



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

MANABÍ

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE MANABÍ

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN

**CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS MADERAS FERNÁN SÁNCHEZ
(TRIPLARIS CUMINGIANA) Y GUACHAPELÍ (ALBIZIA GUACHAPELE) 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

BRAYAN DANIEL PUERTAS GÓMEZ

JORGE RAFAEL DELGADO ZAMBRANO

TUTOR

MGTR. JUAN FERNANDO QUIROZ ALONZO

PORTOVIEJO, ENERO 2025

Certificado del Tesis

Ing. Juan Fernando Quiroz Alonzo, Mgtr.

Tutor del plan de investigación curricular

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)_____

Ing. Juan Fernando Quiroz Alonzo, Mgtr.
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)_____

Ing. Juan Fernando Quiroz Alonzo. Mgtr.
Primer lector

(F)_____

Ing. María Tatiana Ordóñez Zambrano. Mgtr.
Segundo lector

(F)_____

Ing. Mauricio Henry Colpari Pozzo. Mgtr.
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 la 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)_____

Brayan Daniel Puertas Gómez
C.I.1313482208
Dirección: Pedernales
Correo electrónico: bpuertas2208@pucesm.edu.ec
Celular: 0980077856

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 la 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)_____

Jorge Rafael Delgado Zambrano
C.I. 1315497048
Dirección: Manta
Correo electrónico: jdelgado7048@pucesm.edu.ec
Celular: 0982817362

Declaración de Derecho del 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.

Autor:

F. _____

Brayan Daniel Puertas Gómez
C.I. 1313482208

Declaración de Derecho del 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.

Autor:

F. _____

Jorge Rafael Delgado Zambrano
C.I. 1315497048

Dedicatoria

A Dios por ser él quién guía mis pasos e ilumina mis conocimientos día a día para seguir sin derrotarme, a mis pilares fundamentales, mis padres.

Brayan Puertas

A Dios por ser él quién guía mis pasos e ilumina mis conocimientos día a día para seguir sin derrotarme, a mis pilares fundamentales, mis padres.

Jorge Delgado

Agradecimientos

Agradezco a Dios por ser mi guía y por iluminar mis conocimientos cada día para seguir adelante sin rendirme. Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis pilares fundamentales, mis padres.

Brayan Puertas

Agradezco a Dios por ser mi guía y por iluminar mis conocimientos cada día para seguir adelante sin rendirme. Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis pilares fundamentales, mis padres.

Jorge Delgado

Resumen

Se realizó una investigación mixta, descriptiva y experimental, con el objetivo de analizar las propiedades físicas y mecánicas de las maderas Fernán Sánchez y Guachapelí mediante ensayos controlados para validar su uso estructural. Se prepararon 360 probetas, distribuidas entre ambas especies, y se realizaron seis tipos de pruebas (compresión paralela y perpendicular, tracción paralela y perpendicular, flexión y corte) siguiendo la norma ASTM D143-22. Los ensayos se ejecutaron en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Los resultados mostraron que las propiedades mecánicas de ambas especies fueron significativamente superiores a las reportadas por las normativas europeas BS EN 384-2004 y BS EN 338-2003. En particular, los valores de esfuerzos admisibles en flexión, tracción y compresión paralela, así como el módulo elástico, fueron más altos en la norma ASTM. Las comparaciones entre normativas revelaron que la NEC (2015) presenta valores más conservadores, lo que podría reflejar una subestimación de la capacidad estructural de las maderas tropicales. Se concluye que la normativa ASTM D143-22 proporciona un enfoque más adecuado para evaluar las propiedades mecánicas de maderas tropicales, como Fernán Sánchez y Guachapelí, debido a su flexibilidad y adaptación a las características específicas de estas especies. Se recomienda revisar la NEC (2015) para integrar criterios más ajustados a las maderas locales, y fomentar estudios más profundos que alineen mejor las normativas internacionales con las características de las maderas ecuatorianas.

Palabras clave: Fernán Sánchez, Guachapelí, madera estructural, ASTM, NEC 2015.

Abstract

A mixed, descriptive and experimental study was conducted to analyze the physical and mechanical properties of Fernán Sánchez and Guachapelí woods through controlled tests to validate their structural use. A total of 360 specimens were prepared, distributed between both species, and six types of tests were conducted (parallel and perpendicular compression, parallel and perpendicular tension, flexure, and shear) following the ASTM D143-22 standard. The tests were carried out in the Materials Testing Laboratory of the Pontificia Universidad Católica del Ecuador. The results showed that the mechanical properties of both species were significantly higher than those reported by the European standards BS EN 384-2004 and BS EN 338- 2003. In particular, the allowable stress values in parallel bending, tension, and compression, as well as the modulus of elasticity, were higher in the ASTM standard. Comparisons between standards revealed that the NEC (2015) presents more conservative values, which could reflect an underestimation of the structural capacity of tropical woods. It is concluded that the ASTM D143-22 standard provides a more suitable approach for evaluating the mechanical properties of tropical woods, such as Fernán Sánchez and Guachapelí, due to its flexibility and adaptation to the specific characteristics of these species. It is recommended to review the NEC (2015) to integrate criteria that are more aligned with local woods, and to promote further studies that better align international standards with the characteristics of Ecuadorian woods.

Keywords: Fernán Sánchez, Guachapelí, structural timber, ASTM, NEC 2015

Tabla de contenido

Certificado del Tesis	ii
Acta de aprobación del tribunal	iii
Declaración de Originalidad	iv
Declaración de Originalidad	v
Declaración de Derecho del Autor.....	vi
Declaración de Derecho del Autor.....	vii
Dedicatoria.....	viii
Agradecimientos	ix
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
Índice de tablas	13
Índice de figuras.....	15
Índice de Formulas.....	18
Introducción	19
Objetivos.....	22
Objetivo General	22
Objetivos Específicos.....	22
Metodología	23
Tipo de investigación.....	23
Características de la investigación.....	23
Descripción de la madera.....	23
Ensayos	24
Ensayo de Compresión Paralela a la Fibra.....	24

Ensayo de Compresión Perpendicular a la Fibra	25
Ensayo de Tracción Paralela a la fibra.....	27
Ensayo de Tracción Perpendicular a la fibra	28
Ensayo de Flexión Estática	29
Módulo de Elasticidad Aparente E_{app} (Mpa).....	29
Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015).....	30
NEC 2015 Capítulo 8 (Estructuras de Maderas).....	31
Selección de número de muestras	32
Obtención de probeta para los ensayos	33
Plano de corte.....	34
Ensayos de resistencia de materiales	35
Pruebas de compresión.....	35
Pruebas de tracción	36
Pruebas de flexión.....	37
Pruebas de corte	38
Normativa ASTM D143-22	38
Distribuciones estadísticas	40
Normativas BS EN 338:2003.....	42
Normativas BS EN 384:2004.....	43
Materiales y Equipos.....	45
Equipo de ensayos.....	48
Elaboración de probetas	49
Toma de datos de las probetas	50

Ensayos mecánicos	51
Dimensionamiento y diseño de probetas de Fernán Sánchez	54
Dimensionamiento y diseño de probetas de Guachapelí.	60
Resultados	66
Discusión.....	102
Conclusiones	108
Recomendaciones	110
Bibliografía	111
Anexos	116

Índice de tablas

Tabla 1. Esfuerzos admisibles para la madera (MPa).....	32
Tabla 2. Módulo de elasticidad para la madera (MPa)	32
Tabla 3. Probetas de ensayos de compresión paralela	54
Tabla 4. Probetas de ensayos de compresión perpendicular.....	55
Tabla 5. Probetas de ensayos de tracción perpendicular.....	56
Tabla 6. Probetas de ensayos de tracción paralela	57
Tabla 7. Probetas de ensayos Corte	58
Tabla 8. Probetas de ensayos de Flexión	59
Tabla 9. Probetas de ensayos de compresión paralela	60
Tabla 10. Probetas de ensayos de compresión perpendicular.....	61
Tabla 11. Probetas de ensayos de tracción perpendicular.....	62
Tabla 12. Probetas de ensayos de tracción paralela	63
Tabla 13. Probetas de ensayos Corte	64
Tabla 14. Probetas de ensayos de Flexión	65
Tabla 15. Análisis comparativo entre las propiedades físico-mecánicas de Fernán Sánchez y Guachapelí según normativas.....	105
Tabla 16. Análisis comparativo entre las propiedades físico-mecánicas de Fernán Sánchez y Guachapelí según normativas.....	107
Tabla 17. Contenido de Humedad Fernán Sánchez	116
Tabla 18. Contenido de humedad: Guachapelí.....	117
Tabla 19. Resultados de ensayos de Compresión Paralela	118
Tabla 20. Resultados de ensayos de Compresión Perpendicular	119

Tabla 21. Resultados de ensayos de Tracción Perpendicular	120
Tabla 22. Resultados de ensayos de Tracción Paralela.....	121
Tabla 23. Resultados de ensayos de Flexión	122
Tabla 24. Resultados de ensayos de Flexión	123
Tabla 25. Resultados de ensayos de Compresión Paralela	124
Tabla 26. Resultados de ensayos de Compresión Perpendicular	125
Tabla 27. Resultados de ensayos de Tracción Perpendicular	126
Tabla 28. Resultados de ensayos de Tracción Paralela.....	127
Tabla 29. Resultados de ensayos de Tracción Flexión	128
Tabla 30. Resultados de ensayos de Corte.....	129
Tabla 31. Resultados del ensayo de flexión Fernán Sánchez según la normativa BS EN 384:2004 – 3382003	130
Tabla 32. Resultados del ensayo de flexión Guachapelí según la normativa BS EN 384:2004 – 3382003	131
Tabla 33. Valores característicos para las maderas según normativa BS EN 384:2004..	132
Tabla 34. Clasificación de densidad según la NEC-SE-MD Estructuras de Madera	132

Índice de Figuras

Figura 1. Representación de corte de madera	34
Figura 2. Dimensiones de las probetas: (a) Compresión paralela y (b) compresión perpendicular	36
Figura 3. Dimensiones de las probetas: (a) tracción paralela y (b) tracción perpendicular	37
Figura 4. Dimensiones de las probetas: (a) tracción paralela y (b) tracción perpendicular	37
Figura 5. Dimensiones de las probetas: (a) tracción paralela y (b) tracción perpendicular	38
Figura 6. Probetas de Fernán Sánchez y Guachapelí: Compresión Paralela	45
Figura 7. Probetas de Fernán Sánchez y Guachapelí: Compresión perpendicular	45
Figura 8. Probetas de Fernán Sánchez y Guachapelí: Tracción Paralela.....	46
Figura 9. Probetas y Fernán Sánchez y Guachapelí: Tracción Perpendicular	46
Figura 10. Probetas y Fernán Sánchez y Guachapelí: Flexión	47
Figura 11. Probetas y Fernán Sánchez y Guachapelí: Corte.....	47
Figura 12. Maquina universal de ensayos Shimadzu	48
Figura 13. Calibrador digital.....	48
Figura 14. Flexómetro.....	49
Figura 15. Representación de corte de madera	50
Figura 16. Toma de pesos de las muestras de madera	50
Figura 17. Secado de las probetas.....	51
Figura 18. Grafica de dispersión de la humedad vs esfuerzo máximo Fernán Sánchez....	67

Figura 19. Grafica de dispersión de la densidad vs esfuerzo máximo Fernán Sánchez	68
Figura 20. Grafica de dispersión de la humedad vs esfuerzo máximo Guachapelí	69
Figura 21. Grafica de dispersión de la densidad vs esfuerzo máximo Guachapelí.....	70
Figura 22. Gráfica de Esfuerzo vs Deformación de compresión paralelo	72
Figura 23. Distribución estadística. Esfuerzo máximo a compresión paralela. Fernán Sánchez.....	72
Figura 24. Grafica de Esfuerzo vs Deformación de compresión perpendicular	74
Figura 25. Distribución estadística. Esfuerzo máximo a compresión perpendicular. Fernán Sánchez.....	74
Figura 26. Grafica de Esfuerzo vs Deformación de tracción paralela	76
Figura 27. Distribución estadística. Esfuerzo máximo a tracción paralela. Fernán Sánchez	76
Figura 28. Grafica de Esfuerzo vs Deformación de tracción paralela	78
Figura 29. Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo de tracción paralela	78
Figura 30. Grafica de Esfuerzo vs Deformación de flexión	80
Figura 31. Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo de flexión	80
Figura 32. Grafica de Esfuerzo vs Deformación de corte.....	82
Figura 33. Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo de corte	82
Figura 34. Grafica de Esfuerzo vs Deformación de compresión paralela	84
Figura 35. Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo compresión paralela	84
Figura 36. Grafica de Esfuerzo vs Deformación compresión perpendicular	86

Figura 37. Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo compresión perpendicular	86
Figura 38. Grafica de Esfuerzo vs Deformación de tracción perpendicular.....	88
Figura 39. Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo tracción perpendicular	88
Figura 40. Grafica de Esfuerzo vs Deformación de tracción paralela	90
Figura 41. Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo tracción paralela	90
Figura 42. Grafica de Esfuerzo vs Deformación de flexión	92
Figura 43. Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo flexión.....	92
Figura 44. Grafica de Esfuerzo vs Deformación de corte.....	94
Figura 45. Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo corte	94
Figura 46. Reportes de los ensayos de laboratorio generados	133

Índice de Formulas

Fórmula 1. Esfuerzo en el límite proporcional $\sigma'c$ (Mpa)	24
Fórmula 2. Resistencia a la compresión σc (Mpa)	24
Fórmula 3. Módulo de Elasticidad <i>Eaxial</i> (Mpa).	25
Fórmula 4. Esfuerzo Admisible (Mpa)	25
Fórmula 5. Esfuerzo en el límite proporcional $\sigma'c$ (Mpa)	25
Fórmula 6. Resistencia a la compresión σc (Mpa)	26
Fórmula 7. Módulo de Elasticidad <i>Eaxial</i> (Mpa).	26
Fórmula 8. Esfuerzo Admisible (Mpa)	26
Fórmula 9. Esfuerzo en el límite proporcional $\sigma'c$ (Mpa)	27
Fórmula 10. Resistencia a la compresión σc (Mpa)	27
Fórmula 11. Módulo de Elasticidad <i>Eaxial</i> (Mpa)	27
Fórmula 12. Esfuerzo Admisible (Mpa)	27
Fórmula 13. Esfuerzo en el límite proporcional $\sigma'c$ (Mpa)	28
Fórmula 14. Resistencia a la compresión σc (Mpa)	28
Fórmula 15. Módulo de Elasticidad <i>Eaxial</i> (Mpa).	28
Fórmula 16. Esfuerzo Admisible (Mpa)	28
Fórmula 17. Módulo de Ruptura <i>SR</i> (Mpa)	29
Fórmula 18. Módulo de Elasticidad Aparente <i>Eapp</i> (Mpa)	29
Fórmula 19. Esfuerzo Admisible (Mpa)	29

Introducción

La madera es uno de los materiales más antiguos y versátiles utilizados en la construcción y la industria, especialmente en áreas donde la disponibilidad de recursos naturales locales es esencial para el desarrollo sostenible (Anguita *et al.*, 2023). En este contexto, la presente investigación se centra en la caracterización estructural de las maderas Fernán Sánchez (*Triplaris cumingiana*) y Guachapelí (*Albizia guachapele*), especies nativas de la provincia de Manabí, Ecuador, cuyas propiedades físicas y mecánicas las convierten en opciones viables para proyectos estructurales en la región (Ceballos y Mera, 2023); ambas especies, abundantes, presentan características que las hacen atractivas para su utilización en construcción, aunque su clasificación y aplicación en proyectos estructurales requieren un análisis detallado, dado que las propiedades de la madera pueden variar considerablemente según factores ambientales.

Según Gutiérrez (2008), Fernán Sánchez es una especie con una notable distribución en varias provincias ecuatorianas, especialmente en los bosques secos y húmedos, lo que evidencia su alta adaptabilidad. Esta especie puede alcanzar alturas de hasta 22 metros y diámetros de hasta 99 cm, lo que la convierte en una madera de gran resistencia y aplicabilidad en la construcción de estructuras; donde la adaptabilidad de Fernán Sánchez a diversas condiciones de crecimiento, junto con sus características morfológicas, como el tronco recto y articulado, su corteza protectora y hojas adaptadas a condiciones adversas, hacen que sea una especie potencialmente valiosa para la industria. Estas características estructurales y mecánicas permiten que la madera de Fernán Sánchez sea utilizada en una variedad de aplicaciones, desde la construcción de viviendas hasta la fabricación de elementos estructurales más complejos (García, 2015).

Por otro lado, el Guachapelí, una especie que se distribuye desde el sureste de México hasta Ecuador y las islas del Caribe, sobresale por su resistencia natural al agua salada y los

barrenadores marinos, características que la hacen ideal para su uso en entornos costeros. Con una altura promedio de 18 metros y un diámetro de 137 cm a la altura del pecho, Guachapelí es apreciada por su facilidad de manejo y durabilidad (Calderón, 2019). Según Cornejo (2015), su tronco recto y su corteza escamosa contribuyen a una mayor resistencia a las condiciones climáticas adversas, lo que amplía su potencial para la construcción en zonas costeras y tropicales.

Sin embargo, pese a las propiedades prometedoras de estas especies, la normativa vigente en Ecuador, como la NEC-SE-MD, no siempre contempla las particularidades de las especies locales, lo que dificulta su aplicación en proyectos estructurales; a nivel internacional, existen normativas claras, como las de la ASTM y las normas europeas BS EN, que ofrecen criterios detallados para la clasificación de maderas estructurales. Sin embargo, las especies tropicales y subtropicales, como el Fernán Sánchez y el Guachapelí, pueden no ajustarse perfectamente a las categorías establecidas por estas normativas debido a las diferencias en las condiciones de crecimiento y las propiedades de la madera (Gutiérrez, 2008). Esta brecha normativa pone de manifiesto la necesidad de realizar estudios que proporcionen datos específicos sobre las propiedades físicas y mecánicas de estas maderas, lo cual facilitaría su inclusión en los sistemas de clasificación de maderas estructurales (Gysling *et al.*, 2021).

En este sentido, el objetivo principal de esta investigación es caracterizar estructuralmente las maderas de Fernán Sánchez y Guachapelí, a través de pruebas de compresión, tracción, flexión y corte, para determinar su idoneidad para proyectos estructurales y ofrecer una base sólida para futuras aplicaciones en la construcción. La investigación también busca comparar los resultados obtenidos con las normativas internacionales y locales, como la

ASTM D143-22 y la NEC-SE-MD, para identificar las diferencias en las propiedades mecánicas y evaluar su comportamiento estructural bajo diferentes condiciones.

Esta investigación posee relevancia significativa en el ámbito académico como para la industria de la construcción en Ecuador, ya que al establecer las propiedades físico-mecánicas de las maderas Fernán Sánchez y Guachapelí producidas en Manabí, se promueve un uso eficiente y sostenible de los recursos forestales locales, contribuyendo a la diversificación de la economía al reducir la dependencia de materiales importados y aumentar la competitividad en el mercado de la construcción; los datos técnicos confiables obtenidos permitirán desarrollar estrategias específicas para el uso de estas maderas en aplicaciones constructivas, optimizando su desempeño y fomentando un manejo forestal alineado con las necesidades del sector y las condiciones ambientales de las regiones productoras.

Objetivos

Objetivo General

Establecer las propiedades físico-mecánicas de las maderas Fernán Sánchez y Guachapelí que se produce Manabí.

Objetivos Específicos

Desarrollar y ensayar probetas de madera a compresión, tracción, flexión y corte, según la norma ASTM D143-22.

Analizar y procesar los resultados de los ensayos según la Norma ASTM D2915-17.

Categorizar las maderas Fernán Sánchez y Guachapelí según la NEC-15 y según otras normativas extranjeras.

Metodología

Tipo de investigación

Se generó una investigación de tipo mixta, descriptiva y experimental, en la que se obtuvo una descripción detallada de las propiedades físicas y mecánicas, y se realizó una experimentación mediante pruebas controladas para generar resultados precisos que validaran el uso estructural de las maderas analizadas.

Características de la investigación

Stsepanets (2022) señala que la gestión de proyectos implica la aplicación de diversas metodologías, métodos o técnicas, adaptados a las particularidades de cada proyecto. Dado que cada uno de estos proyectos, junto con sus equipos y condiciones, presenta características únicas, es fundamental seleccionar el enfoque adecuado. Sin embargo, todos comparten ciertos elementos comunes que permiten establecer metodologías que puedan ser utilizadas de forma general.

Descripción de la madera

La madera de Fernán Sánchez (*Triplaris cumingiana*), conocida también como "muchin" o "palo mulato", presenta una alta densidad, con un color que varía desde el rosado o marrón pálido en el duramen, hasta una albura blancuzca. Su textura es medianamente gruesa y su grano es recto a entrecruzado. Aunque su durabilidad natural es baja, esta madera es resistente a la compresión y flexión, lo que la hace adecuada para aplicaciones como muebles, chapas decorativas y estructuras de carpintería. Sin embargo, es susceptible al ataque de hongos e insectos, por lo que requiere de un tratamiento adecuado para su preservación (Ecuador Forestal, 2024; Crespo et al., 2008).

Por otro lado, la madera de Guachapelí (*Tabebuia spp.*) es semi-dura, de colores que oscilan entre el amarillo pálido y el marrón rojizo, con una textura moderadamente fina. Esta madera es fácil de trabajar y ofrece una buena resistencia tanto a la compresión como a la flexión, lo que la hace ideal para aplicaciones en ambientes con alta humedad. No obstante, al igual que otras especies tropicales, es susceptible a plagas si no se le aplica un tratamiento adecuado (Crespo et al., 2008).

Ensayos

Ensayo de Compresión Paralela a la Fibra

En este ensayo se deberá calcular los siguientes parámetros:

Esfuerzo en el límite proporcional σ'_c (Mpa)

$$\sigma'_c = \frac{P'}{A} \quad (1)$$

Donde

P' : Carga aplicada en el límite proporcional (N)

A : Área de la sección transversal (mm)

Resistencia a la compresión σ_c (Mpa)

$$\sigma_c = \frac{P_{max}}{A} \quad (2)$$

Donde

P_{max} : Carga máxima soportada por el espécimen (N)

A : Área de la sección transversal (mm)

Módulo de Elasticidad E_{axial} (Mpa).

$$E_{axial} = \frac{\sigma'c}{\varepsilon} \quad (3)$$

Donde:

$\sigma'c$: Esfuerzo en el límite proporcional (N)

ε : Deformación unitaria en el límite proporcional (mm/mm)

Esfuerzo Admisible (Mpa)

$$Esfuerzo Admisible = \frac{F.C \times F.T}{F.S \times F.D.C} * Esfuerzo \acute{u}ltimo \quad (4)$$

Donde

F.C: Factor de reducción por calidad

F.T: Factor de reducción por tamaño

F.S: Factor de servicio y seguridad

F.D.C: Factor de duración de carga

Ensayo de Compresión Perpendicular a la Fibra

Esfuerzo en el límite proporcional σ'_c (Mpa)

$$\sigma'_c = \frac{P'}{A} \quad (5)$$

Donde:

P' : Carga aplicada en el límite proporcional (N)

A : Área de la sección transversal (mm)

Resistencia a la compresión σ_c (Mpa)

$$\sigma_c = \frac{P_{max}}{A} \quad (6)$$

Donde:

P_{max} : Carga máxima soportada por el espécimen (N)

A: Área de la sección transversal (mm)

Módulo de Elasticidad E_{axial} (Mpa).

$$E_{axial} = \frac{\sigma'c}{\varepsilon} \quad (7)$$

Donde:

$\sigma'c$: Esfuerzo en el límite proporcional (N)

ε : Deformación unitaria en el límite proporcional (mm/mm)

Esfuerzo Admisible (Mpa)

$$Esfuerzo\ Admisible = \frac{F.C \times F.T}{F.S \times F.D.C} * Esfuerzo\ último \quad (8)$$

Donde:

F.C: Factor de reducción por calidad

F.T: Factor de reducción por tamaño

F.S: Factor de servicio y seguridad

F.D.C: Factor de duración de carga

Ensayo de Tracción Paralela a la fibra

Esfuerzo en el límite proporcional σ'_c (Mpa)

$$\sigma'_c = \frac{P'}{A} \quad (9)$$

Donde:

P' : Carga aplicada en el límite proporcional (N)

A : Área de la sección transversal (mm)

Resistencia a la compresión σ_c (Mpa)

$$\sigma_c = \frac{P_{max}}{A} \quad (10)$$

Donde:

P_{max} : Carga máxima soportada por el espécimen (N)

A : Área de la sección transversal (mm)

Módulo de Elasticidad E_{axial} (Mpa).

$$E_{axial} = \frac{\sigma'_c}{\varepsilon} \quad (11)$$

Donde:

σ'_c : Esfuerzo en el límite proporcional (N)

ε : Deformación unitaria en el límite proporcional (mm/mm).

Esfuerzo Admisible (Mpa)

$$\text{Esfuerzo Admisible} = \frac{F.C \times F.T}{F.S \times F.D.C} * \text{Esfuerzo último} \quad (12)$$

Ensayo de Tracción Perpendicular a la fibra

Esfuerzo en el límite proporcional σ'_c (Mpa)

$$\sigma'_c = \frac{P'}{A} \quad (13)$$

Donde:

P' : Carga aplicada en el límite proporcional (N)

A : Área de la sección transversal (mm)

Resistencia a la compresión σ_c (Mpa)

$$\sigma_c = \frac{P_{max}}{A} \quad (14)$$

Donde:

P_{max} : Carga máxima soportada por el espécimen (N)

A : Área de la sección transversal (mm)

Módulo de Elasticidad E_{axial} (Mpa).

$$E_{axial} = \frac{\sigma'_c}{\varepsilon} \quad (15)$$

Donde:

σ'_c : Esfuerzo en el límite proporcional (N)

ε : Deformación unitaria en el límite proporcional (mm/mm)

Esfuerzo Admisible (Mpa)

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C \times F.T}{F.S \times F.D.C} * \sigma_{ult} \quad (16)$$

Donde:

F.C: Factor de reducción por calidad

F.T: Factor de reducción por tamaño

F.S: Factor de servicio y seguridad

F.D.C: Factor de duración de carga

Ensayo de Flexión Estática***Módulo de Ruptura SR (Mpa)***

$$S' = \frac{3P_{max}l}{2bd^2} \quad (17)$$

Donde: P_{max} : Carga máxima soportada por el espécimen (N) l : Distancia entre apoyos (mm) b : Ancho del espécimen de flexión (mm) d : Profundidad del espécimen de flexión (mm)***Módulo de Elasticidad Aparente E_{app} (Mpa)***

$$E_{app} = \frac{Pl^3}{4bd^3\Delta} \quad (18)$$

Donde: P' : Carga aplicada en el límite proporcional (N) l : Distancia entre apoyos (mm) b : Ancho del espécimen de flexión (mm) d : Profundidad del espécimen de flexión (mm) Δ : Deflexión del espécimen en el límite proporcional (mm)***Esfuerzo Admisible (Mpa)***

$$\text{Esfuerzo Admisible} = \frac{F.C \times F.T}{F.S \times F.D.C} * \text{Esfuerzo último} \quad (19)$$

Donde:

F.C: Factor de reducción por calidad

F.T: Factor de reducción por tamaño

F.S: Factor de servicio y seguridad

F.D.C: Factor de duración de carga

Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015)

En el marco de esta tesis, se aborda específicamente el Capítulo 8 de la NEC 2015, que trata sobre Estructuras de Madera. Este capítulo tiene como base el "Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino", un documento respaldado por estudios y ensayos realizados en los países de la Subregión Andina. Dichos ensayos formaron parte de los Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de Recursos Forestales Tropicales. Además, este capítulo incorpora investigaciones complementarias realizadas en otros países, lo que fortalece su validez técnica y científica.

La participación de Ecuador en la Junta del Acuerdo de Cartagena, a través del Proyecto Andino de Desarrollo Tecnológico en el Área de Recursos Forestales (PAD-REFORT), ha sido crucial para el desarrollo de un Estudio Integral de la Madera para la Construcción. Este proyecto ha permitido estandarizar el uso de la madera en el ámbito constructivo, con el objetivo de optimizar los recursos forestales disponibles y promover un desarrollo sostenible. Así, la información contenida en la NEC 2015 no solo asegura la calidad en el diseño estructural con madera, sino que también fomenta la utilización de este recurso de manera técnica y eficiente en las edificaciones ecuatorianas.

NEC 2015 Capítulo 8 (Estructuras de Maderas)

El Capítulo 8 de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015), dedicado a las estructuras de madera, se fundamenta principalmente en el *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino*. Este manual recopila información respaldada por ensayos realizados en los países de la Subregión Andina, como parte de los Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales, así como investigaciones adicionales en otras regiones. Esta base técnica proporciona parámetros esenciales para garantizar la calidad y la seguridad en el diseño estructural con madera (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1981, pp. 42-48).

