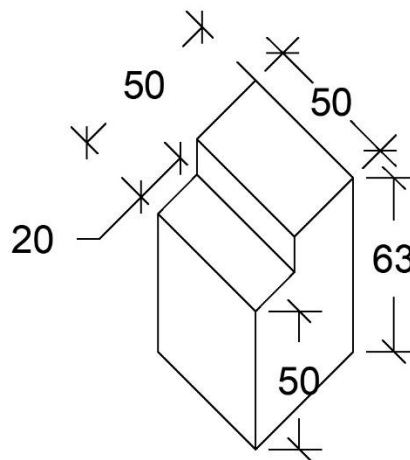
La carga se aplicará continuamente durante toda la prueba a una velocidad de movimiento de la cruceta móvil de 2,5mm/min.

Corte paralelo al grano

En las pruebas de corte paralelo al grano se realizarán en una dimensión de 2x2x2-1/2 pulg (50x50x63mm) como lo muestra la Figura 9. La carga se aplicará continuamente durante toda la prueba a una velocidad de movimiento de la cruceta móvil de 0,6 mm /min.

Figura 6

Dimensiones de probetas para ensayo de corte paralelo al grano



Nota. La figura 4 muestra las dimensiones de las probetas usadas para el ensayo de corte paralelo al grano en milímetros. Adaptado de ASTM D143-22 (p.17)

Análisis de datos

Valores característicos

La norma ASTM D2555-17a fue utilizada para la evaluación y caracterización estadística de las propiedades de resistencia de la madera estructural. Esta normativa establece lineamientos estandarizados para determinar parámetros clave como los valores promedio, desviaciones estándar y distribuciones de probabilidad de las propiedades mecánicas de la madera ensayada. Se eligió esta norma para poder comprender la variabilidad y comportamiento estadístico inherente del material ensayado. Por otro lado, se aplicó la norma ASTM D245-22 para poder establecer valores de diseño permisibles de la madera

ensayada. La norma BS EN 384:2004 da pautas a seguir para calcular los valores característicos de resistencia, módulo de elasticidad y densidad de las maderas, en base a los ensayos realizados previamente. Los valores característicos de resistencia, rigidez y densidad para las clases de resistencia, utilizando las siguientes fórmulas.

Tabla 1

Fórmulas para valores característicos BS EN 384

Propiedades	Valores característicos BS EN 384:2004
Flexión	$f_{m,k} = \overline{f_{0.5}} k_s k_v$ (3)
Tracción paralela	$f_{t,0,k} = 0.6 f_{m,k}$ (4)
Tracción perpendicular	$f_{v,k} = \min. \left\{ \begin{array}{l} 0.6 \\ 0.0015 \rho_k \end{array} \right.$ (5)
Compresión paralela	$f_{c,0,k} = 5 (f_{m,k})^{0.45}$ (6)
Compresión perpendicular	$f_{c,90,k} = 0.007 \rho_k$ (7)
Corte	$f_{v,k} = \min. \left\{ \begin{array}{l} 3.8 \\ 0.2 (f_{m,k})^{0.8} \end{array} \right.$ (8)
Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,mean} = \frac{\sum \bar{E}_j n_j}{\sum n_j}$ (9)
5% de módulo de elasticidad	$E_{0,05} = 0.67 E_{0,mean}$ (10)
Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,mean} = E_{0,mean} / 30$ (11)
Módulo de corte medio	$G_{mean} = E_{0,mean} / 16$ (12)
Densidad percentil 5	$\rho_{05} = (\bar{\rho} - 1.65s)$ (13)

Tabla 1 (Continuación)

Propiedades	Valores característicos BS EN 384:2004
Densidad	$\rho_k = \frac{\sum \rho_{05,j} n_j}{\sum n_j}$ (14)
Densidad media	$\rho_{mean} = \frac{\sum \rho}{\sum n}$ (15)

Nota. Elaboración de los autores, adaptado de la norma BS EN 384

Categorización Para esta investigación se utilizó la normativa BS EN 338:2003 que clasifica las maderas en grupos de acuerdo con su resistencia, módulo de elasticidad y densidad.

La norma BS EN 338:2003 introduce un sistema de clases de resistencia que permite utilizar diferentes tipos de madera de manera intercambiable, sin necesidad de conocer los valores exactos de cada parámetro individual como resistencia, elasticidad o módulo de Young. Al establecer clases estandarizadas, la norma simplifica significativamente el proceso de selección y especificación de materiales madereros para proyectos de construcción, para poder trabajar con distintas maderas bajo parámetros uniformes y predecibles.

Esta clasificación permite seleccionar una clase de resistencia específica y utilizar los valores característicos correspondientes en sus cálculos de diseño, garantizando así una mayor uniformidad y confiabilidad en los proyectos de construcción (BS EN 338:2003).

Esta norma establece una serie de clases de resistencia, cada una designada por un código que indica el valor de resistencia en N/mm² así como lo muestra la tabla 2.

Tabla 2*Clases de resistencia, valores característicos*

		Especies populares y de madera blanda											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Propiedades por resistencia (en N/mm²)													
Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.7	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2
Corte	$f_{v,k}$	1.7	1.8	2	2.2	2.4	2.5	3	3	3.4	3.8	3.8	3.8
Propiedades por rigidez (en KN/mm²)													
Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,mean}$	7	8	9	9.5	10	11	11.5	12	13	14	15	16
5% de módulo de elasticidad	$E_{0,05}$	4.7	5.4	6	6.4	6.7	7.4	7.7	8	8.7	9.4	10	10.7
Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,mean}$	0.23	0.27	0.3	0.32	0.33	0.37	0.38	0.4	0.43	0.47	0.5	0.53
Módulo de corte medio	G_{mean}	0.44	0.5	0.56	0.59	0.63	0.69	0.72	0.75	0.81	0.88	0.94	1
Densidad (en Kg/m³)													
Densidad	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Densidad media	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Tabla 2 (continuación)

		Especie de maderas duras					
		D30	D35	D40	D50	D60	D70
Propiedades por resistencia (en N/mm ²)							
Flexión	$f_{m,k}$	30	35	40	50	60	70
Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	18	21	24	30	36	42
Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	8	8.4	8.8	9.7	10.5	1.5
Corte	$f_{v,k}$	3	3.4	3.8	4.6	5.3	6
Propiedades por rigidez (en KN/mm ²)							
Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,mean}$	10	10	11	14	17	20
5% de módulo de elasticidad	$E_{0,05}$	8	8.7	9.4	11.8	14.3	16.8
Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,mean}$	0.64	0.69	0.75	0.93	1.13	1.33
Módulo de corte medio	G_{mean}	0.6	0.65	0.7	0.88	1.06	1.25
Densidad (en Kg/m ³)							
Densidad	ρ_k	530	560	590	650	700	900
Densidad media	ρ_{mean}	640	670	700	780	840	1080

Nota. La tabla 1 muestra la clasificación de maderas blandas y duras según los parámetros de resistencia, rigidez y densidad. Adaptado de BS EN 338:2003 (p. 6-7).

Por otro lado, normativa ecuatoriana NEC (2015) clasifica estructuralmente 105 maderas tropicales en tres grupos según su densidad básica (DB): el grupo "A" con DB entre 0.71 y 0.90, el grupo "B" con DB entre 0.56 y 0.70, y el grupo "C" con DB entre 0.40 y 0.55, representado en la Tabla 2. Se establece esta categorización con la finalidad de definir posteriormente las propiedades de resistencia y rigidez de cada conjunto de maderas.

Tabla 3

Clases de resistencia según la NEC

Clasificación por densidad	
Grupo	Densidad básica
A	0.71-0.90
B	0.56-0.70
C	0.40-0.55

Nota. La tabla 2 muestra las clasificación de las maderas según su densidad básica. Adaptado de la NEC 2015 (p. 61).

Tabla 4

Esfuerzos admisibles según clase de madera

Esfuerzos admisibles [Mpa]					
Grupo	Flexión	Tracción paralela	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte paralelo
	f_m	f_t	f_c	$f_{c\perp}$	f_y
A	21	14.5	14.5	4	1.5
B	15	10.5	11	2.8	1.2
C	10	7.5	8	1.5	0.8

Nota. La tabla 3 muestra los esfuerzos admisibles en MPa ante flexión, compresión, tracción y corte según la clase de madera. Adaptado de la NEC 2015 (p. 62).

Tabla 5

Módulo de elasticidad según NEC

Módulo de elasticidad [Mpa]		
Grupo	$E_{\min} (E_{0.05})$	E_{promedio}
A	9500	13000
B	7500	10000
C	5500	90000

Nota. La tabla 4 muestra el módulo de elasticidad según la clase de madera. Adaptado de la NEC 2015 (p. 63).

Materiales

Materiales de campo

- Máquina universal de ensayo (UTM)
- Flexómetro
- Calibrador digital
- Cámara fotográfica
- Higrómetro

Materiales de oficina

- Laptop
- Cuaderno
- Software Excel
- Software Word
- Software RStudio (R.4.4.1)
- Software TRAPEZIUM X

Resultados

La presente investigación se llevó a cabo a partir de la recolección de muestras de madera de laurel y teca proveniente de la provincia de Manabí. Estas muestras obtenidas sirvieron para la elaboración de las probetas para cada tipo de ensayo de acuerdo con la norma ASTM, posteriormente se realizaron los respectivos ensayos en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, Campus Portoviejo. Los resultados obtenidos se tabularon mediante gráficas de histogramas y curvas de distribución, mismos que se presentan en los siguientes análisis y tablas.

Contenido de Humedad

Para obtener el contenido de humedad de las probetas se extrajeron los extremos de las probetas para el ensayo a tracción paralela al grano para poder obtener un volumen uniforme, siguiente a ello, se secó en un horno eléctrico a 105 °C, hasta que este alcance un peso constante, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6

Contenido de humedad del Laurel

Probeta	Masa Húmeda [gr]	Masa Seca [gr]	HUMEDAD [%]
H01-L	25.17	21.85	15.19
H02-L	26.99	23.45	15.10
H03-L	24.48	21.33	14.77
H04-L	27.53	24.06	14.42
H05-L	22.71	19.82	14.58
H06-L	26.91	23.43	14.85
H07-L	22.34	19.50	14.56
H08-L	22.78	19.94	14.24
H09-L	23.72	20.75	14.31
H10-L	26.00	22.69	14.59
H11-L	20.15	17.57	14.68
H12-L	22.51	19.64	14.61
H13-L	29.51	25.71	14.78
H14-L	28.30	24.67	14.71
H15-L	24.90	21.66	14.96

Tabla 6 (continuación)

Probeta	Masa Húmeda [gr]	Masa Seca [gr]	HUMEDAD [%]
H16-L	23.71	20.57	15.26
H17-L	26.59	23.07	15.26
H18-L	26.12	22.64	15.37
H19-L	26.13	22.8	14.61
H20-L	19.24	16.83	14.32
H21-L	21.41	18.72	14.37
H22-L	29.39	25.6	14.80
H23-L	24.92	21.68	14.94
H24-L	25.08	21.71	15.52
H25-L	20.98	18.27	14.83
H26-L	22.2	19.38	14.55
H27-L	21.82	19.03	14.66
H28-L	23.31	20.36	14.49
H29-L	21.31	18.55	14.88
H30-L	25.72	22.33	15.18
PROMEDIO (μ)			14.78
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)			0.33

