

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE MANABÍ

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN

CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS MADERAS MELINA (*Gmelina arborea* Roxb), CEDRO (*Cedrela odorata* L.) Y AMARILLO (*Centrolobium ochroxylum* Rose ex Rudd) PROVENIENTES DE LA PROVINCIA DE 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

HECTOR LEONARDO ÁLAVA MORA

HORACIO LEONEL PALACIOS ANDRADE

TUTOR

ING. JUAN FERNANDO QUIROZ ALONZO M.SC

PORTOVIEJO, 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. Mauricio Henry Colpari Pozzo. Mgtr.

Segundo lector

(F)_____

Ing. Jorge Marconi Cevallos Zambrano 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)_____

Héctor Leonardo Alava Mora

C.I.1316307386

Dirección: Portoviejo

Correo electrónico: halava7386@pucesm.edu.ec

Celular: 0981220085

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)_____

Horacio Leonel Palacios Andrade

C.I. 1316199940

Dirección: Portoviejo

Correo electrónico: hpalacios9940@pucesm.edu.ec

Celular: 0979595050

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. _____

Héctor Leonardo Alava Mora

C.I.1316307386

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. _____

Horacio Leonel Palacios Andrade

C.I. 1316199940

Dedicatoria y agradecimiento.

Todo mi proceso de aprendizaje que me ha conducido hasta este trabajo está dedicado a mi familia, a mis padres Leonardo y Rocío, mis hermanos Sebasthían y Victoria y mi abuela materna Flor María. Que cada día fueron mi inspiración y sostén para seguir adelante.

Agradezco de todo corazón a Dios, que me ha permitido seguir adelante aun existiendo problemas. A mi familia que siempre me ha apoyado, a mis amigos y compañeros de carrera que me han acompañado hasta este punto y a mis mascotas que me han acompañado en las noches en vela de estudio e investigación.

Héctor Leonardo Alava Mora

Dedicatoria y agradecimiento.

Agradezco primeramente a Dios quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante, a la Universidad por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera.

Así como también a los docentes que me brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Para finalizar agradezco a todos los que fueron mis compañeros de clase durante todos los niveles de Universidad y a mis amigos por brindarme su amistad y apoyo moral los Ingenieros Kleber Castro, Andres Alava, Jesús Arroyo, Josue Quiroz, Jimmy Reyes, han aportado en un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

Dedicó mi trabajo de tesis a Dios por ser mi padre celestial confidente y regalarme cada maravilloso día para cumplir cada una de mis metas.

De igual forma a mis padres que han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

Y sin dejar atrás a toda mi familia por confiar en mí, a mis abuelitos, tías, primas y amigos, gracias por ser parte de mi vida y por permitirme ser parte de su orgullo.

Horacio Leonel Palacios Andrade

Resumen

La limitada disponibilidad de datos físico-mecánicos locales restringe el empleo estructural de maderas tropicales en Ecuador. Este estudio evalúa y compara las propiedades físicas y mecánicas de *Gmelina arborea* (Melina), *Cedrela odorata* (Cedro) y *Centrolobium ochroxylum* Rose ex Rudd (Amarillo) procedentes de Manabí, con el objetivo de aportar evidencia para su clasificación y uso en diseño. Se siguieron protocolos normalizados: ASTM D2395 (densidad/gravedad específica), ASTM D4442 (contenido de humedad) y ASTM D143 (flexión, compresión paralela y perpendicular, tracción paralela y perpendicular, y corte), con acondicionamiento al 12 % de humedad. El tratamiento estadístico se realizó conforme a ASTM D2915, estimando media, desviación estándar y coeficiente de variación, y calculando percentiles característicos (P5, P50, P95). Se evaluaron ajustes distribucionales (Normal, Lognormal, Weibull) mediante máxima verosimilitud y prueba de Kolmogorov–Smirnov. Los resultados muestran jerarquías consistentes entre especies: Amarillo presentó mayores densidad y desempeño en flexión (MOR) y módulo de elasticidad (MOE), Cedro exhibió valores intermedios y Melina inferiores, adecuados cuando prima la ligereza. Para esfuerzo cortante se privilegiaron valores experimentales frente a relaciones empíricas no representativas en rangos de baja densidad. A partir de los valores característicos, se verificó la factibilidad de asignar una clase/grupo único por especie conforme a NEC-SE-Madera, utilizando EN 338 y NDS 2018 como marcos referenciales. Se concluye que las tres especies son viables para aplicaciones estructurales diferenciadas; se recomienda validar a escala estructural, complementar con clasificación visual y ampliar la base de datos regional.

Palabras clave: maderas tropicales; propiedades mecánicas; clasificación estructural; ASTM; EN 338; NDS; NEC-SE-Madera.

Abstract

The limited availability of local physical–mechanical data restricts the structural use of tropical timbers in Ecuador. This study evaluates and compares the physical and mechanical properties of *Gmelina arborea* (Melina), *Cedrela odorata* (Cedro), and *Centrolobium ochroxylum* Rose ex Rudd (Amarillo) from the province of Manabí, with the objective of providing evidence for their classification and use in structural design. Standardized protocols were followed: ASTM D2395 (density/specific gravity), ASTM D4442 (moisture content), and ASTM D143 (bending, parallel and perpendicular compression, parallel and perpendicular tension, and shear), with specimens conditioned to 12% moisture content. Statistical treatment was performed according to ASTM D2915, estimating mean, standard deviation, and coefficient of variation, and calculating characteristic percentiles (P5, P50, P95). Distributional fits (Normal, Lognormal, Weibull) were evaluated using maximum likelihood estimation and the Kolmogorov–Smirnov test. The results indicate consistent hierarchies among species: Amarillo exhibited higher density and superior performance in bending strength (MOR) and modulus of elasticity (MOE), Cedro showed intermediate values, and Melina lower ones, suitable in applications where lightness is prioritized. For shear strength, experimental values were prioritized over empirical relationships, which proved unrepresentative in low-density ranges. Based on characteristic values, the feasibility of assigning a unique class/group per species was verified in accordance with NEC-SE-Madera, using EN 338 and NDS 2018 as reference frameworks. The study concludes that all three species are viable for differentiated structural applications. It recommends validation at the structural scale, complementing with visual grading, and expanding the regional database.

Keywords: tropical timbers; mechanical properties; structural classification; ASTM; EN 338; NDS; NEC-SE-Madera

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 y agradecimiento.	viii
Dedicatoria y agradecimiento.	ix
Resumen.....	x
Abstract	xi
Tabla de contenido.....	12
Índice de tablas	16
Índice de figuras.....	18
Índice de grafico	19
Índice de formulas.....	22
Introducción	23
Objetivos	27
Objetivo General.....	27
Objetivos Específicos	27
Metodología	28

Tipo de investigación.....	28
Características de la investigación.....	28
Selección de muestras.....	28
Preparación de probetas.....	29
Ensayos físicos y mecánicos según ASTM D143-23	31
a) Ensayo de flexión estática (Método de viga simple con carga en el centro)	31
b) Compresión paralela al grano	32
c) Compresión perpendicular al grano	33
d) Tracción paralela al grano.....	34
e) Tracción perpendicular al grano.....	35
f) Corte paralelo al grano	35
Instrumentación utilizada	36
Análisis estadístico según ASTM D2915-17.....	37
Asignación Teórica de Propiedades Mecánicas Permisibles Según ASTM D6570-18a (2023).....	38
Esfuerzo admisible en tracción paralela a la fibra (Ft).....	38
Esfuerzo admisible en compresión paralela a la fibra (Fc)	39
Esfuerzo admisible en corte paralelo a la fibra (Fv)	39
Esfuerzo en compresión perpendicular a la fibra (Fc')	40
Gravedad específica (SG) y ensayo de humedad	40
Clasificación estructural (según NEC-SE-MD y NDS 2018)	40
Clasificación según NEC-SE-MD	41

Clasificación según ASTM 6570-18a y NDS 2018.....	42
Clasificación según la norma BS EN 338:2003 – Clases resistentes de madera estructural (complemento internacional).....	43
Materiales y Equipos.....	46
Equipos de Ensayo.....	48
Elaboración de probetas.....	49
Toma de datos de las probetas	49
Ensayos mecánicos	51
Procedimiento General para la Evaluación Mecánica de Maderas	51
Especificaciones Técnicas por Tipo de Ensayo	52
Dimensionamiento y diseño de Melina	53
Resultados	54
Propiedades Físicas.....	54
Propiedades Mecánicas.....	61
Ensayo a Flexión (FL)	62
Tracción Paralela a las Fibras (TPA).....	66
Tracción Perpendicular a las Fibras (TPE).....	69
Compresión Paralela a las Fibras (CPA)	73
Compresión Perpendicular a las Fibras (CPE)	76
Corte Paralelo a las Fibras (COP).....	80
Módulo de Elasticidad	83
Resultados del Cálculo Teórico y Clasificación Normativa.....	83

Clasificación según la Norma BS-EN 338	83
Clasificación según la Norma NEC-SE-Madera (Ecuador)	85
Clasificación según ASTM D2555 / NDS.....	87
Discusión.....	99
Conclusiones	102
Referencias.....	105
Anexos	107
Dimensiones:	107
Dimensionamiento y diseño de Cedro	114
Dimensionamiento y diseño de Amarillo	120

Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación de las maderas según su densidad básica.....	42
Tabla 2 Clasificación de los esfuerzos	42
Tabla 3 Propiedades físicas melina.....	54
Tabla 4 Propiedades físicas cedro.....	55
Tabla 5 Propiedades físicas amarillo	56
Tabla 6 Resultados de Ensayos Mecánicos Melina	61
Tabla 7 Resultados de Ensayos Mecánicos Cedro.....	62
Tabla 8 Resultados de Ensayos Mecánicos Amarillo	62
Tabla 9 Norma BS-EN Melina.....	84
Tabla 10 Norma BS-EN Cedro	84
Tabla 11 Norma BS-EN Amarillo	84
Tabla 12 Norma NEC Melina	86
Tabla 13 Norma NEC Cedro.....	86
Tabla 14 Norma NEC Cedro.....	86
Tabla 15 Norma ASTM/NDS Melina.....	87
Tabla 16 Norma ASTM/NDS Cedro	88
Tabla 17 Norma ASTM/NDS Amarillo.....	89
Tabla 18 Probetas de ensayo de compresión paralela.....	107
Tabla 19 Probetas de ensayos de compresión perpendicular	108
Tabla 20 Probetas de ensayos de tracción paralela.	109
Tabla 21 Probetas de ensayos de tracción perpendicular.....	110
Tabla 22 Probetas de ensayos de Corte.....	111
Tabla 23 Probetas de ensayos de Flexión.	112
Tabla 24 Probetas de ensayos de compresión paralela.	114

Tabla 25 Probetas de ensayos de compresión perpendicular.	115
Tabla 26 Probetas de ensayos de tracción paralela.	116
Tabla 27 Probetas de ensayos de tracción perpendicular.....	117
Tabla 28 Probetas de ensayos Corte	118
Tabla 29 Probetas de ensayos de Flexión	119
Tabla 30 Probetas de ensayos de compresión paralela.	120
Tabla 31 Probetas de ensayos de compresión perpendicular.	121
Tabla 32 Probetas de ensayos de tracción paralela.	122
Tabla 33 Probetas de ensayos de tracción perpendicular.....	123
Tabla 34 Probetas de ensayos Corte.	124
Tabla 35 Probetas de ensayos de Flexión	125

Índice de figuras

Figura 1 Desecador de vidrio hermético para muestras.....	30
Figura 2 Representación de corte de madera	30
Figura 3 Dimensionamiento de probetas para el ensayo de flexión estática	32
Figura 4 Dimensionamiento de las probetas para los ensayos de a) Compresión paralela y b) compresión perpendicular	33
Figura 5 Dimensiones de las probetas para el ensayo de tracción paralela	34
Figura 6 Dimensionamiento de las probetas para el ensayo de tracción perpendicular	35
Figura 7 Dimensiones de las probetas para el ensayo de corte paralelo al corte	36
Figura 8 Máquina universal de ensayos SHIMADZU	37
Figura 9 Ensayo de compresión paralela	46
Figura 10 Ensayo de compresión perpendicular	46
Figura 11 Ensayo de tracción paralela	47
Figura 12 Ensayo de tracción perpendicular.....	47
Figura 13 Ensayo de flexión	47
Figura 14 Ensayo de corte	48
Figura 15 Máquina universal de ensayos SHIMADZU.....	48
Figura 16 Calibrador digital.....	48
Figura 17 Flexómetro.....	49
Figura 18 Balanza TRÚMAX MIX-H.....	50
Figura 19 Registro de las dimensiones de las probetas	50
Figura 20 Secado de las probetas.....	50

Índice de grafico

Gráfico 1 Grafica de dispersión de humedad vs esfuerzo máximo (flexión) Melina	58
Gráfico 2 Grafica de dispersión de densidad vs esfuerzo máximo (flexión) Melina.....	58
Gráfico 3 Grafica de dispersión de humedad vs esfuerzo máximo (flexión) Cedro.....	58
Gráfico 4 Grafica de dispersión de densidad vs esfuerzo máximo (flexión) Melina.....	59
Gráfico 5 Grafica de dispersión de humedad vs esfuerzo máximo (flexión) Amarillo	59
Gráfico 6 Grafica de dispersión de densidad vs esfuerzo máximo (flexión) Amarillo.....	59
Gráfico 7 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo flexión Melina	63
Gráfico 8 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Melina	64
Gráfico 9 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo flexión Cedro	64
Gráfico 10 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Cedro	65
Gráfico 11 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo flexión Amarillo	65
Gráfico 12 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Amarillo	66
Gráfico 13 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo tracción paralela Melina	67
Gráfico 14 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Melina	67
Gráfico 15 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo tracción paralela Cedro.....	68
Gráfico 16 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Cedro	68
Gráfico 17 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo tracción paralela Amarillo	69
Gráfico 18 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Amarillo	69
Gráfico 19 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo tracción perpendicular Melina	70
Gráfico 20 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Melina	70

Grafico 21 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo tracción perpendicular Cedro.....	71
Grafico 22 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Cedro	71
Grafico 23 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo tracción perpendicular Amarillo	72
Grafico 24 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Amarillo	72
Grafico 25 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo compresión paralela Melina.....	73
Grafico 26 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Melina	74
Grafico 27 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo compresión paralela Cedro	74
Grafico 28 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Cedro	75
Grafico 29 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo compresión paralela Amarillo	75
Grafico 30 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Amarillo	76
Grafico 31 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo compresión perpendicular Melina	77
Grafico 32 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Melina	77
Grafico 33 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo compresión perpendicular Cedro.....	78
Grafico 34 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Cedro	78
Grafico 35 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo compresión perpendicular Amarillo	79
Grafico 36 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Amarillo	79
Grafico 37 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo corte Melina	80

Grafico 38 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Melina	80
Grafico 39 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo corte Cedro.....	81
Grafico 40 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Cedro	81
Grafico 41 Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo corte Cedro.....	82
Grafico 42 Grafica de Esfuerzo vs Deformación Amarillo	82
Grafico 43 Melina Flexión.....	90
Grafico 44 Cedro Flexión	90
Grafico 45 Amarillo Flexión.....	91
Grafico 46 Melina Tracción Paralela	91
Grafico 47 Cedro Tracción Paralela.....	92
Grafico 48 Amarillo Tracción Paralela	92
Grafico 49 Melina Tracción Perpendicular	93
Grafico 50 Cedro Tracción Perpendicular	93
Grafico 51 Amarillo Tracción Perpendicular.....	94
Grafico 52 Melina Compresión Paralela.....	94
Grafico 53 Cedro Compresión Paralela	95
Grafico 54 Amarillo Compresión Paralela.....	95
Grafico 55 Melina Compresión Perpendicular	96
Grafico 56 Cedro Compresión Perpendicular	96
Grafico 57 Amarillo Compresión Perpendicular	97
Grafico 58 Melina Corte	97
Grafico 59 Cedro Corte.....	98
Grafico 60 Amarillo Corte	98

Índice de formulas

Fórmula 1 Módulo de ruptura.....	31
Fórmula 2 Esfuerzo de compresión (compresión paralela o perpendicular al grano)	32
Fórmula 3 Módulo de elasticidad axial (en compresión paralela).....	33
Fórmula 4 Esfuerzo de tracción (paralela o perpendicular)	34
Fórmula 5 Esfuerzo de tracción (paralelo o perpendicular)	35
Fórmula 6 Esfuerzo cortante (ensayo de corte paralelo al gramo)	35
Fórmula 7 Densidad basica de la madera (para clasificación estructural NEC)	41
Fórmula 8 Esfuerzo admisible generalizado (según factores de corrección y seguridad)	43

Introducción

El empleo de maderas tropicales en aplicaciones estructurales ha despertado un creciente interés a nivel internacional, impulsado por la necesidad de transitar hacia modelos constructivos sostenibles y resilientes. La madera presenta variabilidad intrínseca y marcada sensibilidad al contenido de humedad, lo que condiciona sus propiedades físico-mecánicas y su uso estructural (Forest Products Laboratory, 2021). Las propiedades mecánicas de muchas especies tropicales han demostrado un potencial considerable para su utilización en elementos portantes de edificaciones. No obstante, el amplio espectro de variabilidad entre especies, sumado a la escasez de estudios sistemáticos, limita su incorporación efectiva en normativas de diseño estructural (Guillaumet et al., 2022). Esta situación ha motivado la adopción y desarrollo de normas internacionales, tales como las ASTM en Norteamérica y las BS EN en Europa, que establecen criterios técnicos para la caracterización físico-mecánica de la madera (Almeida et al., 2020).

En Norteamérica, el empleo estructural de la madera se encuentra altamente regulado mediante normativas robustas como las ASTM y el National Design Specification (NDS) del American Wood Council (AWC). Estas regulaciones establecen parámetros precisos para el diseño de estructuras de madera, incluyendo requisitos de resistencia, elasticidad, durabilidad y comportamiento ante cargas sísmicas o de viento. La experiencia norteamericana ha servido como referencia para países de América Latina que aún no cuentan con normativas propias consolidadas, adaptando dichos estándares a sus especies locales (Guillaumet et al., 2022).