Ecuador, como miembro de la Junta del Acuerdo de Cartagena, ha contribuido significativamente al Proyecto Andino de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales (PAD-REFORT). La NEC 2015 integra estos resultados en su normativa, lo que refuerza su utilidad en la industria constructiva nacional.

Dentro de este marco, el manual detalla dos elementos clave en los numerales 5.3.2 y 5.3.3: los esfuerzos admisibles y el módulo de elasticidad como se muestran en las Tablas 1 y 2. Los esfuerzos admisibles establecidos son exclusivos para madera estructural y deben ser utilizados para garantizar la resistencia y la seguridad en el diseño de edificaciones. Adicionalmente, el módulo de elasticidad es una medida crítica que evalúa el comportamiento del material frente a las cargas, asegurando un diseño eficiente y seguro.

Este capítulo no solo proporciona directrices para el diseño estructural con madera, sino que también promueve el uso de materiales locales de manera sostenible y técnicamente fundamentada, contribuyendo al desarrollo del sector de la construcción en Ecuador.

Tabla 1*Esfuerzos admisibles para la madera (MPa)*

Grupo	Flexión	Tracción Paralela	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte Paralelo
	f_m	f_t	f_c	f_{cl}	f_v
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 1 muestra la clasificación de las maderas según su densidad básica. Adaptado de la NEC 2015 (p. 61).

Tabla 2*Módulo de elasticidad para la madera (MPa)*

Grupo	$E_{min}(E_{0.05})$	$E_{promedio}$
A	9,500	13,000
B	7,500	10,000
C	5,500	9,000

Nota. La tabla 2 muestra los esfuerzos admisibles en MPa ante flexión, compresión, tracción y corte según la clase de madera. Adaptado de la NEC 2015 (p. 62).

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 de servicialidad. 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 este caso, se realizaron 30 probetas por ensayo.

Obtención de probeta para los ensayos

La madera es un material anisotrópico y ortotrópico, lo que significa que sus propiedades mecánicas varían según las tres direcciones principales: longitudinal, tangencial y radial. Estas diferencias están relacionadas con la disposición interna de las fibras y microfibrillas en sus paredes celulares, lo que afecta su resistencia y elasticidad frente a cargas aplicadas en diferentes orientaciones. Además, factores como el contenido de humedad, la densidad específica y las condiciones de crecimiento, incluyendo la altitud y la temperatura, desempeñan un papel crucial en su comportamiento físico y mecánico (Arriaga et al., 2023).

Por otra parte, el manejo forestal y las condiciones locales, como la densidad de plantación, influyen significativamente en la calidad del material. Las propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión y la cizalladura, pueden mostrar variaciones notables no solo entre especies, sino también dentro de una misma especie debido a las particularidades de su crecimiento y procesamiento. Estas características hacen que la madera requiera un análisis técnico riguroso para su uso en aplicaciones estructurales y de diseño (Arriaga et al., 2023).

Las probetas, esenciales para la elaboración de las muestras, fueron adquiridas en un aserradero. Llegaron en tiras de 2.4 metros cada una, listas para ser cortadas y preparadas para el análisis. La madera, proveniente de árboles cuidadosamente seleccionados, se convirtió en el material perfecto para construir las probetas que servirían para evaluar las propiedades del material.

Plano de corte

Existen diferentes tipos de cortes de la madera

Longitudinal: es toda sección que resulta de cortar la madera en dirección paralela al eje del tronco, que a su vez puede estar orientado en dirección radial o tangencial.

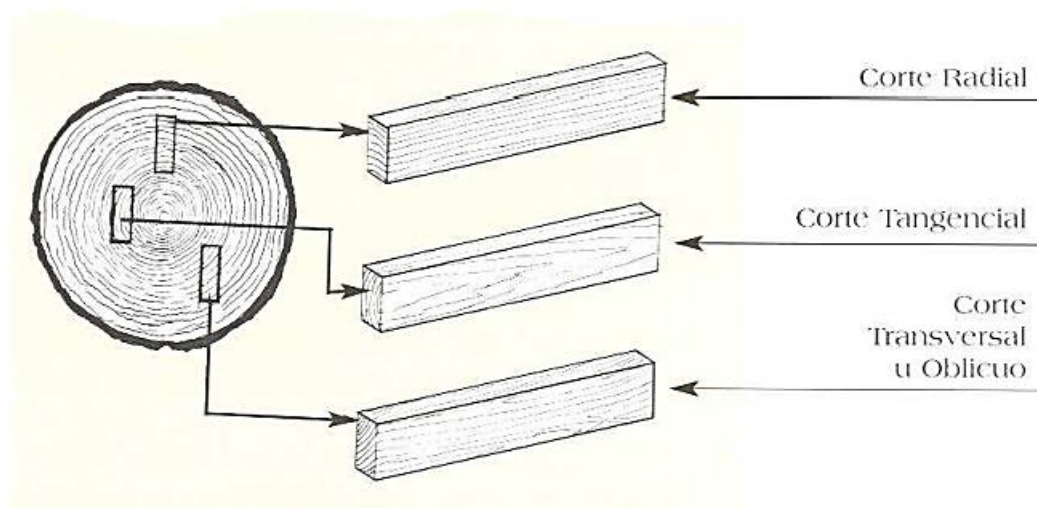
Radial: es el resultado de un corte longitudinal paralelo a los radios y perpendicular a los radios de crecimiento.

Tangencial: Corte longitudinal tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular a los radios de crecimiento

Transversal: toda sección que resulta de cortar una pieza de madera en dirección perpendicular al eje del tronco.

Figura 1

Representación de corte de madera



Nota. Tomado de *Guía de procesamiento industrial: fabricación de muebles y maderas poco conocidas.*

Ensayos de resistencia de materiales

De acuerdo con INEN (2022):

“En este contexto, la resistencia a los esfuerzos de rotura durante la flexión (módulo de rotura, MOR) es de gran importancia ya que muchas piezas trabajan de forma horizontal, como, por ejemplo: B. Vigas, vigas, placas, algunas cuerdas y vigas transversales, dinteles, etc., con luces superiores a 2,50 m.

Esta madera debe tener la forma correcta para que no presente defectos físicos o mecánicos que se deban al crecimiento natural del árbol o a las operaciones de aprovechamiento de la madera y aserrado de piezas son imputables. Las actividades forestales mitigan significativamente las deficiencias físicas y mecánicas que puedan surgir en el desarrollo del área forestal.”

Los ensayos mecánicos realizados se basan en la norma ASTM D143-22. De acuerdo con la norma, estos métodos son ideales para un entorno de laboratorio y son apropiados para el tipo de madera de interés: madera aserrada. La norma establece procedimientos uniformes y confiables que permiten evaluar el rendimiento mecánico de la madera en un entorno controlado

Pruebas de compresión

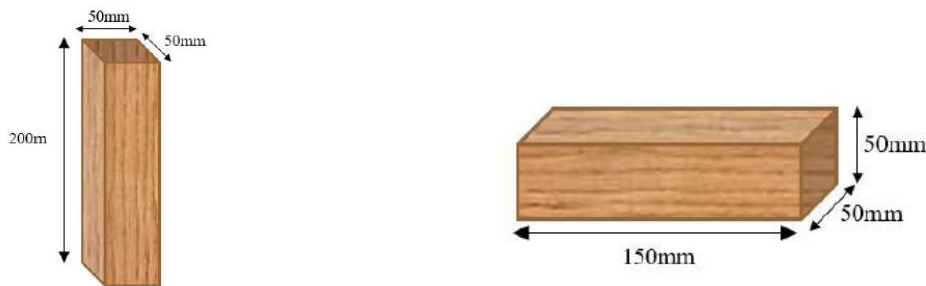
Se realizaron pruebas de compresión en los dos grados de madera y a lo largo de dos orientaciones: dirección paralela a la fibra y perpendicular a la fibra dirección. En dirección paralela a la fibra se analizaron 30 muestras de cada especie. Los especímenes para compresión paralela de madera tienen dimensiones 50 por 50 por 200 mm, como se muestra en la Fig. 4.a. En la dirección perpendicular a la fibra se han ensayado 30 muestras por especie. Los ejemplares fueron paralelepípedos de madera de dimensión 50 por 50 por 150 mm (Fig. 4.b).

Pruebas de tracción

Se realizaron pruebas de tracción para dos orientaciones: dirección paralela a la fibra y dirección perpendicular a la fibra. Se utilizaron muestras con forma de hueso de perro para las pruebas en ambas direcciones, de conformidad con la norma ASTM D143-22 (Fig. 5.a y b).

Figura 2

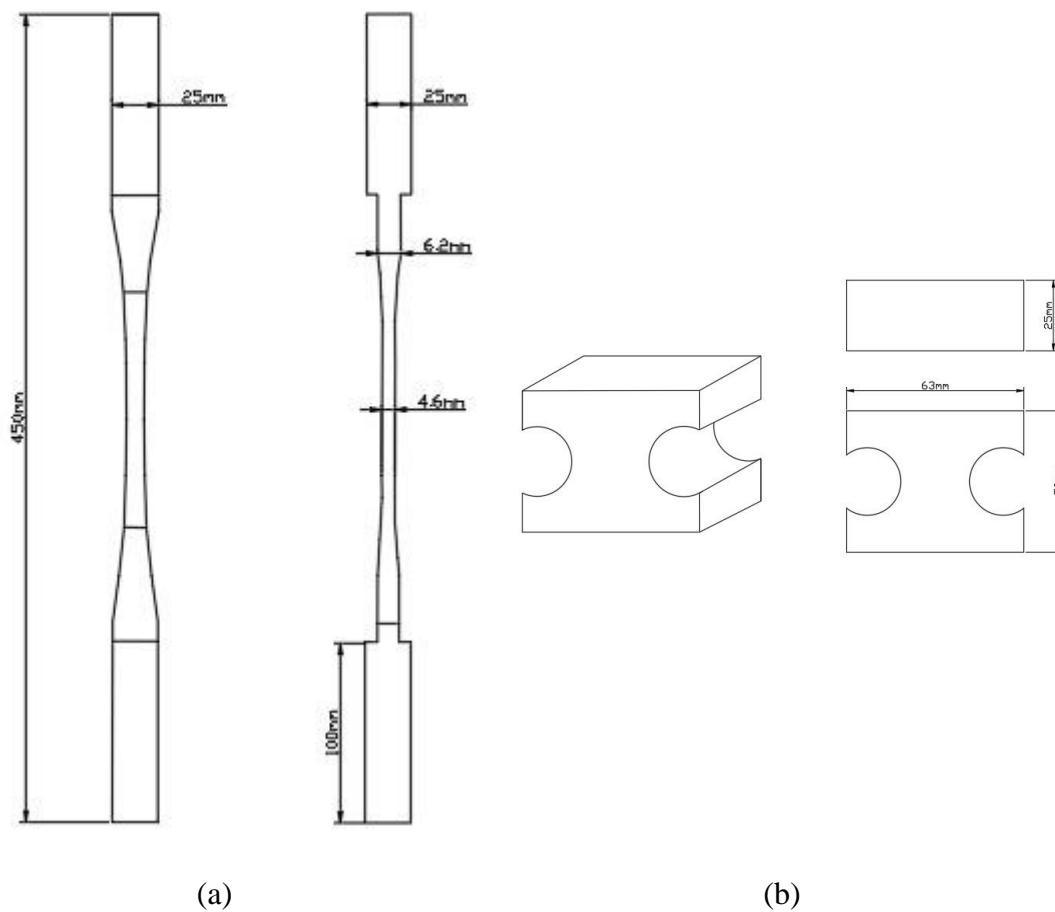
Dimensiones de las probetas: (a) Compresión paralela y (b) compresión perpendicular



Nota. Dimensiones en milímetros. Adaptado de *ASTM D143-22*.

Figura 3

Dimensiones de las probetas: (a) tracción paralela y (b) tracción perpendicular.



Nota. Dimensiones en milímetros. Adaptado de *ASTM D143-22*.

Pruebas de flexión**Figura 4**

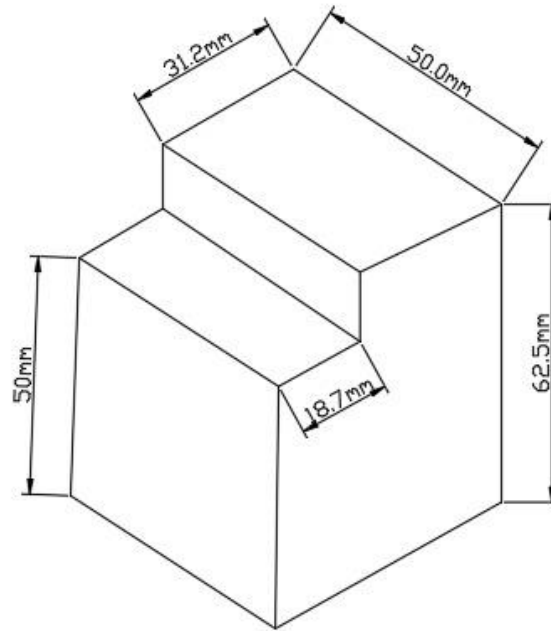
Dimensiones de las probetas: (a) tracción paralela y (b) tracción perpendicular.



Pruebas de corte

Figura 5

Dimensiones de las probetas: (a) tracción paralela y (b) tracción perpendicular.



Normativa ASTM D143-22

La norma ASTM D143-22 establece los métodos estándar para probar las propiedades mecánicas de la madera en pequeñas muestras claras, con el objetivo de proporcionar datos confiables y reproducibles que sirvan para la caracterización de la madera en aplicaciones estructurales y no estructurales. Esta norma es ampliamente utilizada para evaluar la resistencia, elasticidad y durabilidad de la madera bajo diversas condiciones de carga y exposición, contribuyendo al diseño y desarrollo de productos de madera que cumplen con los requisitos industriales y de construcción.

- **Muestreo de madera:** Según la ASTM D143-22, el muestreo de madera debe realizarse en secciones representativas, libres de defectos visibles como nudos, grietas o

deformaciones, para garantizar la uniformidad en las pruebas. Este enfoque asegura que las propiedades medidas correspondan a las de la madera en su estado óptimo y sin influencia de irregularidades. Además, las muestras deben ser cortadas siguiendo orientaciones específicas (longitudinal, radial y tangencial) para evaluar adecuadamente las propiedades ortotrópicas del material.

- **Ensayos mecánicos:** Los métodos de prueba de esta norma incluyen ensayos de compresión, tracción y flexión en pequeñas muestras, además de evaluaciones de dureza, cizalladura y choque. Cada ensayo sigue parámetros estrictos de preparación y ejecución, con dimensiones estandarizadas de las muestras y condiciones controladas de humedad y temperatura. Estos ensayos permiten caracterizar la resistencia y la capacidad de deformación de la madera en diferentes situaciones de carga.
- **Análisis de datos:** La norma proporciona directrices para el análisis estadístico de los resultados obtenidos, facilitando la identificación de tendencias en las propiedades mecánicas de la madera. Los datos generados pueden utilizarse para comparar especies de madera, estudiar los efectos de tratamientos específicos, o establecer criterios de clasificación estructural.
- **Evaluación de calidad:** La ASTM D143-22 es fundamental para garantizar que la madera utilizada en aplicaciones críticas cumpla con los estándares de seguridad y durabilidad. Los resultados obtenidos mediante esta norma son utilizados por ingenieros y diseñadores para seleccionar materiales adecuados para proyectos específicos, asegurando un desempeño confiable bajo condiciones reales.
- **Importancia de la norma:** La práctica estándar D143-22 es una herramienta clave en la investigación y desarrollo de productos de madera, proporcionando una base científica

para evaluar y mejorar las propiedades del material. Esto asegura su competitividad y sostenibilidad en un contexto industrial y ambiental exigente.

- **Normativa ASTM D2915-17:** La práctica estándar D2915-17 proporciona las pautas específicas para la recolección de muestras, el análisis estadístico y la interpretación de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas sobre la madera estructural. Esta normativa asegura que los productos de madera cumplan con los estándares de resistencia, durabilidad y calidad que exigen las normativas de construcción y las especificaciones industriales.

Distribuciones estadísticas

En el análisis de los datos obtenidos de los ensayos de resistencia de la madera, la normativa ASTM D2915-17 sugiere el uso de distribuciones de probabilidad para modelar el comportamiento de las propiedades mecánicas de la madera. Las distribuciones más comúnmente utilizadas en estos análisis son normal, lognormal y Weibull, cada una adecuada para describir diferentes características de los datos obtenidos en las pruebas.

Distribución Normal

La distribución normal es una de las distribuciones más comunes en estadística, utilizada ampliamente para modelar fenómenos que siguen un patrón simétrico alrededor de un valor medio. En el caso de los ensayos de madera, la distribución normal puede aplicarse a características como la resistencia a la compresión o tracción cuando los datos se distribuyen de forma simétrica y no presentan sesgos significativos. Esta distribución es adecuada cuando los datos muestran una tendencia a agruparse alrededor de un valor central, con una disminución progresiva en la frecuencia de los valores a medida que se alejan de la media.

En el contexto de la ASTM D2915-17, se puede utilizar la distribución normal para describir las propiedades de madera de alta calidad donde las variaciones son menores y los resultados tienden a ser consistentes en múltiples ensayos.

Distribución Log normal

La distribución lognormal se aplica cuando los datos no siguen una distribución simétrica, sino que están sesgados hacia valores más altos. Esta distribución es común en materiales como la madera, que a menudo presentan una variabilidad considerable en sus propiedades debido a factores naturales, como las diferencias en el grano, humedad y densidad. La distribución log normal es particularmente útil para describir la resistencia a la tracción o compresión cuando las variaciones son logarítmicas y el comportamiento de la madera no es simétrico.

En el análisis de datos de madera, la distribución log normal se ajusta bien cuando las muestras muestran una fuerte variabilidad, como en los ensayos de flexión o corte, donde los resultados tienden a dispersarse de manera más significativa. El ajuste a una distribución log normal permite modelar este tipo de datos y realizar predicciones más precisas sobre el comportamiento del material.

Distribución Weibull

La distribución de Weibull es particularmente relevante para la madera, ya que es eficaz para modelar el comportamiento de materiales frágiles y la distribución de la resistencia de los materiales cuando los resultados de las pruebas no siguen un patrón simétrico ni logarítmico. Esta distribución es útil en situaciones donde hay una alta probabilidad de fallos en materiales bajo condiciones extremas de carga o esfuerzo, como en los ensayos de flexión o tracción.

La distribución Weibull tiene la capacidad de modelar tanto fallos tempranos como tardíos en la madera, lo cual es fundamental para comprender su rendimiento a largo plazo en aplicaciones estructurales. A través de esta distribución, se pueden obtener estimaciones del tiempo hasta el fallo o la probabilidad de fallo de la madera bajo distintas cargas.

Aplicación de las Distribuciones en los Ensayos de Madera

El análisis de las propiedades mecánicas de la madera, según lo indicado en la ASTM D2915-17, permite el uso de herramientas estadísticas para evaluar la calidad del material. La implementación de distribuciones de probabilidad es fundamental para obtener resultados válidos, y su elección depende de las características del material y los datos obtenidos en las pruebas. Los ensayos de compresión paralela, compresión perpendicular, tracción paralela, tracción perpendicular, flexión y corte permiten observar el comportamiento de la madera bajo diferentes tipos de esfuerzos y son esenciales para la clasificación estructural de la madera.

Al ajustar los datos experimentales a distribuciones normal, lognormal o Weibull, se pueden realizar estimaciones más precisas sobre la resistencia y durabilidad de la madera en condiciones reales de uso. Estas distribuciones permiten describir la variabilidad de las propiedades mecánicas de la madera, y su correcta selección asegura que los análisis sean representativos y útiles para aplicaciones en ingeniería.

Normativas BS EN 338:2003

La BS EN 338:2003 complementa la BS EN 384:2004, al proporcionar los criterios de clasificación de la madera estructural en función de sus propiedades mecánicas. Según esta normativa, las piezas de madera se clasifican en diferentes categorías de resistencia (designadas por una letra y un número), basándose en los valores obtenidos de los ensayos de flexión.

La clasificación de la madera según la BS EN 338:2003 se basa en dos propiedades principales: el esfuerzo máximo en flexión (MOR) y el módulo elástico (MOE). Esta clasificación permite asegurar que solo se utilicen maderas que cumplan con los requisitos específicos de resistencia y rigidez para diferentes aplicaciones estructurales, como en la construcción de edificios, puentes y otras infraestructuras.

Las categorías de clasificación varían según el tipo de madera, y los resultados de los ensayos de flexión permiten asignar a cada pieza un valor de resistencia adecuado para su uso en la construcción. Este proceso de clasificación es esencial para garantizar la fiabilidad de las estructuras de madera y minimizar los riesgos asociados con la utilización de materiales de baja calidad.

Normativas BS EN 384:2004

La norma BS EN 384:2004 establece los procedimientos para la caracterización mecánica de la madera a través de la medición del esfuerzo máximo y el módulo elástico, con el fin de evaluar su rendimiento bajo cargas estructurales. La madera utilizada en aplicaciones de construcción, como vigas y otras piezas estructurales, debe cumplir con ciertos requisitos de resistencia y rigidez para garantizar su seguridad y durabilidad.

La norma específica cómo realizar los ensayos de flexión en piezas de madera, con el objetivo de determinar la resistencia a la flexión (esfuerzo máximo) y la rigidez (módulo elástico). El esfuerzo máximo es la carga máxima que la madera puede soportar antes de fracturarse, mientras que el módulo elástico se refiere a la capacidad de la madera para resistir la deformación bajo carga. Estos dos parámetros son fundamentales para clasificar la madera en

función de su capacidad de carga, y garantizar que solo se utilicen las piezas con las características adecuadas en las aplicaciones estructurales.

El ensayo de flexión estática se realiza en una máquina de prueba de flexión, donde se aplica una carga progresiva hasta que la pieza de madera se rompe. Los resultados de estos ensayos son fundamentales para la clasificación de la madera, ya que permiten asignar valores numéricos a sus propiedades mecánicas, lo que ayuda a garantizar la seguridad y el rendimiento de las estructuras de madera.

Materiales y Equipos

Los materiales que se usaron fueron probetas de madera Fernán Sánchez y Guachapelí.

Figura 6

Probetas de Fernán Sánchez y Guachapelí: Compresión Paralela.



Figura 7

Probetas de Fernán Sánchez y Guachapelí: Compresión perpendicular.

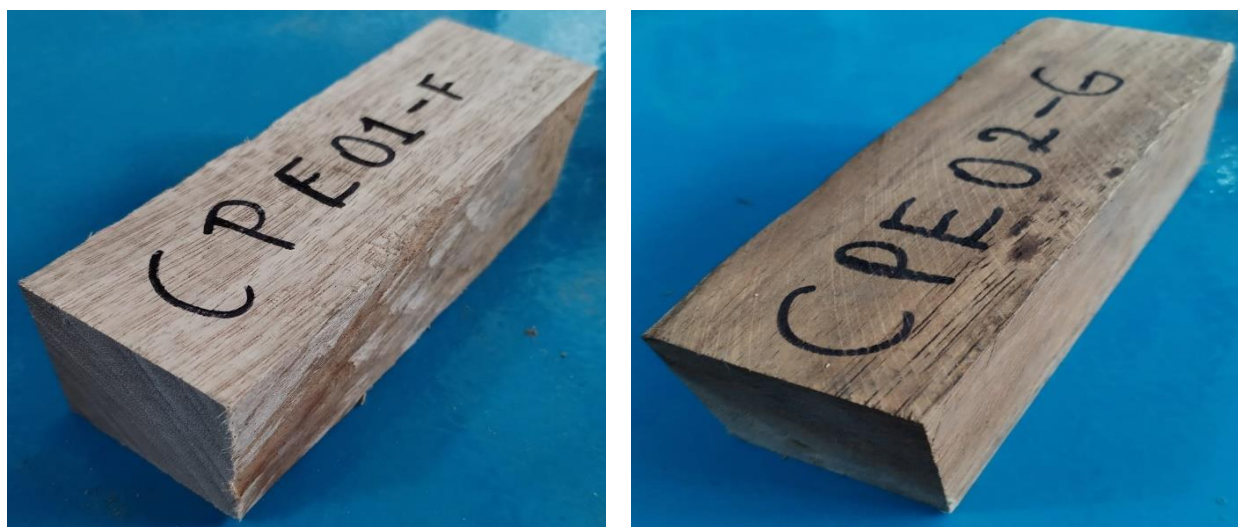


Figura 8

Probetas de Fernán Sánchez y Guachapelí: Tracción Paralela.

**Figura 9**

Probetas y Fernán Sánchez y Guachapelí: Tracción Perpendicular.



Figura 10

Probetas y Fernán Sánchez y Guachapelí: Flexión.

**Figura 11**

Probetas y Fernán Sánchez y Guachapelí: Corte.



Equipo de ensayos

Figura 12

Maquina universal de ensayos Shimadzu

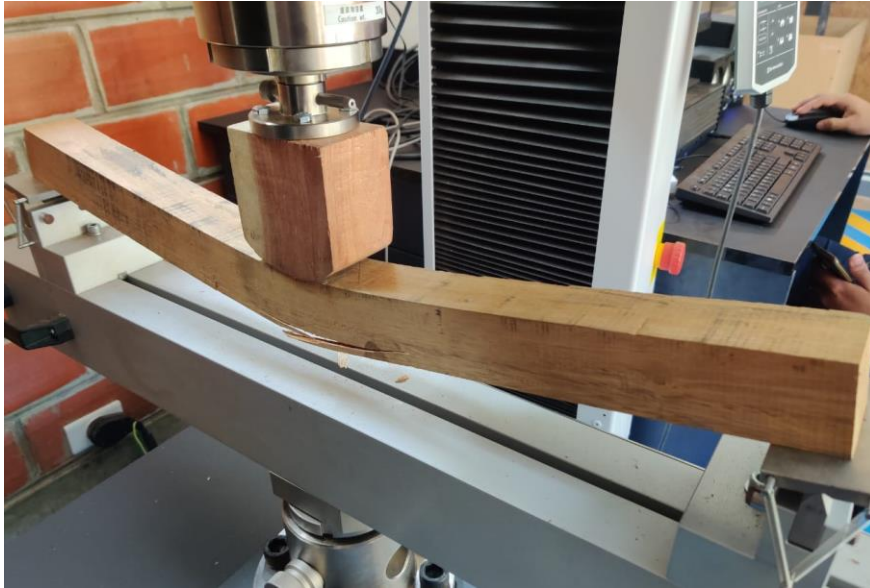


Figura 13

Calibrador digital



Figura 14*Flexómetro***Elaboración de probetas**

Para la realización de los ensayos, se prepararon un total de 360 probetas, distribuidas entre los dos especímenes de madera utilizados en el estudio, Fernán Sánchez y Guachapelí. Para cada uno de los ensayos, se emplearon 60 probetas, lo que permitió realizar un análisis detallado de las propiedades mecánicas de ambos materiales. Los ensayos realizados incluyeron seis tipos de pruebas: compresión paralela, compresión perpendicular, tracción paralela, tracción perpendicular, flexión y corte. Estas pruebas fueron seleccionadas para evaluar las principales propiedades mecánicas de la madera bajo distintas condiciones de carga, permitiendo así obtener resultados representativos para la comparación entre las dos especies de madera.

Toma de datos de las probetas

Previo al inicio de los ensayos mecánicos, se procedió a registrar las dimensiones y el peso de las probetas. Para ello, se utilizó una balanza electrónica con una precisión de 0.01 gramos, un calibrador pie de rey con una exactitud de 0.01 milímetros, y un flexómetro, herramientas que permitieron obtener las mediciones con la precisión requerida.

Figura 15

Toma de pesos de las muestras de madera



Figura 16

Registro de las dimensiones de las probetas



Figura 17

Secado de las probetas

**Ensayos mecánicos*****Procedimiento General***

- Configuración del Software:
- Seleccionar el tipo de ensayo correspondiente en el software de la máquina.
- Ingresar las dimensiones de las muestras a ensayar.

Preparación de la Muestra:

- Colocar la probeta en las mordazas o soportes adecuados, asegurándose de que esté correctamente alineada.
- Aplicar una precarga para estabilizar la muestra antes de iniciar el ensayo.
- Ejecución del Ensayo:
- Iniciar la aplicación de la carga o desplazamiento según el tipo de ensayo.