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 7

Contenido de humedad de la Teca

Probeta	Masa Húmeda [gr]	Masa Seca [gr]	HUMEDAD [%]
H01-T	36.38	32.42	12.21
H02-T	29.51	25.7	14.82
H03-T	30.85	26.91	14.64
H04-T	30.92	26.67	15.94
H05-T	32.11	27.93	14.97
H06-T	31.87	27.66	15.22
H07-T	30.23	26.28	15.03
H08-T	37.54	33.33	12.63
H09-T	28.38	24.62	15.27
H10-T	30.05	26.06	15.31
H11-T	34.99	30.33	15.36
H12-T	30.46	26.7	14.08
H13-T	29.38	25.77	14.01
H14-T	28.5	24.69	15.43
H15-T	31.41	27.34	14.89
H16-T	30.52	26.49	15.21

Tabla 7 (continuación)

Probeta	Masa H. [gr]	Masa S. [gr]	HUMEDAD [%]
H17-T	30.85	26.78	15.20
H18-T	28.84	25.04	15.18
H19-T	31.16	27.19	14.60
H20-T	32.58	28.46	14.48
H21-T	31.15	27.2	14.52
H22-T	31.85	28.08	13.43
H23-T	33.84	30.1	12.43
H24-T	29.73	25.68	15.77
H25-T	30.79	26.99	14.08
H26-T	28.18	24.52	14.93
H27-T	27.93	24.34	14.75
H28-T	34.97	30.93	13.06
H29-T	36.79	32.38	13.62
H30-T	32.69	28.93	13.00
		PROMEDIO (μ)	14.47
		DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	1.01

Nota. Elaboración de los autores

Los resultados del contenido de humedad revelan características significativas para ambas especies. El laurel presentó un promedio de humedad de 14.78% con una desviación estándar de 0.33, mientras que la teca mostró un promedio de 14.47% con una desviación estándar más alta de 1.01. Esta variabilidad sugiere una mayor heterogeneidad en el contenido de humedad de la teca, lo cual podría influir en sus propiedades mecánicas y comportamiento estructural.

Densidad

La densidad evidenció diferencias notables entre las especies. El laurel registró una densidad promedio de 413.71 kg/m³, mientras que la teca alcanzó 526.10 kg/m³. Esta diferencia significativa indica que la teca posee una estructura más compacta y densa, lo cual presumiblemente se traducirá en mayores capacidades mecánicas y resistencia estructural.

Tabla 8*Densidad del Laurel*

Probeta	PESO [gr]	VOLUMEN [mm³]	DENSIDAD [kg/m³]
D01-L	23.39	60581.75	386.09
D02-L	24.00	61564.37	389.84
D03-L	24.42	61407.80	397.67
D04-L	28.33	60591.63	467.56
D05-L	26.36	60129.14	438.39
D06-L	25.94	57584.05	450.47
D07-L	21.60	59358.18	363.89
D08-L	21.24	58777.68	361.36
D09-L	21.82	59259.05	368.21
D10-L	24.23	60435.31	400.92
D11-L	21.63	61636.30	350.93
D12-L	27.42	61127.35	448.57
D13-L	27.65	61097.04	452.56
D14-L	28.92	60568.31	477.48
D15-L	21.23	61276.96	346.46
D16-L	28.80	57881.63	497.57
D17-L	22.93	61195.28	374.70
D18-L	26.63	60740.62	438.42
D19-L	26.05	60018.34	434.03
D20-L	22.21	61826.82	359.23
D21-L	24.62	60886.17	404.36
D22-L	21.38	59345.17	360.27
D23-L	28.61	60221.96	475.08
D24-L	23.44	60374.15	388.25
D25-L	26.51	61036.63	434.33
D26-L	24.14	60221.32	400.85
D27-L	27.55	59819.91	460.55
D28-L	27.30	60235.55	453.22
D29-L	25.71	59820.23	429.79
D30-L	24.34	60808.02	400.28
PROMEDIO (μ)			413.71
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)			43.09

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 9*Densidad del Teca*

Probeta	PESO [gr]	VOLUMEN [mm³]	DENSIDAD [kg/m³]
D01-T	29.35	59235.92	495.48
D02-T	28.14	60801.78	462.82
D03-T	30.42	60166.73	505.60
D04-T	35.37	59509.89	594.35
D05-T	42.59	61044.02	697.69
D06-T	31.20	60818.19	513.00
D07-T	31.06	62512.44	496.86
D08-T	31.17	58498.33	532.84
D09-T	28.58	62008.68	460.90
D10-T	25.56	52900.77	483.17
D11-T	32.49	59938.94	542.05
D12-T	30.29	61915.54	489.21
D13-T	30.01	60316.23	497.54
D14-T	34.34	59729.03	574.93
D15-T	31.96	61222.15	522.03
D16-T	36.72	60667.78	605.26
D17-T	29.90	60583.72	493.53
D18-T	31.11	61132.05	508.90
D19-T	35.92	59625.80	602.42
D20-T	31.66	60529.51	523.05
D21-T	27.32	60571.36	451.04
D22-T	35.10	60595.28	579.25
D23-T	32.97	61076.63	539.81
D24-T	32.95	60410.91	545.43
D25-T	32.69	60069.11	544.21
D26-T	29.34	61413.83	477.74
D27-T	28.35	59233.55	478.61
D28-T	34.31	59927.62	572.52
D29-T	29.75	58930.53	504.83
D30-T	29.99	61466.62	487.91
PROMEDIO (μ)			526.10
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)			53.48

Nota. Elaboración de los autores

Resultados de los Ensayos Mecánicos

Se realizaron ensayos mecánicos para poder caracterizar el comportamiento estructural de las especies Teca y Laurel, siguiendo protocolos normalizados por la ASTM D143-22 para las propiedades mecánicas. Específicamente, se ejecutaron pruebas de flexión, compresión y tracción en configuraciones múltiples: tracción y compresión paralela y perpendicular al grano, así como ensayos de corte paralelo al grano. Esta metodología permite una caracterización integral del comportamiento mecánico del material.

Los resultados obtenidos fueron procesados mediante un análisis estadístico, recopilando los datos correspondientes a los esfuerzos máximos y el módulo de elasticidad. La representación gráfica de dichos resultados se realizó mediante histogramas desarrollados utilizando el software estadístico RStudio, lo que permite una visualización clara de la distribución de los parámetros mecánicos.

La caracterización estadística de los datos se efectuó mediante tres métodos de ajuste: distribución normal, distribución lognormal y distribución de Weibull. La selección de estos métodos no fue aleatoria, sino que se fundamentó específicamente en las directrices establecidas en la norma ASTM D2915 – 17 (2022), la cual proporciona lineamientos estandarizados para la evaluación estadística de propiedades mecánicas en materiales.

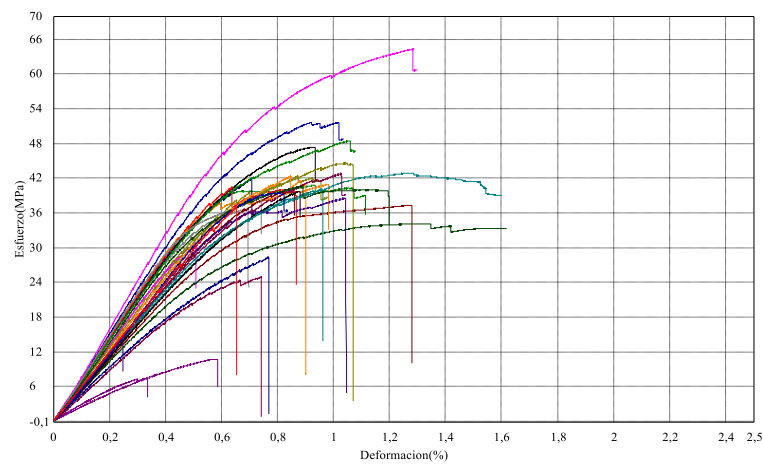
La norma ASTM D2915 – 17 es particularmente relevante en este contexto, ya que establece los procedimientos para el muestreo, análisis estadístico y caracterización de propiedades mecánicas de materiales, con un enfoque especial en materiales lignocelulósicos como la madera. Esta norma recomienda específicamente el uso de distribuciones como Weibull para modelar la variabilidad inherente de las propiedades mecánicas, considerando las fluctuaciones naturales en las características estructurales del material.

Resultados De Ensayo De Flexión

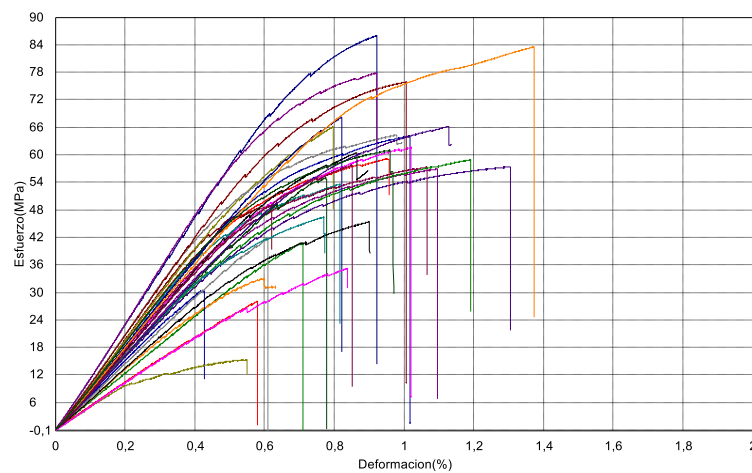
Como rasgos generales se obtienen los siguientes resultados, en la Figura 7 se observa el comportamiento de las 30 probetas de laurel y teca respectivamente ante los ensayos a flexión.

Figura 7

Gráfico de esfuerzo vs deformación para los ensayos de flexión



(a)



(b)

Nota. La figura muestra los esfuerzos vs deformación (a) gráfica de laurel, (b) gráfica de teca.