En América Central, Costa Rica ha experimentado un proceso de revaloración de la madera como material estructural. Durante el siglo XX, la construcción en madera decayó significativamente debido al auge del concreto y otros materiales industrializados. Sin embargo, en las últimas décadas, el país ha impulsado el desarrollo de normativas propias, tales como las elaboradas por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), las

cuales establecen criterios para la clasificación visual de madera aserrada y requisitos para productos como la madera laminada (INTECO, 2018). Estas regulaciones han sido complementadas con la inclusión de un capítulo de estructuras de madera en el Código Sísmico de Costa Rica, alineado con los lineamientos del American Wood Council.

En América del Sur, Brasil constituye un referente regional en cuanto a la regulación del uso estructural de maderas tropicales. A través de la norma NBR 7190, vigente desde 1997, se establecen procedimientos para la clasificación y evaluación estructural de maderas nativas y plantadas. Diversos estudios han permitido categorizar especies según su resistencia a la compresión, tracción y flexión, consolidando una base de datos robusta que respalda su empleo en edificaciones civiles (Almeida et al., 2020). Estas investigaciones han destacado la importancia de parámetros como la densidad básica, el módulo de elasticidad (MOE) y el módulo de ruptura (MOR), como indicadores clave del desempeño estructural de la madera.

Asimismo, Colombia ha basado tradicionalmente el diseño estructural en madera en normativas foráneas, como el NDS estadounidense. Actualmente, se encuentra en proceso de actualización el Título G del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, con el fin de incorporar especificaciones modernas que permitan el diseño de edificaciones de mediana altura en madera (Guillaumet et al., 2022). Este esfuerzo refleja la necesidad de suplir la carencia de estudios técnicos nacionales mediante la adaptación de estándares internacionales.

En Asia, Indonesia destaca como uno de los mayores productores de madera tropical. Históricamente, el uso de madera en su arquitectura vernácula ha sido significativo. No obstante, la urbanización y los cambios en las preferencias constructivas han desplazado parcialmente su utilización. Actualmente, iniciativas gubernamentales promueven el uso interno de madera legal y sostenible mediante sistemas como el SVLK, con miras a fomentar una industria forestal responsable (ITTO, 2019).

En el contexto ecuatoriano, el aprovechamiento estructural de la madera ha sido limitado. Pese a la diversidad de especies forestales existentes, solo una fracción ha sido caracterizada físico-mecánicamente bajo estándares internacionales. La Norma Ecuatoriana de la Construcción - Sección Estructuras de Madera (NEC-SE-MD) reconoce esta limitación y permite la incorporación de nuevas especies, siempre que se demuestre su desempeño mediante ensayos normalizados (MIDUVI, 2015).

La provincia de Manabí posee condiciones ecológicas propicias para el desarrollo de especies maderables como la melina (*Gmelina arborea* Roxb.), el cedro (*Cedrela odorata* L.) y el amarillo (*Centrolobium ochroxylum* Rudd). No obstante, existe un vacío de información respecto a sus propiedades estructurales, lo que impide su incorporación formal en diseños civiles. Esta situación obliga a los profesionales a utilizar especies previamente caracterizadas o materiales importados, limitando el aprovechamiento de recursos renovables locales.

La melina, especie introducida de origen asiático, ha sido ampliamente utilizada en muebles y estructuras livianas. Su rápido crecimiento y adaptabilidad han motivado su cultivo en varias regiones de Ecuador. Estudios realizados en otras latitudes sugieren que posee un módulo de elasticidad moderado y resistencia aceptable para elementos estructurales secundarios, pero se requiere validación en condiciones locales para su homologación normativa (González-Trejo & Serrano-Montero, 2012).

El cedro, por su parte, es una especie nativa de la región tropical americana. Su madera presenta textura fina y densidad media, siendo tradicionalmente utilizada en carpintería y ebanistería. Pese a su potencial, existen pocos estudios que determinen su resistencia a esfuerzos mecánicos según los estándares ASTM. Esta carencia limita su uso en estructuras permanentes donde se requieren datos confiables para el diseño.

El amarillo es una especie nativa de la costa ecuatoriana que presenta alta densidad y resistencia. Su madera ha sido valorada empíricamente por su durabilidad y dureza. No

obstante, su empleo estructural se ha basado en criterios subjetivos, debido a la ausencia de ensayos que permitan conocer parámetros como el módulo de ruptura o la resistencia a la compresión paralela al grano.

La caracterización estructural de estas especies resulta fundamental para diversificar la oferta de materiales de construcción y fomentar prácticas sostenibles. La NEC-SE-MD permite asignar una clasificación estructural a especies no contempladas originalmente, siempre que se realicen ensayos que determinen su densidad básica, resistencia mecánica y comportamiento estructural bajo carga (MIDUVI, 2015).

En este sentido, la presente investigación se orienta a suplir la carencia de información técnica sobre la melina, el cedro y el amarillo, proporcionando datos que permitan su clasificación estructural y su posible incorporación en la NEC. Se espera que los resultados contribuyan a impulsar el uso de madera estructural en Ecuador, especialmente en zonas sísmicamente activas como Manabí, donde la relación resistencia/peso de la madera puede aportar beneficios significativos en términos de seguridad estructural y sostenibilidad.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar las propiedades físico-mecánicas de las maderas Melina, Cedro y Amarillo producidas en la provincia de Manabí, Ecuador, con base en normativas técnicas, para comprobar su viabilidad estructural.

Objetivos Específicos

- Establecer las propiedades físicas de Melina, Cedro y Amarillo en base a la norma ASTM D143-23
- Determinar las propiedades mecánicas de Melina, Cedro y Amarillo en base a la norma ASTM D143-23
- Realizar la clasificación estructural de las maderas de acuerdo con NEC-15 y otras normativas internacionales

Metodología

Tipo de investigación

La investigación es de tipo cuantitativo, experimental y descriptivo, enfocada en la determinación de propiedades físicas y mecánicas de las especies maderables melina (*Gmelina arborea*), cedro (*Cedrela odorata*) y amarillo (*Centrolobium ochroxylum*), con el fin de establecer su viabilidad estructural bajo la normativa ecuatoriana NEC-SE-MD y estándares internacionales como ASTM D143-23 y ASTM D2915-17.

Características de la investigación

Se trata de un estudio experimental en condiciones controladas de laboratorio, en donde se evalúan, contabilizan y describen propiedades mecánicas fundamentales de la madera mediante ensayos normalizados sobre probetas pequeñas, sin defectos, siguiendo la metodología definida en ASTM D143-23. Esta norma proporciona las bases técnicas para la ejecución de ensayos como compresión, tracción, flexión y corte, orientados a determinar parámetros estructurales clave como el módulo de elasticidad (MOE), módulo de ruptura (MOR) y resistencia máxima.

Selección de muestras

Para garantizar la representatividad estadística de los resultados, se adoptó un enfoque de muestreo aleatorio simple, considerando la variabilidad natural de la madera como material heterogéneo. Las muestras fueron recolectadas en un aserradero local ubicado en la provincia de Manabí, Ecuador. Si bien no se dispone de la ubicación geográfica de la zona de cultivo, se tiene certeza de que la materia prima proviene de zonas forestales de la región.

Se seleccionaron 40 probetas por especie y por tipo de ensayo, cantidad suficiente según los lineamientos de la norma ASTM D2915-17, la cual exige tamaños muestrales que

permitan determinar parámetros estadísticos confiables con un intervalo de confianza del 95 % y coeficientes de variación inferiores al 20 %.

Las probetas fueron preparadas en laboratorio siguiendo las dimensiones establecidas por la norma ASTM D143-23, según el tipo de esfuerzo a evaluar (flexión, compresión, corte, tracción). Asimismo, se verificó que las piezas no presentaran defectos visibles, conforme a lo indicado en el numeral 5.1.2 de la NEC-SE-MD, descartando aquellas con nudos sueltos, grietas abiertas, podredumbre u otras irregularidades que pudieran afectar la validez de los resultados. Las muestras se acondicionaron a humedad del 12 % según el método de secado en horno (ASTM D4442-20), lo cual garantiza que los valores obtenidos puedan ser comparables con referencias internacionales.