- Registrar continuamente los esfuerzos y deformaciones generados durante el ensayo.
- Finalización del Ensayo:
- Continuar el ensayo hasta la fractura de la muestra o hasta alcanzar el desplazamiento máximo especificado.
- Guardar y exportar los resultados obtenidos para su análisis posterior.
- Post-Procesamiento:
- Retirar la muestra de la máquina y documentar el tipo de falla observada.
- Secar la muestra en un horno durante 24 horas para determinar su contenido de humedad.
- Repetir el procedimiento para todas las muestras correspondientes.

Especificidades por Tipo de Ensayo

Compresión Paralela:

- Dirección de Aplicación: Paralela a las fibras de la muestra.
- Velocidad de Carga: 0.6 mm/min.

Desplazamiento Máximo: Hasta la fractura de la muestra.

Compresión Perpendicular:

- Dirección de Aplicación: Perpendicular a las fibras de la muestra.
- Velocidad de Carga: 0.305 mm/min.
- Desplazamiento Máximo: Hasta la fractura de la muestra

Tracción Paralela y Perpendicular:

- Tipo de Ensayo: Paralela y perpendicular a las fibras.
- Velocidad de Carga: 2 MPa/min.
- Desplazamiento Máximo: Hasta la fractura de la muestra.
- Equipamiento Adicional: Mordazas diseñadas específicamente para ensayos de tracción en madera.

Flexión:

- Configuración de Soportes: Dos soportes alineados y separados por una distancia de 710 mm.
- Aplicación de Carga: En el centro del vano.
- Velocidad de Movimiento de la Cruceta: 0.6 mm/min.
- Desplazamiento Máximo: Hasta la fractura de la muestra.

Corte:

- Equipamiento Adicional: Mordazas diseñadas específicamente para ensayos de corte en madera.
- Velocidad de Carga y Desplazamiento Máximo: Especificar según normas estándar aplicables o requerimientos del estudio.

Dimensionamiento y diseño de probetas de Fernán Sánchez

Tabla 3

Probetas de ensayos de compresión paralela.

PROBETAS DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA FERNAN SANCHEZ			
N°	Largo (mm)	Espesor (mm)	Ancho (mm)
CPA 01 - F	200.00	52.50	50.80
CPA 02 - F	200.00	50.41	49.71
CPA 03 - F	200.00	50.49	50.41
CPA 04 - F	200.00	50.62	50.48
CPA 05 - F	200.00	49.09	51.21
CPA 06 - F	200.00	50.56	50.04
CPA 07 - F	200.00	50.52	50.51
CPA 08 - F	200.00	50.76	50.57
CPA 09 - F	200.00	50.79	51.16
CPA 10 - F	200.00	50.40	50.58
CPA 11 - F	200.00	50.32	51.06
CPA 12 - F	200.00	50.65	50.20
CPA 13 - F	200.00	50.59	50.26
CPA 14 - F	200.00	50.90	49.69
CPA 15 - F	200.00	51.10	49.37
CPA 16 - F	200.00	50.74	50.49
CPA 17 - F	200.00	50.36	50.59
CPA 18 - F	200.00	51.22	50.51
CPA 19 - F	200.00	50.45	50.70
CPA 20 - F	200.00	50.11	50.70
CPA 21 - F	200.00	50.70	50.17
CPA 22 - F	200.00	50.23	50.39
CPA 23 - F	200.00	50.40	50.34
CPA 24 - F	200.00	50.48	50.40
CPA 25 - F	200.00	50.59	59.24
CPA 26 - F	200.00	48.75	50.11
CPA 27 - F	200.00	50.65	50.78
CPA 28 - F	200.00	51.22	49.06
CPA 29 - F	200.00	49.89	49.96
CPA 30 - F	200.00	50.35	50.01

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 4*Probetas de ensayos de compresión perpendicular.*

PROBETAS DE ENSAYO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR FERNAN SANCHEZ			
N°	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)
CPE01-F	49.54	50.06	150.00
CPE02-F	50.49	50.59	150.00
CPE03-F	43.75	49.80	150.00
CPE04-F	44.40	50.82	150.00
CPE05-F	50.12	50.14	150.00
CPE06-F	50.01	49.84	150.00
CPE07-F	50.60	50.84	150.00
CPE08-F	50.73	50.76	150.00
CPE09-F	50.67	49.38	150.00
CPE10-F	51.00	46.15	150.00
CPE11-F	49.87	50.46	150.00
CPE12-F	50.54	50.52	150.00
CPE13-F	50.91	46.09	150.00
CPE14-F	51.18	50.52	150.00
CPE15-F	48.50	50.34	150.00
CPE16-F	49.91	50.78	150.00
CPE17-F	50.65	50.98	150.00
CPE18-F	50.70	49.81	150.00
CPE19-F	50.30	47.74	150.00
CPE20-F	50.28	50.46	150.00
CPE21-F	50.31	50.17	150.00
CPE22-F	49.97	50.32	150.00
CPE23-F	51.36	51.45	150.00
CPE24-F	44.13	50.51	150.00
CPE25-F	50.72	45.96	150.00
CPE26-F	50.22	50.47	150.00
CPE27-F	50.53	47.34	150.00
CPE28-F	49.84	50.68	150.00
CPE29-F	50.50	50.62	150.00
CPE30-F	51.01	47.94	150.00

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 5*Probetas de ensayos de tracción perpendicular.*

PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN PERPENDICULAR FERNAN SANCHEZ			
N°	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)
TPE01-F	25.53	47.22	49.50
TPE02-F	24.67	49.07	48.54
TPE03-F	25.98	47.30	48.71
TPE04-F	24.96	47.82	49.67
TPE05-F	26.44	47.90	49.09
TPE06-F	26.32	47.29	47.90
TPE07-F	26.40	49.22	48.74
TPE08-F	25.45	47.95	49.38
TPE09-F	24.77	49.31	48.60
TPE10-F	25.73	47.99	48.84
TPE11-F	22.16	47.59	48.91
TPE12-F	25.38	47.82	49.23
TPE13-F	25.96	48.26	49.79
TPE14-F	26.63	47.75	49.65
TPE15-F	24.90	47.83	49.16
TPE16-F	25.30	49.08	46.82
TPE17-F	23.34	47.74	49.07
TPE18-F	23.64	49.44	48.91
TPE19-F	26.32	47.78	49.51
TPE20-F	26.34	49.12	47.02
TPE21-F	23.70	47.15	48.11
TPE22-F	26.50	47.74	49.36
TPE23-F	26.18	48.16	49.51
TPE24-F	25.87	48.83	48.24
TPE25-F	26.41	49.54	47.41
TPE26-F	23.87	48.75	47.27
TPE27-F	23.67	48.80	47.84
TPE28-F	23.66	47.74	49.19
TPE29-F	25.55	47.98	49.45
TPE30-F	24.01	48.12	48.94

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 6*Probetas de ensayos de tracción paralela.*

PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN PARALELA FERNAN SANCHEZ			
N°	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)
TPA01-F	6.06	11.35	260.00
TPA02-F	5.15	9.91	261.00
TPA03-F	5.54	11.42	260.00
TPA04-F	5.26	10.93	262.00
TPA05-F	5.25	10.15	260.00
TPA06-F	5.90	10.12	261.00
TPA07-F	6.67	10.74	260.00
TPA08-F	5.20	10.20	260.00
TPA09-F	5.35	10.06	261.00
TPA10-F	4.71	11.06	260.00
TPA11-F	6.96	10.24	261.00
TPA12-F	7.14	9.38	261.00
TPA13-F	5.85	9.92	262.00
TPA14-F	6.78	9.94	259.00
TPA15-F	6.91	9.38	261.00
TPA16-F	5.59	11.01	261.00
TPA17-F	6.68	12.20	262.00
TPA18-F	7.12	11.92	261.00
TPA19-F	6.76	10.34	260.00
TPA20-F	5.40	9.79	261.00
TPA21-F	7.15	11.76	260.00
TPA22-F	5.85	10.47	262.00
TPA23-F	6.33	11.87	261.00
TPA24-F	7.34	11.77	257.00
TPA25-F	6.58	10.25	262.00
TPA26-F	7.11	11.64	258.00
TPA27-F	6.00	9.77	262.00
TPA28-F	7.34	12.48	261.00
TPA29-F	5.86	11.81	263.00
TPA30-F	6.73	11.37	261.00

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 7*Probetas de ensayos Corte.*

PROBETAS DE ENSAYO A CORTE FERNAN SANCHEZ			
N°	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Altura (mm)
COP 1-F	49.60	50.08	50.40
COP 2-F	49.29	46.90	50.00
COP 3-F	49.29	48.91	50.53
COP 4-F	49.87	48.02	50.19
COP 5-F	49.80	49.34	50.11
COP 6-F	48.91	49.98	50.14
COP 7-F	49.80	49.70	49.59
COP 8-F	48.23	50.00	50.71
COP 9-F	51.03	50.13	49.88
COP 10-F	46.87	50.54	50.61
COP 11-F	50.72	50.08	50.33
COP 12-F	50.17	50.61	50.76
COP 13-F	50.03	49.46	49.68
COP 14-F	48.82	50.25	50.48
COP 15-F	51.04	50.20	50.32
COP 16-F	48.50	49.90	50.90
COP 17-F	48.45	50.72	50.42
COP 18-F	49.51	49.10	50.48
COP 19-F	48.30	50.12	49.52
COP 20-F	45.68	49.83	49.63
COP 21-F	50.03	50.17	51.00
COP 22-F	47.77	49.92	50.42
COP 23-F	49.03	49.65	50.47
COP 24-F	49.06	49.86	50.19
COP 25-F	48.89	49.50	50.14
COP 26-F	48.97	49.82	49.80
COP 27-F	51.54	50.72	50.91
COP 28-F	49.26	50.00	49.77
COP 29-F	49.13	50.29	50.45
COP 30-F	48.90	49.84	50.40

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 8*Probetas de ensayos de Flexión.*

PROBETAS DE ENSAYO A FLEXION FERNAN SANCHEZ			
N°	Largo (mm)	Espesor (mm)	Ancho (mm)
F01-F	710.00	49.37	50.84
F02-F	710.00	49.95	49.92
F03-F	710.00	50.48	49.91
F04-F	710.00	50.21	50.42
F05-F	710.00	49.64	50.24
F06-F	710.00	51.19	49.33
F07-F	710.00	49.33	50.00
F08-F	710.00	50.18	47.75
F09-F	710.00	50.22	51.01
F10-F	710.00	50.21	49.61
F11-F	710.00	50.34	51.17
F12-F	710.00	51.94	49.91
F13-F	710.00	49.61	50.40
F14-F	710.00	50.78	50.18
F15-F	710.00	49.88	50.96
F16-F	710.00	49.73	50.29
F17-F	710.00	50.40	50.78
F18-F	710.00	51.20	50.83
F19-F	710.00	50.40	50.66
F20-F	710.00	50.48	48.99
F21-F	710.00	51.04	51.56
F22-F	710.00	50.34	50.17
F23-F	710.00	50.16	50.65
F24-F	710.00	49.46	51.27
F25-F	710.00	50.54	50.19
F26-F	710.00	50.40	50.80
F27-F	710.00	50.12	51.09
F28-F	710.00	51.17	49.73
F29-F	710.00	50.00	50.91
F30-F	710.00	50.59	50.08

Nota. Elaboración de los autores

Dimensionamiento y diseño de probetas de Guachapelí.

Tabla 9

Probetas de ensayos de compresión paralela.

PROBETAS DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA GUACHAPELI			
N°	Largo (mm)	Espesor (mm)	Ancho (mm)
CPA 01 - G	200.00	51.30	52.04
CPA 02 - G	200.00	51.32	52.04
CPA 03 - G	200.00	49.75	52.31
CPA 04 - G	200.00	49.80	51.05
CPA 05 - G	200.00	50.50	50.65
CPA 06 - G	200.00	51.91	50.06
CPA 07 - G	200.00	50.27	51.30
CPA 08 - G	200.00	50.54	51.20
CPA 09 - G	200.00	50.96	51.39
CPA 10 - G	200.00	50.90	50.11
CPA 11 - G	200.00	50.24	50.95
CPA 12 - G	200.00	50.16	51.26
CPA 13 - G	200.00	46.26	50.50
CPA 14 - G	200.00	50.21	50.38
CPA 15 - G	200.00	51.13	50.41
CPA 16 - G	200.00	49.97	50.04
CPA 17 - G	200.00	51.01	51.21
CPA 18 - G	200.00	49.92	51.24
CPA 19 - G	200.00	49.56	51.56
CPA 20 - G	200.00	49.61	49.85
CPA 21 - G	200.00	49.30	50.79
CPA 22 - G	200.00	51.02	50.22
CPA 23 - G	200.00	47.60	51.13
CPA 24 - G	200.00	51.06	51.13
CPA 25 - G	200.00	51.64	51.26
CPA 26 - G	200.00	51.71	50.90
CPA 27 - G	200.00	49.71	52.26
CPA 28 - G	200.00	50.59	50.52
CPA 29 - G	200.00	51.76	50.99
CPA 30 - G	200.00	51.65	51.00

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 10*Probetas de ensayos de compresión perpendicular.*

PROBETAS DE ENSAYO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR GUACHAPELI			
N°	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)
CPE01-G	52.47	50.40	150.00
CPE02-G	50.04	52.06	150.00
CPE03-G	51.75	50.15	150.00
CPE04-G	50.00	50.95	150.00
CPE05-G	50.88	50.98	150.00
CPE06-G	50.94	49.84	150.00
CPE07-G	50.92	50.18	150.00
CPE08-G	51.30	50.50	150.00
CPE09-G	50.95	50.87	150.00
CPE10-G	50.51	51.00	150.00
CPE11-G	50.15	51.59	150.00
CPE12-G	50.45	50.93	150.00
CPE13-G	50.00	51.60	150.00
CPE14-G	51.00	50.23	150.00
CPE15-G	50.77	51.14	150.00
CPE16-G	50.36	52.16	150.00
CPE17-G	50.64	51.00	150.00
CPE18-G	50.60	48.52	150.00
CPE19-G	50.60	51.25	150.00
CPE20-G	51.00	49.66	150.00
CPE21-G	50.66	50.00	150.00
CPE22-G	50.09	52.85	150.00
CPE23-G	51.69	50.19	150.00
CPE24-G	51.12	50.24	150.00
CPE25-G	49.95	51.45	150.00
CPE26-G	51.96	50.76	150.00
CPE27-G	50.94	51.00	150.00
CPE28-G	49.76	51.15	150.00
CPE29-G	51.62	50.00	150.00
CPE30-G	51.18	50.48	150.00

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 11*Probetas de ensayos de tracción perpendicular.*

PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN PERPENDICULAR GUACHAPELI			
N°	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)
TPE01-G	25.95	47.62	49.78
TPE02-G	26.21	48.99	48.71
TPE03-G	25.24	44.72	50.59
TPE04-G	26.24	48.74	48.71
TPE05-G	25.74	47.26	49.28
TPE06-G	24.23	49.27	49.22
TPE07-G	25.96	47.54	49.52
TPE08-G	24.72	48.49	49.92
TPE09-G	26.01	48.6	48.17
TPE10-G	25.98	46.82	49.82
TPE11-G	24.35	48	50.11
TPE12-G	23.25	46.37	48.8
TPE13-G	25.75	48.96	49.64
TPE14-G	24.46	48.14	49.68
TPE15-G	25.91	48.63	49.99
TPE16-G	26.64	49.1	48.69
TPE17-G	26.67	48.66	48
TPE18-G	26.64	48.93	49.46
TPE19-G	23.69	48.62	50.45
TPE20-G	24.67	48.48	50.34
TPE21-G	26.1	49.13	49.7
TPE22-G	26.3	47.31	48.87
TPE23-G	24.41	48.17	48.85
TPE24-G	26.15	48.43	50.04
TPE25-G	24.91	49.11	49.49
TPE26-G	24.3	48.9	49.39
TPE27-G	26.42	48.68	49.58
TPE28-G	25.03	47.79	48.2
TPE29-G	25.71	48.9	49.69
TPE30-G	25.79	48.56	49.88

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 12*Probetas de ensayos de tracción paralela.*

PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN PARALELA GUACHAPELI			
N°	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)
TPA01-G	5.74	11.08	259.00
TPA02-G	4.95	10.56	259.00
TPA03-G	5.81	11.78	258.00
TPA04-G	5.38	11.34	259.00
TPA05-G	5.68	9.44	259.00
TPA06-G	6.54	11.61	260.00
TPA07-G	5.15	12.13	259.00
TPA08-G	5.33	10.43	258.00
TPA09-G	6.47	10.32	260.00
TPA10-G	4.74	9.90	257.00
TPA11-G	6.92	10.49	257.00
TPA12-G	6.15	12.50	258.00
TPA13-G	5.10	11.62	261.00
TPA14-G	5.35	11.29	260.00
TPA15-G	4.84	11.31	261.00
TPA16-G	4.92	10.48	259.00
TPA17-G	5.92	9.86	261.00
TPA18-G	4.34	10.48	264.00
TPA19-G	5.00	11.51	259.00
TPA20-G	5.02	11.25	259.00
TPA21-G	5.85	10.92	261.00
TPA22-G	5.48	11.60	261.00
TPA23-G	5.83	10.82	261.00
TPA24-G	6.11	11.58	259.00
TPA25-G	6.13	10.35	259.00
TPA26-G	8.38	11.15	259.00
TPA27-G	6.28	12.57	260.00
TPA28-G	4.60	11.15	262.00
TPA29-G	5.75	9.73	261.00
TPA30-G	5.57	11.69	260.00

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 13*Probetas de ensayos Corte.*

PROBETAS DE ENSAYO A CORTE GUACHAPELI			
N°	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Altura (mm)
COP01-G	50.74	48.11	48.61
COP02-G	51.93	49.38	49.82
COP03-G	50.29	44.96	49.53
COP04-G	50.41	51.49	50.42
COP05-G	48.43	50.62	50.57
COP06-G	50.21	51.72	51.06
COP07-G	50.87	51.20	50.24
COP08-G	51.63	50.42	49.65
COP09-G	51.78	50.98	49.32
COP10-G	50.29	50.46	50.18
COP11-G	51.63	50.42	50.29
COP12-G	50.91	50.44	50.70
COP13-G	51.78	50.98	50.55
COP14-G	50.98	50.82	50.06
COP15-G	50.28	46.40	50.00
COP16-G	50.85	47.22	51.36
COP17-G	49.43	51.96	50.40
COP18-G	48.56	50.86	49.65
COP19-G	50.27	51.45	48.83
COP20-G	51.20	50.21	50.89
COP21-G	50.65	51.84	49.25
COP22-G	50.60	48.97	50.27
COP23-G	50.93	50.60	50.98
COP24-G	49.39	51.33	50.18
COP25-G	50.75	50.82	49.32
COP26-G	50.83	50.57	47.23
COP27-G	48.70	48.67	50.70
COP28-G	51.80	50.30	49.39
COP29-G	51.30	50.88	50.64
COP30-G	50.38	51.39	49.58

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 14*Probetas de ensayos de Flexión.*

PROBETAS DE ENSAYO A FLEXION GUACHAPELI			
N°	Largo (mm)	Espesor (mm)	Ancho (mm)
F01-G	740.00	50.60	51.05
F02-G	746.00	51.15	50.98
F03-G	731.00	50.77	51.37
F04-G	744.00	51.07	49.35
F05-G	750.00	50.50	51.46
F06-G	730.00	51.17	50.55
F07-G	731.00	51.14	51.79
F08-G	728.00	50.75	49.45
F09-G	737.00	50.25	50.89
F10-G	730.00	51.42	51.48
F11-G	750.00	50.41	50.08
F12-G	747.00	51.81	49.21
F13-G	731.00	51.22	50.40
F14-G	732.00	51.56	50.90
F15-G	737.00	50.94	51.46
F16-G	740.00	51.19	50.97
F17-G	738.00	50.59	50.00
F18-G	731.00	50.67	51.54
F19-G	736.00	52.48	50.70
F20-G	730.00	50.85	50.72
F21-G	728.00	51.78	50.95
F22-G	724.00	50.06	51.35
F23-G	736.00	51.15	51.26
F24-G	715.00	51.16	49.20
F25-G	736.00	50.61	50.52
F26-G	731.00	52.34	52.04
F27-G	726.00	51.15	51.04
F28-G	733.00	50.58	50.89
F29-G	716.00	49.82	50.89
F30-G	727.00	51.30	50.04

Nota. Elaboración de los autores

Resultados

El análisis desarrollado tuvo como objetivo examinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera de las especies Fernán Sánchez y Guachapelí. Para ello, se recolectaron muestras que fueron transformadas en probetas de acuerdo con los lineamientos establecidos en la norma ASTM D143-22.

Se realizaron seis tipos de ensayos mecánicos en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la carrera de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí: compresión paralela y perpendicular, tracción paralela y perpendicular, flexión y corte. Cada ensayo incluyó 30 probetas, garantizando la consistencia y validez de los datos obtenidos.

Los resultados obtenidos en cada tipo de ensayo fueron tabulados de manera sistemática y se presentan en las siguientes secciones, junto con el análisis detallado que permite evaluar y comparar las propiedades mecánicas de ambas especies de madera.

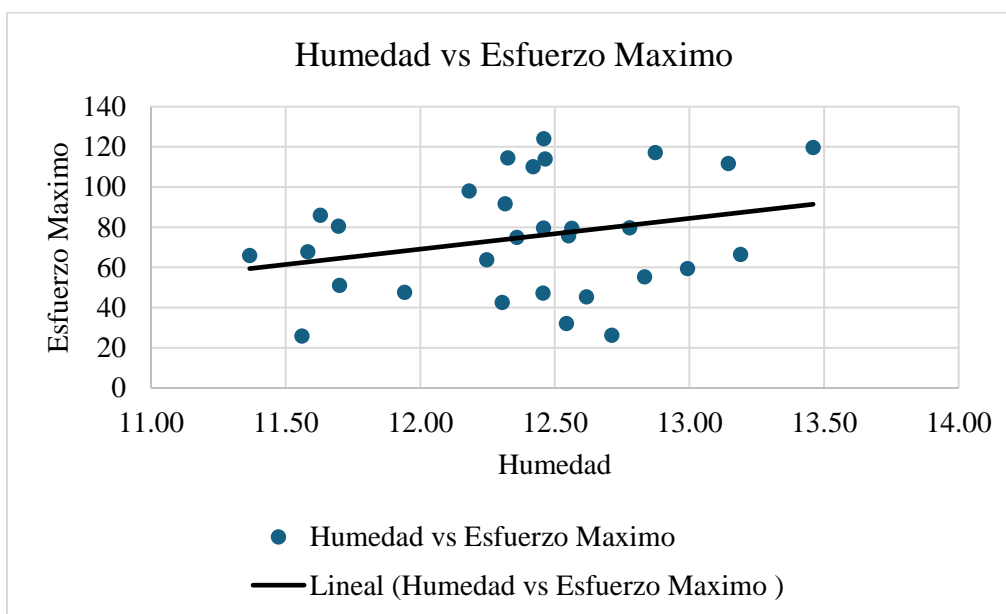
A continuación, se mostrarán resultados del procedimiento para el tratamiento y análisis de cada uno de los especímenes de madera donde se determinó los parámetros de humedad en las Tablas 17 y 18 (ver en anexos) y densidad como se muestran en los Anexos 1 y 2.

La Figura 18 muestra la relación entre el contenido de humedad (%) y el esfuerzo máximo (unidades) obtenido en las muestras analizadas. Se observa una tendencia lineal positiva moderada, representada por la línea de tendencia. Esto sugiere que un incremento en el contenido de humedad podría estar relacionado con un aumento del esfuerzo máximo. Sin embargo, la dispersión de los datos indica que esta relación no es completamente determinante.

El contenido de humedad promedio de las muestras es 12.39%, con una desviación estándar de 0.52%. Esto refleja una leve variabilidad en los valores medidos. A pesar de la tendencia observada, la distribución dispersa de los puntos sugiere que otros factores, como las características del material o las condiciones del ensayo, podrían estar influyendo en el esfuerzo máximo. Por lo tanto, aunque el contenido de humedad parece tener un efecto en las propiedades mecánicas, no es el único factor relevante en este contexto.

Figura 18

Grafica de dispersión de la humedad vs esfuerzo máximo Fernán Sánchez.

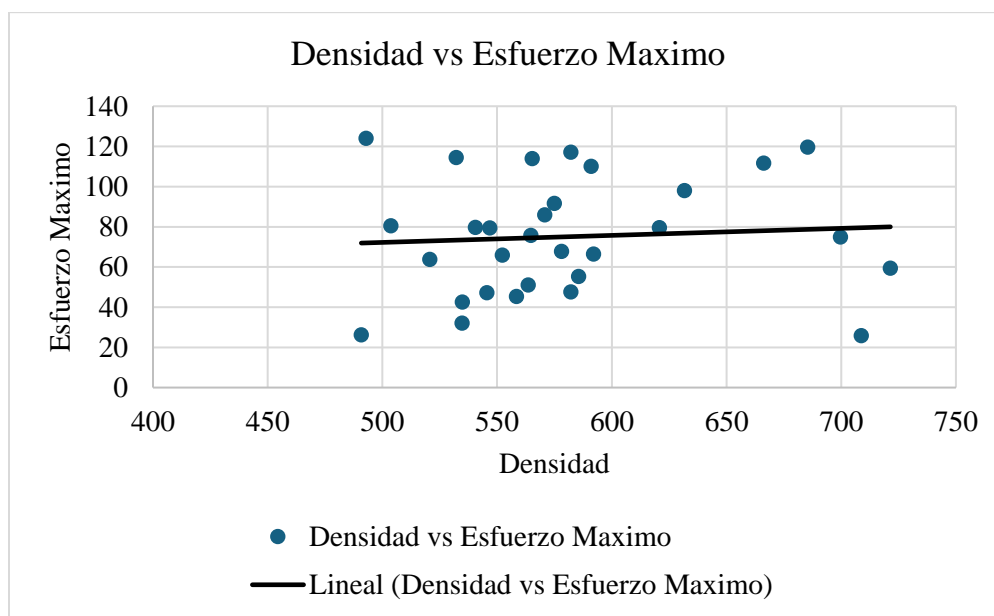


La Figura 19 muestra la relación entre la densidad (kg/m^3) y el esfuerzo máximo (unidades) obtenido en las muestras analizadas. Se observa una tendencia lineal ligeramente positiva, representada por la línea de tendencia, lo que indica una relación débil entre estas variables. Esto sugiere que un aumento en la densidad podría estar asociado con un incremento leve en el esfuerzo máximo, aunque la dispersión de los datos implica que esta relación no es significativa.

El contenido de humedad promedio de las muestras es 12.39%, con una desviación estándar de 0.52%. A pesar de la consistencia en las mediciones de humedad, la distribución dispersa de los puntos en la gráfica sugiere la influencia de otros factores, como las propiedades internas del material o las condiciones del ensayo, en el esfuerzo máximo. Por lo tanto, aunque la densidad podría contribuir a las propiedades mecánicas del material, no parece ser el único factor relevante en este análisis.

Figura 19

Grafica de dispersión de la densidad vs esfuerzo máximo Fernán Sánchez.

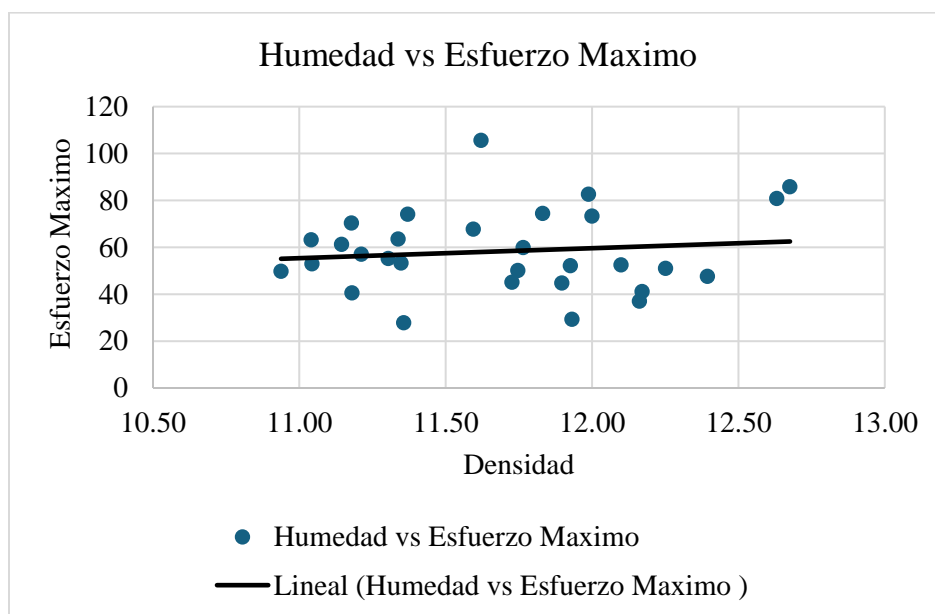


La figura 20 ilustra la relación entre el contenido de humedad (%) y el esfuerzo máximo (unidades) obtenido en las muestras analizadas. Se observa una tendencia lineal positiva leve, reflejada por la línea de tendencia. Esto indica que un aumento en el contenido de humedad podría estar relacionado con un incremento del esfuerzo máximo, aunque la dispersión de los datos sugiere que esta relación no es completamente determinante.