Tabla 10*Ensayo a flexión de laurel*

Nombre	Máx. Esfuerzo	M. Elástico
	[Mpa]	[Mpa]
F01-L	36.96	5944.23
F02-L	37.32	5267.34
F03-L	7.48	2521.89
F04-L	40.80	6990.76
F05-L	41.90	7004.72
F06-L	41.99	6534.38
F07-L	30.95	6368.81
F08-L	36.72	6791.04
F09-L	40.97	7128.17
F10-L	47.37	6874.74
F11-L	42.87	5583.22
F12-L	24.93	4197.50
F13-L	14.35	6012.29
F14-L	34.10	4762.66
F15-L	51.64	7516.17
F16-L	40.38	7142.94
F17-L	39.66	6088.03
F18-L	10.72	1890.15
F19-L	48.49	6833.90
F20-L	28.39	4168.34
F21-L	44.55	6320.26
F22-L	64.29	8251.04
F23-L	38.92	7139.10
F24-L	42.28	6304.63
F25-L	39.73	5516.21
F26-L	40.03	5603.32
F27-L	42.78	5590.99
F28-L	38.57	6023.24
F29-L	40.58	6727.77
F30-L	39.42	6448.82
Promedio (μ)	37.64	5984.89
Desviación Estándar (σ)	11.48	1377.97

Nota. Elaboración de los autores

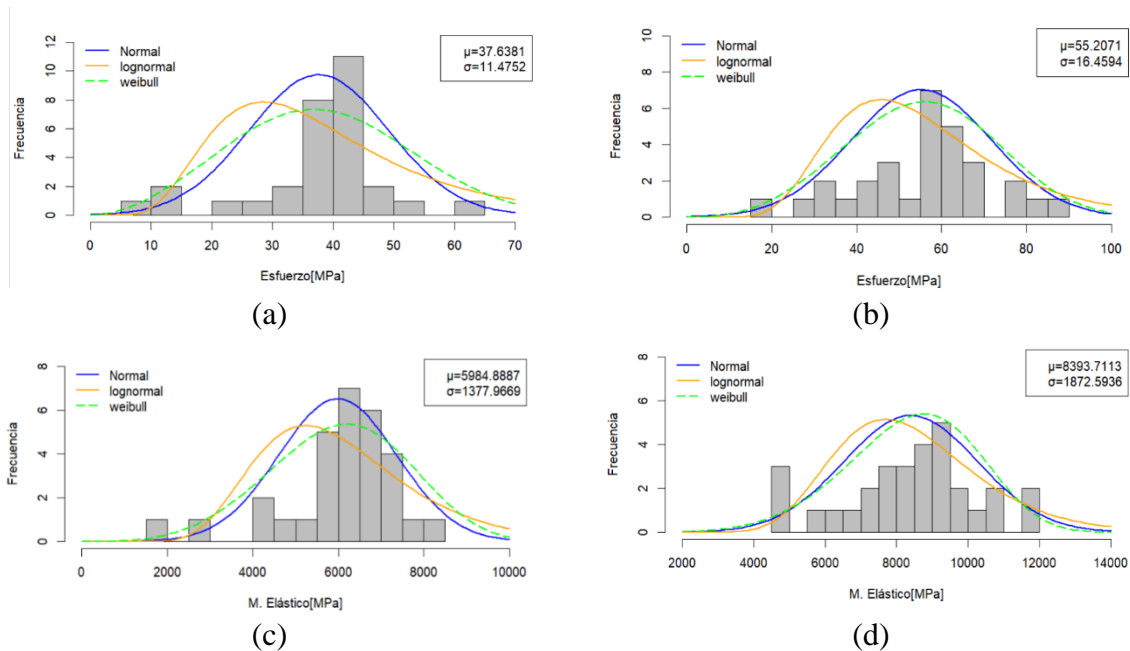
Tabla 11*Ensayo a flexión de tecla*

Nombre	Máx. Esfuerzo	M. Elástico
	[Mpa]	[Mpa]
F01-T	59.15	9402.17
F02-T	48.90	10504.80
F03-T	45.42	6678.29
F04-T	46.39	7850.28
F05-T	56.90	8452.49
F06-T	40.70	6201.95
F07-T	85.98	11660.90
F08-T	66.06	9950.12
F09-T	61.56	8691.05
F10-T	64.33	10376.60
F11-T	33.02	5984.86
F12-T	57.70	8733.15
F13-T	60.45	8861.50
F14-T	53.57	9023.68
F15-T	57.28	8883.93
F16-T	66.19	8279.98
F17-T	57.38	7682.81
F18-T	55.05	8016.82
F19-T	30.39	7095.30
F20-T	28.06	4862.02
F21-T	75.89	10645.40
F22-T	77.90	11922.00
F23-T	60.95	9461.01
F24-T	64.07	9593.42
F25-T	58.90	7748.31
F26-T	68.27	9376.08
F27-T	15.30	4697.79
F28-T	35.21	4861.77
F29-T	41.74	7224.60
F30-T	83.54	9088.26
Promedio (μ)	55.21	8393.71
Desviación Estándar (σ)	16.46	1872.59

Nota. Elaboración de los autores

Figura 8

Esfuerzos y módulos de elasticidad ante flexión;



Nota. La figura muestra esfuerzos y módulos (a) Esfuerzo máximo de laurel, (b) Esfuerzo máximo de teca, (c) Módulo de elasticidad de laurel y (d) Módulo de elasticidad de teca

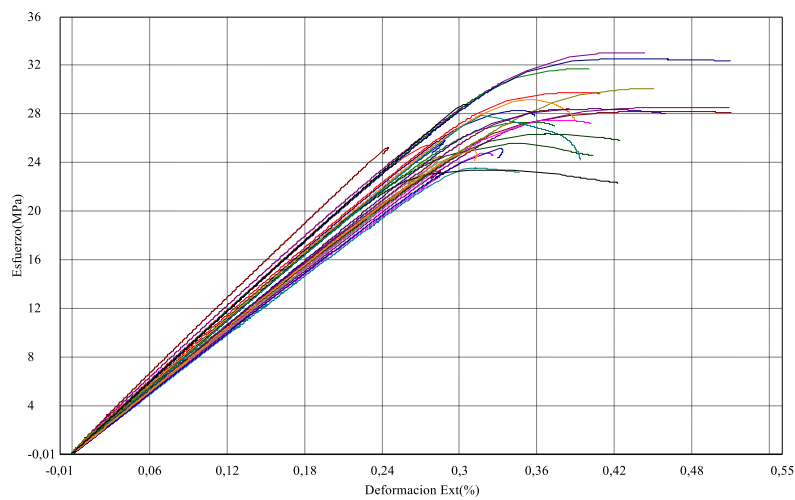
Las cuatro figuras presentadas muestran las distribuciones del esfuerzo máximo y el módulo de elasticidad tanto para el laurel como para la teca. En cuanto al esfuerzo máximo, la teca muestra valores más altos ($\mu=55.21$ MPa) en comparación con el laurel ($\mu=37.64$ MPa), lo que indica una mayor resistencia mecánica. De manera similar, al examinar el módulo de elasticidad, la teca presenta valores superiores ($\mu=8393.71$ MPa) frente al laurel ($\mu=5984.89$ MPa), sugiriendo que la teca tiene una mayor rigidez y resistencia a la deformación. En todos los casos, se presentan tres modelos de distribución (Normal, Lognormal y Weibull) que se ajustan a los datos experimentales representados en los histogramas, siendo las distribuciones bastante simétricas, siendo la normal la que más se ajusta al histograma.

Resultados Del Ensayo A Compresión Paralela Al Grano

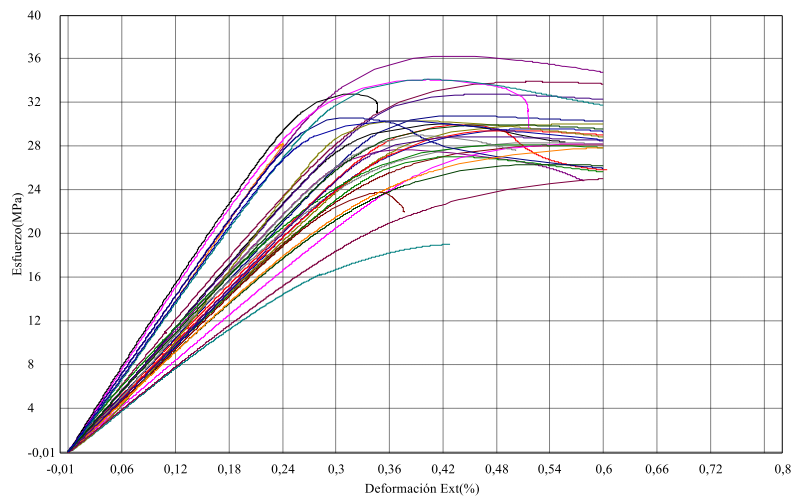
De manera global se obtienen los siguientes resultados, en la Figura 9 se observa el comportamiento de las 30 probetas de laurel y teca respectivamente ante los ensayos a compresión paralelo al grano.

Figura 9

Gráfico de esfuerzo vs deformación para los ensayos de compresión paralela al grano



(a)



(b)

Nota. La figura muestra los esfuerzos vs deformación (a) gráfica de laurel, (b) gráfica de teca

En la figura 9 literal (a) demuestra los resultados ante el ensayo de compresión paralela, las probetas muestran un comportamiento similar entre sí.

Tabla 12

Ensayo a compresión paralela al grano laurel

Nombre	Máx. Esfuerzo [Mpa]	M. Elástico Ext. [Mpa]
CPA01-L	25.43	9577.07
CPA02-L	25.25	10252.10
CPA03-L	33.03	9653.16
CPA04-L	27.32	9019.09
CPA05-L	28.26	9348.05
CPA06-L	24.49	8461.04
CPA07-L	24.78	8177.47
CPA08-L	19.74	8347.78
CPA09-L	25.04	8622.83
CPA10-L	28.77	9679.37
CPA11-L	23.55	8127.83
CPA12-L	23.32	8588.45
CPA13-L	21.97	8668.09
CPA14-L	25.54	9115.83
CPA15-L	25.78	9098.88
CPA16-L	29.73	9272.45
CPA17-L	28.20	8528.97
CPA18-L	28.55	8361.27
CPA19-L	31.69	9593.53
CPA20-L	32.52	9600.25
CPA21-L	30.09	8239.30
CPA22-L	27.49	8389.99
CPA23-L	24.56	8705.77
CPA24-L	29.17	9136.27
CPA25-L	23.36	9127.85
CPA26-L	27.86	9067.03
CPA27-L	28.39	8767.64
CPA28-L	28.39	8864.62
CPA29-L	26.34	8452.69
CPA30-L	25.13	8254.05
Promedio	26.79	8903.29
Desviación Estándar	3.07	546.14

Nota. Elaboración de los autores

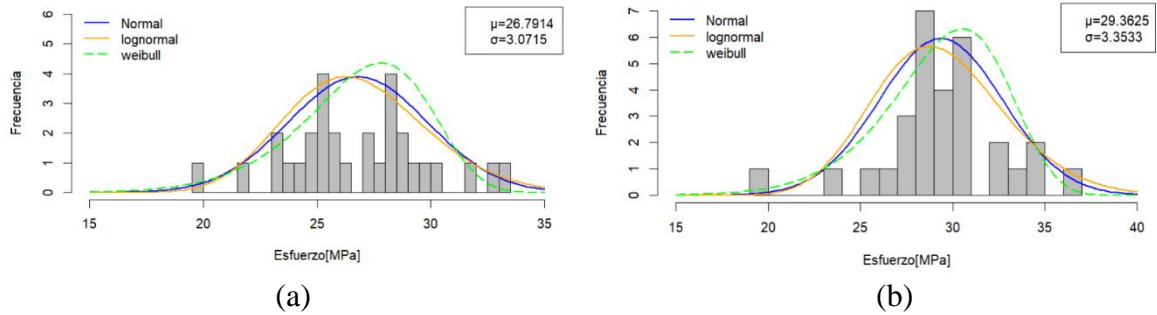
Tabla 13*Ensayo a compresión paralela al grano teca*

Nombre	Máx. Esfuerzo	M. Elástico Ext.
	[Mpa]	[Mpa]
CPA01-T	29.93	8187.48
CPA02-T	28.14	7467.21
CPA03-T	27.65	8607.22
CPA04-T	27.05	7539.46
CPA05-T	30.81	8712.82
CPA06-T	30.02	7830.88
CPA07-T	28.26	6777.36
CPA08-T	28.35	7583.19
CPA09-T	28.18	11870.40
CPA10-T	30.05	9171.07
CPA11-T	19.03	5359.58
CPA12-T	33.91	9136.99
CPA13-T	32.76	9252.04
CPA14-T	26.36	6861.47
CPA15-T	29.63	8153.01
CPA16-T	29.45	7868.30
CPA17-T	23.77	7510.80
CPA18-T	36.25	10842.60
CPA19-T	28.13	7334.18
CPA20-T	30.60	10144.90
CPA21-T	30.34	10693.20
CPA22-T	34.09	10392.50
CPA23-T	29.00	8848.57
CPA24-T	27.94	7054.49
CPA25-T	32.79	10633.30
CPA26-T	34.10	10607.40
CPA27-T	25.08	5994.94
CPA28-T	28.89	8390.57
CPA29-T	29.98	8433.24
CPA30-T	30.33	9921.02
Promedio	29.36	8572.67
Desviación Estándar	3.35	1559.46