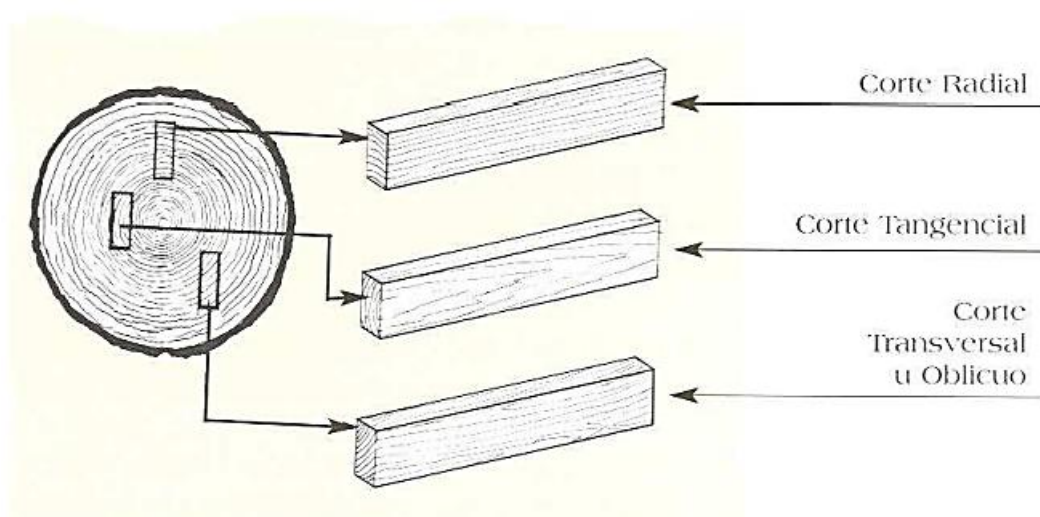
Preparación de probetas

La norma ASTM D143-23 establece dimensiones estandarizadas para cada tipo de ensayo, con el objetivo de garantizar la comparabilidad de resultados y minimizar los efectos de geometrías irregulares. Las probetas fueron preparadas siguiendo los métodos de acondicionamiento, secado y etiquetado descritos en la norma.

El contenido de humedad se ajustó al valor estándar del 12 % mediante almacenamiento en condiciones ambientales controladas, y se verificó posteriormente utilizando el método de secado en horno a 103 ± 2 °C (ASTM D4442-20).

Figura 1*Desecador de vidrio hermético para muestras*

Nota. La imagen muestra las probetas almacenadas, pasando por un proceso de desecado, con el fin de eliminar el contenido de humedad de estas.

Figura 2*Representación de corte de madera*

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

La madera puede ser seccionada de diversas maneras, dependiendo de la orientación del corte respecto al eje del tronco.

- **Corte longitudinal:** corresponde a cualquier sección obtenida al cortar la pieza en dirección paralela al eje longitudinal del tronco. Esta orientación puede alinearse con los radios o con una dirección tangente a los anillos de crecimiento.
- **Corte radial:** se genera cuando el corte longitudinal es realizado siguiendo una trayectoria paralela a los radios medulares y perpendicular a los anillos de crecimiento.
- **Corte tangencial:** resulta de efectuar un corte longitudinal que es tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular a los radios medulares.
- **Corte transversal:** consiste en una sección perpendicular al eje del tronco, generalmente utilizada para observar las características anatómicas en la dirección normal del crecimiento.

Ensayos físicos y mecánicos según ASTM D143-23

A continuación, se detallan brevemente los ensayos realizados:

a) Ensayo de flexión estática (Método de viga simple con carga en el centro)

Este ensayo mide la resistencia a la flexión y el módulo de ruptura (MOR). Se aplicó una carga vertical en el centro de la luz de la viga hasta el colapso. Las probetas fueron de 50 × 50 × 760 mm, con una luz libre de 710 mm.

Parámetros obtenidos: módulo de elasticidad en flexión (MOE), esfuerzo máximo (MOR).

Fórmula 1

Módulo de ruptura

$$MOR' = \frac{3P_{max}l}{2bd^2}$$

Donde:

MOR: módulo de ruptura, o esfuerzo máximo en flexión [MPa]

P_{max} : carga máxima registrada en el ensayo [N]

l : luz entre apoyos durante el ensayo [mm]

b : ancho de la probeta [mm]

d : altura (profundidad) de la probeta [mm]

Figura 3

Dimensionamiento de probetas para el ensayo de flexión estática



Nota. Dimensionamiento de probetas para el ensayo de flexión estática.

b) Compresión paralela al grano

Evalúa la capacidad de la madera para resistir cargas axiales a lo largo de la fibra. Las probetas (50 × 50 × 200 mm) fueron comprimidas longitudinalmente.

Fórmula 2

Esfuerzo de compresión (compresión paralela o perpendicular al grano)

$$\sigma_c = \frac{P_{max}}{A}$$

Donde:

σ_c : esfuerzo de compresión [MPa]

P_{max} : carga máxima aplicada antes del colapso de la muestra [N]

A : área transversal efectiva de la probeta sometida a compresión [mm²]

Adicionalmente, durante este ensayo se determinó el módulo de elasticidad axial (E_{axial}), calculado con la relación entre el esfuerzo en el límite proporcional (σ'_c) y la deformación unitaria (ϵ). Este parámetro es fundamental para evaluar la rigidez del material bajo sollicitación axial y fue obtenido mediante extensometría digital.

Evalúa la capacidad de la madera para resistir cargas axiales a lo largo de la fibra. Las probetas fueron de $50 \times 50 \times 200$ mm.

Fórmula 3

Módulo de elasticidad axial (en compresión paralela)

$$E_{axial} = \frac{\sigma'_c}{\varepsilon}$$

Donde:

E_{axial} : módulo de elasticidad en dirección paralela a la fibra [MPa]

σ' : esfuerzo dentro del rango elástico (carga proporcional) [MPa]

ε : deformación unitaria dentro del rango elástico [adimensional]

c) Compresión perpendicular al grano

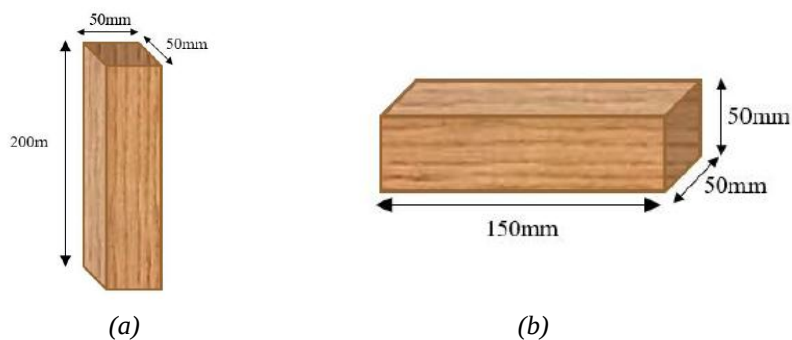
Se somete la madera a una carga perpendicular a las fibras. Este ensayo refleja la capacidad de la madera para soportar cargas transversales, como apoyos concentrados.

Dimensiones: $50 \times 50 \times 150$ mm.

Cálculo: esfuerzo máximo de compresión y módulo de elasticidad transversal.

Figura 4

Dimensionamiento de las probetas para los ensayos de a) Compresión paralela y b) compresión perpendicular



Nota. Dimensionamiento de las probetas para los ensayos de a) Compresión paralela y b) compresión perpendicular.

d) Tracción paralela al grano

Se evalúa la resistencia de la madera al estiramiento longitudinal. Requiere probetas con geometría tipo “dog-bone” para asegurar la rotura dentro del cuerpo de la muestra.

Fórmula 4 Esfuerzo de tracción (paralela o perpendicular)

Esfuerzo de tracción

$$\sigma'_c = \frac{P'}{A}$$

Donde:

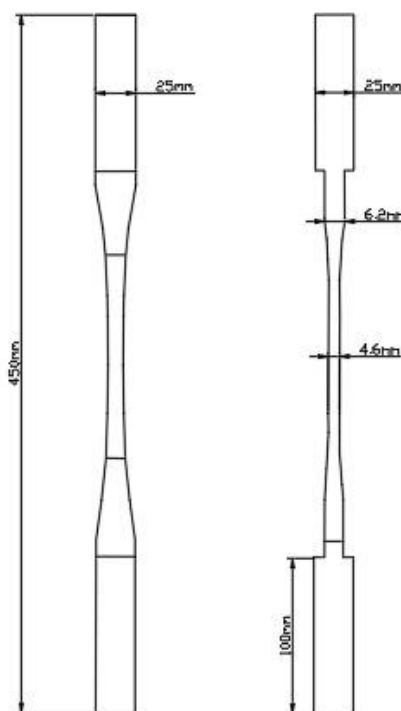
σ_t : esfuerzo de tracción máximo [MPa]

P_{max} : carga máxima aplicada en el ensayo de tracción [N]

A : área mínima efectiva de la sección transversal en la zona de falla [mm²]

Figura 5

Dimensiones de las probetas para el ensayo de tracción paralela



Nota. La figura muestra las dimensiones de las probetas para el ensayo de tracción paralela.

e) Tracción perpendicular al grano

Este ensayo es relevante para estudiar el comportamiento en juntas estructurales. Mide la resistencia a la separación transversal.

Dimensiones: 25 × 50 × 50 mm.

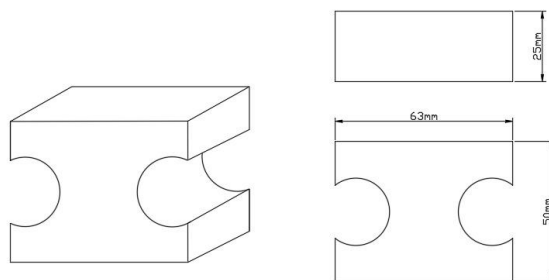
Fórmula 5

Esfuerzo de tracción (paralelo o perpendicular)

$$\sigma_c = \frac{P_{max}}{A}$$

Figura 6

Dimensionamiento de las probetas para el ensayo de tracción perpendicular



Nota. Dimensionamiento de las probetas para el ensayo de tracción perpendicular.

f) Corte paralelo al grano

Permite evaluar la resistencia al deslizamiento entre fibras longitudinales. Se aplica una carga tangencial sobre la muestra.