El contenido de humedad promedio de las muestras es 11.70%, con una desviación estándar de 0.48%, lo que muestra consistencia en las mediciones. Sin embargo, los puntos en el gráfico están distribuidos de manera dispersa, lo que indica la posible influencia de otros factores, como la composición del material o las condiciones del ensayo, sobre el esfuerzo máximo. Esta relación tenue sugiere que, aunque el contenido de humedad puede influir en las propiedades mecánicas, no es el único factor relevante en este contexto.

Figura 20

Grafica de dispersión de la humedad vs esfuerzo máximo Guachapelí.

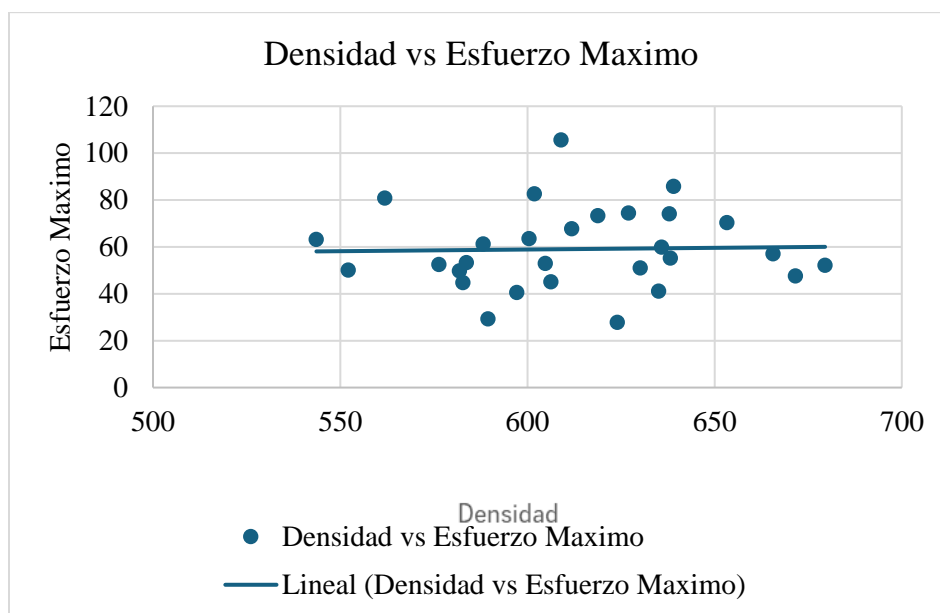


La Figura 21 muestra la relación entre la densidad (kg/m^3) y el esfuerzo máximo (unidades) de las muestras analizadas. Se aprecia una tendencia lineal prácticamente horizontal, representada por la línea de tendencia, lo que sugiere que no existe una relación significativa entre estas variables. La dispersión de los datos refleja que el esfuerzo máximo varía ampliamente incluso para densidades similares, indicando que otros factores podrían estar influyendo en los resultados.

El contenido de humedad promedio de las muestras es 11.70%, con una desviación estándar de 0.48%, lo que demuestra consistencia en las mediciones. A pesar de ello, la distribución dispersa de los puntos en el gráfico resalta la complejidad del comportamiento mecánico del material, sugiriendo que la densidad no es un factor determinante en el esfuerzo máximo y que podrían estar involucradas otras características del material o condiciones específicas del ensayo.

Figura 21

Grafica de dispersión de la densidad vs esfuerzo máximo Guachapelí.



Ensayos Propiedades de Resistencia Mecánica de la Madera Fernán Sánchez.

Resultados de ensayos de Compresión Paralela

La Tabla 19 en anexos muestra los resultados obtenidos en las pruebas de compresión paralela realizadas a la madera de *Fernán Sánchez* según la norma ASTM D143. Estas pruebas permiten evaluar la capacidad del material para resistir esfuerzos perpendiculares a sus fibras, un parámetro crucial en aplicaciones estructurales específicas. En términos de esfuerzo máximo, el promedio alcanzado fue de 29.76 N/mm², con valores que varían entre 22.92 N/mm² y 37.62 N/mm², mostrando una dispersión moderada (coeficiente de variación del 13.98%), lo cual resalta la uniformidad relativa del comportamiento mecánico del material.

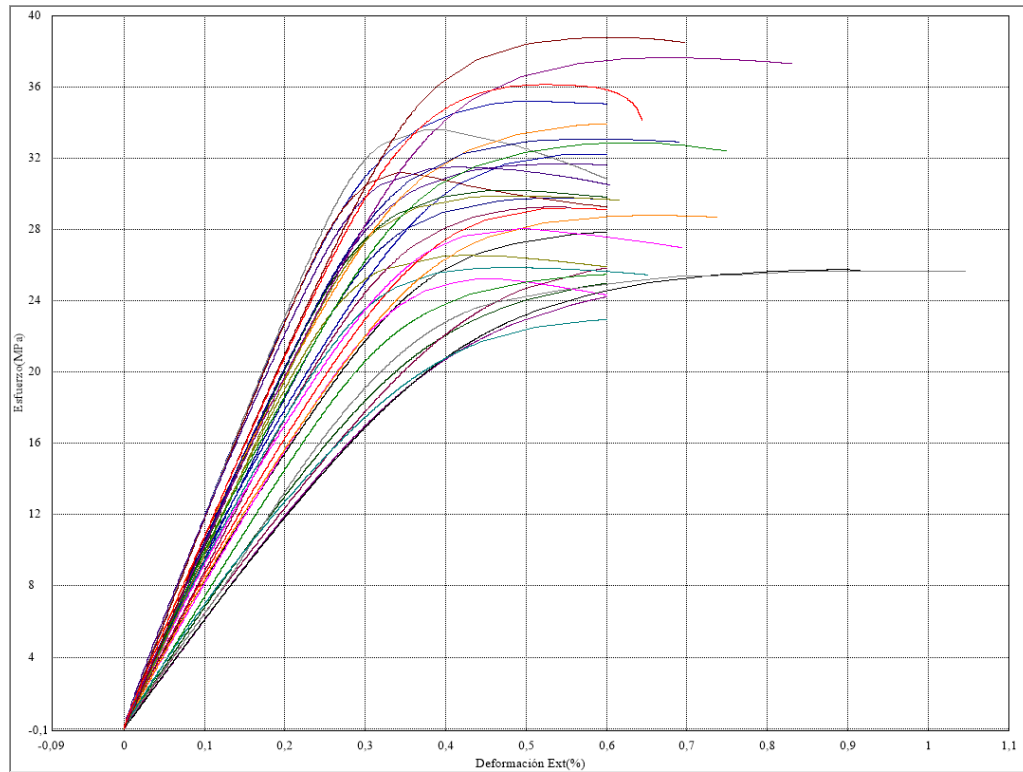
En cuanto al desplazamiento máximo, se observó un promedio de 0.567 mm, con una variabilidad más alta (coeficiente de variación del 24.06%), lo que refleja las diferencias estructurales internas de las muestras.

En lo que respecta a la rigidez, el módulo elástico promedió 7985.60 N/mm², con una dispersión significativa (coeficiente de variación del 19.21%), lo que sugiere la necesidad de controles adicionales para asegurar un rendimiento consistente en aplicaciones estructurales.

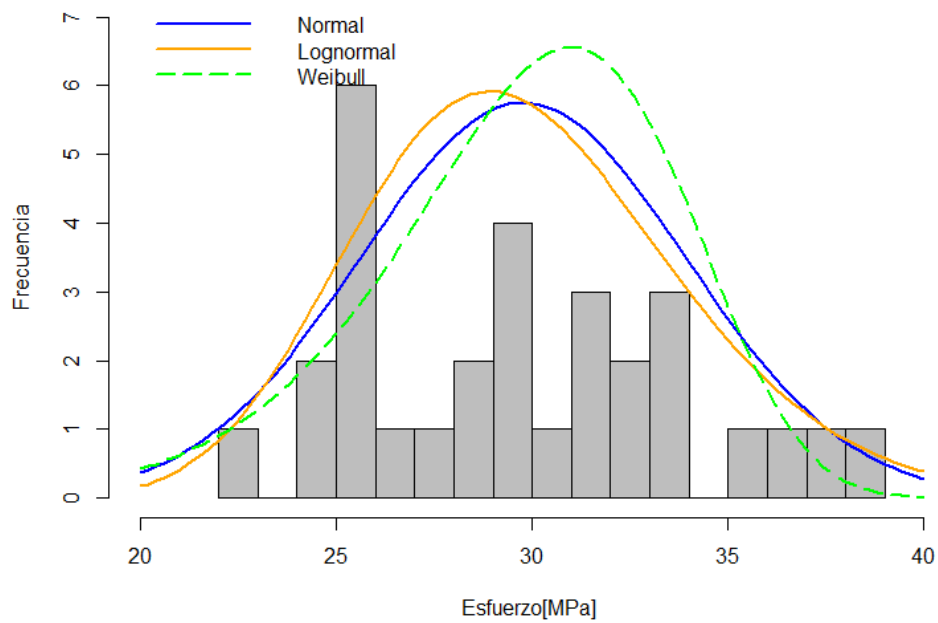
En la Figura 22, se observó una alta dispersión entre el módulo elástico y el esfuerzo máximo, lo que indica una considerable variabilidad en las propiedades mecánicas de las muestras, influenciada por factores internos como la densidad y los nudos. Por otro lado, la Figura 23 muestra que las distribuciones ajustadas (normal, log-normal y Weibull) indican que la distribución Weibull es la que mejor se adapta a los datos, mientras que la normal presentó un ajuste menos adecuado. En resumen, los resultados sugieren que el comportamiento de la madera sigue una distribución Weibull, con alta variabilidad en sus propiedades bajo compresión.

Figura 22

Gráfica de Esfuerzo vs Deformación de compresión paralelo

**Figura 23**

Distribución estadística. Esfuerzo máximo a compresión paralela. Fernán Sánchez.



Ensayos de Compresión Perpendicular

La Tabla 20 en anexos muestra los resultados obtenidos en las pruebas de compresión perpendicular realizadas a la madera de *Fernán Sánchez* según la norma ASTM D143.

El esfuerzo máximo promedio alcanzado fue de 9.97 N/mm², con un rango de 7.69 N/mm² a 12.03 N/mm² y un coeficiente de variación de 12.45%. Este valor evidencia una variabilidad moderada entre las muestras, característica típica de materiales naturales como la madera. En cuanto al desplazamiento máximo, todas las muestras mostraron un valor homogéneo de 3.00 mm, con una variabilidad prácticamente nula, lo cual destaca la consistencia en este parámetro.

La deformación máxima promedió 6.07%, con un rango de 5.83% a 6.98% y una baja variación (4.29%), lo cual refuerza la estabilidad del material bajo esfuerzos de compresión perpendicular.

Finalmente, el módulo elástico promedio fue de 559.85 N/mm², con una mayor dispersión (coeficiente de variación del 16.51%). Este comportamiento sugiere cierta heterogeneidad en la rigidez del material, posiblemente asociada a las características intrínsecas de las fibras de madera.

Figura 24

Grafica de Esfuerzo vs Deformación de compresión perpendicular

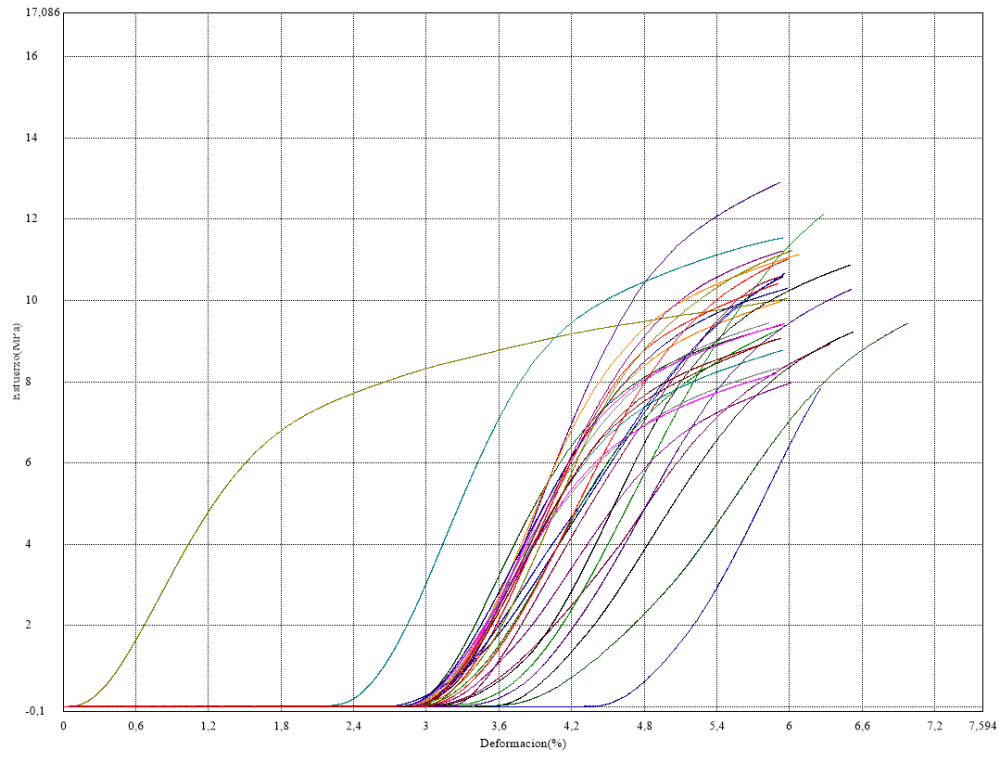
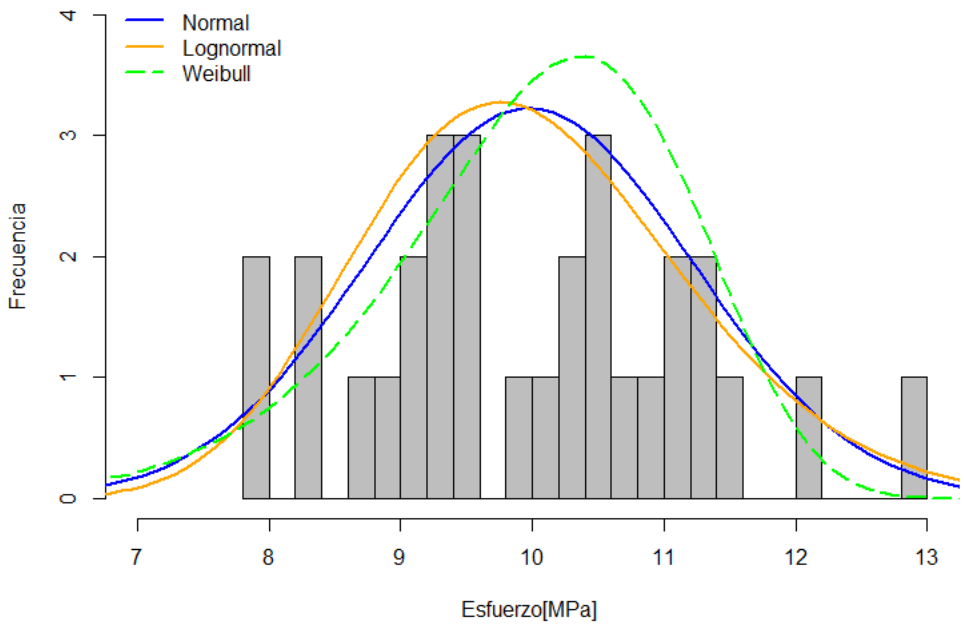


Figura 25

Distribución estadística. Esfuerzo máximo a compresión perpendicular. Fernán Sánchez



Ensayos de Tracción Perpendicular

La Tabla 21 en anexos muestra los resultados obtenidos en las pruebas de tracción perpendicular realizadas a la madera de *Fernán Sánchez* según la norma ASTM D143. El esfuerzo máximo promedio registrado fue de 4.00 N/mm², con un rango de 2.12 N/mm² a 7.57 N/mm². La desviación estándar fue de 1.40 N/mm² y el coeficiente de variación del 35.22%, lo que refleja una variabilidad considerable en la resistencia, probablemente atribuible a variaciones en la estructura interna del material.

En cuanto al desplazamiento máximo, el promedio obtenido fue de 0.97 mm, con una baja dispersión (coeficiente de variación de 30.12%). Este resultado indica una relativa consistencia en las deformaciones antes de la ruptura. La deformación máxima promedió 2.00%, con un coeficiente de variación de 29.95%. Aunque muestra una ligera dispersión, los valores permanecen dentro de un rango esperado para este tipo de madera.

El módulo elástico promedio fue de 223.74 N/mm², destacándose una alta variabilidad con un coeficiente de variación de 36.75%. Esta dispersión sugiere diferencias significativas en la rigidez de las muestras, lo que podría limitar la uniformidad del desempeño estructural en aplicaciones críticas.

En la Figura 26, se observa una alta dispersión entre el módulo elástico y el esfuerzo máximo, lo que indica variabilidad en las propiedades mecánicas de las muestras, influenciada por factores internos como la densidad y los nudos. En la Figura 27, las distribuciones ajustadas muestran que la distribución Weibull es la que mejor se adapta a los datos, mientras que la normal presenta un ajuste menos preciso. En resumen, los resultados sugieren que el

comportamiento de la madera sigue una distribución Weibull, con alta variabilidad en sus propiedades bajo compresión.

Figura 26

Grafica de Esfuerzo vs Deformación de tracción paralela

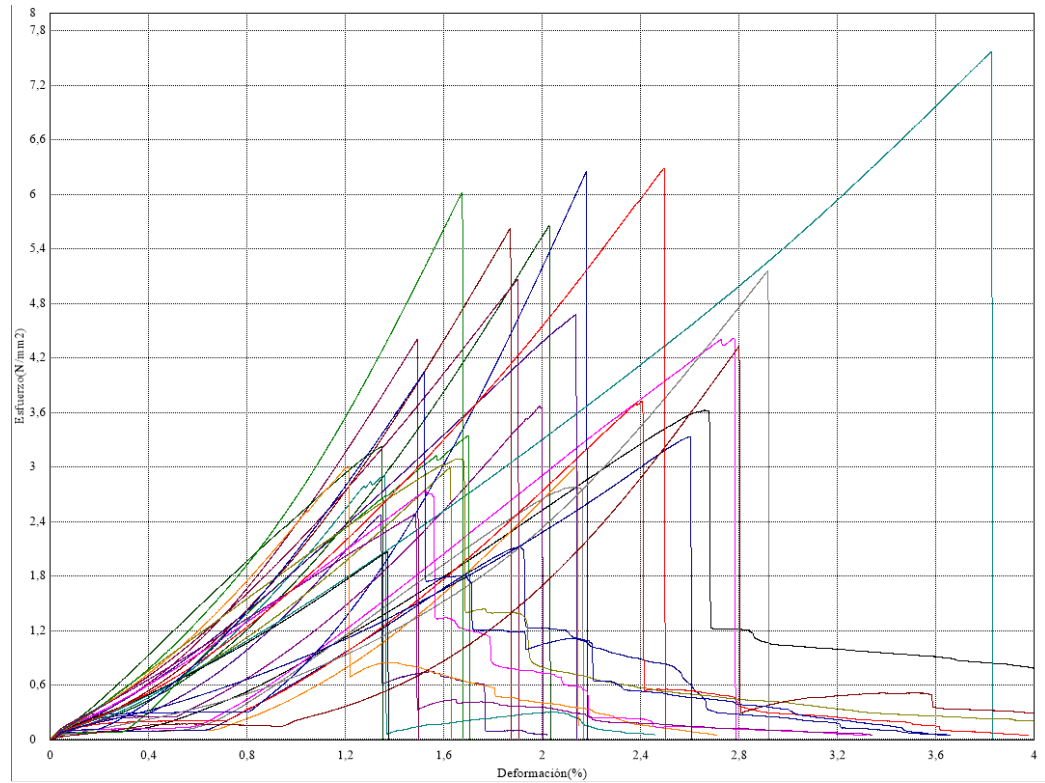
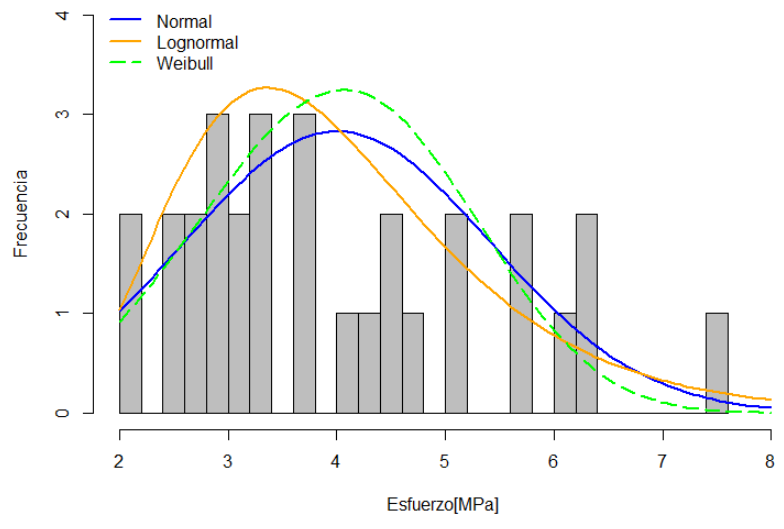


Figura 27

Distribución estadística. Esfuerzo máximo a tracción paralela. Fernán Sánchez.



Ensayos de Tracción Paralela

La Tabla 22 en anexos muestra los resultados obtenidos en las pruebas de tracción paralela realizadas a la madera de *Fernán Sánchez* según la norma ASTM D143.

El esfuerzo máximo promedio fue de 4.00 N/mm², con un rango entre 2.12 N/mm² y 7.57 N/mm². La desviación estándar fue de 1.40 N/mm² y el coeficiente de variación de 35.22% muestra una alta variabilidad en la resistencia del material, lo que sugiere la necesidad de clasificar las piezas según su capacidad de carga para aplicaciones críticas.

En cuanto al desplazamiento máximo, se obtuvo un promedio de 0.97 mm, con un coeficiente de variación de 30.12%, lo que refleja una consistencia moderada en las deformaciones antes de la ruptura, lo cual es favorable para aplicaciones estructurales.

La deformación máxima promedió 2.00%, con una dispersión moderada reflejada en un coeficiente de variación de 29.95%, lo que indica un comportamiento dentro de los rangos esperados para este tipo de madera.

Finalmente, el módulo elástico promedio fue de 223.74 N/mm², con un coeficiente de variación de 36.75%, lo que muestra una significativa dispersión en la rigidez, sugiriendo variabilidad en la respuesta estructural de las muestras.

Figura 28

Grafica de Esfuerzo vs Deformación de tracción paralela

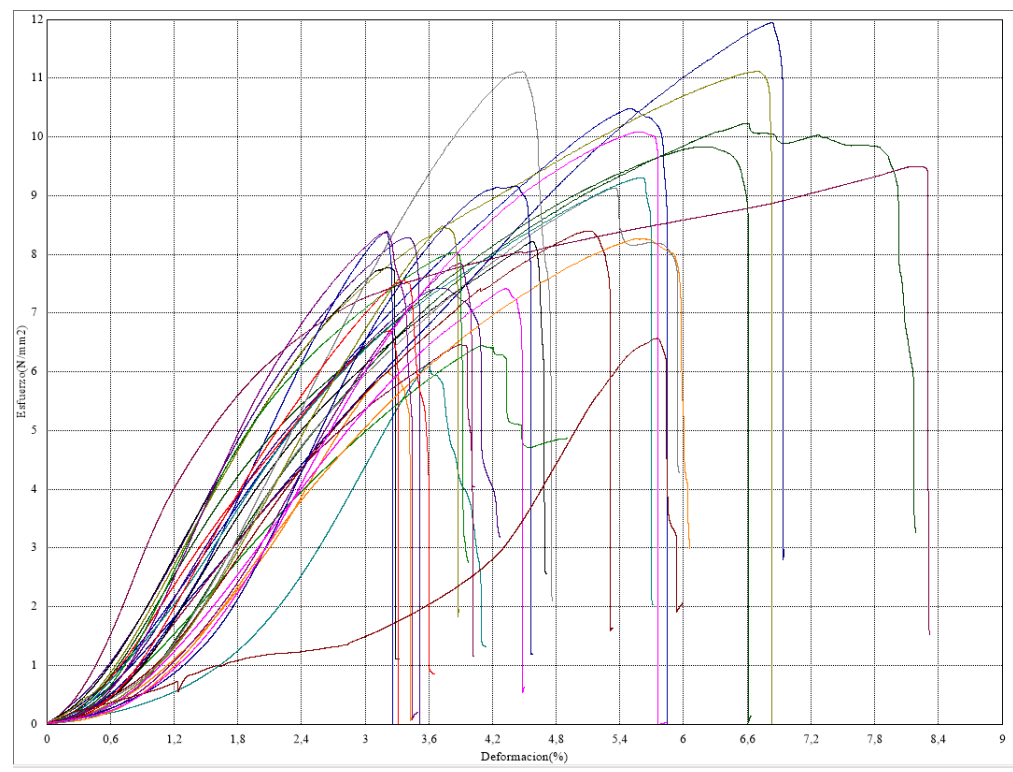
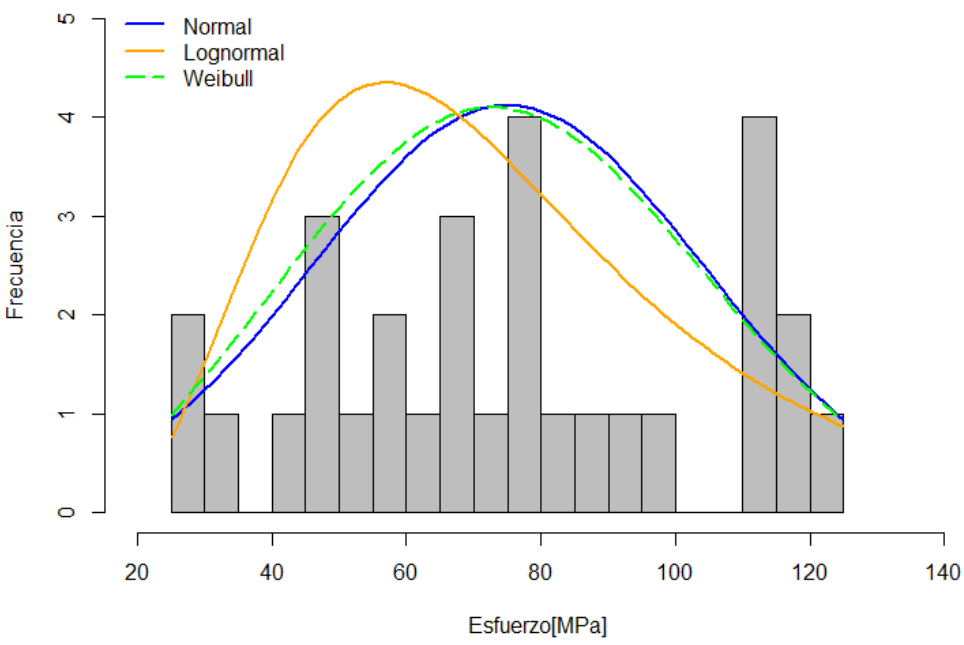


Figura 29

Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo de tracción paralela



Ensayos de Flexión

La Tabla 23 en anexos muestra los resultados obtenidos en las pruebas de flexión realizadas a la madera de *Fernán Sánchez* según la norma ASTM D143. El esfuerzo máximo promedio fue de 59.95 N/mm², con un rango que varió entre 27.47 N/mm² y 88.99 N/mm². La desviación estándar de 15.20 N/mm² sugiere una variabilidad importante, lo que implica que las piezas deben ser clasificadas según su capacidad de carga para asegurar su desempeño en aplicaciones estructurales. En cuanto al desplazamiento máximo, se registró un promedio de 12.66 mm, con un rango de 6.84 mm a 21.92 mm. La desviación estándar de 3.82 mm muestra una mayor variabilidad en las deformaciones antes de la ruptura, lo que podría estar relacionado con la heterogeneidad de la madera.