Nota. Elaboración de los autores

Figura 10

Esfuerzos máximos ante compresión paralela al grano



Nota. La figura muestra una distribución de los esfuerzos máximos (a) Esfuerzo máximo de laurel, (b) Esfuerzo máximo de teca

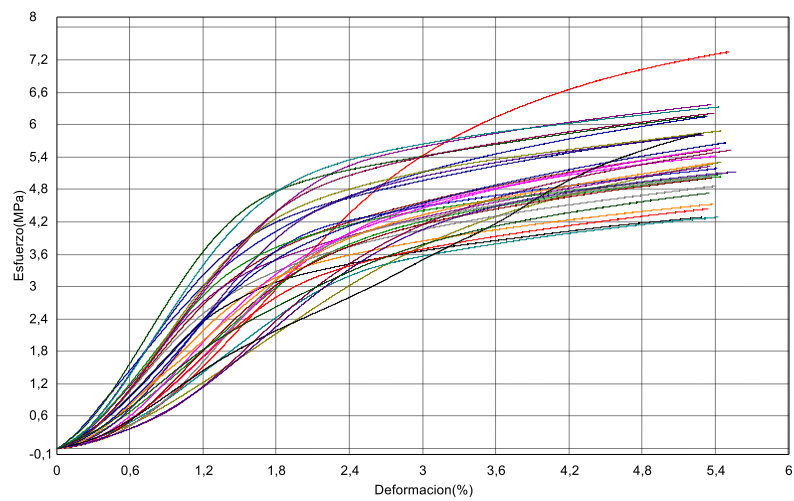
Tomando en consideración la Figuras 10, la teca demuestra valores más altos en esfuerzos máximos ($\mu=29.36$ MPa) en comparación con el laurel ($\mu=26.79$ MPa) a diferencia del ensayo de flexión, la diferencia no es por mucho. De manera similar, la curva de la normal es la que más se ajusta al histograma.

Resultados Del Ensayo De Compresión Perpendicular Al Grano

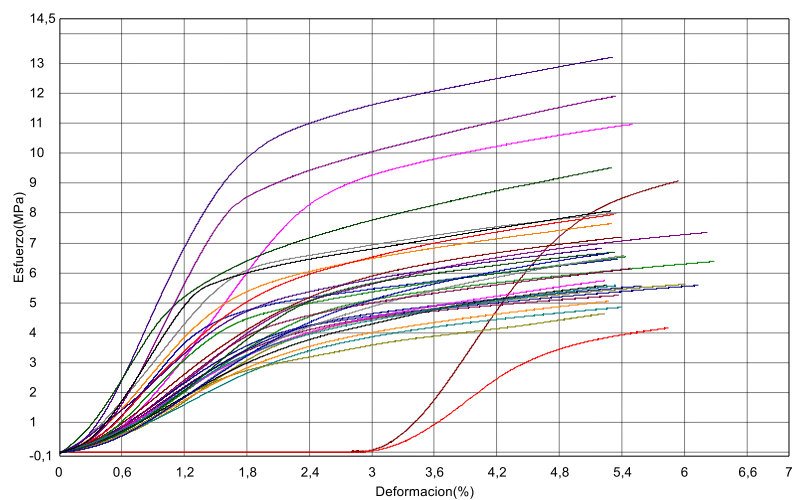
De manera global se obtienen los siguientes resultados, en la Figura 11 se observa el comportamiento de las 30 probetas de laurel y teca respectivamente ante los ensayos compresión perpendicular al grano.

Figura 11

Gráfico de esfuerzo vs deformación para los ensayos de compresión perpendicular al grano



(a)



(b)

Nota. La figura muestra los esfuerzos vs deformación (a) gráfica de laurel, (b) gráfica de teca.

Tabla 14*Ensayo a compresión perpendicular al grano laurel*

Nombre	Máx. Esfuerzo	M. Elástico
	[Mpa]	[Mpa]
CPE01-L	7.3459	53.2251
CPE02-L	5.5324	166.9570
CPE03-L	6.3703	183.4820
CPE04-L	5.0370	103.5320
CPE05-L	5.8263	21.4530
CPE06-L	5.3053	60.9040
CPE07-L	5.4166	76.7124
CPE08-L	4.8606	159.9730
CPE09-L	4.5248	121.8580
CPE10-L	4.2820	149.4860
CPE11-L	4.2858	72.5063
CPE12-L	5.5307	51.4415
CPE13-L	5.8081	97.0149
CPE14-L	6.1640	244.6280
CPE15-L	5.1884	127.9640
CPE16-L	4.4409	75.9725
CPE17-L	5.0129	65.9486
CPE18-L	5.2282	163.2430
CPE19-L	5.0827	186.9570
CPE20-L	5.6631	146.2500
CPE21-L	5.8875	161.2070
CPE22-L	5.5714	81.3778
CPE23-L	5.0400	55.6592
CPE24-L	5.2887	127.3990
CPE25-L	5.8433	76.3869
CPE26-L	6.3260	215.0700
CPE27-L	6.2111	163.3820
CPE28-L	5.1265	55.3106
CPE29-L	4.7299	112.9700
CPE30-L	6.1495	255.3330
Promedio (μ)	5.4360	121.1201
Desviación Estándar (σ)	0.6915	60.5189

Nota. Elaboración de los autores

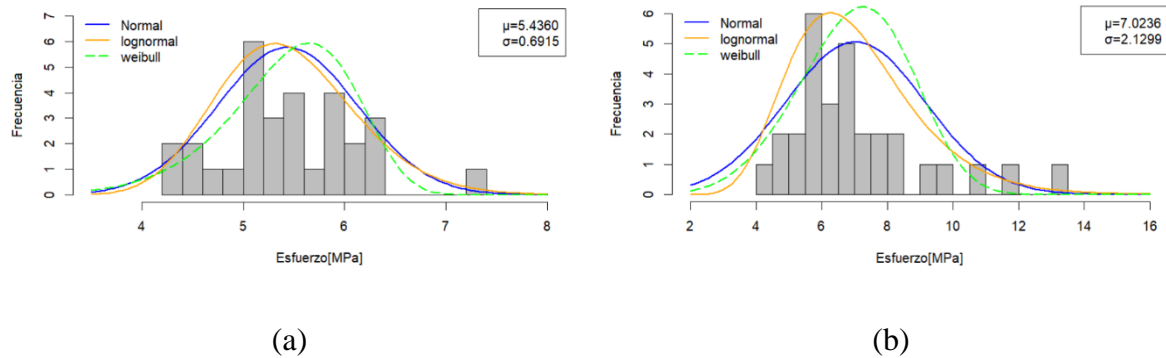
Tabla 15*Ensayo a compresión perpendicular al grano laurel*

Nombre	Máx. Esfuerzo	M. Elástico
	[Mpa]	[Mpa]
CPE01-T	4.1687	262.3210
CPE02-T	9.0747	454.4220
CPE03-T	7.3518	258.3940
CPE04-T	6.3846	244.5920
CPE05-T	5.5679	245.9830
CPE06-T	5.6236	231.6530
CPE07-T	10.9624	381.2410
CPE08-T	8.0136	415.0830
CPE09-T	7.6516	396.7310
CPE10-T	8.0681	512.3860
CPE11-T	4.7548	181.3000
CPE12-T	5.2568	236.8920
CPE13-T	13.2025	268.1750
CPE14-T	9.5128	527.9530
CPE15-T	6.4635	404.4610
CPE16-T	7.9478	386.6890
CPE17-T	7.1994	276.8960
CPE18-T	11.9025	551.8840
CPE19-T	6.5409	354.8160
CPE20-T	5.5628	241.2380
CPE21-T	4.6410	198.1710
CPE22-T	5.7451	220.0940
CPE23-T	6.5715	240.8150
CPE24-T	5.0540	197.5450
CPE25-T	5.5843	202.6870
CPE26-T	5.5756	239.6480
CPE27-T	6.1462	272.3560
CPE28-T	6.8264	302.9610
CPE29-T	6.6956	255.1830
CPE30-T	6.6583	235.7400
Promedio (μ)	7.0236	306.6103
Desviación Estándar (σ)	2.1299	105.2654

Nota. Elaboración de los autores

Figura 12

Esfuerzo máximo ante compresión perpendicular al grano



Nota. La figura muestra distribuciones de los esfuerzos máximos (a) Esfuerzo máximo de laurel, (b) Esfuerzo máximo de teca

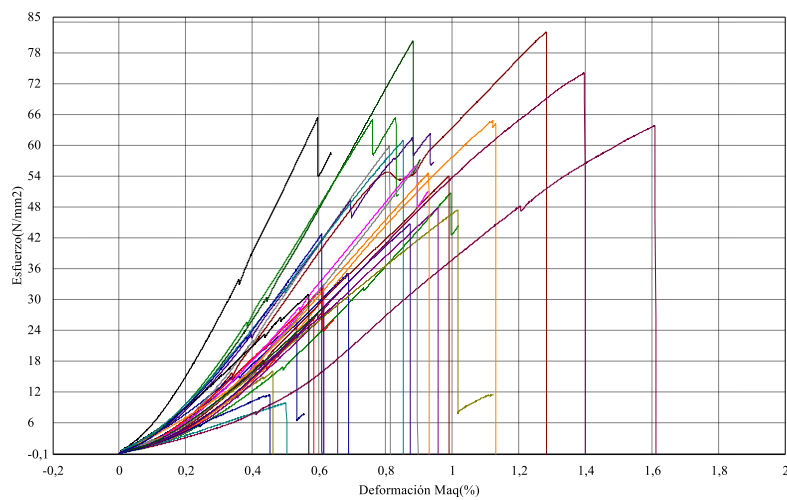
Analizando la Figuras 12, se puede observar que, para el ensayo de compresión perpendicular al grano, la teca evidencia valores más altos en esfuerzos máximos ($\mu=7.02$ MPa) en comparación con el laurel ($\mu=5.44$ MPa). Sin embargo, discrepando al caso anterior, la curva lognormal es la que más se ajusta al histograma.