- **Dimensiones:** 50 × 50 × 63 mm.
- **Cálculo:**

Fórmula 6

Esfuerzo cortante (ensayo de corte paralelo al grano)

$$\tau = \frac{P_{max}}{AShear}$$

Donde:

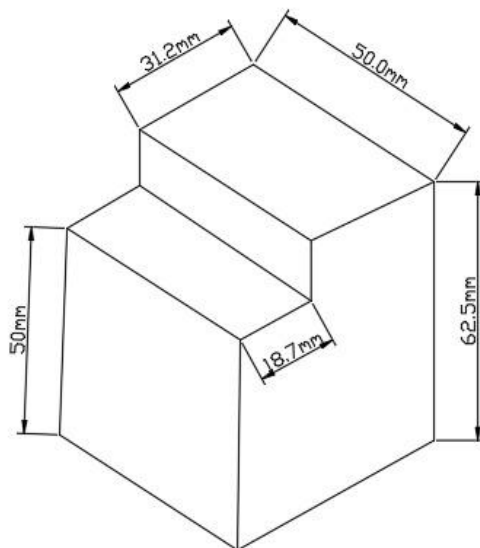
τ : esfuerzo cortante máximo [MPa]

P_{max} : carga máxima aplicada durante el ensayo de corte [N]

A_{shear} : área efectiva de corte en la zona de contacto [mm²]

Figura 7

Dimensiones de las probetas para el ensayo de corte paralelo al corte



Nota. Dimensiones de las probetas para el ensayo de corte paralelo al corte.

Instrumentación utilizada

Los ensayos fueron realizados en una máquina universal Shimadzu, equipada con celdas de carga de alta precisión y software Trapezium X. Para los ensayos de deformación, se emplearon extensómetros digitales con lectura en micras, cumpliendo con los requisitos de resolución y exactitud señalados por ASTM D198 y D143-23.

Figura 8

Máquina universal de ensayos SHIMADZU



Nota. La imagen muestra la máquina universal SHIMADZU, utilizada para evaluar las propiedades mecánicas de las muestras de madera.

Análisis estadístico según ASTM D2915-17

Los resultados fueron analizados estadísticamente con el software Microsoft Excel y Matlab. Se calcularon los siguientes estadísticos:

- Media aritmética
- Desviación estándar
- Coeficiente de variación
- Percentiles (5 %, 50 % y 95 %)
- Valores característicos (mínimos de diseño)

Se ajustaron modelos de distribución de probabilidad (normal, lognormal y Weibull), tal como establece la sección 10 de la ASTM D2915-17, utilizando técnicas de máxima verosimilitud y validación por bondad de ajuste (Kolmogorov-Smirnov).

La selección del modelo se apoyó en el AIC como criterio de información (Akaike, 1974). Complementariamente se utilizó el BIC para penalizar la complejidad del modelo

(Schwarz, 1978). La adecuación de cada distribución se evaluó con la prueba de Kolmogórov–Smirnov (D’Agostino & Stephens, 1986).

Asignación Teórica de Propiedades Mecánicas Permisibles Según ASTM D6570-18a (2023)

Con el objetivo de establecer una caracterización comparativa entre los valores experimentales obtenidos en laboratorio y los valores teóricos estimados, se aplicaron los procedimientos establecidos en la sección 7 de la norma ASTM D6570-18a(2023) - Standard Practice for Assigning Allowable Properties for Mechanically Graded Lumber. Particularmente, se adoptaron los lineamientos de la sección 7.3, la cual permite la asignación de propiedades mecánicas permisibles basadas en relaciones empíricas entre propiedades ya determinadas o previamente asignadas.

A partir de los resultados experimentales obtenidos para el esfuerzo admisible en flexión (Fb), el módulo de elasticidad (MOE) y la gravedad específica (SG), se procedió con el cálculo de propiedades mecánicas complementarias conforme se describe a continuación:

Esfuerzo admisible en tracción paralela a la fibra (Ft)

Según el apartado 7.3.2.2 de la norma, y ante la ausencia de modelos propios validados, se utilizó la relación empírica establecida entre el esfuerzo en tracción y en flexión, asumiendo:

$$\frac{Ft}{Fb} \leq 0.45$$

Por tanto, el valor teórico de Ft se estimó como:

$$Ft = 0.45 * Fb$$

Esfuerzo admisible en compresión paralela a la fibra (F_c)

Para la estimación de F_c , se empleó la fórmula provista por la norma en el apartado 7.3.3.1, la cual establece una relación directa entre F_b y F_c :

$$F_c = \frac{0.7098 * F_b + 2060.7}{F_b 1.9}$$

Esta relación permite estimar el valor de compresión longitudinal sin necesidad de realizar ensayos específicos, partiendo únicamente del valor de F_b .

Esfuerzo admisible en corte paralelo a la fibra (F_v)

El esfuerzo en corte F_v fue abordado conforme al apartado 7.3.4, el cual permite su determinación a través de modelos empíricos basados en la gravedad específica, según fórmulas descritas en el Apéndice X1.1. Para especies con SG superiores a 0.40, el modelo se expresa como:

$$F_v = 266 * SG - 140 \text{ o } F_v = 284.8 * SG - 126.6$$

No obstante, al aplicar dichos modelos a la especie evaluada, cuya gravedad específica media fue de 0.3507, se obtuvieron resultados negativos, lo cual carece de validez física. Esto se debe a que los modelos fueron calibrados para maderas con mayor densidad, como el abeto de Douglas (*Douglas Fir*) o el pino sureño (*Southern Pine*), y por tanto no resultan aplicables a maderas de baja densidad o tropicales.

Dado este escenario, se procedió a adoptar el valor experimental de F_v obtenido mediante ensayo de corte directo, que registró un promedio de 766.15 psi y un percentil 5% de 659.69 psi, en concordancia con lo dispuesto por el apartado 7.2 de la norma, el cual permite la asignación por ensayo cuando no es posible aplicar modelos normativos.

Esta decisión se justifica bajo el principio de la norma que indica que "cuando las fórmulas basadas en relaciones no son representativas para ciertas especies, la asignación por ensayo directo prevalece" (ver 7.1.1 y 7.2.5).

Esfuerzo en compresión perpendicular a la fibra (F_c')

La propiedad F_c' fue estimada siguiendo el modelo empírico basado en SG, propuesto en el Apéndice X1.2.1.1, aplicable a maderas blandas:

$$F_c' = 2252.4 * SG - 480$$

Este modelo es adecuado para establecer una estimación razonable del comportamiento de la madera ante cargas perpendiculares a la fibra, especialmente en conexiones y apoyos.

Gravedad específica (SG) y ensayo de humedad

La gravedad específica fue calculada conforme a la definición de la norma ASTM D2395, y expresada en base a peso seco al horno respecto al volumen seco:

$$SG = \frac{\rho_{seca}}{1000}$$

El contenido de humedad se obtuvo mediante el método de horno según (ASTM International, 2020).

Clasificación estructural (según NEC-SE-MD y NDS 2018)

Con base en los resultados obtenidos en los ensayos físicos y mecánicos, las especies maderables fueron clasificadas conforme a lo estipulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC-SE-MD (2015) y complementariamente con los lineamientos

establecidos en la National Design Specification for Wood Construction – NDS 2018, emitida por el American Wood Council (AWC).

Clasificación según NEC-SE-MD

La NEC-SE-MD agrupa las maderas estructurales en tres clases, basadas en la densidad básica de la especie:

- **Clase A:** ρ_b entre 0.71 y 0.9
- **Clase B:** ρ_b entre 0.56 y 0.70
- **Clase C:** ρ_b entre 0.40 y 0.55

Fórmula 7

Densidad básica de la madera (para clasificación estructural NEC)

$$\rho_b = \frac{P_{seca}}{V_{verde}}$$

Donde:

ρ_b : densidad básica [g/cm³]

P_{seca} : peso seco de la muestra (después de secado a 0 % humedad) [g]

V_{verde} : volumen de la muestra antes del secado (en estado “verde”) [cm³]

Esta clasificación permite evaluar la viabilidad estructural de las especies analizadas en función de su desempeño físico-mecánico, tal como lo establece el numeral 5.3.1 de la NEC-SE-MD (2015).

La NEC se refiere al uso del Manual de Diseño de la JUNAC para la clasificación de especies de madera según sus esfuerzos admisibles, en la siguiente tabla se detalla el modo de clasificación.

Tabla 1*Clasificación de las maderas según su densidad básica*

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. Muestra la densidad básica***Tabla 2***Clasificación de los esfuerzos*

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

Clasificación según ASTM 6570-18a y NDS 2018

Complementariamente, se empleó la NDS 2018, reconocida internacionalmente por establecer procedimientos de diseño estructural basados en propiedades mecánicas características de la madera (F_b , E , F_t , F_c , F_v , etc.), las cuales son corregidas mediante factores de ajuste (adjustment factors) que reflejan condiciones de uso, duración de carga, humedad, geometría y seguridad.