La deformación máxima promedió 0.76%, con un rango de 0.43% a 1.31%. La desviación estándar de 0.23% muestra una dispersión ligera, lo que indica que las deformaciones son bastante consistentes, aunque con algunas variaciones. Finalmente, el módulo elástico promedio fue de 9583.83 N/mm², con un rango de 5974.6 N/mm² a 11550.7 N/mm². La desviación estándar de 1430.36 N/mm² sugiere una buena consistencia en la rigidez del material, aunque las diferencias entre muestras podrían afectar su desempeño estructural en aplicaciones críticas.

En la Figura 30, se observa una alta dispersión entre el módulo elástico y el esfuerzo máximo, lo que refleja una significativa variabilidad en las propiedades mecánicas de las muestras, probablemente debido a factores internos como la densidad y la presencia de nudos. En la Figura 31, las distribuciones ajustadas muestran que la Weibull es la que mejor se adapta a los datos, mientras que la normal tiene un ajuste menos adecuado, indicando que el comportamiento de la madera sigue una distribución Weibull, con una alta variabilidad bajo compresión.

Figura 30

Grafica de Esfuerzo vs Deformación de flexión

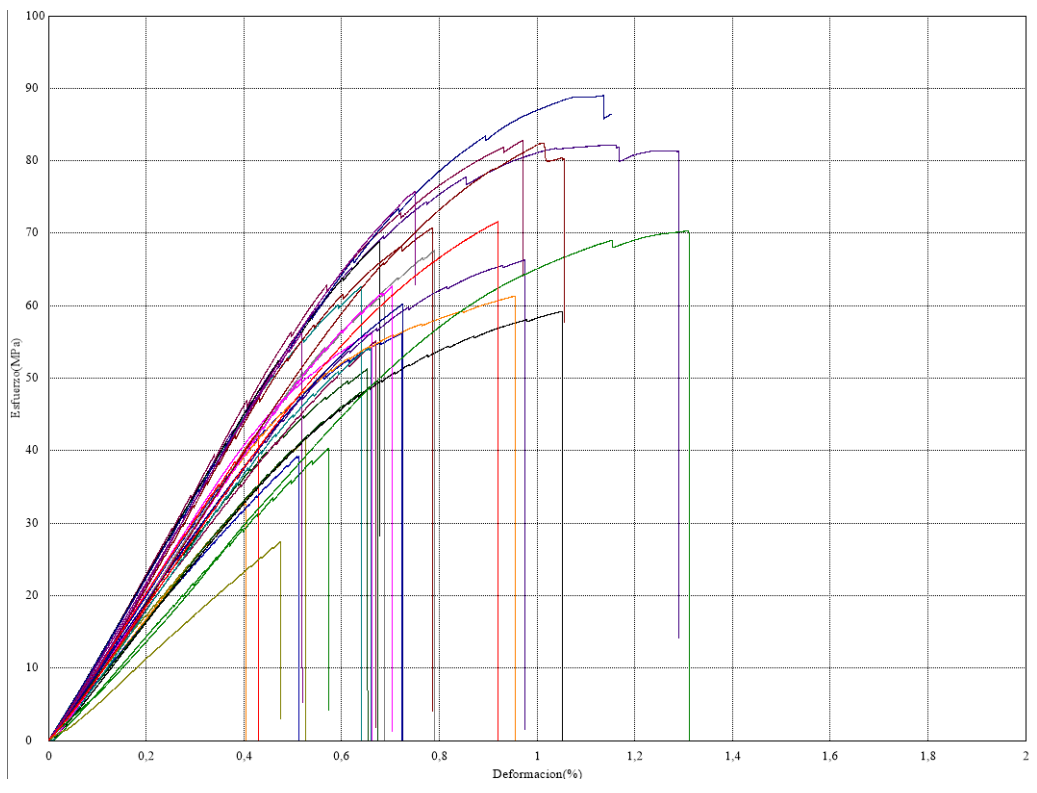
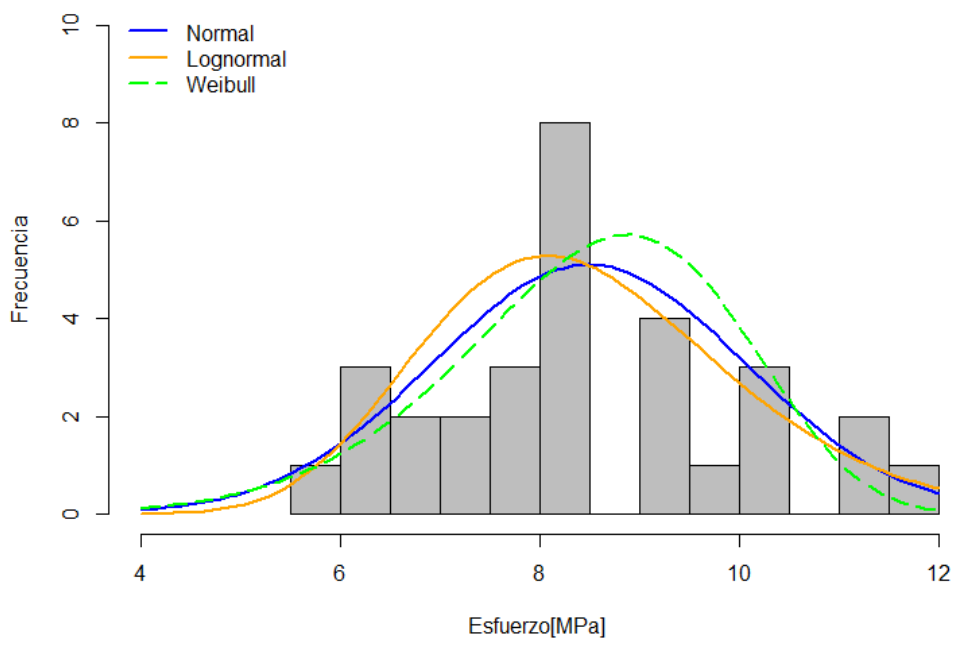


Figura 31

Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo de flexión



Ensayo de Corte

La Tabla 24 en anexos muestra los resultados obtenidos en las pruebas corte realizadas a la madera de *Fernán Sánchez* según la norma ASTM D143. El esfuerzo máximo promedio fue de 8.49 N/mm², con una desviación estándar de 1.57 N/mm², lo que muestra una diferencia notable en la resistencia al corte de las muestras. Este comportamiento puede ser indicativo de la heterogeneidad del material.

En cuanto al desplazamiento máximo, el promedio registrado fue de 2.35 mm, con una desviación estándar de 0.66 mm, lo que sugiere una moderada variabilidad en la deformación de las muestras, aunque en general, las muestras se comportaron de manera consistente.

La deformación máxima promedió 4.68%, con una desviación estándar de 1.33%, lo que refleja una variabilidad considerable. Algunas muestras tuvieron una mayor capacidad de deformarse antes de fallar.

Finalmente, el módulo elástico promedio fue de 217.67 N/mm², con una desviación estándar de 81.16 N/mm², indicando una gran variabilidad en la rigidez de las muestras. Esto implica que algunas muestras fueron más rígidas que otras.

En la Figura 32, se observa una considerable dispersión entre el módulo elástico y el esfuerzo máximo, lo que indica una gran variabilidad en las propiedades mecánicas de las muestras, influenciada por factores como la densidad y los nudos. En la Figura 33, las distribuciones ajustadas muestran que la distribución Weibull es la que mejor se adapta a los datos, mientras que la normal presenta un ajuste menos adecuado. En resumen, los resultados sugieren que el comportamiento de la madera sigue una distribución Weibull, con alta variabilidad en sus propiedades bajo compresión.

Figura 32

Grafica de Esfuerzo vs Deformación de corte

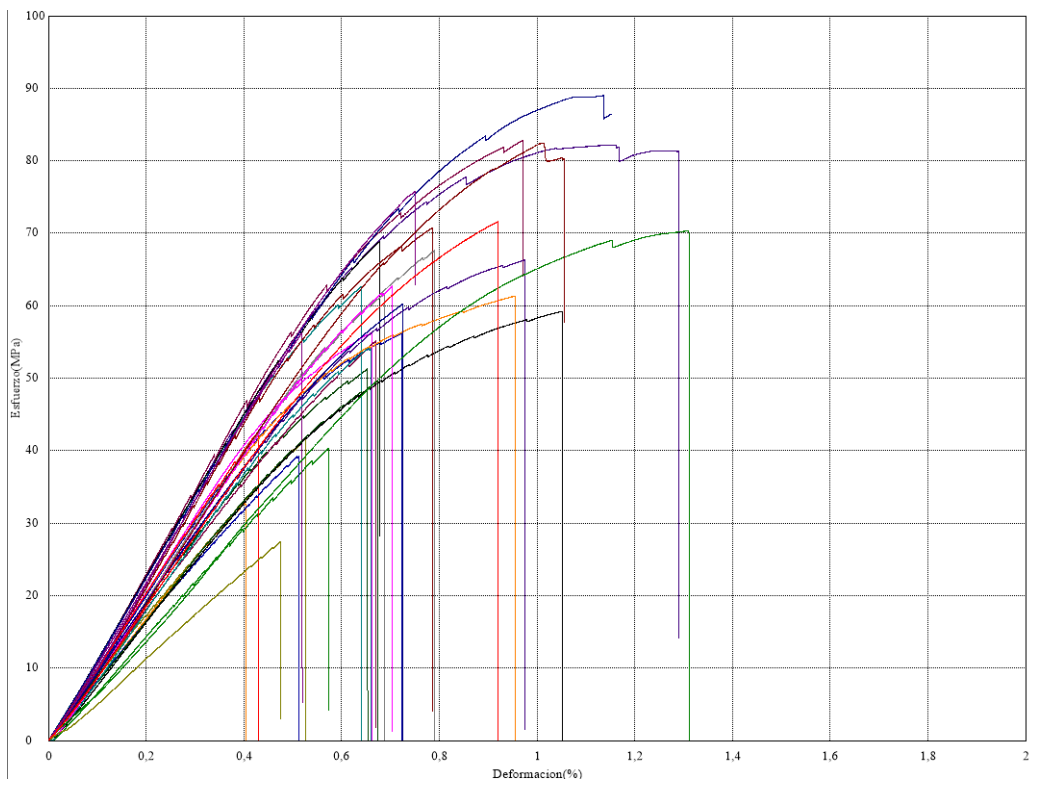
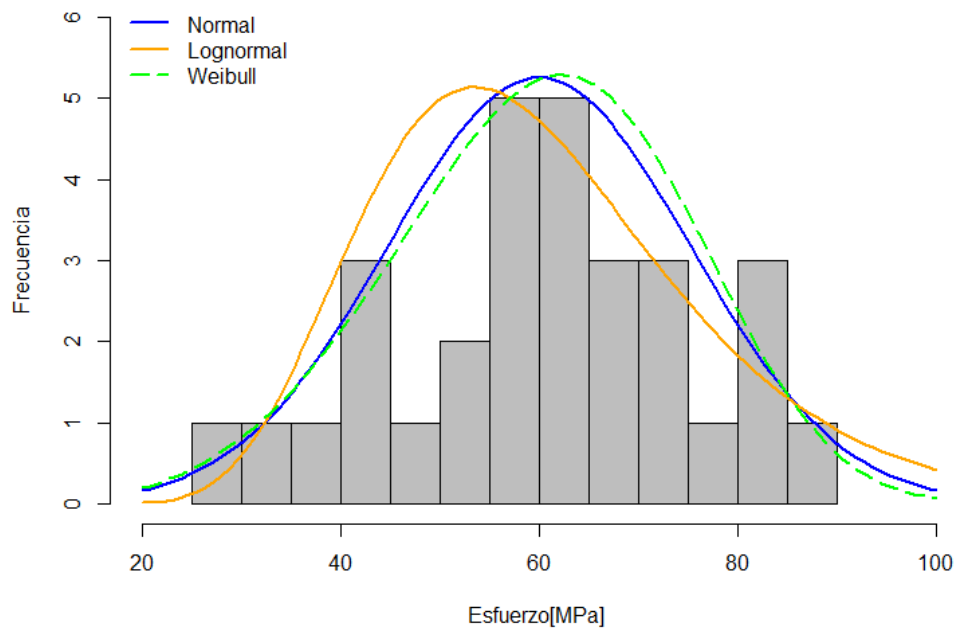


Figura 33

Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo de corte



Resultados de ensayos de Compresión Paralela

La Tabla 25 en anexos muestra los resultados obtenidos en las pruebas compresión paralela realizadas a la madera de Guachapelí según la norma ASTM D143. El esfuerzo máximo promedio fue de 34.73 N/mm², con un rango de 28.33 N/mm² a 41.31 N/mm². La desviación estándar de 3.45 N/mm² indica una variabilidad moderada, lo que sugiere que algunas muestras tienen una mayor resistencia a la compresión que otras.

En cuanto al desplazamiento máximo, el promedio registrado fue de 0.51 mm, con un rango entre 0.03 mm y 0.60 mm. La baja desviación estándar de 0.11 mm muestra un comportamiento uniforme en la flexibilidad de las muestras.

La deformación máxima promedió 0.51%, con un rango de 0.03% a 0.60%. La desviación estándar de 0.11% refleja poca variabilidad en las deformaciones, indicando consistencia en la flexibilidad de las muestras.

Finalmente, el módulo elástico promedio fue de 9407.03 N/mm², con un rango de 5927.21 N/mm² a 10728.4 N/mm². La desviación estándar de 6436.09 N/mm² indica una gran variabilidad en la rigidez de las muestras.

En la Figura 34, se observa una dispersión significativa entre el módulo elástico y el esfuerzo máximo, indicando una variabilidad considerable en las propiedades mecánicas de las muestras, probablemente influenciada por la heterogeneidad interna de la madera. En la Figura 35, las distribuciones ajustadas muestran que la distribución Weibull es la que mejor se adapta a los datos, mientras que la normal presenta un ajuste menos preciso. En resumen, los resultados sugieren que la madera sigue un comportamiento de distribución Weibull, con alta variabilidad en sus propiedades bajo compresión.

Figura 34

Grafica de Esfuerzo vs Deformación de compresión paralela

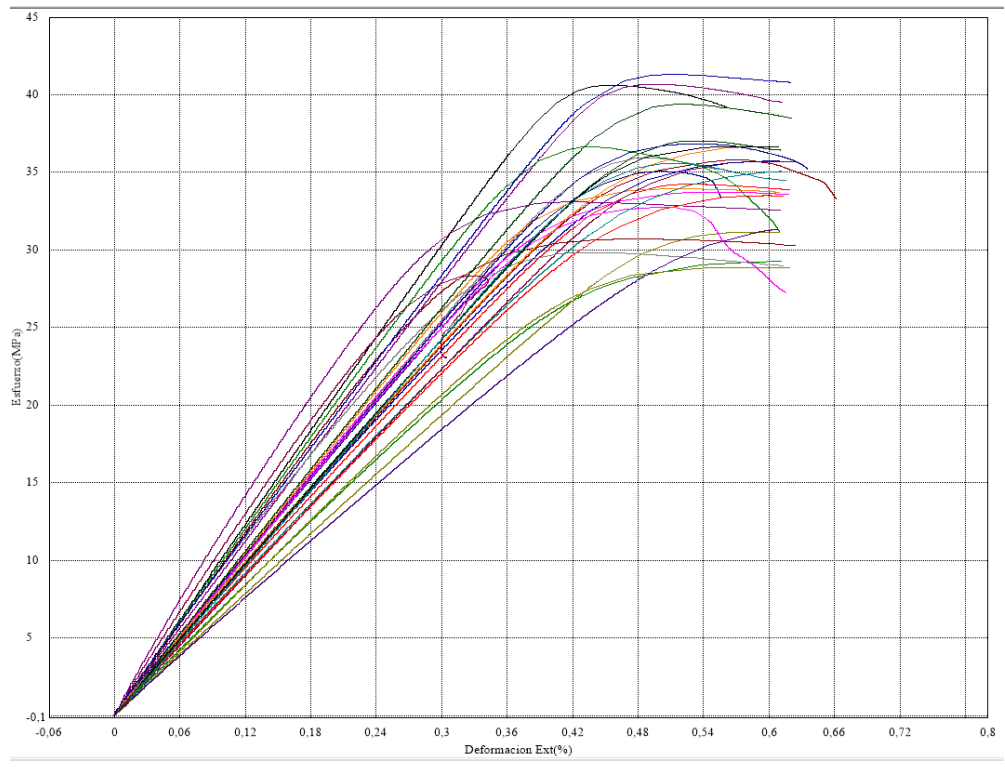
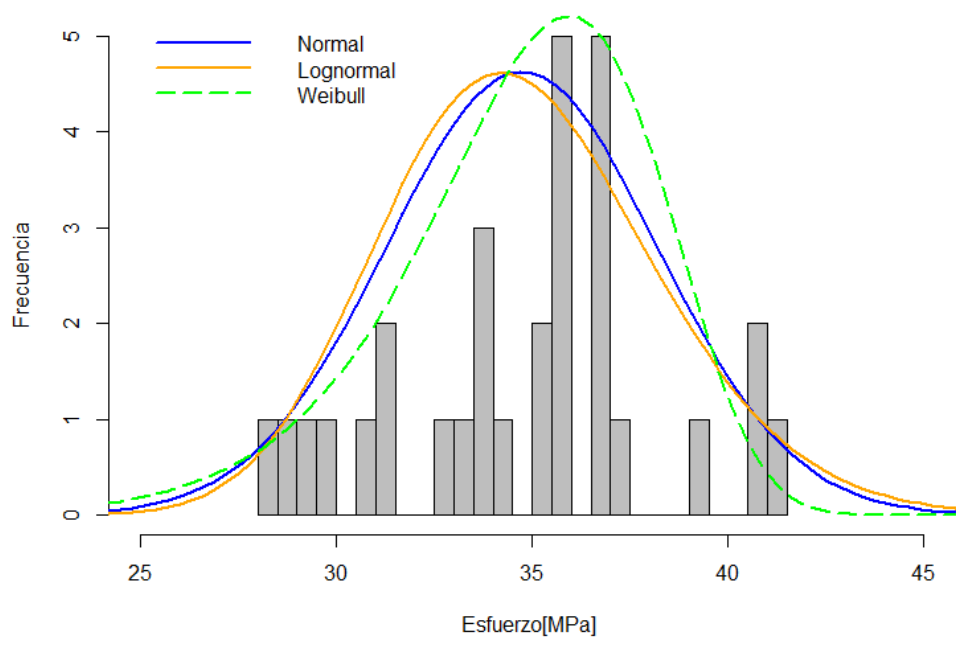


Figura 35

Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo compresión paralela



Ensayos de Compresión Perpendicular

La Tabla 26 en anexos muestra los resultados obtenidos en las pruebas compresión perpendicular realizadas a la madera de Guachapelí según la norma ASTM D143. El esfuerzo máximo promedio fue de 34.73 N/mm², con un rango de 28.33 N/mm² a 41.31 N/mm². La desviación estándar de 3.45 N/mm² indica una variabilidad moderada, lo que sugiere que algunas muestras tienen una mayor resistencia a la compresión que otras.

En cuanto al desplazamiento máximo, el promedio registrado fue de 0.51 mm, con un rango entre 0.03 mm y 0.60 mm. La baja desviación estándar de 0.11 mm muestra un comportamiento uniforme en la flexibilidad de las muestras.

La deformación máxima promedió 0.51%, con un rango de 0.03% a 0.60%. La desviación estándar de 0.11% refleja poca variabilidad en las deformaciones, indicando consistencia en la flexibilidad de las muestras.

Finalmente, el módulo elástico promedio fue de 9407.03 N/mm², con un rango de 5927.21 N/mm² a 10728.4 N/mm². La desviación estándar de 6436.09 N/mm² indica una gran variabilidad en la rigidez de las muestras.

En la Figura 36, se observa una alta dispersión entre el módulo elástico y el esfuerzo máximo, lo que indica una gran variabilidad en las propiedades mecánicas de las muestras, influenciada por factores como la densidad y la presencia de nudos. En la Figura 37, las distribuciones ajustadas muestran que la distribución Weibull es la que mejor se adapta a los datos, mientras que la normal presenta un ajuste menos adecuado. En resumen, los resultados indican que el comportamiento de la madera sigue una distribución Weibull, con alta variabilidad en sus propiedades bajo compresión.

Figura 36

Grafica de Esfuerzo vs Deformación compresión perpendicular

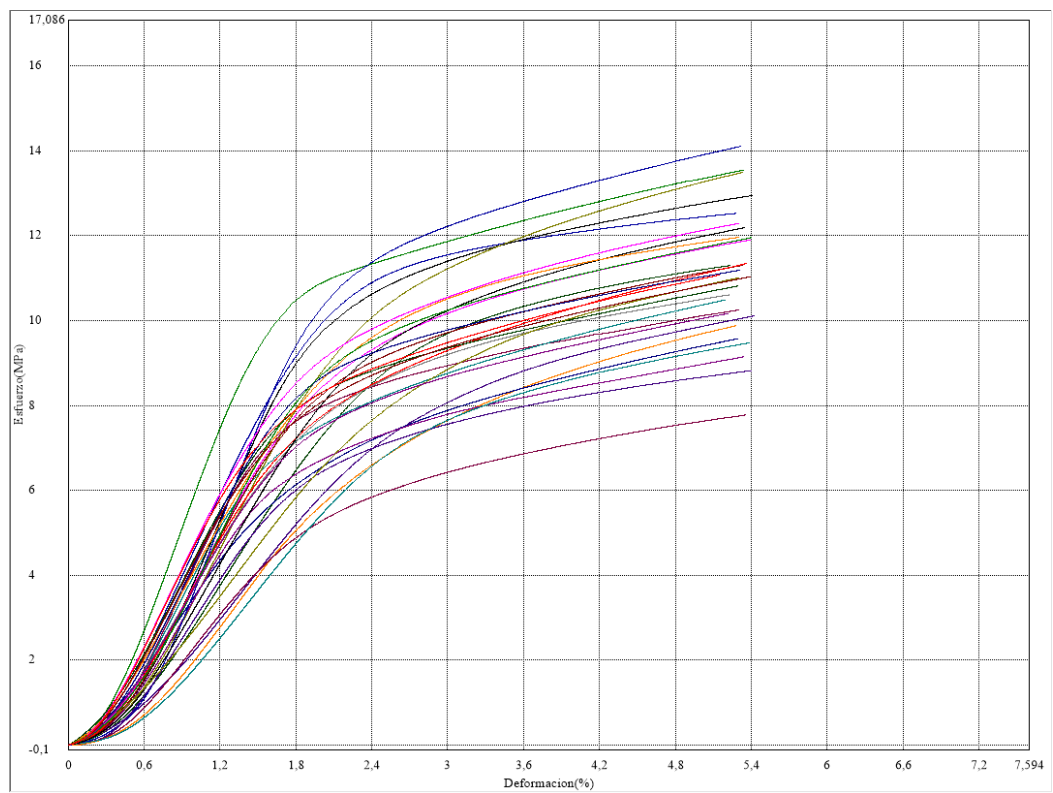
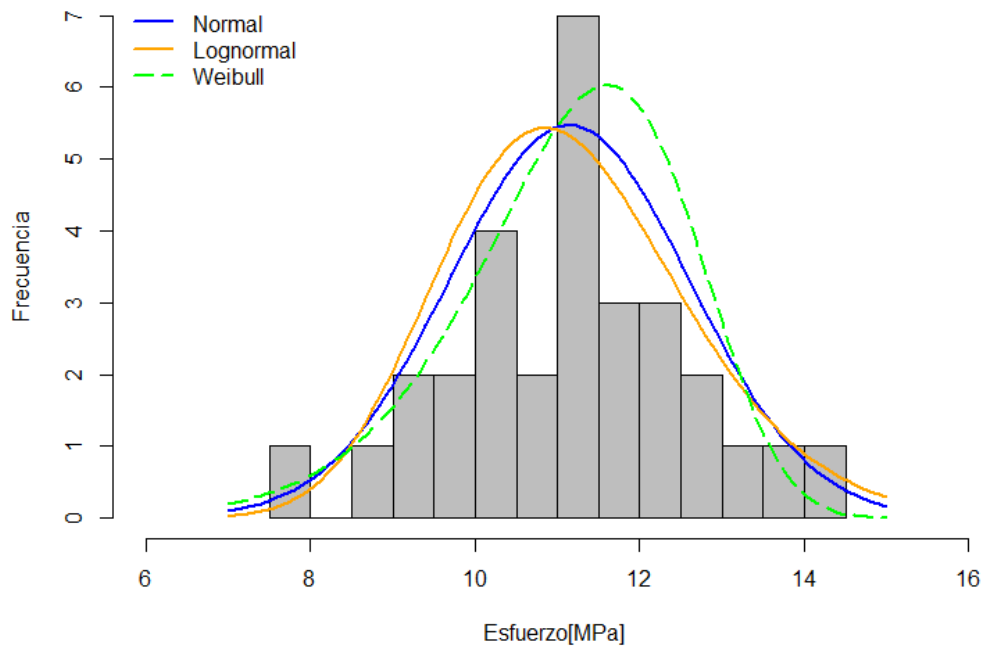


Figura 37

Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo compresión perpendicular



Ensayos de Tracción Perpendicular

La Tabla 27 en anexos muestra los resultados obtenidos en las pruebas tracción perpendicular realizadas a la madera de Guachapelí según la norma ASTM D143. El esfuerzo máximo promedio fue de 3.19 N/mm², con un rango entre 1.68 N/mm² y 4.55 N/mm². La desviación estándar de 0.73 N/mm² refleja una variabilidad moderada en la capacidad de las muestras para resistir esfuerzos de tracción.

En cuanto al desplazamiento máximo, el promedio fue de 0.94 mm, con un rango de 0.56 mm a 1.31 mm. La desviación estándar de 0.15 mm muestra una buena consistencia en las muestras, con pequeñas variaciones en cuanto a las deformaciones bajo carga.

La deformación máxima promedió 1.90%, con un rango de 1.14% a 2.68%. La desviación estándar de 0.32% indica que las deformaciones máximas durante la tracción fueron relativamente homogéneas, con algunas variaciones más notables en algunas muestras.

Finalmente, el módulo elástico promedio fue de 191.22 N/mm², con un rango de 111.8 N/mm² a 314.0 N/mm². La desviación estándar de 62.16 N/mm² sugiere una variabilidad significativa en la rigidez de las muestras, lo que implica que algunas piezas pueden ser más flexibles o rígidas que otras.

En la Figura 38, se observa una alta dispersión entre el módulo elástico y el esfuerzo máximo, lo que refleja una variabilidad considerable en las propiedades mecánicas de las muestras, posiblemente influenciada por la heterogeneidad interna de la madera. En la Figura 39, las distribuciones ajustadas indican que la Weibull es la que mejor se adapta a los datos, mientras que la normal tiene un ajuste menos preciso. En resumen, los resultados sugieren que la madera sigue una distribución Weibull, con alta variabilidad en sus propiedades bajo compresión.