Resultados Del Ensayo A Tracción Paralela Al Grano

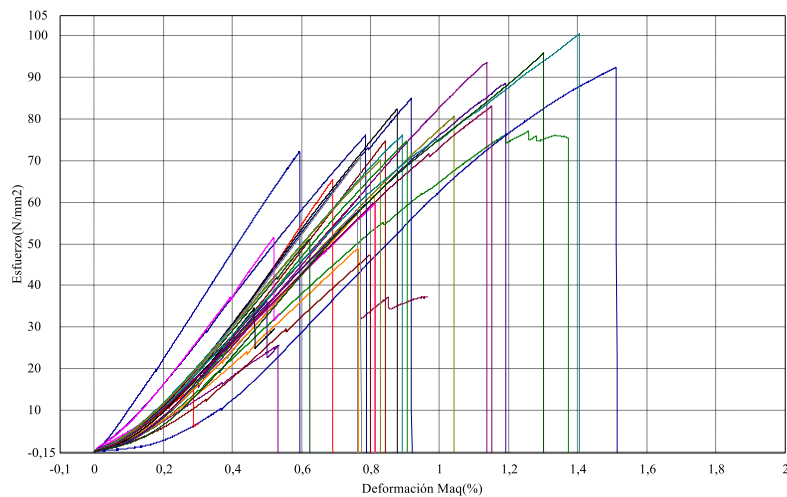
De manera global se obtienen los siguientes resultados, en la Figura 13 se observa el comportamiento de las 30 probetas de laurel y teca respectivamente ante los ensayos a tracción paralela al grano.

Figura 13

Gráfico de esfuerzo vs deformación para los ensayos de tracción paralela al grano



(a)



(b)

Nota. La figura muestra los esfuerzos vs deformación (a) gráfica de laurel, (b) gráfica de teca.

Tabla 16*Ensayo a tracción paralela al grano laurel*

Nombre	Máximo Esfuerzo	Modulo Elástico Ext.
	[Mpa]	[Mpa]
TPA01-L	47.37	7707.86
TPA02-L	81.97	8375.80
TPA03-L	29.37	3277.90
TPA04-L	50.69	6908.34
TPA05-L	25.85	11314.30
TPA06-L	16.00	4770.13
TPA07-L	32.80	7731.36
TPA08-L	59.89	13627.40
TPA09-L	64.70	10223.50
TPA10-L	65.28	16955.40
TPA11-L	9.87	1847.02
TPA12-L	63.83	9910.46
TPA13-L	62.29	12132.20
TPA14-L	80.29	15857.20
TPA15-L	35.07	7427.79
TPA16-L	32.06	9873.40
TPA17-L	54.04	10156.60
TPA18-L	47.78	4086.63
TPA19-L	65.37	12687.10
TPA20-L	11.39	2736.87
TPA21-L	26.10	5744.79
TPA22-L	56.13	9628.76
TPA23-L	56.11	9119.90
TPA24-L	54.48	17504.50
TPA25-L	30.90	11738.40
TPA26-L	60.96	11628.00
TPA27-L	74.13	10951.50
TPA28-L	44.67	10858.00
TPA29-L	28.37	8324.12
TPA30-L	42.79	11331.00
Promedio (μ)	47.02	9481.21
Desviación Estándar (σ)	19.67	3915.20

Nota. Elaboración de los autores

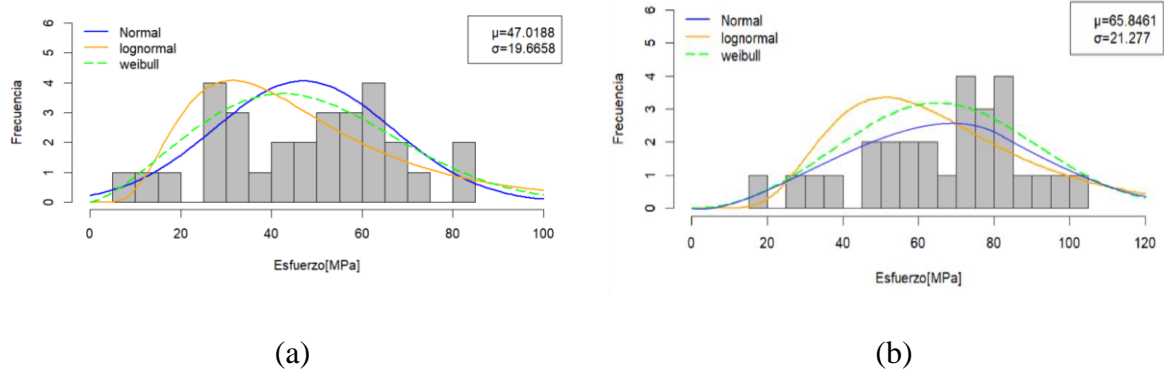
Tabla 17*Ensayo a tracción paralela al grano teca*

Nombre	Máx. Esfuerzo [Mpa]	M. Elástico Ext. [Mpa]
TPA01-T	65.52	7820.01
TPA03-T	25.54	4778.12
TPA04-T	77.06	7191.11
TPA05-T	84.99	10521.60
TPA06-T	80.67	7622.47
TPA07-T	59.72	8108.39
TPA08-T	58.27	10113.60
TPA09-T	48.86	6574.71
TPA10-T	82.41	13407.80
TPA11-T	76.12	8882.59
TPA12-T	61.66	11887.40
TPA13-T	88.72	10371.40
TPA14-T	51.20	9016.84
TPA15-T	92.55	19939.70
TPA16-T	15.21	6049.34
TPA17-T	47.41	7009.94
TPA19-T	74.79	6774.22
TPA20-T	76.14	9320.13
TPA21-T	70.13	10802.50
TPA22-T	51.58	11222.50
TPA23-T	70.99	10990.30
TPA24-T	61.59	10580.00
TPA25-T	34.57	10141.30
TPA26-T	100.50	13011.70
TPA27-T	83.18	9247.69
TPA28-T	36.26	10819.40
TPA29-T	95.93	9884.66
TPA30-T	72.14	10438.20
Promedio (μ)	65.85	9733.13
Desviación Estándar (σ)	21.28	2886.08

Nota. Elaboración de los autores

Figura 14

Esfuerzo máximo ante tracción paralela al grano



Nota. La figura muestra distribuciones de los esfuerzos máximos (a) Esfuerzo máximo de laurel, (b) Esfuerzo máximo de teca

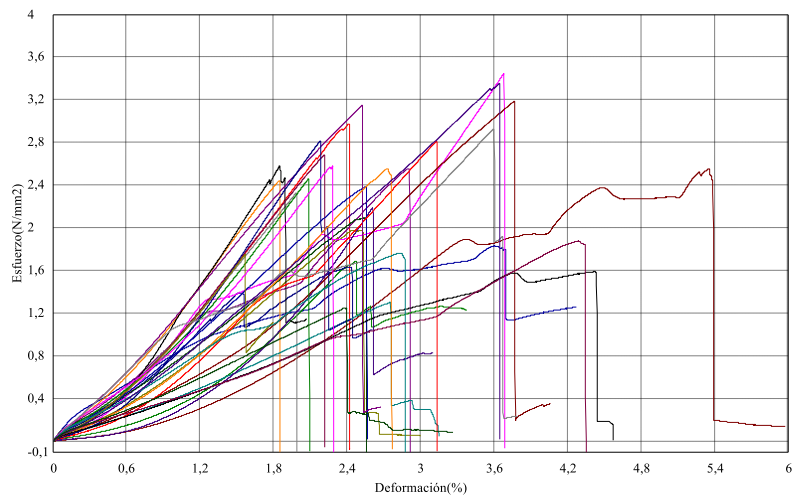
Notando la Figura 14, para el ensayo de tracción paralela al grano, la teca evidencia valores más altos en esfuerzos máximos ($\mu=65.85$ MPa) en comparación con el laurel ($\mu=47.02$ MPa), notándose más de 20 MPa de diferencia. De la misma manera, se puede observar que la curva de Weibull es la que más se ajusta al histograma.

Resultados Del Ensayo A Tracción Perpendicular Al Grano

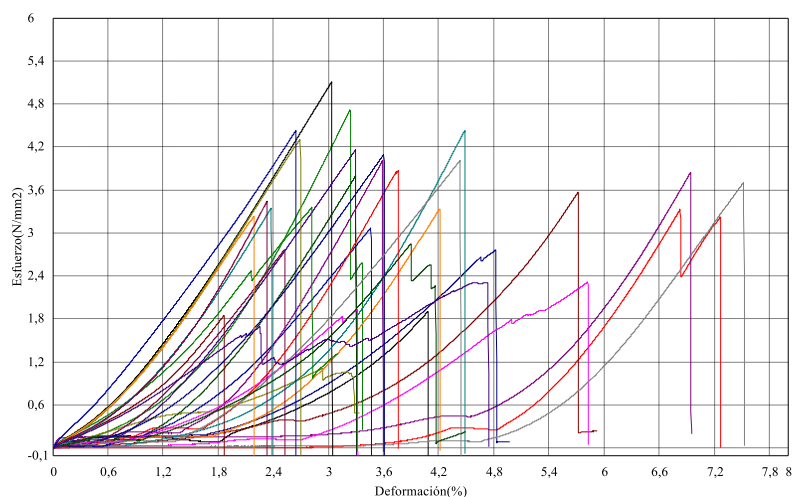
De manera global se obtienen los siguientes resultados, en la Figura 15 se observa el comportamiento de las 30 probetas de laurel y teca respectivamente ante los ensayos de tracción perpendicular paralela al grano.

Figura 15

Gráfico de esfuerzo vs deformación para los ensayos de tracción perpendicular al grano



(a)



(b)

Nota. La figura muestra los esfuerzos vs deformación (a) gráfica de laurel, (b) gráfica de teca.

Tabla 18*Ensayo a tracción perpendicular al grano laurel*

Nombre	Máximo Esfuerzo	Módulo Elástico
	[Mpa]	[Mpa]
TPE01-L	2.97	131.40
TPE02-L	2.55	86.49
TPE03-L	2.55	125.63
TPE04-L	1.69	84.86
TPE05-L	2.55	88.21
TPE06-L	1.59	42.41
TPE07-L	1.63	101.98
TPE08-L	1.98	79.51
TPE09-L	3.45	168.66
TPE10-L	2.33	137.99
TPE11-L	2.44	141.47
TPE12-L	2.58	164.90
TPE13-L	1.76	72.43
TPE14-L	1.30	49.09
TPE15-L	2.68	147.46
TPE16-L	2.19	144.46
TPE17-L	2.09	92.51
TPE18-L	1.88	35.38
TPE19-L	2.39	106.50
TPE20-L	2.81	126.42
TPE21-L	3.19	115.23
TPE22-L	3.15	138.89
TPE23-L	2.46	146.16
TPE24-L	2.82	173.80
TPE25-L	1.75	140.54
TPE26-L	1.83	35.74
TPE27-L	2.57	115.38
TPE28-L	2.93	120.99
TPE29-L	3.35	96.45
TPE30-L	1.25	56.27
Promedio (μ)	2.36	108.91
Desviación Estándar (σ)	0.60	39.78

Nota. Elaboración de los autores

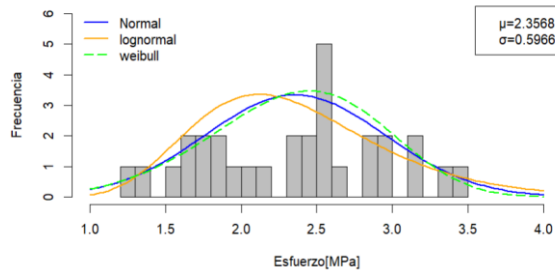
Tabla 19*Ensayo a tracción perpendicular al grano teca*