La metodología adoptada consistió en:

Comparar las propiedades obtenidas experimentalmente (modulus of rupture – MOR, modulus of elasticity – MOE, resistencia a compresión y corte) con los valores base (base design values) reportados por NDS para especies con densidad y comportamiento similar.

- C_M : factor por condiciones de humedad
- C_D : factor por duración de carga
- C_F : factor por forma o tamaño
- F_S : factor de seguridad estructural

Aplicar factores de ajuste propuestos por la sección 4 de la NDS 2018, incluyendo:

Determinar los **valores de diseño admisibles** mediante la fórmula generalizada:

Fórmula 8

Esfuerzo admisible generalizado (según factores de corrección y seguridad)

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{real}}{F_S * C_M * C_D * C_F}$$

Donde:

σ_{adm} : esfuerzo admisible [MPa]

σ_{real} : esfuerzo real obtenido experimentalmente [MPa]

F_S : factor de seguridad (≥ 2.0 recomendado)

C_M : factor por humedad (0.85 a 1.0 según condiciones)

C_D : factor por duración (0.9 a 1.6)

C_F : factor por forma o sección (depende del tipo de elemento)

Esta transformación permite la aplicación normativa de los valores, en cumplimiento con los requisitos estructurales del diseño ecuatoriano.

Clasificación según la norma BS EN 338:2003 – Clases resistentes de madera estructural (complemento internacional)

Como complemento a las normativas nacionales e internacionales previamente adoptadas, se consideró la norma europea BS EN 338:2003, la cual define un sistema estandarizado para la clasificación estructural de la madera con base en clases resistentes. Esta normativa es ampliamente utilizada en países europeos y se constituye como una referencia técnica de valor internacional para la comparación de propiedades mecánicas y

densidad entre especies maderables utilizadas en construcción (European Committee for Standardization [CEN], 2003).

La norma agrupa las maderas estructurales en clases designadas mediante una nomenclatura alfanumérica que incluye una letra y un número. La letra "C" corresponde a maderas blandas (coníferas), mientras que la letra "D" representa a maderas duras (latifoliadas). El número indica la resistencia característica a flexión expresada en N/mm^2 (CEN, 2003). Por ejemplo, una madera de clase C24 posee una resistencia característica a flexión de 24 N/mm^2 , una densidad característica de aproximadamente 350 kg/m^3 , y un módulo de elasticidad promedio de $11,000 \text{ N/mm}^2$.

Las propiedades consideradas para cada clase incluyen:

- Resistencia característica a flexión, tracción y compresión (paralela y perpendicular al grano),
- Módulo de elasticidad paralelo y perpendicular (E_{90}) a la fibra,
- Módulo de cortante (G),
- Densidad característica y densidad media (ρ_{mean}).

La asignación de una población de madera a una clase resistente específica se realiza mediante dos métodos:

1. Clasificación visual, conforme a normas armonizadas como la EN 1912, donde se evalúan características anatómicas y defectos visibles.
2. Clasificación mecánica, basada en pruebas normalizadas de laboratorio, según los requisitos establecidos en la EN 14081 (partes 1 a 3).

Para que una especie o lote de madera pueda ser clasificado dentro de una clase resistente determinada, debe cumplir con los siguientes criterios mínimos:

- La resistencia característica a flexión no debe ser inferior al valor asignado a la clase,
- La densidad característica debe cumplir con el valor mínimo definido,

- El módulo de elasticidad promedio debe alcanzar al menos el 95 % del valor correspondiente a la clase.

La incorporación de esta normativa permite establecer equivalencias internacionales entre especies locales y clases reconocidas globalmente, lo cual favorece la interoperabilidad del diseño estructural, la eficiencia en la especificación técnica de materiales, y la adopción de criterios estandarizados de calidad en la industria de la construcción con madera.

Para este trabajo, la asignación de clase se realiza verificando simultáneamente densidad característica, resistencia a flexión característica y módulo de elasticidad medio, adoptando la condición más desfavorable (CEN, 2016a). La estimación de propiedades a partir de ensayos y su transformación a valores característicos sigue los lineamientos de (CEN, 2016b).

Materiales y Equipos

Los materiales que se usaron fueron probetas de maderas Amarillo, Melina y Cedro.

Figura 9

Ensayo de compresión paralela



Nota. Las imágenes muestran las probetas, de izquierda a derecha, de las especies amarillo, cedro y melina, sujetas al ensayo de compresión paralela

Figura 10

Ensayo de compresión perpendicular



Nota. Las imágenes muestran las probetas, de izquierda a derecha, de las especies amarillo, cedro y melina, sujetas al ensayo de compresión perpendicular

Figura 11*Ensayo de tracción paralela*

Nota. Las imágenes muestran las probetas, de izquierda a derecha, de las especies amarillo, cedro y melina, sujetas al ensayo de tracción paralela.

Figura 12*Ensayo de tracción perpendicular*

Nota. Las imágenes muestran las probetas, de izquierda a derecha, de las especies amarillo, cedro y melina, sujetas al ensayo de tracción perpendicular.

Figura 13*Ensayo de flexión*

Nota. Las imágenes muestran las probetas, de izquierda a derecha, de las especies amarillo, cedro y melina, sujetas al ensayo de tracción flexión.

Figura 14 Ensayo de corte



Nota. Las imágenes muestran las probetas, de izquierda a derecha, de las especies amarillo, cedro y melina, sujetas al ensayo de tracción corte.

Equipos de Ensayo

Figura 15

Máquina universal de ensayos SHIMADZU



Figura 16

Calibrador digital



Figura 17*Flexómetro*

Elaboración de probetas

Para el desarrollo de los ensayos mecánicos, se prepararon un total de 840 probetas, distribuidas equitativamente entre las tres especies de madera seleccionadas para el estudio: Melina (*Gmelina arborea* Roxb), Cedro (*Cedrela odorata* L.) y Amarillo (*Centropogon rosei* Rose ex Rudd). Para cada tipo de ensayo se utilizaron 40 probetas por especie, lo que permitió realizar un análisis estadístico confiable de las propiedades mecánicas. Los ensayos contemplaron seis tipos de pruebas: compresión paralela a las fibras, compresión perpendicular a las fibras, tracción paralela, tracción perpendicular, flexión estática y esfuerzo cortante, con el objetivo de evaluar de manera integral el comportamiento estructural de cada tipo de madera frente a diferentes sollicitaciones mecánicas.

Toma de datos de las probetas

Antes de ejecutar los ensayos, se realizó la medición de las dimensiones y el peso de cada probeta. Para ello se emplearon instrumentos de alta precisión, incluyendo una balanza electrónica con sensibilidad de 0,01 gramos, un calibrador pie de rey con precisión de 0,01 milímetros, y un flexómetro para la medición de longitudes mayores.

Estos datos fueron fundamentales para el cálculo preciso de los esfuerzos y deformaciones, asegurando la confiabilidad de los resultados obtenidos para cada una de las especies analizadas.

Figura 18

Balanza TRÚMAX MIX-H



Figura 19

Registro de las dimensiones de las probetas



Figura 20

Secado de las probetas



Ensayos mecánicos

Procedimiento General para la Evaluación Mecánica de Maderas

Configuración del Software.

- Se seleccionó en el software de la máquina de ensayo universal el tipo de prueba correspondiente (compresión, tracción, flexión o corte), de acuerdo con las normativas ASTM aplicables.
- Se ingresaron las dimensiones exactas de cada probeta, previamente medidas, para garantizar la correcta lectura de cargas y deformaciones durante el ensayo.

Preparación de las Muestras.

- Cada probeta fue colocada cuidadosamente en las mordazas o soportes según el tipo de ensayo, verificando su correcta alineación longitudinal y transversal respecto a la dirección de la carga.
- Se aplicó una precarga mínima controlada para estabilizar el sistema de sujeción, eliminar holguras y garantizar condiciones iniciales estables antes de iniciar el registro de datos.

Ejecución del Ensayo.

- Se aplicó la carga o el desplazamiento conforme a la configuración establecida para cada tipo de ensayo.
- Los valores de carga (N) y desplazamiento (mm) fueron registrados de forma continua mediante el sistema automatizado de adquisición de datos de la máquina de ensayos, obteniéndose también la curva esfuerzo-deformación.

Finalización del Ensayo

- Cada ensayo fue detenido automáticamente al alcanzar la fractura de la muestra o el desplazamiento máximo permitido, según las condiciones normativas específicas.
- Los resultados obtenidos fueron guardados y exportados en formato digital para su análisis posterior en hojas de cálculo y software estadístico.

Post-Procesamiento

- Se retiraron cuidadosamente las probetas rotas, y se procedió a la documentación fotográfica del tipo de falla observada (astillamiento, aplastamiento, deslizamiento, etc.).
- Cada muestra fue colocada posteriormente en un horno de secado a temperatura constante durante 24 horas, a fin de determinar el contenido de humedad y normalizar los valores obtenidos.
- Este procedimiento fue repetido para las 120 muestras por ensayo (40 por especie: Melina, Cedro y Amarillo).