Figura 38

Grafica de Esfuerzo vs Deformación de tracción perpendicular

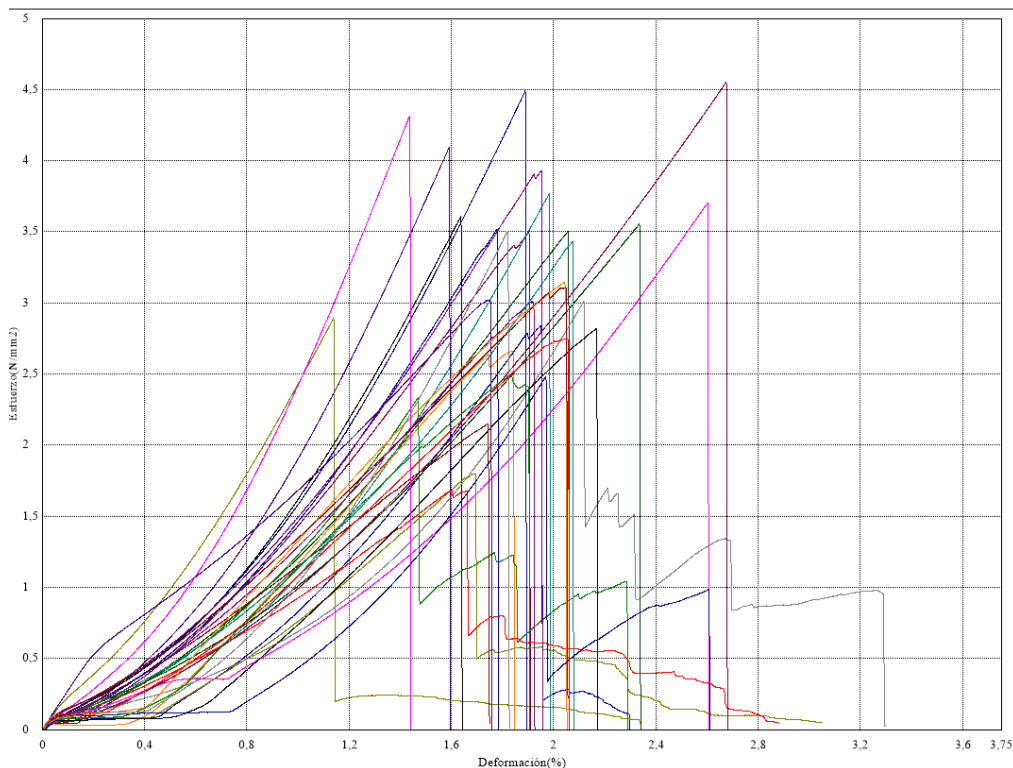
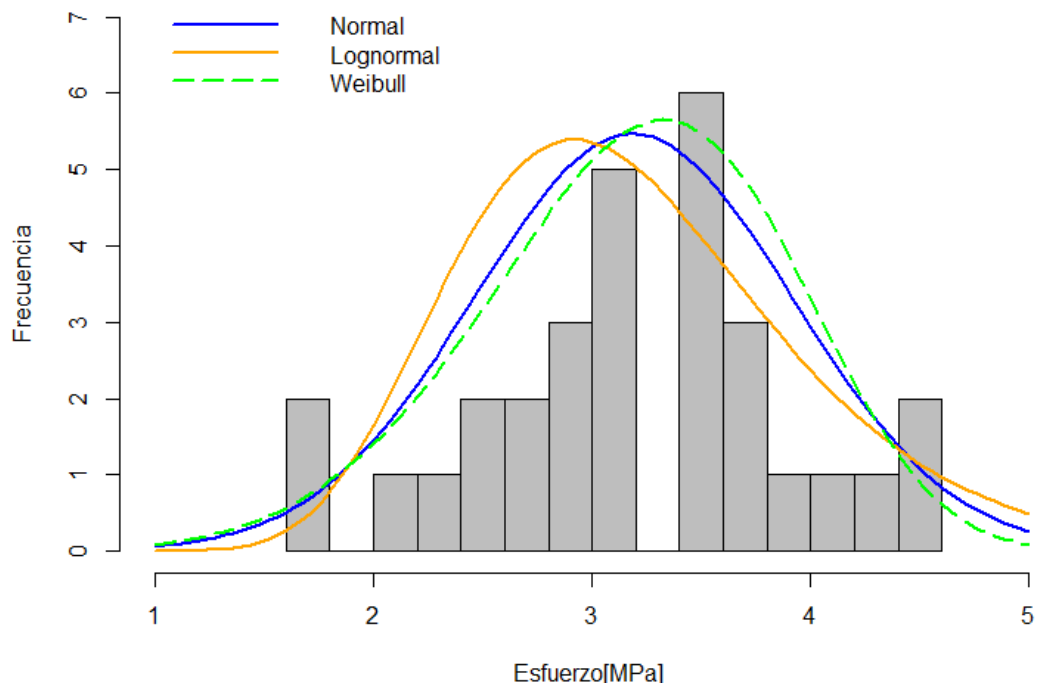


Figura 39

Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo tracción perpendicular



Ensayos de Tracción Paralela

La Tabla 26 en anexos muestra los resultados obtenidos en las pruebas tracción paralela realizadas a la madera de Guachapelí según la norma ASTM D143. El esfuerzo máximo promedio fue de 58.32 N/mm², con un rango entre 27.79 N/mm² y 105.62 N/mm². La desviación estándar de 17.38 N/mm² muestra una considerable dispersión en la resistencia al esfuerzo, lo que indica un comportamiento diverso.

En cuanto al desplazamiento máximo, el promedio fue de 1.82 mm, con un rango de 0.80 mm a 2.96 mm. La desviación estándar de 0.51 mm refleja una moderada variabilidad en las deformaciones de las muestras, lo que sugiere que algunas maderas presentan mayor flexibilidad o deformación bajo carga.

La deformación máxima promedió 0.70%, con un rango de 0.31% a 1.14%. La desviación estándar de 0.20% indica que las deformaciones máximas fueron relativamente constantes, aunque algunas muestras mostraron deformaciones más significativas.

Finalmente, el módulo elástico promedio fue de 9758.23 N/mm², con un rango de 4362.2 N/mm² a 30052.9 N/mm². La desviación estándar de 4668.15 N/mm² revela una alta variabilidad en la rigidez de las muestras, lo que sugiere que la madera de Guachapelí puede tener diferencias significativas en su comportamiento estructural según la muestra.

En la Figura 40, se observa una considerable dispersión entre el módulo elástico y el esfuerzo máximo, lo que indica una alta variabilidad en las propiedades mecánicas de las muestras, probablemente influenciada por la heterogeneidad natural de la madera. En la Figura 41, las distribuciones ajustadas muestran que la Weibull es la que mejor se adapta a los datos, mientras que la normal presenta un ajuste menos adecuado. En resumen, los resultados sugieren

que el comportamiento de la madera sigue una distribución Weibull, con una alta variabilidad en sus propiedades bajo compresión.

Figura 40

Grafica de Esfuerzo vs Deformación de tracción paralela

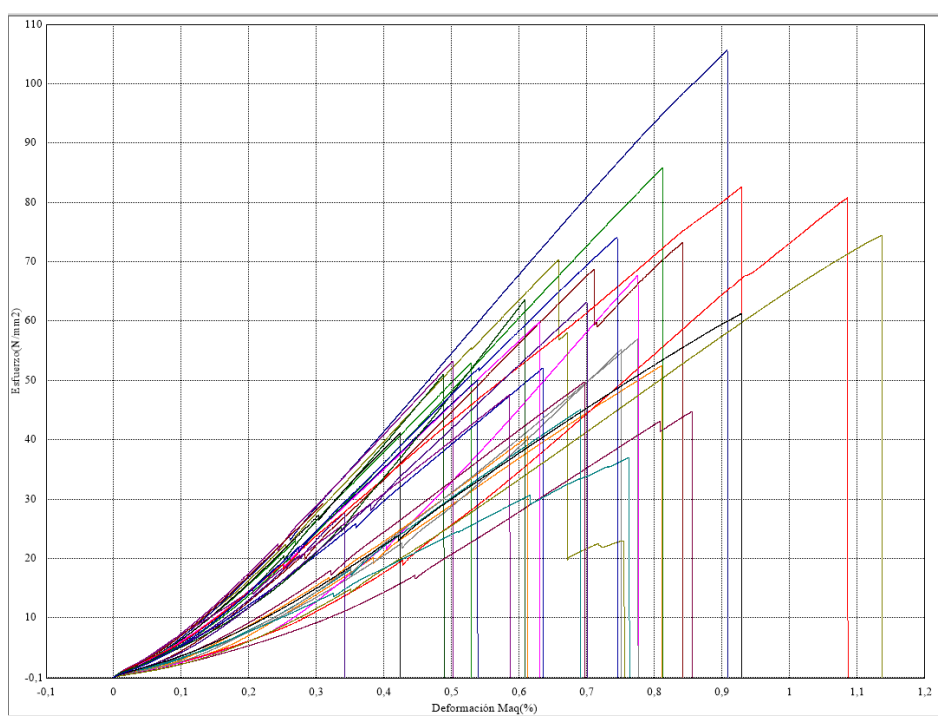
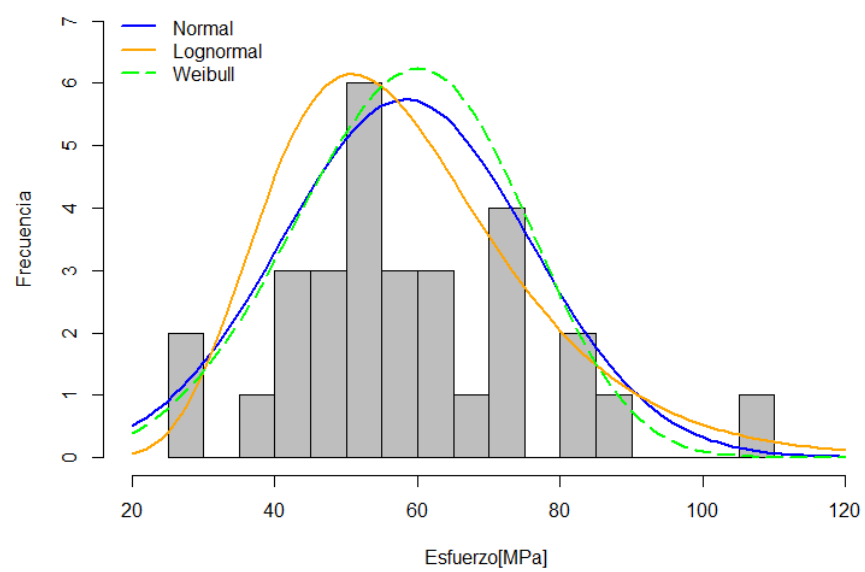


Figura 41

Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo tracción paralela



Ensayos de Flexión

La Tabla 27 en anexos muestra los resultados obtenidos en las pruebas flexión realizadas a la madera de Guachapelí según la norma ASTM D143. El esfuerzo máximo promedio fue de 59.95 N/mm², con un rango de 27.47 N/mm² a 88.99 N/mm². La desviación estándar de 15.20 N/mm² muestra una dispersión considerable en la capacidad de las muestras para resistir esfuerzos, lo que indica que las propiedades mecánicas varían.

En cuanto al desplazamiento máximo, el promedio fue de 12.66 mm, con un rango de 6.84 mm a 21.92 mm. La desviación estándar de 3.82 mm indica que las muestras experimentan diferentes grados de deformación bajo carga, sugiriendo que algunas muestras son flexibles.

La deformación máxima promedió 0.76%, con un rango de 0.40% a 1.31%. La desviación estándar de 0.23% muestra una variabilidad moderada en las deformaciones máximas de las muestras, lo que sugiere que la madera tiene una respuesta estable en términos de deformación, aunque algunas muestras pueden deformarse más bajo carga.

Finalmente, el módulo elástico promedio fue de 9583.83 N/mm², con un rango de 7421.5 N/mm² a 11550.7 N/mm². La desviación estándar de 1430.36 N/mm² revela una variabilidad considerable en la rigidez de las muestras, lo que sugiere que algunas muestras son más rígidas.

En la Figura 42, se observa una notable dispersión entre el módulo elástico y el esfuerzo máximo, lo que refleja una considerable variabilidad en las propiedades mecánicas de las muestras, posiblemente influenciada por factores internos como la densidad y los nudos en la madera. En la Figura 43, las distribuciones ajustadas muestran que la Weibull es la que mejor se adapta a los datos, mientras que la distribución normal presenta un ajuste menos preciso. En

resumen, los resultados sugieren que el comportamiento de la madera sigue una distribución Weibull, con alta variabilidad en sus propiedades bajo compresión.

Figura 42

Grafica de Esfuerzo vs Deformación de flexión

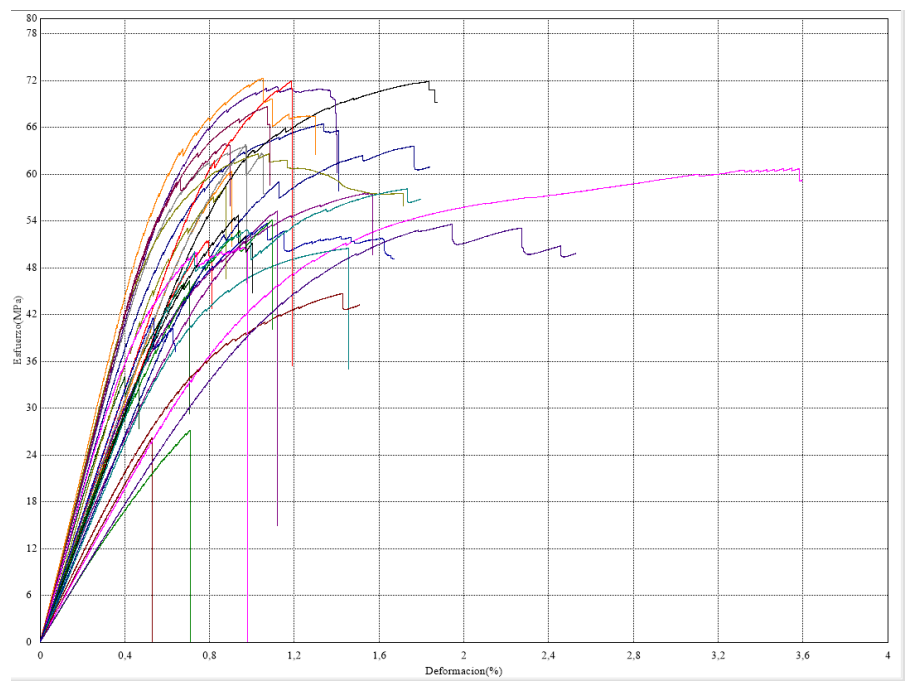
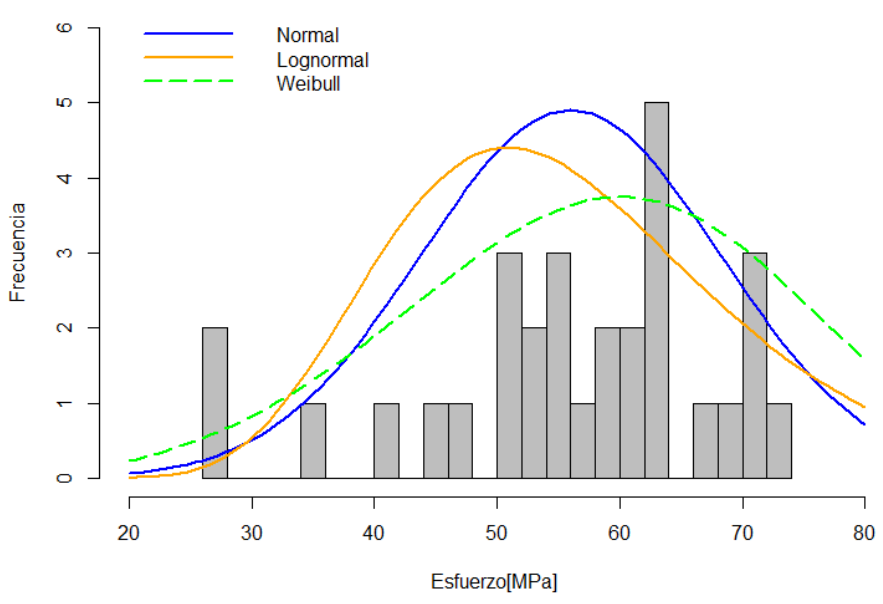


Figura 43

Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo flexión.



Ensayo de Corte

La Tabla 30 en anexos muestra los resultados obtenidos en las pruebas corte realizadas a la madera de Guachapelí según la norma ASTM D143. El esfuerzo máximo promedio fue de 58.32 N/mm², con un rango entre 27.79 N/mm² y 105.62 N/mm². La desviación estándar de 17.38 N/mm² muestra una considerable dispersión en la resistencia al esfuerzo, lo que indica un comportamiento diverso.

En cuanto al desplazamiento máximo, el promedio fue de 1.82 mm, con un rango de 0.80 mm a 2.96 mm. La desviación estándar de 0.51 mm refleja una moderada variabilidad en las deformaciones de las muestras, lo que sugiere que algunas maderas presentan mayor flexibilidad o deformación bajo carga.

La deformación máxima promedió 0.70%, con un rango de 0.31% a 1.14%. La desviación estándar de 0.20% indica que las deformaciones máximas fueron relativamente constantes, aunque algunas muestras mostraron deformaciones más significativas.

Finalmente, el módulo elástico promedio fue de 9758.23 N/mm², con un rango de 4362.2 N/mm² a 30052.9 N/mm². La desviación estándar de 4668.15 N/mm² revela una alta variabilidad en la rigidez de las muestras, lo que sugiere que la madera de Guachapelí puede tener diferencias significativas en su comportamiento estructural según la muestra.

En la Figura 44, se observa una alta dispersión entre el módulo elástico y el esfuerzo máximo, lo que indica una considerable variabilidad en las propiedades mecánicas de las muestras, influenciada por factores como la densidad y los nudos de la madera. En la Figura 45, las distribuciones ajustadas muestran que la Weibull es la que mejor se adapta a los datos, mientras que la distribución normal tiene un ajuste menos adecuado. En resumen, los resultados

sugieren que el comportamiento de la madera sigue una distribución Weibull, con alta variabilidad en sus propiedades bajo compresión.

Figura 44

Grafica de Esfuerzo vs Deformación de corte

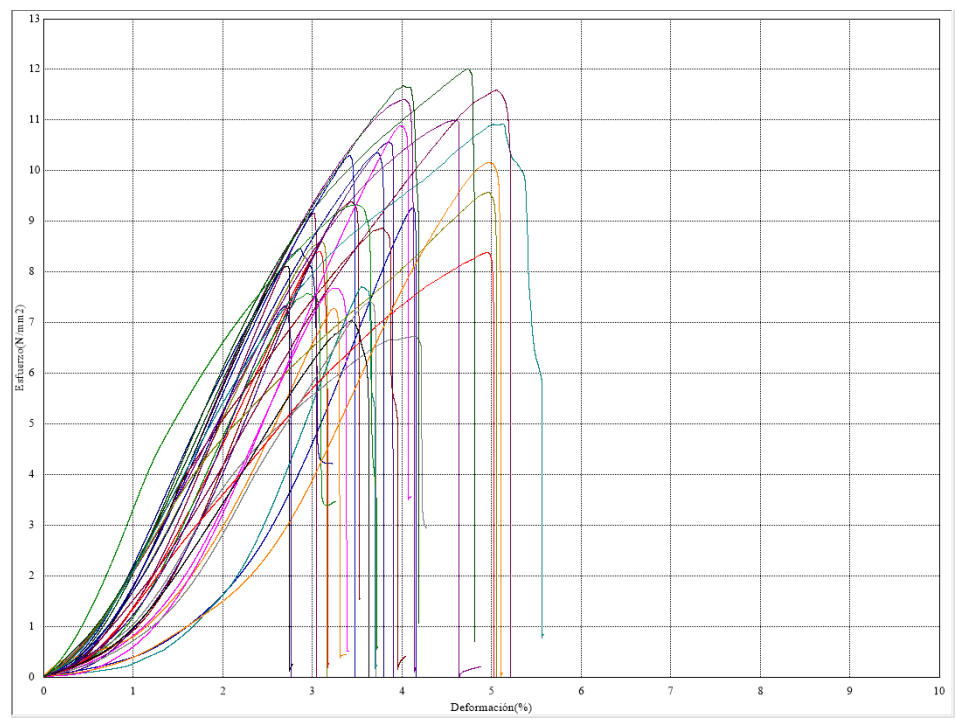
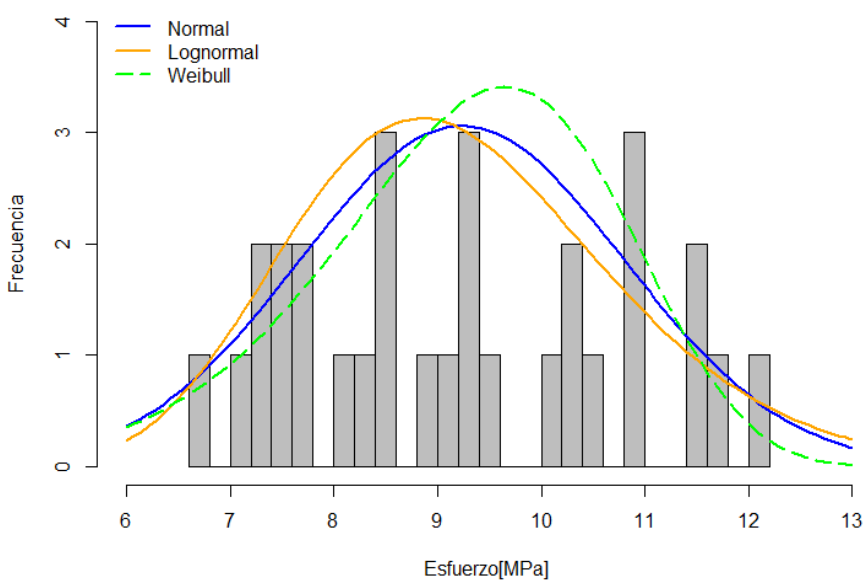


Figura 45

Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo corte.



Ensayos de Flexión Normativa BS EN 384:2004 – 3382003.

Los ensayos de flexión realizados a las maderas Fernán Sánchez y Guachapelí, conforme a las normativas BS EN 384:2004 y BS EN 338:2003, tienen como objetivo evaluar las propiedades mecánicas fundamentales, como el esfuerzo máximo y el módulo elástico, que determinan la capacidad de estas especies de madera para soportar cargas estructurales. Los resultados obtenidos permiten realizar una comparación entre ambas maderas en cuanto a su rendimiento y variabilidad, proporcionando información crucial para su clasificación y posterior aplicación en la construcción.

La norma BS EN 384:2004 establece los métodos para medir las propiedades mecánicas, mientras que la BS EN 338:2003 proporciona los criterios de clasificación de la madera en función de sus características de resistencia. A través de estos ensayos, se busca asegurar que las maderas seleccionadas sean aptas para aplicaciones que requieran un desempeño constante y fiable bajo cargas mecánicas.

Ensayos de Flexión Fernán Sánchez Normativa BS EN 384:2004 – 3382003.

La tabla 31 en anexos presenta los resultados de las pruebas de esfuerzo máximo y módulo elástico realizadas a la madera Fernán Sánchez, de acuerdo con las normativas British Standard BS EN 384:2004 y British Standard BS EN 338:2003.

Esfuerzo máximo (N/mm²):

El esfuerzo máximo promedio fue de 59.95 N/mm², con un rango que oscila entre 27.47 N/mm² (muestra F06-F) y 88.99 N/mm² (muestra F20-F). La desviación estándar de 15.20 N/mm² indica una variabilidad significativa en la capacidad de resistencia a esfuerzos máximos entre las muestras. Este resultado sugiere que, si bien la madera presenta un rendimiento adecuado en

general, la capacidad de carga de las piezas puede variar considerablemente, lo que requiere una clasificación para asegurar un desempeño estructural adecuado según los requerimientos de carga.

Módulo elástico (N/mm²):

El promedio del módulo elástico fue de 9583.83 N/mm², con un rango entre 5974.64 N/mm² (muestra F06-F) y 11550.7 N/mm² (muestra F27-F). La desviación estándar de 1430.36 N/mm² sugiere una buena variabilidad en la rigidez de las muestras, lo que implica que algunas piezas son más rígidas que otras. Si bien la madera muestra una resistencia media-alta en términos de rigidez, la dispersión de los valores resalta la importancia de seleccionar adecuadamente las piezas de madera para aplicaciones que requieran una mayor consistencia estructural.

Ensayos de Flexión Guachapelí Normativa BS EN 384:2004 – 3382003.

La tabla 32 en anexos presenta los resultados de las pruebas de esfuerzo máximo y módulo elástico realizadas a la madera Guachapelí (*Albizia guachapele*), conforme a las normativas British Standard BS EN 384:2004 y British Standard BS EN 338:2003.

Esfuerzo máximo (N/mm²):

El esfuerzo máximo promedio para las muestras de Guachapelí fue de 55.99 N/mm², con valores que varían desde 26.18 N/mm² (muestra F02-G) hasta 72.34 N/mm² (muestra F24-G). La desviación estándar de 12.22 N/mm² refleja una variabilidad considerable en la resistencia máxima a la carga entre las muestras. Aunque algunas piezas alcanzan esfuerzos elevados, otras presentan una resistencia significativamente menor, lo que sugiere que es necesario clasificar las piezas según su capacidad para asegurar un rendimiento adecuado en aplicaciones estructurales.

Módulo elástico (N/mm²):

El módulo elástico promedio fue de 7633.18 N/mm², con un rango de 4025.32 N/mm² (muestra F04-G) a 11055.60 N/mm² (muestra F24-G). La desviación estándar de 1876.05 N/mm² indica una variabilidad bastante alta en la rigidez de las piezas, lo que sugiere que algunas muestras son más rígidas que otras. Este comportamiento implica que la madera de Guachapelí puede ser adecuada para aplicaciones donde se requiera una alta rigidez, pero se debe tener en cuenta la necesidad de seleccionar y clasificar adecuadamente las piezas para garantizar un desempeño uniforme en estructuras críticas.

El análisis de las propiedades mostradas en la Tabla 33 en anexos sobre los especímenes de madera Fernán Sánchez y Guachapelí según la normativa BS EN 384:2004 revela importantes diferencias que deben ser consideradas al momento de seleccionar estas especies para distintas aplicaciones estructurales. A continuación, se analizan las propiedades de resistencia y rigidez de ambas especies.

En primer lugar, en cuanto a la resistencia a la flexión ($f_{m,k}$), Guachapelí muestra un valor superior de 30.29 N/mm² frente a 25.43 N/mm² de Fernán Sánchez. Según la normativa, este parámetro es crucial para determinar la capacidad de la madera para resistir esfuerzos de flexión, como en vigas o columnas. Dado que Guachapelí presenta una mayor resistencia a la flexión, es más adecuada para aplicaciones donde se requiera soportar mayores cargas flexionales, lo que la hace más favorable para estructuras que están sometidas a esfuerzos dinámicos o de flexión severa.

Con relación a la tracción paralela ($f_{t,0,k}$), Guachapelí también presenta una mayor resistencia con 18.18 N/mm² frente a 15.26 N/mm² de Fernán Sánchez. Este resultado indica que Guachapelí es más resistente a fuerzas de tracción paralela a las fibras, lo que la hace adecuada para elementos estructurales que están sometidos a tensiones a lo largo de las fibras de la madera, como cables o barras de tracción. Por otro lado, en cuanto a tracción perpendicular ($f_{t,90,k}$), ambas especies presentan el mismo valor de 0.6 N/mm², lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre ellas para este tipo de esfuerzo, de acuerdo con la normativa.

En cuanto a compresión paralela ($f_{c,0,k}$), Guachapelí nuevamente muestra un valor superior de 23.20 N/mm² frente a 21.45 N/mm² de Fernán Sánchez. Esto implica que Guachapelí es más adecuada para resistir cargas de compresión en paralelo a las fibras, una propiedad importante en aplicaciones como pilares o soportes de carga. En el caso de compresión

perpendicular ($f_{c,90,k}$), la diferencia es pequeña, pero Guachapelí sigue teniendo una ligera ventaja con 3.60 N/mm^2 frente a 3.35 N/mm^2 de Fernán Sánchez, lo que podría hacerla ligeramente más eficiente en aplicaciones donde se presenten esfuerzos de compresión en dirección perpendicular a las fibras.

En cuanto a la resistencia al corte ($f_{v,k}$), Guachapelí nuevamente supera a Fernán Sánchez con un valor de 3.06 N/mm^2 frente a 2.66 N/mm^2 , lo que sugiere que Guachapelí es más resistente a esfuerzos cortantes. Esta propiedad es clave en la resistencia de las uniones y conexiones en las estructuras, donde se generan fuerzas transversales. En este sentido, Guachapelí sería más adecuada para aplicaciones en las que la madera debe soportar fuerzas de corte.

En lo que respecta a las propiedades de rigidez, el módulo de elasticidad paralelo ($E_{0,mean}$) de Fernán Sánchez es considerablemente mayor, con 9.58 kN/mm^2 frente a 7.63 kN/mm^2 en Guachapelí. Según la normativa, un mayor módulo de elasticidad indica una mayor rigidez, lo que significa que Fernán Sánchez es más resistente a la deformación bajo cargas paralelas a las fibras. Esto lo convierte en una opción preferida para aplicaciones donde se requiera una alta rigidez, como en estructuras de soporte o vigas que no deben deformarse significativamente bajo cargas pesadas.

El módulo de elasticidad paralelo al 5% ($E_{0,05}$) sigue el mismo patrón, siendo superior en Fernán Sánchez con 6.42 kN/mm^2 frente a 5.11 kN/mm^2 de Guachapelí, lo que refuerza la conclusión de que Fernán Sánchez es más rígido y tiene una mayor capacidad para resistir deformaciones en la dirección paralela a las fibras. Esto es importante en el diseño de estructuras que deben mantener su forma bajo cargas pesadas.

Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad perpendicular ($E_{90,mean}$), Fernán Sánchez nuevamente presenta un valor superior de 0.32 kN/mm^2 frente a 0.25 kN/mm^2 de Guachapelí. Esto sugiere que Fernán Sánchez tiene una mayor rigidez en la dirección perpendicular a las fibras, lo que es relevante en aplicaciones donde se requiere resistencia a deformaciones transversales, como en ciertos tipos de paneles o revestimientos.