Nombre	Máximo Esfuerzo	Módulo Elástico
	[Mpa]	[Mpa]
TPE01-T	3.33	155.09
TPE02-T	3.56	121.40
TPE03-T	3.85	191.16
TPE04-T	4.71	108.76
TPE05-T	2.77	99.96
TPE06-T	1.11	44.19
TPE07-T	2.31	79.09
TPE08-T	3.71	156.76
TPE09-T	3.33	159.69
TPE10-T	5.11	182.76
TPE11-T	4.42	225.00
TPE12-T	2.76	141.93
TPE13-T	4.16	145.49
TPE14-T	3.80	163.68
TPE15-T	3.07	150.31
TPE16-T	3.87	183.93
TPE17-T	1.84	83.27
TPE18-T	4.01	206.73
TPE19-T	3.35	136.18
TPE20-T	4.09	170.92
TPE21-T	4.31	201.22
TPE22-T	1.94	103.49
TPE23-T	4.01	126.06
TPE24-T	3.23	183.21
TPE25-T	1.91	60.35
TPE26-T	3.35	177.57
TPE27-T	3.44	179.59
TPE28-T	2.31	89.70
TPE29-T	2.85	142.40
TPE30-T	4.42	186.93
Promedio (μ)	3.36	145.23
Desviación Estándar (σ)	0.94	45.50

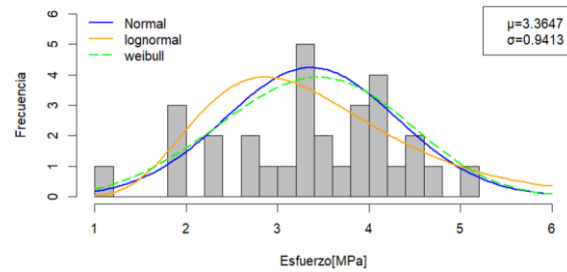
Nota. Elaboración de los autores

Figura 16

Esfuerzo máximo ante tracción perpendicular al grano



(a)



(b)

Nota. La figura muestra distribuciones de los esfuerzos máximos (a) Esfuerzo máximo de laurel, (b) Esfuerzo máximo de teca

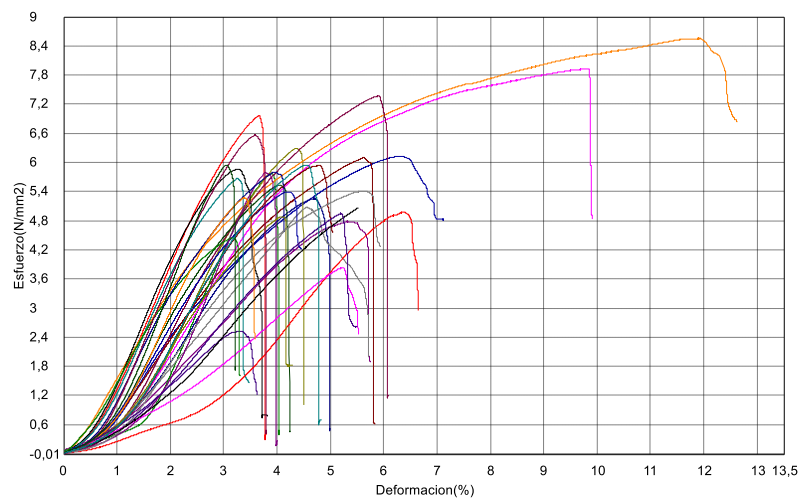
Analizando la Figura 16, se puede observar que, para el ensayo de tracción perpendicular al grano, la teca evidencia valores más altos en esfuerzos máximos ($\mu=3.36$ MPa) en comparación con el laurel ($\mu=2.36$ MPa). De la misma manera, la curva normal es la que más se ajusta al histograma.

Resultados Del Ensayo A Corte Paralelo Al Grano

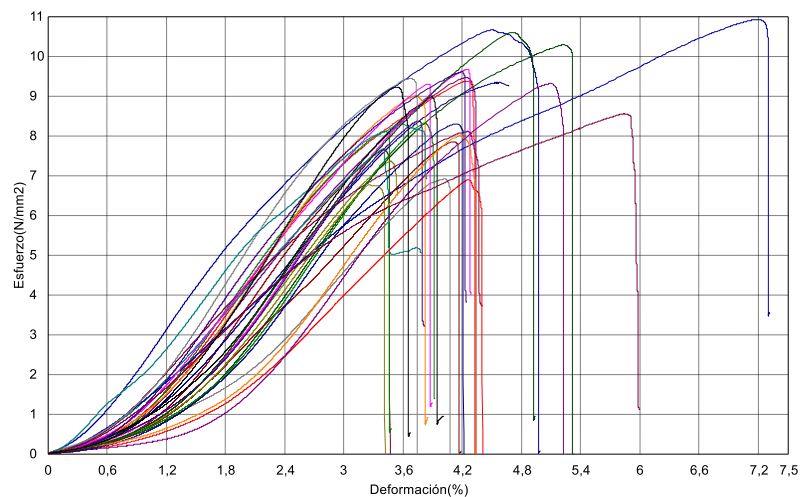
De manera global se obtienen los siguientes resultados, en la Figura 17 se observa el comportamiento de las 30 probetas de laurel y teca respectivamente ante los ensayos a corte paralelo al grano.

Figura 17

Gráfico de esfuerzo vs deformación para los ensayos de corte paralelo al grano



(a)



(b)

Nota. La figura muestra los esfuerzos vs deformación (a) gráfica de laurel, (b) gráfica de teca.

Tabla 20*Ensayo a corte paralelo al grano laurel*

Nombre	Máximo Esfuerzo	Módulo Elástico
	[Mpa]	[Mpa]
COP01-L	6.96	244.99
COP02-L	6.10	158.59
COP03-L	4.78	108.34
COP04-L	5.77	205.35
COP05-L	5.25	157.95
COP06-L	6.29	198.29
COP07-L	7.93	168.82
COP08-L	5.08	128.45
COP09-L	8.55	159.94
COP10-L	5.87	221.85
COP11-L	5.68	215.80
COP12-L	7.37	202.90
COP13-L	2.52	99.55
COP14-L	5.53	190.78
COP15-L	5.39	179.54
COP16-L	4.98	44.03
COP17-L	5.94	190.20
COP18-L	5.79	189.44
COP19-L	4.44	146.09
COP20-L	5.80	190.01
COP21-L	4.88	165.86
COP22-L	3.83	67.34
COP23-L	5.41	155.89
COP24-L	5.28	218.86
COP25-L	5.06	97.80
COP26-L	5.95	190.22
COP27-L	6.56	245.36
COP28-L	4.95	111.01
COP29-L	5.94	268.85
COP30-L	6.12	150.55
Promedio (μ)	5.67	169.09
Desviación Estándar (σ)	1.15	52.72

Nota. Elaboración de los autores

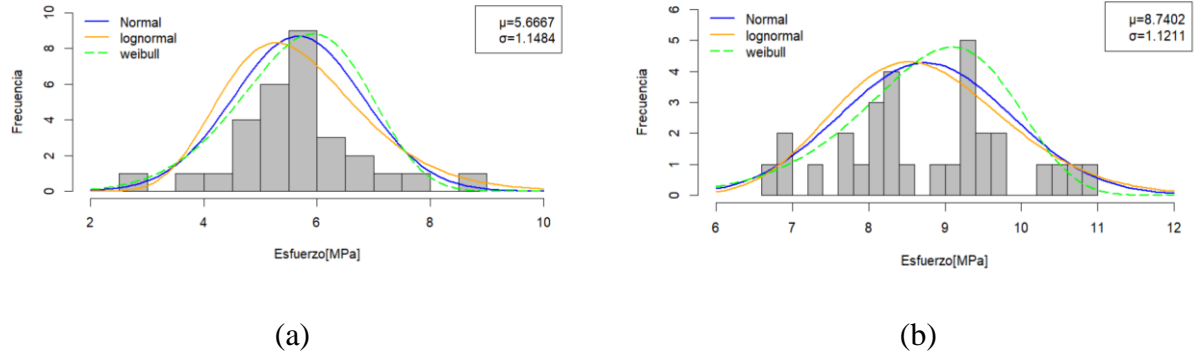
Tabla 21*Ensayo a corte paralelo al grano teca*

Nombre	Máximo Esfuerzo	Modulo Elástico
	[Mpa]	[Mpa]
COP01-T	9.37	333.01
COP02-T	7.64	331.78
COP03-T	9.46	310.07
COP04-T	8.10	328.50
COP05-T	9.33	293.75
COP06-T	7.35	300.33
COP07-T	9.66	318.86
COP08-T	6.91	204.45
COP09-T	9.01	351.92
COP10-T	8.98	318.16
COP11-T	7.66	280.12
COP12-T	8.10	246.17
COP13-T	8.36	314.75
COP14-T	10.28	304.16
COP15-T	10.92	221.25
COP16-T	6.89	193.38
COP17-T	7.85	241.88
COP18-T	9.31	230.50
COP19-T	8.31	294.57
COP20-T	8.30	283.83
COP21-T	6.77	297.22
COP22-T	9.30	315.96
COP23-T	9.43	359.89
COP24-T	8.01	227.46
COP25-T	9.22	380.10
COP26-T	8.30	265.02
COP27-T	8.55	222.75
COP28-T	9.61	323.43
COP29-T	10.59	323.84
COP30-T	10.65	279.28
Promedio (μ)	8.74	289.88
Desviación Estándar (σ)	1.12	47.83

Nota. Elaboración de los autores

Figura 18

Esfuerzo máximo ante corte paralelo al grano



Nota. La figura muestra distribuciones de los esfuerzos máximos (a) Esfuerzo máximo de laurel, (b) Esfuerzo máximo de teca

La Figura 18, demuestran que, para el ensayo de corte, la teca evidencia valores más altos en esfuerzos máximos ($\mu=8.74$ MPa) en comparación con el laurel ($\mu=2.67$ MPa). De la misma manera, la curva normal es la que más se ajusta al histograma.

Resultados De Valores Característicos

Para determinar los valores característicos de cada ensayo se utilizó la norma BS EN 384:2004 y se obtuvieron los siguientes valores característicos:

Resumen de Laurel

Tabla 22

Resumen de propiedades del laurel

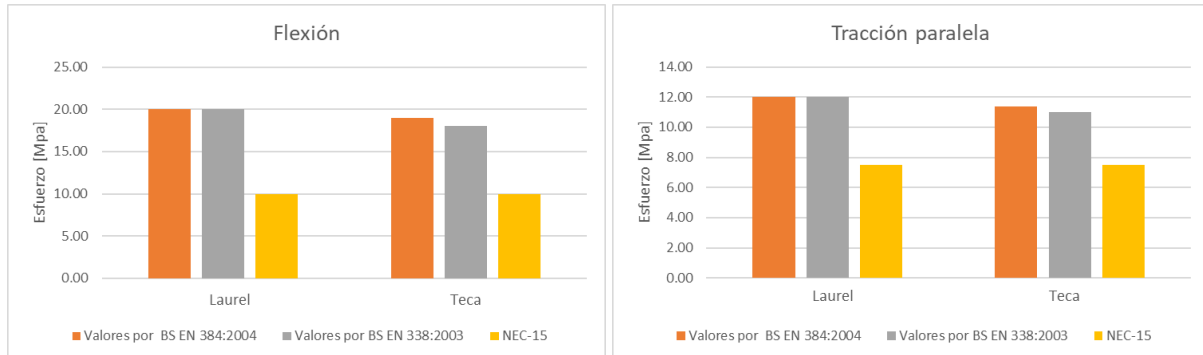
Propiedades	Unidades	Valores estadísticos ASTM D143-22	Valores por BS EN 384:2004	Valores por BS EN 338:2003	NEC-15
Propiedades por resistencia					
Flexión	Mpa	37.64	20.00	20.00	10.00
Tracción paralela	Mpa	47.02	12.00	12.00	7.50
Tracción perpendicular	Mpa	2.36	0.51	0.50	---
Compresión paralela	Mpa	26.79	19.25	19.00	8.00
Compresión perpendicular	Mpa	5.44	2.40	2.40	1.50
Corte	Mpa	5.67	2.20	2.20	0.80
Propiedades por rigidez					
Módulo de elasticidad paralelo medio	KN/mm ²	5.98	5.98	---	90.00
5% de módulo de elasticidad	KN/mm ²	5.61	4.01	---	5.50
Módulo de elasticidad perpendicular medio	KN/mm ²	0.11	0.20	---	---
Módulo de corte medio	KN/mm ²	0.17	0.37	---	---
Densidad					
Densidad	kg/m ³	---	342.61	340.00	---
Densidad media	kg/m ³	413.71	413.71	410.00	---
Densidad básica	---	0.41	0.41	0.41	0.41