Especificaciones Técnicas por Tipo de Ensayo

Compresión Paralela a las Fibras (CPA)

- Dirección de carga: Paralela al eje longitudinal de la fibra.
- Velocidad de carga: 0,6 mm/min.
- Criterio de detención: Fractura de la muestra o pérdida de capacidad resistente.

Compresión Perpendicular a las Fibras (CPE)

- Dirección de carga: Perpendicular a las fibras.
- Velocidad de carga: 0,305 mm/min.

- Criterio de detención: Fractura visible o deformación plástica significativa.

Tracción Paralela y Perpendicular (TP, TPE)

- Tipo de esfuerzo: Aplicación axial paralela o perpendicular al grano de la madera.
- Velocidad de carga: 2 MPa/min.
- Condición de ensayo: Hasta la fractura total.
- Equipamiento especial: Mordazas con geometría especializada para evitar fallas prematuras en zonas de sujeción.

Flexión Estática (FL)

- Configuración del ensayo: Sistema de dos apoyos simples, con una longitud de luz entre apoyos de 710 mm.
- Aplicación de carga: En el centro del vano.
- Velocidad de desplazamiento de cruceta: 0,6 mm/min.
- Criterio de detención: Fractura central o desprendimiento de fibras en zona de tensión.

Corte o Esfuerzo Cortante (CT)

- Tipo de esfuerzo: Aplicación directa de carga transversal.
- Equipamiento adicional: Uso de mordazas y soporte en disposición específica para corte en madera.
- Condiciones de carga: Según lo establecido por la norma ASTM D143 o parámetros de validación experimental adoptados.

Dimensionamiento y diseño de Melina

Se encuentran en la sección de anexos.

Resultados

Propiedades Físicas

Se determinaron las propiedades físicas fundamentales de las tres especies de madera: Melina (*Gmelina arborea* Roxb), Cedro (*Cedrela odorata* L.) y Amarillo (*Centrolobium ochroxylum* Rose ex Rudd). Estas propiedades incluyen la densidad básica, la gravedad específica y el contenido de humedad. Los valores medios obtenidos se resumen en las Tablas 19, 20 y 21.

Tabla 3

Propiedades físicas melina

PROPIEDADES FÍSICAS MELINA			
Código de probeta	Densidad	Gravedad Especifica	Contenido de Humedad
	Kg/m ³		%
PF 01-M	317,09	0,31	11,97
PF 02-M	354,22	0,35	14,76
PF 03-M	294,89	0,29	30,47
PF 04-M	362,36	0,36	18,20
PF 05-M	377,71	0,37	23,06
PF 06-M	353,44	0,35	13,22
PF 07-M	405,66	0,40	15,11
PF 08-M	361,81	0,36	37,80
PF 09-M	392,99	0,39	15,54
PF 10-M	356,40	0,35	18,99
PF 11-M	308,34	0,30	12,86
PF 12-M	413,49	0,41	15,34
PF 13-M	365,11	0,36	15,21
PF 14-M	316,60	0,31	16,15
PF 15-M	368,53	0,36	16,65
PF 16-M	337,80	0,33	15,28
PF 17-M	326,81	0,32	13,83
PF 18-M	360,41	0,36	34,78
PF 19-M	341,31	0,34	14,30
PF 20-M	342,52	0,34	16,47
PF 21-M	320,82	0,32	16,72
PF 22-M	372,46	0,37	14,95
PF 23-M	338,75	0,33	13,48
PF 24-M	374,16	0,37	15,69

PF 25-M	368,41	0,36	17,25
PF 26-M	341,67	0,34	18,60
PF 27-M	351,60	0,35	16,54
PF 28-M	310,74	0,31	12,86
PF 29-M	300,35	0,30	13,22
PF 30-M	344,00	0,34	20,51
PF 31-M	373,92	0,37	14,94
PF 32-M	349,19	0,34	15,00
PF 33-M	347,79	0,34	14,39
PF 34-M	339,46	0,33	15,89
PF 35-M	365,99	0,36	15,04
PF 36-M	351,81	0,35	13,62
PF 37-M	347,26	0,34	20,04
PF 38-M	355,20	0,35	23,36
PF 39-M	390,88	0,39	15,49
PF 40-M	325,49	0,32	15,82
Max	413,49	0,41	37,80
Min	294,89	0,29	11,97
Media	350,69	0,35	17,34
Desviación est.	26,95	0,02	5,57
Percentil 5	310,26	0,31	13,15

Tabla 4*Propiedades físicas cedro*

PROPIEDADES FÍSICAS CEDRO			
Código de probeta	Densidad	Gravedad Especifica	Contenido de Humedad
	Kg/m ³		%
PF 01-C	481,00	0,48	12,61
PF 02-C	675,65	0,67	11,49
PF 03-C	488,30	0,48	12,37
PF 04-C	462,66	0,46	12,52
PF 05-C	519,53	0,51	12,95
PF 06-C	497,36	0,49	12,44
PF 07-C	502,25	0,50	12,75
PF 08-C	678,92	0,67	11,32
PF 09-C	654,73	0,65	12,41
PF 10-C	511,97	0,51	12,35
PF 11-C	543,30	0,54	12,46
PF 12-C	512,52	0,51	12,51
PF 13-C	560,46	0,56	11,17
PF 14-C	507,18	0,50	13,30
PF 15-C	582,49	0,58	12,48
PF 16-C	447,10	0,44	12,43

PF 17-C	533,95	0,53	12,76
PF 18-C	666,07	0,66	10,81
PF 19-C	524,15	0,52	8,48
PF 20-C	496,68	0,49	12,64
PF 21-C	475,56	0,47	13,05
PF 22-C	470,34	0,47	12,76
PF 23-C	747,32	0,74	10,16
PF 24-C	623,19	0,62	11,28
PF 25-C	497,68	0,49	12,74
PF 26-C	547,30	0,54	12,72
PF 27-C	471,87	0,47	12,69
PF 28-C	521,08	0,52	12,88
PF 29-C	517,81	0,51	12,06
PF 30-C	540,18	0,54	11,45
PF 31-C	671,95	0,67	11,27
PF 32-C	535,77	0,53	11,98
PF 33-C	513,79	0,51	12,60
PF 34-C	468,99	0,46	12,34
PF 35-C	590,57	0,59	12,45
PF 36-C	484,48	0,48	12,50
PF 37-C	531,35	0,53	12,72
PF 38-C	578,05	0,57	12,20
PF 39-C	438,72	0,43	11,93
PF 40-C	458,42	0,45	12,23
Max	747,32	0,74	13,30
Min	438,72	0,43	8,48
Media	538,27	0,53	12,16
Desviacion est	73,65	0,07	0,88
Percentil 5	456,16	0,45	10,68

Tabla 5

Propiedades físicas amarillo

PROPIEDADES FÍSICAS AMARILLO			
Código de probeta	Densidad	Gravedad Especifica	Humedad
N	Kg/m ³		%
PF 01-A	669,41	0,66	12,45
PF 02-A	841,77	0,84	13,45
PF 03-A	802,04	0,80	9,55
PF 04-A	866,63	0,86	10,14
PF 05-A	685,99	0,68	10,91
PF 06-A	549,34	0,54	11,55
PF 07-A	630,55	0,63	10,10
PF 08-A	698,83	0,69	10,68

PF 09-A	706,88	0,70	10,39
PF 10-A	761,65	0,76	9,55
PF 11-A	792,39	0,79	11,04
PF 12-A	421,25	0,42	9,42
PF 13-A	647,03	0,64	9,38
PF 14-A	667,24	0,66	9,90
PF 15-A	596,16	0,59	11,30
PF 16-A	474,24	0,47	11,67
PF 17-A	577,77	0,57	10,14
PF 18-A	823,58	0,82	10,15
PF 19-A	910,08	0,91	25,91
PF 20-A	615,21	0,61	11,92
PF 21-A	602,10	0,60	10,36
PF 22-A	812,71	0,81	10,17
PF 23-A	789,77	0,78	13,54
PF 24-A	249,63	0,24	11,92
PF 25-A	513,61	0,51	10,32
PF 26-A	511,85	0,51	9,23
PF 27-A	560,92	0,56	10,70
PF 28-A	481,67	0,48	11,50
PF 29-A	540,76	0,54	10,55
PF 30-A	617,21	0,61	12,97
PF 31-A	540,62	0,54	10,97
PF 32-A	571,69	0,57	9,89
PF 33-A	662,56	0,66	13,27
PF 34-A	789,64	0,78	10,44
PF 35-A	515,98	0,51	10,77
PF 36-A	697,23	0,69	10,31
PF 37-A	743,09	0,74	9,54
PF 38-A	675,19	0,67	9,98
PF 39-A	575,52	0,57	10,15
PF 40-A	633,45	0,63	10,43
Max	910,08	0,91	25,91
Min	249,63	0,24	9,23
Media	645,58	0,64	11,17
Desviación estándar	135,47	0,13	2,64
Percentil 5	471,59	0,47	9,42