En cuanto a la densidad, Guachapelí tiene una densidad media de 604.11 kg/m^3 , frente a 581.24 kg/m^3 de Fernán Sánchez. Esto significa que Guachapelí es más densa, lo que puede otorgarle una mayor capacidad para resistir esfuerzos de compresión y flexión. Sin embargo, también implica que Guachapelí es más pesada, lo que podría ser una consideración importante en ciertas aplicaciones donde el peso sea un factor crítico.

Resultados de la clasificación estructural de las maderas NEC-SE-MD Estructuras de Madera

Los resultados mostrados en la Tabla 34 en anexos sobre los especímenes de madera de *Fernán Sánchez* tiene una densidad de 0.58124 gr/cm^3 , lo que lo clasifica dentro del Grupo Estructural B, cuyo rango de densidad está entre 0.56 y 0.7 gr/cm^3 . Este valor sugiere que esta especie tiene una resistencia estructural intermedia, ideal para aplicaciones en las que se requiere una madera con un equilibrio entre resistencia y peso.

Guachapelí tiene una densidad de 0.60411 gr/cm^3 , lo que también lo sitúa dentro del grupo B, lo que implica que su comportamiento estructural será similar al de *Fernán Sánchez*.

Discusión

La comparación de los esfuerzos admisibles para las especies Fernán Sánchez y Guachapelí, de acuerdo con las normativas NEC (2015), BS EN 384-2004, BS EN 338-2003 y ASTM, muestra claras diferencias como observamos en la Tabla 15, lo que pone de relieve la importancia de considerar las particularidades de cada normativa y su aplicabilidad a las maderas locales. Es importante aclarar que, en este análisis, los esfuerzos últimos de las maderas se determinaron mediante la normativa ASTM D143-22, mientras que los esfuerzos admisibles fueron obtenidos a través de las demás normativas.

En términos generales, la NEC (2015) presenta valores más bajos en comparación con las normativas internacionales, lo que podría explicarse por el enfoque más conservador de la normativa ecuatoriana, la cual podría no haber incorporado completamente las propiedades mecánicas específicas de las maderas tropicales en su diseño (Martínez et al., 2021). Por ejemplo, en flexión, los esfuerzos admisibles para Fernán Sánchez según NEC (2015) son de 18.77 MPa, mientras que las normativas europeas BS EN 384 y BS EN 338 reportan valores mucho mayores, alcanzando hasta 25.43 MPa y 24.00 MPa, respectivamente, lo que sugiere que las normas europeas tienden a ser más permisivas en cuanto a la capacidad de carga de las maderas locales. Similarmente, en el caso de Guachapelí, la diferencia en los valores de flexión entre NEC (2015) (17.53 MPa) y BS EN 384 (30.29 MPa) indica que las normativas internacionales, particularmente las europeas, podrían asignar un mayor valor a la resistencia de estas especies, lo que puede responder a la consideración de diferentes factores en las pruebas, tales como la humedad, la densidad y la edad de la madera, como mencionan estudios de Sefidgar et al. (2022) y Bodart et al. (2020), que destacan la variabilidad inherente de la madera tropical y su influencia en las propiedades mecánicas.

Es crucial tener en cuenta la importancia de adaptar las normativas a las condiciones locales y las particularidades de las especies de madera, ya que las diferencias significativas entre los valores obtenidos según las normativas NEC (2015), BS EN 384-2004, BS EN 338-2003 y ASTM D143-22 resaltan la variabilidad de las propiedades mecánicas de las maderas tropicales y la necesidad de una aproximación más detallada y precisa para cada contexto.

En cuanto a los esfuerzos de tracción paralela, la NEC (2015) reporta valores significativamente más altos que las normativas europeas para ambas especies, Fernán Sánchez y Guachapelí. Esto podría deberse a una diferencia en la clasificación de las maderas en términos de su resistencia longitudinal, que la NEC tiende a considerar de manera más conservadora en el contexto ecuatoriano. Por otro lado, la ASTM D143-22 reporta los valores más elevados, lo que sugiere un enfoque más liberal en la evaluación de las propiedades mecánicas, especialmente al considerar esfuerzos últimos antes de aplicar los factores de reducción para obtener valores admisibles (Bodart et al., 2020).

De manera similar, los valores de compresión paralela y perpendicular son también más altos en ASTM que en las normativas europeas, lo que refleja un enfoque de prueba diferente, posiblemente con márgenes de seguridad adicionales, como indican estudios sobre la variabilidad en las propiedades de maderas tropicales (Martínez et al., 2021).

Un aspecto relevante es la ausencia de datos sobre tracción perpendicular en la NEC (2015) para estas especies, lo que podría ser un indicio de que este esfuerzo no es considerado crítico en el diseño estructural local o que la normativa ecuatoriana aún no ha integrado completamente este tipo de prueba para maderas tropicales. Por otro lado, las normativas BS EN 384 y BS EN 338 presentan valores similares, mientras que ASTM reporta un valor

considerablemente más alto, lo que refleja una mayor capacidad de carga para estas especies en condiciones transversales.

Por tanto, se deben generar estudios específicos sobre las maderas locales, como Fernán Sánchez y Guachapelí, en condiciones representativas de su uso en Ecuador, permitiendo permitirá no solo obtener una caracterización más precisa de las propiedades mecánicas de estas especies, sino también ajustar las normativas locales para reflejar mejor su comportamiento en diferentes condiciones ambientales.

La variabilidad entre las normativas y los valores de esfuerzo admisible subraya la necesidad de realizar estudios específicos y detallados de las maderas locales, tomando en cuenta tanto las propiedades mecánicas inherentes de las especies como las condiciones ambientales en las que se utilizan. Si bien las normativas europeas y estadounidenses presentan una visión más optimista de la capacidad estructural de maderas tropicales como Fernán Sánchez y Guachapelí, la NEC (2015), al ser una normativa local, puede ser más conservadora en su enfoque. Esto refuerza la importancia de una revisión periódica y la adaptación de normas que puedan asegurar la seguridad estructural sin comprometer la sostenibilidad y la disponibilidad de las especies locales en Ecuador.

La NEC (2015), aunque es más conservadora, debe ser revisada y enriquecida con datos obtenidos de investigaciones locales para lograr un equilibrio adecuado entre seguridad estructural y sostenibilidad en el uso de maderas tropicales.

Tabla 15

Análisis comparativo entre las propiedades físico-mecánicas de Fernán Sánchez y Guachapelí según normativas.

Especies	Normativa	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{v,k}$
Fernán Sánchez	NEC (2015)	18.77	37.54	---	14.17	6.24	---
	BS EN 384-2004	25.43	15.26	0.60	21.45	3.35	2.66
	BS EN 338-2003	24.00	14.00	0.60	21.00	3.20	2.50
	ASTM 143-22	59.95	75.07	4.00	29.77	9.98	8.49
Guachapelí	NEC (2015)	17.53	29.16	----	16.54	6.96	---
	BS EN 384-2004	30.29	18.18	0.60	23.20	3.60	3.06
	BS EN 338-2003	30.00	18.00	0.60	23.00	3.20	3.00
	ASTM D143-22	55.99	58.32	3.19	34.73	11.14	9.24

Nota. Elaboración de los autores

La comparación en la Tabla 16 de los valores de módulo elástico (N/mm^2) para las especies Fernán Sánchez y Guachapelí según las normativas NEC (2015), BS EN 384-2004, BS EN 338-2003 y ASTM revela importantes diferencias en la evaluación de las propiedades mecánicas de estas maderas, lo que subraya la importancia de la normativa en la selección y clasificación de materiales para uso estructural. En el caso de Fernán Sánchez, el módulo elástico según NEC (2015) es de 7,500 a 10,000 N/mm^2 de la tabla 2, mientras que las normativas europeas BS EN 384-2004 y BS EN 338-2003 reportan valores considerablemente más bajos, de 6,421.17 N/mm^2 y 6,400 N/mm^2 , respectivamente. Esto podría deberse a diferencias en la metodología de prueba, con la NEC (2015) aplicando un enfoque más conservador o considerando otros factores como la humedad y la densidad de la madera, que son variables críticas en el contexto ecuatoriano (Martínez et al., 2021). En contraste, la ASTM reporta un valor de 9,583.83 N/mm^2 , que, aunque más bajo que el de la NEC, es considerablemente más alto que los valores europeos. Este patrón de resultados podría reflejar el enfoque diferente que cada normativa tiene para la clasificación de las maderas, con ASTM posiblemente adoptando un

margen de seguridad mayor o un criterio distinto para la medición de las propiedades del material (Bodart et al., 2020).

De manera similar, los valores de módulo elástico para Guachapelí siguen una tendencia comparable. Según la NEC (2015), el módulo elástico es 10,000 N/mm², mientras que en las normativas europeas se observan valores más bajos, de 5,114.23 N/mm² según BS EN 384-2004 y 4,700 N/mm² según BS EN 338-2003. La diferencia en los valores reportados por la ASTM (7,633.18 N/mm²) también es notablemente superior a los valores europeos, pero aún inferior a los de la NEC. Esta diferencia puede estar relacionada con la forma en que se interpretan las características de las maderas tropicales y sus propiedades elásticas en diferentes contextos. Según Sefidgar et al. (2022), el módulo elástico de las maderas tropicales puede variar significativamente según las condiciones de crecimiento, la especie y las prácticas de ensayo, lo que puede explicar las variaciones observadas entre las diferentes normativas.

El análisis de estos resultados destaca las variaciones en la clasificación de maderas tropicales como Fernán Sánchez y Guachapelí. Las normativas BS EN 384 y BS EN 338, basadas en especies europeas, tienden a proporcionar valores más bajos de módulo elástico, lo que podría reflejar un enfoque más conservador en su evaluación. Mientras tanto, la ASTM parece asignar valores más elevados, lo que sugiere un enfoque más liberal en la interpretación de las capacidades elásticas de la madera, posiblemente con un mayor margen de seguridad o una metodología que favorece la selección de materiales con características mecánicas más robustas (Bodart et al., 2020). Este análisis resalta la necesidad de realizar estudios más específicos sobre las especies locales para una clasificación más precisa y adecuada a las condiciones de uso y características particulares de la madera ecuatoriana.

Tabla 16

Análisis comparativo entre las propiedades físico-mecánicas de Fernán Sánchez y Guachapelí según normativas.

Modulo Elástico (N/mm2)		
Especies	Normativa	Modulo Elástico
Fernán Sánchez	NEC (2015)	7500.00
	BS EN 384-2004	6421.17
	BS EN 338-2003	6400.00
	ASTM D143-22	9583.83
Guachapelí	NEC (2015)	7500.00
	BS EN 384-2004	5114.23
	BS EN 338-2003	4700.00
	ASTM D143-22	7633.18

Nota. Elaboración de los autores

Conclusiones

Según el objetivo específico 1, de desarrollar y ensayar probetas de madera a compresión, tracción, flexión y corte, según la norma ASTM D143-22, donde los ensayos de compresión, tracción, flexión y corte realizados según la norma ASTM D143-22 permitieron obtener valores de esfuerzos últimos significativamente más altos que los reportados por la NEC (2015) y las normativas europeas BS EN 384-2004 y BS EN 338-2003, sugiriendo que la ASTM clasifica las maderas tropicales con un enfoque más liberal, aplicando márgenes de seguridad mayores, sin embargo, los esfuerzos admisibles deben ser determinados comparando directamente los resultados de la NEC y las normativas europeas, ya que estos son los valores aplicables en diseño estructural. Los resultados también indicaron que las maderas ensayadas pueden soportar mayores cargas de trabajo bajo las especificaciones de ASTM, lo que refuerza la confiabilidad de esta normativa para proyectos estructurales en contextos donde la resistencia de la madera es clave.

Según el objetivo específico 2, de analizar y procesar los resultados de los ensayos según la Norma ASTM D2915-17, se establece la metodología para la clasificación de maderas estructurales basadas en pruebas de resistencia, mostró una considerable variabilidad en las propiedades mecánicas de las especies Fernán Sánchez y Guachapelí en comparación con los valores característicos de las normativas europeas. En particular, el módulo elástico y los esfuerzos de tracción y compresión paralela fueron más altos según ASTM, lo que resalta la necesidad de adaptar los criterios de evaluación a las especies tropicales y locales. Este procesamiento de los resultados sugiere que las maderas tropicales tienen características que podrían ser subestimadas por normativas europeas, como las de BS EN 384-2004 y BS EN 338-2003, que tienden a clasificar estas especies de manera más conservadora. De esta forma, ASTM

D2915-17 proporciona un enfoque más flexible y adaptado a las necesidades específicas de los materiales en regiones tropicales y subtropicales.

Según el objetivo específico 3, que menciona categorizar las maderas Fernán Sánchez y Guachapelí según la NEC-15 y según otras normativas extranjeras, se obtiene que al comparar la clasificación de las especies Fernán Sánchez y Guachapelí según la NEC (2015) y las normativas extranjeras (BS EN 384-2004, BS EN 338-2003, ASTM), se evidenció una marcada diferencia en los valores de clasificación, especialmente en lo que respecta a la flexión y el módulo elástico. La NEC (2015) mostró valores más bajos de flexión y compresión paralela, sugiriendo que la normativa ecuatoriana adopta un enfoque más conservador para la evaluación de la resistencia de las maderas locales. En contraste, las normativas internacionales como ASTM asignaron valores más elevados para Fernán Sánchez y Guachapelí, lo que podría reflejar un enfoque que privilegia un mayor margen de seguridad para garantizar la capacidad estructural. Las diferencias entre estas normativas subrayan la necesidad de contar con un sistema de clasificación más adaptado a las características específicas de las especies tropicales, y recalcan la importancia de realizar estudios locales más profundos que permitan una mejor alineación entre las normativas internacionales y las especies utilizadas en Ecuador.

Recomendaciones

La NEC (2015) presenta valores de esfuerzos admisibles generalmente más bajos que las normativas internacionales. Sin embargo, su enfoque conservador es relevante para garantizar la seguridad estructural. Se recomienda que estudios futuros integren factores como la densidad, humedad y edad de las maderas locales para ajustar sus valores de diseño, así como la inclusión de pruebas adicionales, como tracción perpendicular, que actualmente no se consideran en la normativa ecuatoriana.

Los márgenes de seguridad más amplios observados en las normativas ASTM y BS EN sugieren un enfoque más permisivo en la evaluación de las propiedades mecánicas. Esto subraya la importancia de desarrollar estudios locales detallados para alinear las normativas internacionales con las características únicas de las especies ecuatorianas, garantizando tanto la sostenibilidad como la seguridad en su uso estructural.

Impulsar un proceso de actualización de la NEC que incorpore las propiedades específicas de las maderas tropicales locales, ajustando los valores de resistencia para reflejar mejor sus capacidades reales según datos experimentales.

Bibliografía

- Abdelatif, A., Abdrahman, R., y Abdalla, A. (2022). *Structural characterization of three types of woods in Sudan: (Anogeissus leiocarpus) Sahab, (Balanites aegyptiaca) Heglieg, and (Sclerocarya birrea) Humeid. Structures*, Obtenido de ScienceDirect, volumen 43:
<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.06.062>
- Anguita, G., Guerra, L., y Huerta, D. (2023). *En Madera, otra forma de construir*. Obtenido de: MINISTERIO PARA LA TRANSFORMACIÓN ECOLÓGICA Y RETO DEMOGRÁFICO, España:
<https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/politica-forestal/En%20madera,%20otra%20forma%20de%20construir.%20El%20material%20constructivo%20sostenible%20del%20siglo%20XXI.pdf>
- Arévalo, L. (27 de febrero de 2023). *Resistencia de distintos tipos de madera para la construcción*. Obtenido de UTMACH:
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/20694/1/AREVALO%20ZAMBRA%20LUIS.pdf>
- Arriaga, F., Wang, X., Íñiguez, G., Llana, D., Esteban, M., y Niemz, P. (2023). *Mechanical properties of wood: A review*. Obtenido de *Forests*, volumen 14:
<https://doi.org/10.3390/f14061202>
- Barreto, J. (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*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia:
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11895>

- Bodart, M., Grelle, R., y Elmhagen, S. (2020). *Evaluation of characteristic values for softwood species in Europe*. Obtenido de Journal of Structural Timber, volumen 9:
<https://doi.org/10.1016/j.structuraltimber.2020.06.004>
- Calderón, V. (2019). *Estudio de caso: Uso forestales no maderables (PFNM) en el municipio de centro*. Obtenido de:
https://www.academia.edu/40506559/Estudio_de_caso_Uso_forestales_no_maderables_PFNM_en_el_municipio_de_centro
- Cevallos, R., y Mera, R. (2023). *Efecto de cuatro tipos de sustratos en vivero en el crecimiento de Albizia guachapele (Kunth) Dugand y Triplaris cumingiana Fisch (Mey), La Pila, Julcuy*. Obtenido de Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador:
<https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/5306/1/Cevallos%20Rodr%C3%ADguez%20Katherine%20Lourdes%20-%20Mera%20S%C3%A1nchez%20Ronny%20Arnulfo.pdf>
- Cornejo, M. (2015). *Guachapelí: Características y aplicaciones de una especie resistente al agua salada*. Obtenido de Forestal Ecuatoriana, volumen 23.
- Cornejo, X. (2015). *Las especies emblemáticas de flora y fauna de la ciudad de Guayaquil y de la provincia del Guayas, Ecuador*. Obtenido de Revista científica de Ciencias Naturales y Ambientales de La Facultad de Ciencias Naturales de La Universidad de Guayaquil, volumen 9: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8278009>
- Crespo, R., Jiménez, E., y Suatunce, P. (2008). *Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de Fernán Sánchez (Triplaris cumingiana)*. Obtenido de Ciencia y Tecnología, volumen 1: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4061089.pdf>

- ECUADOR FORESTAL. (2024). *Ficha Técnica N° 8: Fernán Sánchez*. Obtenido de <https://ecuadorforestal.org>.
- Encalada, M., y Castillo, R. (1988). *Estudio de las propiedades físico-mecánicas de maderas tropicales para su uso en la construcción*. Obtenido de Revista de Tecnología, volumen 9
- FOREST PRODUCTS LABORATORY. (2023). *Wood handbook: Wood as an engineering material*. USDA Forest Service. Obtenido de <https://www.fpl.fs.usda.gov>.
- Guerra, A. (2020). *Comportamiento a flexión de vigas de madera reutilizada unida con bambú (Guadua angustifolia Kunth) para uso estructural*. Obtenido de Revista Ciencia, volumen 22: <https://doi.org/10.24133/ciencia.v22i1.1288>
- Gutiérrez, R. (2008). *Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de Fernán Sánchez (Riplaris Cumingiana Fish. Mey.) de Quevedo y Balzar*. Obtenido de Revista Dialnet, volumen 1: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4061089.pdf>
- Gysling, J., Kahler, C., Soto, D., Mejías, W., Poblete, P., Álvarez, V., Bañados, J., Baeza, D., y Pardo, E. (2021). *Madera y Construcción: Hacia una Simbiosis Estratégica*. Obtenido de Instituto Forestal, Chile. 214 p:
<https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/31291/31291.pdf;jsessionid=32C836E1E64E62DB25E6F1A4E49E911D?sequence=5>
- 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.n.te.2580.2011/ec.n.te.2580.2011.pdf>

- INEN. (11 de marzo de 2022). *NTE INEN 2580: Sistema de clasificación de madera aserrada proveniente de bosques húmedos tropicales*. Obtenido de WordPress:
<https://construccionesuce.wordpress.com/2022/03/11/n-te-inen-2580-sistema-de-clasificacion-de-madera-aserrada-proveniente-de-bosques-humedos-tropicales/>
- Jiménez, E., Suatunce, P., Law, G., y Sánchez, C. (2020). *Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de Fernán Sánchez (Triplaris cumingiana Fish.Mey.) de Quevedo y Balzar*. Obtenido de CEIPA: <http://www.ceipa.edu.ec>
- 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>
- Pérez, A. (1983). *Propiedades mecánicas de maderas tropicales y su influencia en el diseño estructural*. Fundación Universitaria, volumen 34:
<https://www.redalyc.org/pdf/617/61750107.pdf>
- Pisco, R. (2015). *Caracterización demonológica de las especies maderables y su impacto económico en el recinto la pita del canto Jipijapa*. Obtenido de Universidad Estatal del Sur: <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/98>
- Rivero, H. (2004). *Estudio comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de maderas nativas en Ecuador*. Obtenido de Investigación Forestal, volumen 22:
<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8879/1/1.%20Tesis%20Final.pdf>
- Sefidgar, M., Harun, S., y Zamri, A. (2022). *Variability in mechanical properties of tropical timber species*. Obtenido de Revita Journal of Wood Science, volumen 68:
<https://doi.org/10.1007/s10086-022-02085-x>

Serrano, G. (2002). *Maderas tropicales: Propiedades y uso en la ingeniería estructural*.

Obtenido de Ediciones Técnicas:

<https://www.redalyc.org/journal/634/63454557004/html/>

Tuset, J., y Durán, J. (1974). *Comportamiento mecánico de maderas para uso estructural en condiciones de alta humedad*. Ingeniería Forestal, volumen 11, 12-27.

Anexos

Tabla 17

Contenido de Humedad Fernán Sánchez

Nº Muestra	Masa Humedad (gr)	Masa Anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
H01-F	32.05	28.50	12.46
H02-F	31.67	28.20	12.30
H03-F	31.18	27.70	12.56
H04-F	32.01	28.40	12.71
H05-F	33.56	29.80	12.62
H06-F	36.90	32.60	13.19
H07-F	32.30	28.7	12.54
H08-F	29.97	26.7	12.25
H09-F	33.09	29.4	12.55
H10-F	34.64	30.7	12.83
H11-F	33.40	29.7	12.46
H12-F	41.98	37.0	13.46
H13-F	33.81	30.1	12.33
H14-F	40.71	36.2	12.46
H15-F	32.84	29.4	11.70
H16-F	39.94	35.3	13.14
H17-F	34.51	30.6	12.78
H18-F	33.47	29.8	12.32
H19-F	31.61	28.3	11.70
H20-F	35.73	31.8	12.36
H21-F	30.96	27.4	12.99
H22-F	34.59	30.9	11.94
H23-F	39.60	35.3	12.18
H24-F	34.94	31.3	11.63
H25-F	40.86	36.2	12.87
H26-F	39.25	34.9	12.46
H27-F	38.56	34.3	12.42
H28-F	33.14	29.7	11.58
H29-F	31.46	28.2	11.56
H30-F	33.41	30.0	11.37
PROMEDIO			12.39
DESVIACIÓN ESTANDAR			0.52

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 18*Contenido de humedad: Guachapelí*

N° Muestra	Masa Humedad (gr)	Masa Anhidra (gr)	Contenido de humedad (%)
H01-G	38.3	34.2	11.99
H02-G	39.4	35.2	11.93
H03-G	39.9	35.5	12.39
H04-G	40	35.5	12.68
H05-G	37.1	33.2	11.75
H06-G	39.7	35.5	11.83
H07-G	38	34.0	11.76
H08-G	36.7	33.0	11.21
H09-G	35.8	32.2	11.18
H10-G	34.1	30.4	12.17
H11-G	34.3	30.7	11.73
H12-G	34.8	31.1	11.90
H13-G	35.3	31.7	11.36
H14-G	33.9	30.2	12.25
H15-G	36.6	32.7	11.93
H16-G	32.1	28.5	12.63
H17-G	36.4	32.5	12.00
H18-G	31.4	28.2	11.35
H19-G	36.2	32.6	11.04
H20-G	36.5	32.7	11.62
H21-G	36.8	33.1	11.18
H22-G	38.5	34.5	11.59
H23-G	38.4	34.5	11.30
H24-G	31.5	28.1	12.10
H25-G	36.9	33.2	11.14
H26-G	33.2	29.6	12.16
H27-G	35.5	32.0	10.94
H28-G	35.2	31.7	11.04
H29-G	38.3	34.4	11.34
H30-G	38.2	34.3	11.37
PROMEDIO			11.70
DESVIACIÓN ESTANDAR			0.48

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 19*Resultados de ensayos de Compresión Paralela*

N° Muestra	Fuerza Máxima (kN)	Desplazamiento Máximo (mm)	Esfuerzo Máximo (N/mm ²)	Deformación Máximo (%)	Modulo Elástico (N/mm ²)
CPA 01 - F	96.32	0.52	36.12	0.52	9627.44
CPA 02 - F	97.12	0.61	38.76	0.61	9902.58
CPA 03 - F	95.76	0.68	37.62	0.68	9042.60
CPA 04 - F	83.97	0.63	32.86	0.63	8260.20
CPA 05 - F	83.12	0.58	33.07	0.58	9048.99
CPA 06 - F	75.58	0.48	29.87	0.48	9169.77
CPA 07 - F	71.53	0.50	28.03	0.50	7197.72
CPA 08 - F	65.88	1.05	25.67	1.05	6551.34
CPA 09 - F	74.78	0.66	28.78	0.66	6867.84
CPA 10 - F	65.60	0.89	25.73	0.89	5424.06
CPA 11 - F	66.42	0.48	25.85	0.48	7313.55
CPA 12 - F	74.38	0.54	29.25	0.54	7978.32
CPA 13 - F	80.05	0.42	31.48	0.42	9366.91
CPA 14 - F	76.35	0.48	30.19	0.48	9068.81
CPA 15 - F	81.25	0.57	32.21	0.57	7685.48
CPA 16 - F	74.78	0.56	29.19	0.56	7226.97
CPA 17 - F	79.40	0.34	31.17	0.34	9946.93
CPA 18 - F	62.63	0.60	24.21	0.60	5498.54
CPA 19 - F	65.14	0.60	25.47	0.60	6740.57
CPA 20 - F	75.60	0.54	29.76	0.54	8496.40
CPA 21 - F	67.49	0.43	26.53	0.43	8075.89
CPA 22 - F	63.82	0.45	25.21	0.45	7062.97
CPA 23 - F	85.25	0.38	33.60	0.38	10471.60
CPA 24 - F	86.31	0.60	33.92	0.60	8379.23
CPA 25 - F	83.46	0.60	27.85	0.60	6768.86
CPA 26 - F	56.00	0.60	22.92	0.60	5280.39
CPA 27 - F	66.43	0.60	25.83	0.60	5684.56
CPA 28 - F	79.57	0.55	31.67	0.55	9069.37
CPA 29 - F	62.22	0.60	24.96	0.60	5849.60
CPA 30 - F	88.62	0.51	35.19	0.51	9810.53
PROMEDIO	76.16	0.57	29.77	0.57	7895.60
DESVIACIÓN ESTANDAR	10.77	0.14	4.16	0.14	1517.02

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 20*Resultados de ensayos de Compresión Perpendicular*

N° Muestra	Fuerza Máxima (kN)	Desplazamiento Máximo (mm)	Esfuerzo Máximo (N/mm ²)	Deformación Máximo (%)	Modulo Elástico (N/mm ²)
CPE01-F	27.20	3.00	11.02	5.99	592.03
CPE02-F	22.80	3.00	9.07	5.93	555.50
CPE03-F	24.45	3.00	11.22	5.94	636.80
CPE04-F	20.49	3.00	9.27	5.90	531.32
CPE05-F	25.70	3.00	10.30	5.98	571.96
CPE06-F	27.96	3.00	11.23	6.02	676.78
CPE07-F	20.68	3.00	8.21	5.90	488.10
CPE08-F	21.06	3.00	8.34	5.91	453.00
CPE09-F	28.09	3.00	11.13	6.08	709.56
CPE10-F	27.60	3.00	10.87	6.50	607.33
CPE11-F	28.67	3.00	11.54	5.95	710.18
CPE12-F	26.67	3.00	10.60	5.94	513.68
CPE13-F	26.04	3.00	10.27	6.51	523.11
CPE14-F	24.05	3.00	9.43	6.98	410.44
CPE15-F	25.74	3.00	10.66	5.96	430.53
CPE16-F	25.90	3.00	10.42	5.91	674.24
CPE17-F	22.81	3.00	9.04	5.88	565.49
CPE18-F	20.16	3.00	7.99	6.02	436.79
CPE19-F	30.36	3.00	12.12	6.28	569.33
CPE20-F	26.51	3.00	10.59	5.95	475.43
CPE21-F	25.17	3.00	10.05	5.98	512.22
CPE22-F	23.48	3.00	9.44	5.96	621.37
CPE23-F	24.16	3.00	9.45	5.83	576.27
CPE24-F	21.96	3.00	9.99	5.94	616.34
CPE25-F	23.31	3.00	9.23	6.53	474.61
CPE26-F	21.95	3.00	8.78	5.94	532.80
CPE27-F	22.48	3.00	8.93	6.34	404.32
CPE28-F	32.02	3.00	12.90	5.92	763.00
CPE29-F	23.61	3.00	9.39	5.93	596.06
CPE30-F	19.92	3.00	7.84	6.26	566.85
PROMEDIO	24.70	3.00	9.98	6.07	559.85
DESVIACIÓN ESTANDAR	3.07	0.00	1.24	0.26	92.43