Nota. Elaboración de los autores

Resumen de teca**Tabla 23***Resumen de propiedades de la teca*

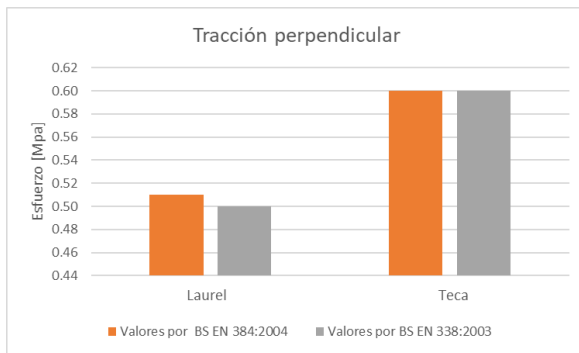
Propiedades	Unidades	Valores estadísticos ASTM D143-22	Valores por BS EN 384:2004	Valores por BS EN 338:2003	NEC-15
Propiedades por resistencia					
Flexión	Mpa	55.21	18.94	18.00	10.00
Tracción paralela	Mpa	65.85	11.36	11.00	7.50
Tracción perpendicular	Mpa	3.36	0.60	0.60	---
Compresión paralela	Mpa	29.36	18.78	18.00	8.00
Compresión perpendicular	Mpa	7.02	3.07	2.90	1.50
Corte	Mpa	8.74	2.10	2.00	0.80
Propiedades por rigidez					
Módulo de elasticidad paralelo medio	KN/mm ²	8.39	8.39	8.00	90.00
5% de módulo de elasticidad	KN/mm ²	9.95	5.62	5.40	5.50
Módulo de elasticidad perpendicular medio	KN/mm ²	0.15	0.28	0.27	---
Módulo de corte medio	KN/mm ²	0.29	0.52	0.50	---
Densidad					
Densidad	kg/m ³	---	437.87	420.00	---
Densidad media	kg/m ³	526.10	526.10	520.00	---
Densidad básica	---	0.53	0.53	0.53	0.53

Nota. Elaboración de los autores

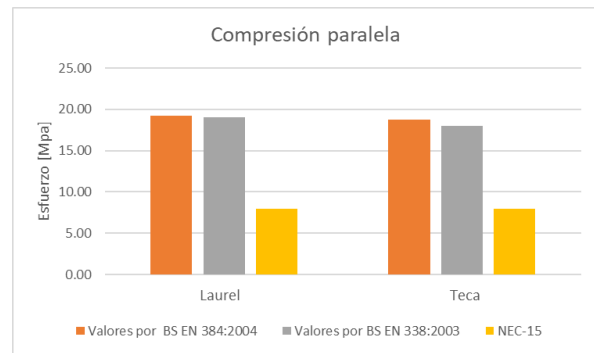
Figura 19*Comparaciones de esfuerzos admisibles teca y laurel*

(a)

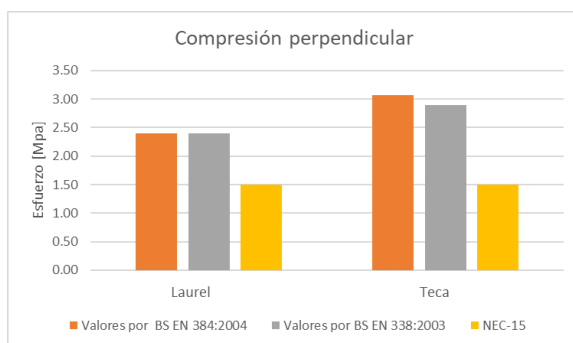
(b)



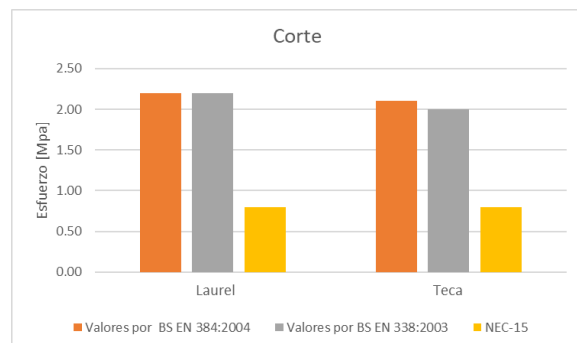
(c)



(d)



(e)



(f)

Nota. La figura muestra la comparación entre normas (a) Flexión, (b) tracción paralela, (c) tracción perpendicular, (d) compresión paralela, (e) compresión perpendicular, (f) corte.

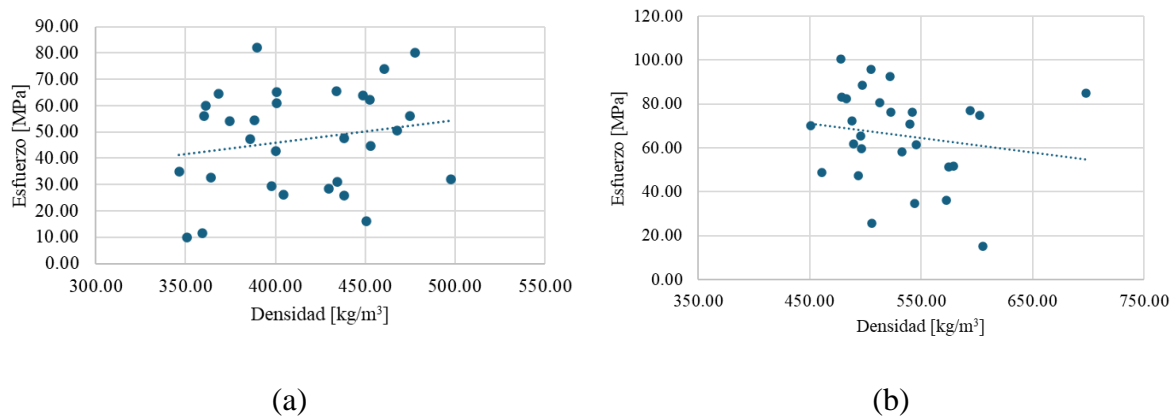
Discusión

La investigación reveló características físico-mecánicas de las maderas de laurel (*Cordia alliodora*) y teca (*Tectona grandis*) provenientes de Manabí, Ecuador. La categorización según la norma EN 338:2003 presenta resultados multidimensionales que desafían una clasificación binaria simple.

La densidad emerge como un parámetro crítico de diferenciación. La teca, con una densidad promedio de 526.10 kg/m³, mientras que el laurel, con 413.71 kg/m³. Esta variación densimétrica sugiere implicaciones significativas para aplicaciones estructurales y de ingeniería. La figura 20 demuestra cómo no necesariamente ante densidad se pueden obtener mayores esfuerzos, entendiendo así que se requieren de más propiedades para una correcta clasificación de madera.

Figura 20

Gráfico de esfuerzo ante tracción paralela y densidad



Nota. La figura muestra gráficas de esfuerzos vs densidades (a) madera laurel, (b) madera teca.

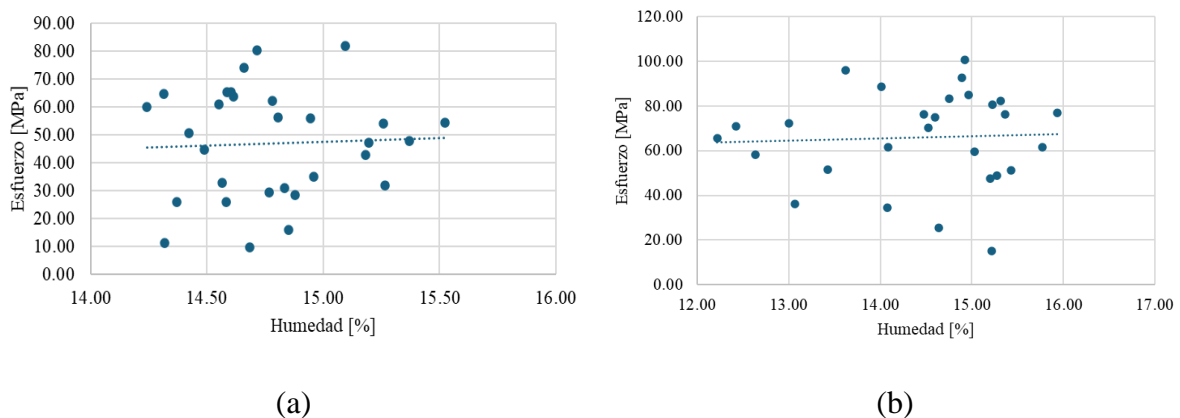
Los ensayos mecánicos evidenciaron comportamientos diferenciados. La teca manifestó consistentemente propiedades superiores en resistencia y rigidez en comparación con el laurel, lo cual se correlaciona directamente con su mayor densidad. Esta característica

la posiciona como un material potencialmente más idóneo para aplicaciones que demanden alta resistencia estructural.

El contenido de humedad, aunque similar en promedio (14.78% para laurel y 14.47% para teca), mostró una dispersión diferencial. La mayor desviación estándar en la teca (1.01 versus 0.33 del laurel) indica una mayor variabilidad intrínseca, posiblemente relacionada con condiciones de crecimiento o características genéticas específicas.

Figura 21

Gráfico de esfuerzo ante tracción paralela y humedad



Nota. La figura muestra gráficas de esfuerzos vs humedades de la madera (a) laurel, (b) madera teca.

Estos resultados subrayan la importancia de considerar no solo la especie de madera, sino también su contenido de humedad al momento de seleccionar y utilizar estos materiales en aplicaciones estructurales. La variabilidad observada en las propiedades mecánicas en función del contenido de humedad tiene implicaciones significativas para el diseño y la construcción con estas maderas en la región de Manabí, donde las condiciones climáticas pueden influir en el rendimiento a largo plazo de las estructuras de madera.

Partiendo de la base de la norma EN 338:2003 que categoriza las maderas en maderas blandas y maderas duras tiene una subclasificación determinada por letras y números donde

caracteriza según el ensayo que tan blanda o dura es la madera como se puede ver en la Tabla 2. Tras la tabulación de los resultados de los esfuerzos máximos de cada ensayo, se caracterizó las maderas según la norma EN 338:2003 con las fórmulas que se encuentran en la Tabla 1 donde partimos con las densidades lo cual nos indicó que la madera teca y laurel se consideran maderas blandas. Conociendo esta clasificación nos encaminamos a las fórmulas de maderas blandas que se encuentran en la Tabla 1 para obtener los valores característicos de cada ensayo.

Obtenido sus valores característicos obtenemos que por sus propiedades de resistencia la teca entra en la categoría C18, por sus propiedades de rigidez se considera categoría C16, por último, por su densidad se considera categoría C40.

Por otro lado, en el laurel, por sus propiedades de resistencia se considera categoría C20, sin embargo, por sus propiedades de rigidez no alcanza una categoría porque sus valores están por debajo de lo que nos ofrece la Tabla 2, por último, por su densidad se considera una categoría C22.

El análisis de los resultados muestra una clara diferencia entre los valores experimentales y los establecidos por las normativas. Los esfuerzos máximos que obtuvimos mediante los ensayos son considerablemente mayores que los valores establecidos por las normas, lo que indica que estas son bastante conservadoras en sus especificaciones. Se concluye que entre todas las normas que establecen esfuerzos admisibles, la NEC destaca por ser la más conservadora, estableciendo límites de diseño significativamente por debajo de las capacidades reales del material.

Conclusiones

En respuesta al objetivo general de esta investigación reveló características físico-mecánicas distintivas de las maderas de teca (*Tectona grandis*) y laurel (*Cordia alliodora*) provenientes de Manabí, Ecuador. La teca se distinguió como una madera de alta calidad estructural, presentando propiedades mecánicas superiores evidenciadas por su elevada densidad de 526.10 kg/m^3 y un comportamiento consistente como madera blanda según la norma EN 338:2003 en los diferentes ensayos realizados.

El laurel demostró características mecánicas intermedias, con una densidad de 413.71 kg/m^3 , posicionándose como maderas blandas según la norma EN 338:2003. Esta particularidad sugiere potenciales aplicaciones específicas donde no se requiera una alta resistencia estructural. El contenido de humedad de ambas especies, cercano al 14.5%, se mantiene dentro de los parámetros estándar para madera estructural.

En respuesta al primer objetivo específico, se puede notar a través de los ensayos como la teca tuvo mejores resultados en sus propiedades de resistencia. De lo que se pudo percibir en el proceso de los ensayos es la diferencia de pesos y colores que tenían las probetas ya que la teca se mostraba un poco más pesado mientras que el laurel se percibía más liviano y de un color un poco pálido, por lo que a primera instancia notamos que la densidad jugaba un papel muy importante, sin embargo, cuando realizamos la tabulación se puede notar en la Figura 21 que no siempre a mayor densidad hay mayor resistencia.

En conclusión, al segundo objetivo específico, al realizar los ensayos mediante los métodos estandarizados por ASTM D143-22 se puede observar una gran variabilidad en las propiedades mecánicas de ambas especies lo que ratifica la complejidad inherente a los materiales forestales, destacando la influencia de factores como ubicación geográfica, condiciones de crecimiento y características genéticas. Estos resultados proporcionan

información científica valiosa para la caracterización y potencial aprovechamiento de estas maderas en la región de Manabí.

Con respecto al tercer objetivo específico, se realizó una tabulación de todos los esfuerzos máximos de cada ensayo como nos muestra la ASTM D2915-17, con sus respectivas curvas de distribución donde se pueden ver los resultados en la Tabla 22 y Tabla 23 donde destaca que la teca obtiene resultados más satisfactorios que el laurel en cuestión para usos de sistemas estructurales. Cabe recalcar que los resultados de propiedades de resistencia son de los esfuerzos máximos que obtuvieron por cada ensayo.

Por último, con el cuarto objetivo específico se buscó categorizar las maderas de esta investigación según la norma EN 338:2003, donde se obtuvo que la teca de manera general se categoriza como madera C16, sin embargo, el laurel como ya se mencionó en la discusión no tiene una categoría por su rigidez, por lo que no se le puede asignar una categoría general, a pesar de esto se pueden observar los resultados que obtuvo el laurel por su rigidez en la Tabla 22.

Estos resultados ponen de manifiesto las diferencias estructurales entre el laurel y la teca, con la teca presentando un perfil más robusto y adecuado para aplicaciones que requieren mayores exigencias mecánicas, estas diferencias se pueden observar en la Figura 19.

Recomendaciones

La continuidad de la investigación demanda estudios complementarios que profundicen en la caracterización de estas especies madereras. Se sugiere desarrollar investigaciones que analicen la variabilidad interespecífica, evaluando las propiedades mecánicas entre otras especies y considerando la influencia de condiciones ambientales específicas de la región de Manabí.

La investigación también abre perspectivas para explorar aplicaciones diferenciadas según las propiedades de cada especie. La teca, con su alta resistencia, podría ser ideal para elementos estructurales que demanden máxima capacidad mecánica, mientras que el laurel podría encontrar nichos en aplicaciones que requieran resistencia moderada, pero con mayor versatilidad.

Añadiendo a lo anterior, se recomienda incorporar una perspectiva integral que vincule la caracterización físico-mecánica con criterios de sostenibilidad y manejo forestal. Esto implicaría desarrollar líneas de investigación que no solo estudien las propiedades mecánicas, sino también evalúen el impacto ambiental, la regeneración forestal y las prácticas de aprovechamiento sostenible de estas importantes especies madereras de Manabí.

Sería de gran utilidad evaluar la variabilidad inter e intraespecífica, analizando las propiedades mecánicas de un mayor número de especies y considerando la influencia que puedan ejercer las condiciones ambientales y de crecimiento específicas de la región de Manabí. Esto permitiría generar una base de datos más representativa de las características estructurales de la diversidad forestal local.

Finalmente, se sugiere ampliar el alcance de la investigación para abarcar un espectro más diverso de especies madereras de Manabí, con el fin de generar un conocimiento integral

que contribuya a un aprovechamiento óptimo y sostenible de estos valiosos recursos forestales.

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>

ASTM. (2022). Standard Practice for Sampling and Data-Analysis for Structural Wood and Wood-Based Products. Obtenido de ASTM: D2915-17.

ASTM. (2022). Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timbers. Obtenido de ASTM: D143-22.

Barreto Castañeda, J. S. (2013). Estudio de propiedades físico mecánicas (corte y flexión) de la especie de madera tropical teca (*Tectona grandis*) en el sistema de laminado pegado estructural. *Facultad de Artes*.

BS EN 388:2003. (2003). *Structural timber-Strength classes*. Obtenido de British Standard:
http://higiene.unex.es/Bibliogr/ISO_BS_USDA/ISO_BS/BS%20EN/BS%20EN%200338-2003.pdf

Guerra Riaño, A. F. (2020). COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE MADERA REUTILIZADA UNIDA CON BAMBÚ (*Guadua angustifolia kunth*) PARA USO ESTRUCTURAL. *Ciencia*, *22*(1). <https://doi.org/10.24133/ciencia.v22i1.1288>

Arevalo Zambrano , L. F. (27 de febrero de 2023). *Resistenci de distintos tipos de madera para la construcción* . Obtenido de UTMACH:

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/20694/1/AREVALO%20ZAMBANO%20LUIS.pdf>

Córdoba Foglia, R. (07 de 1997). *Características, propiedades y usos de la madera del Laurel*. Obtenido de CATIE: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9681>

Garro Zavaleta, A. C. (2001). *Sumario (Abstracts) de la especie Gmelina arborea (Roxb) en Costa Rica*. Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/745/Informe_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Granda Castillo, R. I., & Chimbo Alvarado, J. D. (2016). *Determinación de la madera más óptima comercializada en la ciudad de Riobamba, obtenido sus propiedades físicas y mecánicas para la aplicación de la norma NEC-SE-MD para diseño de elementos estructurales*. Obtenido de UNACH: [file:///C:/Users/DELL/Downloads/UNACH-EC-ING-CIVIL-2016-0010%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/DELL/Downloads/UNACH-EC-ING-CIVIL-2016-0010%20(1).pdf)

INEN 2580. (2011). *Sistema de clasificación y calificación de madera aserrada proveniente de bosques húmedos tropicales*. Obtenido de Norma Técnica Ecuatoriana: <https://ia601506.us.archive.org/16/items/ec.nte.2580.2011/ec.nte.2580.2011.pdf>

NEC. (2015). *Estructuras de madera*. Obtenido de Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda : <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/11.-NEC-SE-MD-Estructuras-Madera.pdf>

Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C. P. O., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., Reck, B. K., Graedel, T. E., & Schellnhuber, H. J. (2020). Buildings as a global carbon sink. *Nature Sustainability*, 3(4), 269-276. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>

Céspedes Duque, D. A. (2013). Estudio de factibilidad para el cultivo y comercialización de Teca, ubicado en el Cantón San Vicente, Provincia de Manabí, Ecuador [Disertación Ingeniero Comercial, Pontificia Universidad Católica del Ecuador].

García, H., Zubizarreta, M., Cuadrado, J., & Orbe, A. (2019). Sustainability assessment of timber structures: A review. *Sustainable Cities and Society*, 51, 101713. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101713>

Green, M., & Karsh, J. (2012). The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmental Friendly Alternative for Tall Building Structures. Canadian Wood Council.

Liang, S., Gu, H., Bergman, R., & Kelley, S. S. (2020). Comparative life-cycle assessment of a mass timber building and concrete alternative. *Wood and Fiber Science*, 52(2), 217-229.

Ramage, M. H., Burridge, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D. U., Wu, G., Yu, L., Fleming, P., Densley-Tingley, D., Allwood, J., Dupree, P., Linden, P. F., & Scherman, O. (2017). The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 333-359. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.107>

Ruff, S., & Garay, R. (2023). Architectural and structural potential of timber: A review. *Forests*, 14(6), 1202. <https://doi.org/10.3390/f14061202>

Sánchez Fonseca, R. (2022). Análisis del potencial de las plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) en Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(2), 148-159.

Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C. P. O., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., Reck, B. K., Graedel, T. E., & Schellnhuber, H. J. (2020). Buildings as a global carbon sink. *Nature Sustainability*, 3(4), 269-276. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>

Céspedes Duque, D. A. (2013). Estudio de factibilidad para el cultivo y comercialización de Teca, ubicado en el Cantón San Vicente, Provincia de Manabí, Ecuador [Disertación Ingeniero Comercial, Pontificia Universidad Católica del Ecuador].

García, H., Zubizarreta, M., Cuadrado, J., & Orbe, A. (2019). Sustainability assessment of timber structures: A review. *Sustainable Cities and Society*, 51, 101713. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101713>

Green, M., & Karsh, J. (2012). The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmental Friendly Alternative for Tall Building Structures. Canadian Wood Council.

Liang, S., Gu, H., Bergman, R., & Kelley, S. S. (2020). Comparative life-cycle assessment of a mass timber building and concrete alternative. *Wood and Fiber Science*, 52(2), 217-229.

Ramage, M. H., Burridge, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D. U., Wu, G., Yu, L., Fleming, P., Densley-Tingley, D., Allwood, J., Dupree, P., Linden, P. F., & Scherman, O. (2017). The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 333-359. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.107>

Ruff, S., & Garay, R. (2023). Architectural and structural potential of timber: A review. *Forests*, 14(6), 1202. <https://doi.org/10.3390/f14061202>

Sánchez Fonseca, R. (2022). Análisis del potencial de las plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) en Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(2), 148-159.

Anexos

Informes de los ensayos



Anexos fotográficos