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 21*Resultados de ensayos de Tracción Perpendicular*

N° Muestra	Fuerza Máxima (kN)	Desplazamiento Máximo (mm)	Esfuerzo Máximo (N/mm ²)	Deformación Máximo (%)	Modulo Elástico (N/mm ²)
TPE01-F	7.58	1.24	6.29	2.50	237.15
TPE02-F	5.24	1.36	4.33	2.80	58.38
TPE03-F	3.05	0.72	2.49	1.49	172.28
TPE04-F	7.18	0.83	6.02	1.68	405.66
TPE05-F	4.22	1.28	3.33	2.60	110.67
TPE06-F	3.85	0.80	3.09	1.67	196.01
TPE07-F	3.56	0.75	2.74	1.53	196.70
TPE08-F	6.29	1.44	5.16	2.92	107.24
TPE09-F	3.66	0.59	3.00	1.21	312.38
TPE10-F	2.55	0.67	2.07	1.37	172.21
TPE11-F	7.99	1.87	7.57	3.83	172.02
TPE12-F	6.14	0.94	5.06	1.90	283.40
TPE13-F	5.86	1.07	4.68	2.14	236.72
TPE14-F	4.10	0.67	3.22	1.35	242.31
TPE15-F	7.44	1.07	6.25	2.18	259.99
TPE16-F	4.62	1.13	3.72	2.41	157.11
TPE17-F	6.27	0.92	5.63	1.87	325.94
TPE18-F	4.29	0.97	3.67	1.99	199.85
TPE19-F	4.21	0.84	3.34	1.70	235.24
TPE20-F	2.75	0.90	2.12	1.91	159.59
TPE21-F	3.35	0.78	2.99	1.63	209.20
TPE22-F	5.59	1.37	4.42	2.78	192.50
TPE23-F	3.50	1.05	2.78	2.11	187.65
TPE24-F	3.81	1.03	3.02	2.14	138.87
TPE25-F	4.74	1.26	3.62	2.66	151.31
TPE26-F	3.39	0.64	2.92	1.36	308.85
TPE27-F	5.09	0.72	4.41	1.50	375.12
TPE28-F	2.79	0.66	2.47	1.35	274.07
TPE29-F	6.93	1.00	5.66	2.03	289.14
TPE30-F	4.67	0.74	4.04	1.52	345.38
PROMEDIO	4.82	0.98	4.00	2.01	223.76
DESVIACIÓN ESTANDAR	1.57	0.29	1.41	0.60	82.23

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 22*Resultados de ensayos de Tracción Paralela*

N° Muestra	Fuerza Máxima (kN)	Desplazamiento Máximo (mm)	Esfuerzo Máximo (N/mm ²)	Deformación Máxima (%)	Modulo Elástico (N/mm ²)
TPA01-F	3.25	1.46	47.19	0.56	14543.80
TPA02-F	2.17	1.12	42.47	0.43	19943.50
TPA03-F	5.02	1.96	79.37	0.75	18588.40
TPA04-F	1.51	0.93	26.25	0.35	8126.33
TPA05-F	2.41	1.33	45.29	0.51	13476.30
TPA06-F	3.97	1.62	66.42	0.62	12226.30
TPA07-F	2.30	1.05	32.05	0.40	13759.50
TPA08-F	3.38	1.86	63.76	0.72	15101.50
TPA09-F	4.08	1.72	75.73	0.66	16431.70
TPA10-F	2.88	1.01	55.32	0.39	13423.70
TPA11-F	5.67	1.98	79.52	0.76	20620.90
TPA12-F	8.01	3.03	119.56	1.16	19317.70
TPA13-F	6.64	2.14	114.40	0.82	14036.30
TPA14-F	8.36	2.16	124.03	0.83	28369.60
TPA15-F	3.30	1.40	50.98	0.54	13468.50
TPA16-F	6.87	1.87	111.70	0.72	22978.30
TPA17-F	6.50	2.58	79.74	0.98	13277.10
TPA18-F	7.78	2.53	91.65	0.97	12210.30
TPA19-F	5.62	2.18	80.47	0.84	17796.90
TPA20-F	3.96	1.45	74.96	0.56	23549.40
TPA21-F	4.99	2.13	59.37	0.82	12319.90
TPA22-F	2.91	1.33	47.53	0.51	13329.10
TPA23-F	7.37	2.31	98.03	0.88	11702.20
TPA24-F	7.42	2.71	85.93	1.06	12517.40
TPA25-F	7.90	2.40	117.07	0.92	18234.10
TPA26-F	9.43	2.56	113.90	0.99	16922.50
TPA27-F	6.45	2.49	110.02	0.95	13674.30
TPA28-F	6.21	2.35	67.78	0.90	8067.47
TPA29-F	1.78	0.90	25.74	0.34	21996.60
TPA30-F	5.04	1.54	65.90	0.59	12508.80
PROMEDIO	5.11	1.87	75.07	0.72	15750.61
DESVIACIÓN ESTANDAR	2.24	0.59	29.05	0.23	4615.15

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 23*Resultados de ensayos de Flexión*

N° Muestra	Fuerza Máxima (kN)	Desplazamiento Máximo (mm)	Esfuerzo Máximo (N/mm ²)	Deformación Máximo (%)	Modulo Elástico (N/mm ²)
F01-F	8.33	15.66	71.61	0.92	9604.72
F02-F	9.64	17.02	82.47	1.01	10448.50
F03-F	9.05	12.48	75.78	0.75	11539.90
F04-F	8.39	21.92	70.33	1.31	8138.21
F05-F	7.00	12.26	60.18	0.72	9319.97
F06-F	3.33	7.81	27.47	0.48	5974.64
F07-F	7.16	11.99	62.71	0.70	10182.20
F08-F	7.63	13.23	67.62	0.79	10155.40
F09-F	7.41	15.97	61.32	0.95	10027.90
F10-F	6.95	17.60	59.21	1.05	8212.49
F11-F	6.59	10.94	54.15	0.66	9433.60
F12-F	6.97	10.85	55.16	0.67	8796.03
F13-F	7.72	16.52	66.31	0.98	9164.16
F14-F	6.03	11.16	49.61	0.67	8339.13
F15-F	4.67	8.64	39.24	0.51	7659.65
F16-F	4.97	7.27	42.59	0.43	9823.35
F17-F	8.57	13.10	70.74	0.79	11438.50
F18-F	7.03	8.52	56.22	0.52	11227.20
F19-F	4.88	9.56	40.35	0.57	7421.54
F20-F	10.43	18.90	88.99	1.14	10983.30
F21-F	5.26	8.67	41.68	0.53	7872.01
F22-F	6.72	11.05	56.31	0.66	10274.60
F23-F	7.38	11.52	61.71	0.69	9856.17
F24-F	3.86	6.84	32.79	0.40	8004.52
F25-F	8.28	11.27	68.81	0.68	11088.30
F26-F	7.59	10.69	62.66	0.64	11042.60
F27-F	9.98	16.28	82.80	0.97	11550.70
F28-F	10.05	18.97	82.16	1.16	11336.40
F29-F	6.13	10.98	51.27	0.65	8831.80
F30-F	6.76	12.01	56.15	0.72	9767.47
PROMEDIO	7.16	12.66	59.95	0.76	9583.83
DESVIACIÓN ESTANDAR	1.78	3.82	15.20	0.23	1430.36

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 24*Resultados de ensayos de Flexión*

N° Muestra	Fuerza Máxima (kN)	Desplazamiento Máximo (mm)	Esfuerzo Máximo (N/mm ²)	Deformación Máximo (%)	Modulo Elástico (N/mm ²)
COP 1-F	18.77	1.70	7.56	3.36	272.29
COP 2-F	15.18	2.87	6.57	5.75	60.06
COP 3-F	20.17	1.62	8.37	3.20	343.76
COP 4-F	19.22	1.92	8.03	3.83	338.28
COP 5-F	22.50	2.21	9.16	4.42	114.26
COP 6-F	20.73	1.87	8.48	3.72	176.97
COP 7-F	18.35	2.15	7.41	4.33	164.60
COP 8-F	26.79	2.28	11.11	4.49	201.72
COP 9-F	21.14	2.77	8.26	5.55	147.85
COP 10-F	19.46	2.32	8.21	4.58	240.49
COP 11-F	23.63	2.81	9.30	5.59	224.95
COP 12-F	16.40	1.98	6.46	3.90	215.81
COP 13-F	18.37	1.83	7.42	3.69	265.76
COP 14-F	24.12	3.10	9.83	6.15	291.35
COP 15-F	21.48	1.61	8.38	3.20	235.04
COP 16-F	16.20	1.64	6.69	3.23	266.45
COP 17-F	20.64	2.57	8.40	5.11	167.35
COP 18-F	19.07	1.96	7.84	3.89	150.23
COP 19-F	15.60	2.08	6.45	4.10	178.05
COP 20-F	27.18	3.40	11.94	6.83	200.05
COP 21-F	27.90	3.34	11.12	6.70	313.35
COP 22-F	24.05	2.85	10.09	5.59	134.17
COP 23-F	22.23	2.70	9.13	5.36	172.44
COP 24-F	14.65	1.62	5.99	3.22	140.32
COP 25-F	18.81	1.62	7.77	3.23	310.89
COP 26-F	14.99	1.81	6.14	3.60	67.59
COP 27-F	24.83	4.08	9.50	8.18	388.49
COP 28-F	20.41	1.73	8.29	3.40	304.23
COP 29-F	25.27	3.28	10.23	6.60	207.42
COP 30-F	25.54	2.77	10.48	5.49	235.96
PROMEDIO	20.79	2.35	8.49	4.68	217.67
DESVIACIÓN ESTANDAR	3.80	0.66	1.57	1.33	81.16

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 25

Resultados de ensayos de Compresión Paralela

N° Muestra	Fuerza Máxima (kN)	Desplazamiento Máximo (mm)	Esfuerzo Máximo (N/mm ²)	Deformación Máximo (%)	Modulo Elástico (N/mm ²)
CPA 01 - G	91.40	0.53	34.24	0.53	7596.93
CPA 02 - G	95.60	0.57	35.80	0.57	7791.37
CPA 03 - G	86.12	0.42	33.09	0.42	10728.40
CPA 04 - G	74.36	0.60	29.25	0.60	6526.41
CPA 05 - G	89.68	0.50	35.06	0.50	8275.40
CPA 06 - G	80.98	0.59	31.16	0.59	6358.98
CPA 07 - G	87.00	0.55	33.74	0.55	8421.80
CPA 08 - G	93.04	0.49	35.96	0.49	8567.13
CPA 09 - G	88.87	0.52	33.94	0.52	8728.48
CPA 10 - G	103.58	0.46	40.61	0.46	10099.50
CPA 11 - G	89.64	0.60	35.02	0.60	7302.60
CPA 12 - G	91.80	0.60	35.70	0.60	7403.67
CPA 13 - G	85.51	0.04	36.60	0.04	42943.00
CPA 14 - G	93.68	0.54	37.03	0.54	7970.99
CPA 15 - G	92.09	0.60	35.73	0.60	7724.77
CPA 16 - G	83.77	0.60	33.50	0.60	7195.64
CPA 17 - G	80.20	0.48	30.70	0.48	9469.94
CPA 18 - G	104.05	0.50	40.68	0.50	9329.19
CPA 19 - G	93.65	0.44	36.65	0.44	9804.06
CPA 20 - G	91.08	0.53	36.83	0.53	8321.74
CPA 21 - G	72.31	0.58	28.88	0.58	6707.30
CPA 22 - G	83.91	0.50	32.75	0.50	8317.13
CPA 23 - G	72.62	0.44	29.84	0.44	8560.80
CPA 24 - G	95.71	0.60	36.66	0.60	7831.29
CPA 25 - G	97.06	0.58	36.67	0.58	8068.41
CPA 26 - G	93.65	0.51	35.58	0.51	8137.77
CPA 27 - G	73.59	0.33	28.33	0.33	9977.50
CPA 28 - G	79.92	0.60	31.27	0.60	5927.21
CPA 29 - G	103.97	0.52	39.40	0.52	8766.25
CPA 30 - G	108.81	0.51	41.31	0.51	9357.38
PROMEDIO	89.26	0.51	34.73	0.51	9407.03
DESVIACIÓN ESTANDAR	9.50	0.11	3.45	0.11	6436.09

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 26**Resultados de ensayos de Compresión Perpendicular**

N° Muestra	Fuerza Máxima (kN)	Desplazamiento o Máximo (mm)	Esfuerzo Máximo (N/mm ²)	Deformación Máxima (%)	Modulo Elástico (N/mm ²)
CPE01-G	27.79	2.70	11.07	5.15	538.70
CPE02-G	28.60	2.70	11.03	5.40	498.42
CPE03-G	25.40	2.70	10.17	5.22	433.54
CPE04-G	30.33	2.70	11.95	5.40	424.65
CPE05-G	28.39	2.70	11.18	5.31	487.64
CPE06-G	27.32	2.70	11.01	5.30	323.07
CPE07-G	30.71	2.70	12.29	5.30	538.90
CPE08-G	30.31	2.70	12.05	5.26	490.04
CPE09-G	30.30	2.70	11.96	5.30	457.92
CPE10-G	30.95	2.70	12.19	5.35	423.62
CPE11-G	24.35	2.70	9.48	5.38	318.20
CPE12-G	19.72	2.70	7.78	5.35	362.08
CPE13-G	22.67	2.70	8.82	5.40	433.93
CPE14-G	27.05	2.70	10.81	5.29	466.04
CPE15-G	35.92	2.70	14.11	5.32	515.67
CPE16-G	29.47	2.70	11.34	5.36	456.18
CPE17-G	28.71	2.70	11.30	5.33	466.85
CPE18-G	22.10	2.70	9.14	5.34	446.41
CPE19-G	34.56	2.70	13.54	5.34	613.27
CPE20-G	23.67	2.70	9.57	5.29	410.09
CPE21-G	33.59	2.70	13.49	5.33	449.14
CPE22-G	31.32	2.70	11.90	5.39	427.69
CPE23-G	26.51	2.70	10.61	5.22	439.12
CPE24-G	24.72	2.70	9.88	5.28	342.64
CPE25-G	33.17	2.70	12.94	5.41	449.65
CPE26-G	26.51	2.70	10.49	5.20	513.41
CPE27-G	26.04	2.70	10.25	5.30	523.58
CPE28-G	25.75	2.70	10.11	5.43	305.83
CPE29-G	28.13	2.70	11.30	5.23	384.28
CPE30-G	31.49	2.70	12.52	5.28	513.68
PROMEDIO	28.18	2.70	11.14	5.31	448.47
DESVIACIÓN N ESTANDAR	3.79	0.00	1.46	0.07	71.46

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 27**Resultados de ensayos de Tracción Perpendicular**

N° Muestra	Fuerza Máxima (kN)	Desplazamiento Máximo (mm)	Esfuerzo Máximo (N/mm ²)	Deformación Máximo (%)	Modulo Elástico (N/mm ²)
TPE01-G	3.40	1.02	2.75	2.05	165.17
TPE02-G	3.99	1.00	3.11	2.05	167.46
TPE03-G	4.44	0.99	3.93	1.95	213.28
TPE04-G	3.18	0.89	2.49	1.83	183.26
TPE05-G	3.02	0.97	2.48	1.97	131.76
TPE06-G	3.45	0.56	2.89	1.14	279.38
TPE07-G	5.32	0.71	4.31	1.44	393.28
TPE08-G	4.20	0.91	3.50	1.82	221.34
TPE09-G	3.97	0.98	3.14	2.04	201.50
TPE10-G	3.43	1.08	2.82	2.17	164.71
TPE11-G	4.01	1.04	3.43	2.07	161.88
TPE12-G	4.91	1.31	4.55	2.68	151.21
TPE13-G	3.81	0.87	3.02	1.75	166.59
TPE14-G	4.19	1.16	3.55	2.34	140.59
TPE15-G	4.43	0.89	3.52	1.78	224.56
TPE16-G	2.20	0.78	1.68	1.60	119.26
TPE17-G	2.79	0.84	2.15	1.74	135.95
TPE18-G	3.92	0.95	3.01	1.91	176.06
TPE19-G	2.69	0.74	2.34	1.47	196.87
TPE20-G	5.37	0.95	4.49	1.89	252.36
TPE21-G	2.31	0.84	1.80	1.69	139.54
TPE22-G	4.61	1.27	3.70	2.60	111.76
TPE23-G	3.54	1.03	3.01	2.12	108.97
TPE24-G	3.37	0.92	2.66	1.84	200.82
TPE25-G	4.41	0.81	3.61	1.64	264.40
TPE26-G	4.47	0.98	3.77	1.98	193.22
TPE27-G	4.50	0.94	3.50	1.90	212.20
TPE28-G	4.89	0.77	4.09	1.59	314.04
TPE29-G	4.41	1.02	3.50	2.06	176.69
TPE30-G	3.55	0.97	2.84	1.95	168.60
PROMEDIO	3.89	0.94	3.19	1.90	191.22
DESVIACIÓN ESTANDAR	0.82	0.15	0.73	0.32	62.16

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 28**Resultados de ensayos de Tracción Paralela**

N° Muestra	Fuerza Máxima (kN)	Desplazamiento Máximo (mm)	Esfuerzo Máximo (N/mm ²)	Deformación Máximo (%)	Modulo Elástico (N/mm ²)
TPA01-G	5.25	2.41	82.61	0.93	7915.06
TPA02-G	1.53	0.80	29.28	0.31	9267.57
TPA03-G	3.26	1.51	47.60	0.59	6010.45
TPA04-G	5.23	2.10	85.76	0.81	9227.31
TPA05-G	2.68	1.40	50.06	0.54	10328.40
TPA06-G	5.65	2.96	74.46	1.14	7477.54
TPA07-G	3.74	1.63	59.85	0.63	6886.45
TPA08-G	3.17	2.00	57.00	0.78	9784.72
TPA09-G	2.71	1.59	40.55	0.61	5968.84
TPA10-G	1.93	1.09	41.15	0.42	7497.34
TPA11-G	3.27	1.78	45.09	0.69	8268.33
TPA12-G	3.44	2.21	44.74	0.86	5899.17
TPA13-G	1.65	0.89	27.79	0.34	9891.09
TPA14-G	3.08	1.27	51.06	0.49	11492.60
TPA15-G	2.85	1.66	52.09	0.64	6244.94
TPA16-G	4.17	2.81	80.78	1.09	15405.80
TPA17-G	4.28	2.20	73.27	0.84	9782.50
TPA18-G	2.42	1.33	53.27	0.50	9682.23
TPA19-G	3.05	1.37	52.97	0.53	8760.98
TPA20-G	5.96	2.35	105.62	0.91	11921.80
TPA21-G	4.49	1.72	70.31	0.66	9836.22
TPA22-G	4.31	2.03	67.74	0.78	30052.90
TPA23-G	3.48	1.96	55.20	0.75	11722.70
TPA24-G	3.72	2.10	52.53	0.81	4362.19
TPA25-G	3.88	2.41	61.23	0.93	9846.25
TPA26-G	3.46	1.98	37.00	0.76	5853.64
TPA27-G	3.93	1.81	49.75	0.70	10353.70
TPA28-G	3.24	1.84	63.21	0.70	6970.06
TPA29-G	3.56	1.59	63.57	0.61	16273.50
TPA30-G	4.83	1.94	74.13	0.75	9762.57
PROMEDIO	3.61	1.82	58.32	0.70	9758.23
DESVIACIÓN ESTANDAR	1.09	0.51	17.38	0.20	4668.15

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 29**Resultados de ensayos de Tracción Flexión**

N° Muestra	Fuerza Máxima (kN)	Desplazamiento Máximo (mm)	Esfuerzo Máximo (N/mm ²)	Deformación Máximo (%)	Modulo Elástico (N/mm ²)
F01-G	6.37	13.11	51.47	0.80	7443.63
F02-G	3.27	8.71	26.18	0.53	4969.14
F03-G	6.95	18.32	55.25	1.12	6129.36
F04-G	3.18	12.06	27.19	0.71	4025.32
F05-G	8.35	21.88	66.49	1.34	9094.09
F06-G	7.16	14.61	58.35	0.88	9026.84
F07-G	7.83	57.57	60.77	3.55	4881.03
F08-G	7.41	16.58	63.55	0.98	10052.40
F09-G	7.44	14.70	60.36	0.91	7850.86
F10-G	9.28	29.47	71.90	1.84	7312.83
F11-G	6.05	23.98	50.50	1.45	6423.01
F12-G	7.59	14.70	63.92	0.88	10492.30
F13-G	8.78	18.33	71.27	1.12	10166.70
F14-G	5.86	11.47	46.34	0.71	7782.40
F15-G	6.86	17.24	53.72	1.07	7115.97
F16-G	9.06	19.24	71.96	1.19	8115.75
F17-G	5.36	23.60	44.71	1.43	5228.29
F18-G	7.33	24.53	57.51	1.53	7173.42
F19-G	6.91	17.86	54.12	1.10	6855.41
F20-G	7.88	28.74	63.60	1.76	6653.57
F21-G	7.97	16.73	62.62	1.03	10269.40
F22-G	6.33	15.52	50.68	0.97	8298.66
F23-G	8.13	15.66	63.85	0.97	7783.02
F24-G	8.48	17.67	72.34	1.05	11055.60
F25-G	6.70	15.34	54.77	0.94	7380.13
F26-G	7.80	27.52	58.13	1.73	7334.92
F27-G	8.66	17.34	68.64	1.07	10404.50
F28-G	6.65	31.57	53.59	1.94	4384.64
F29-G	4.19	7.61	34.29	0.47	7228.99
F30-G	5.06	8.83	41.63	0.53	8063.31
PROMEDIO	6.96	19.35	55.99	1.19	7633.18
DESVIACIÓN ESTANDAR	1.56	9.46	12.22	0.59	1876.05

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 30**Resultados de ensayos de Corte**

N° Muestra	Fuerza Máxima (kN)	Desplazamiento Máximo (mm)	Esfuerzo Máximo (N/mm ²)	Deformación Máximo (%)	Modulo Elástico (N/mm ²)
COP 1-G	20.52	1.50	8.41	3.08	332.11
COP 2-G	24.06	1.71	9.38	3.43	344.80
COP 3-G	25.79	1.99	11.40	4.02	380.95
COP 4-G	19.66	1.49	7.58	2.96	332.48
COP 5-G	20.72	1.45	8.45	2.86	343.40
COP 6-G	22.31	1.59	8.59	3.11	337.06
COP 7-G	20.00	1.64	7.68	3.27	287.69
COP 8-G	17.61	1.97	6.72	4.15	231.08
COP 9-G	18.79	1.64	7.28	3.24	252.35
COP 10-G	20.58	1.37	8.11	2.72	362.90
COP 11-G	20.05	1.79	7.70	3.55	200.06
COP 12-G	23.54	1.53	9.17	3.02	382.63
COP 13-G	27.86	1.95	10.56	3.86	338.61
COP 14-G	31.12	2.37	12.01	4.74	370.28
COP 15-G	24.02	1.71	10.30	3.42	368.09
COP 16-G	20.13	2.55	8.38	4.96	217.55
COP 17-G	22.76	1.91	8.86	3.78	273.12
COP 18-G	27.15	2.28	10.99	4.60	314.94
COP 19-G	24.12	1.70	9.33	3.49	298.65
COP 20-G	26.61	1.90	10.35	3.73	345.67
COP 21-G	25.14	2.45	9.57	4.98	234.99
COP 22-G	26.99	2.00	10.89	3.99	301.60
COP 23-G	19.12	1.85	7.41	3.64	236.65
COP 24-G	25.75	2.49	10.16	4.97	140.34
COP 25-G	18.16	1.70	7.04	3.44	250.16
COP 26-G	28.07	2.43	10.92	5.14	305.76
COP 27-G	27.47	2.57	11.59	5.06	275.77
COP 28-G	19.11	1.33	7.33	2.70	282.80
COP 29-G	30.47	2.03	11.68	4.01	358.12
COP 30-G	24.00	2.04	9.27	4.12	167.82
PROMEDIO	23.39	1.90	9.24	3.80	459.15
DESVIACIÓN ESTANDAR	3.77	0.37	1.56	0.75	178.35

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 31

Resultados del ensayo de flexión Fernán Sánchez según la normativa BS EN 384:2004 – 3382003.

N° Muestra	Esfuerzo Máximo (N/mm²)	Modulo Elástico (N/mm²)
F06-F	27.47	5974.64
F19-F	40.35	7421.54
F15-F	39.24	7659.65
F21-F	41.68	7872.01
F24-F	32.79	8004.52
F04-F	70.33	8138.21
F10-F	59.21	8212.49
F14-F	49.61	8339.13
F12-F	55.16	8796.03
F29-F	51.27	8831.80
F13-F	66.31	9164.16
F05-F	60.18	9319.97
F11-F	54.15	9433.60
F01-F	71.61	9604.72
F30-F	56.15	9767.47
F16-F	42.59	9823.35
F23-F	61.71	9856.17
F09-F	61.32	10027.90
F08-F	67.62	10155.40
F07-F	62.71	10182.20
F22-F	56.31	10274.60
F02-F	82.47	10448.50
F20-F	88.99	10983.30
F26-F	62.66	11042.60
F25-F	68.81	11088.30
F18-F	56.22	11227.20
F28-F	82.16	11336.40
F17-F	70.74	11438.50
F03-F	75.78	11539.90
F27-F	82.80	11550.70
PROMEDIO	59.95	9583.83
DESVIACIÓN ESTANDAR	15.20	1430.36

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 32

Resultados del ensayo de flexión Guachapelí según la normativa BS EN 384:2004 – 3382003.

N° Muestra	Esfuerzo Máximo (N/mm²)	Modulo Elástico (N/mm²)
F04-G	27.19	4025.32
F28-G	53.59	4384.64
F07-G	60.77	4881.03
F02-G	26.18	4969.14
F17-G	44.71	5228.29
F03-G	55.25	6129.36
F11-G	50.50	6423.01
F20-G	63.60	6653.57
F19-G	54.12	6855.41
F15-G	53.72	7115.97
F18-G	57.51	7173.42
F29-G	34.29	7228.99
F10-G	71.90	7312.83
F26-G	58.13	7334.92
F25-G	54.77	7380.13
F01-G	51.47	7443.63
F14-G	46.34	7782.40
F23-G	63.85	7783.02
F09-G	60.36	7850.86
F30-G	41.63	8063.31
F16-G	71.96	8115.75
F22-G	50.68	8298.66
F06-G	58.35	9026.84
F05-G	66.49	9094.09
F08-G	63.55	10052.40
F13-G	71.27	10166.70
F21-G	62.62	10269.40
F27-G	68.64	10404.50
F12-G	63.92	10492.30
F24-G	72.34	11055.60
PROMEDIO	55.99	7633.18
DESVIACIÓN ESTANDAR	12.22	1876.05

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 33

Valores característicos para las maderas según la normativa BS EN 384:2004

		Especies	
		Fernán Sánchez	Guachapelí
Propiedades de resistencias (N/mm²)			
Flexión	$f_{m,k} =$	25.43	30.29
Tracción Paralela	$f_{t,0,k} =$	15.26	18.17
Tracción Perpendicular	$f_{t,90,k} =$	0.60	0.60
Compresión Paralela	$f_{c,0,k} =$	21.45	23.20
Compresión Perpendicular	$f_{c,90,k} =$	3.35	3.60
Corte	$f_{v,k} =$	2.67	3.06
Propiedades de rigidez (kN/mm²)			
Promedio de Modulo de elasticidad paralelo	$E_{0,mean} =$	9.58	7.63
5% Modulo de Elasticidad paralelo	$E_{0,05} =$	6.42	5.11
Promedio de Modulo de elasticidad perpendicular	$E_{90,mean} =$	0.31	0.25
Promedio de modulo de corte	$G_{mean} =$	0.59	0.47
Densidad (kg/m³)			
Densidad	$\rho_k =$	479.07	513.71
Densidad Media	$\rho_{k,mean} =$	581.24	604.11

Nota. Elaboración de los autores

Tabla 34

Clasificación de densidad según la NEC-SE-MD Estructuras de Madera

Clasificación según Densidad		
Especies	Densidad	Grupo Estructural
Fernán Sánchez	0.58	B 0,56-0,7
Guachapelí	0.60	

Nota. Elaboración de los autores

Figura 46

Reportes de los ensayos de laboratorio generados.