Gráfico 1

Gráfica de dispersión de humedad vs esfuerzo máximo (flexión) Melina

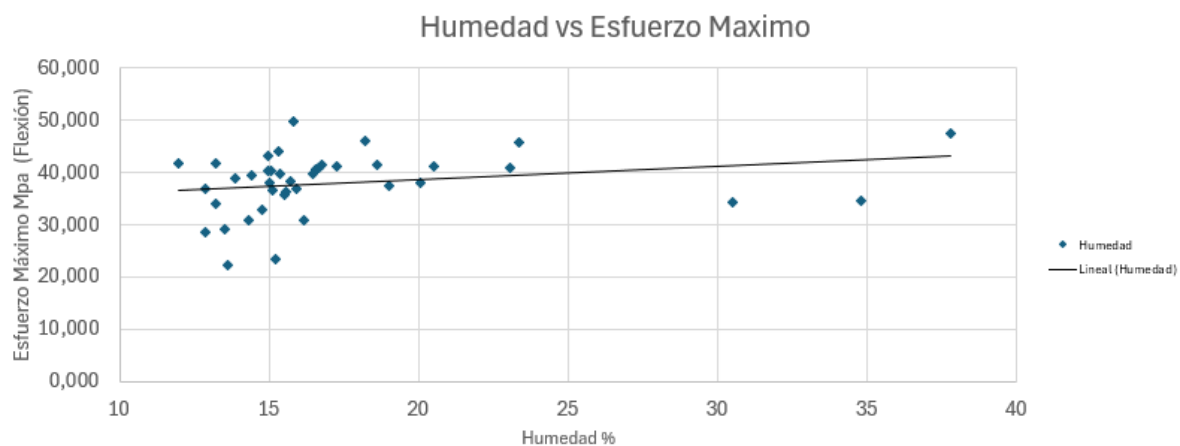


Gráfico 2

Gráfica de dispersión de densidad vs esfuerzo máximo (flexión) Melina

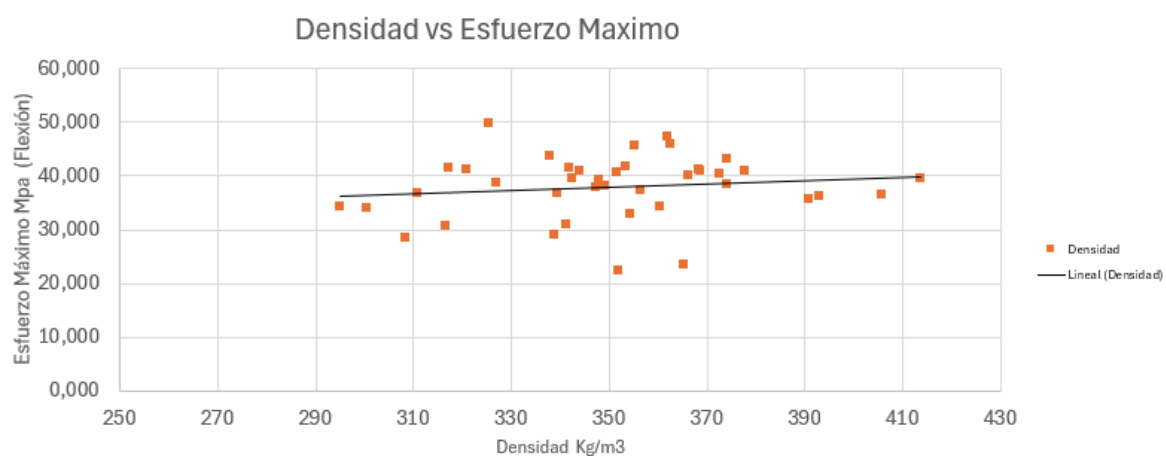


Gráfico 3

Gráfica de dispersión de humedad vs esfuerzo máximo (flexión) Cedro

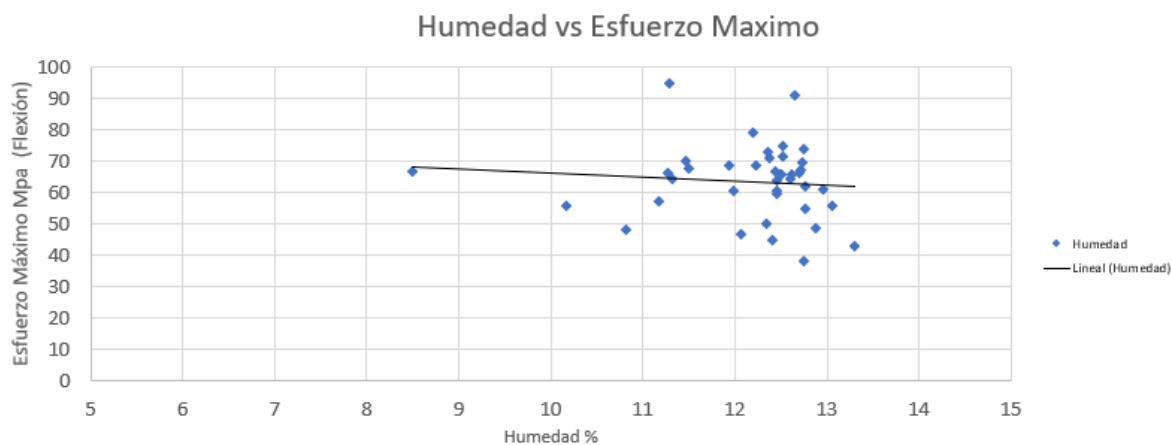


Gráfico 4

Gráfica de dispersión de densidad vs esfuerzo máximo (flexión) Melina

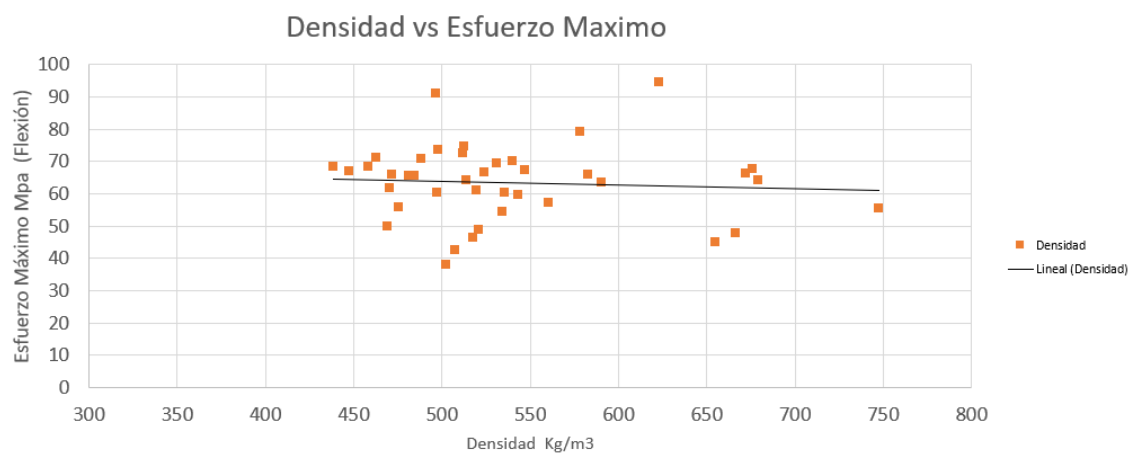


Gráfico 5

Gráfica de dispersión de humedad vs esfuerzo máximo (flexión) Amarillo

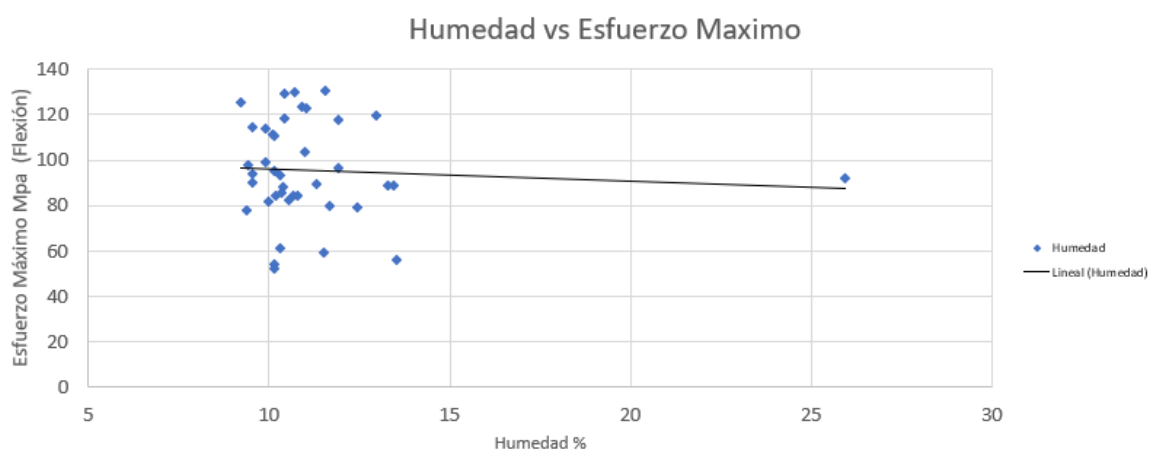
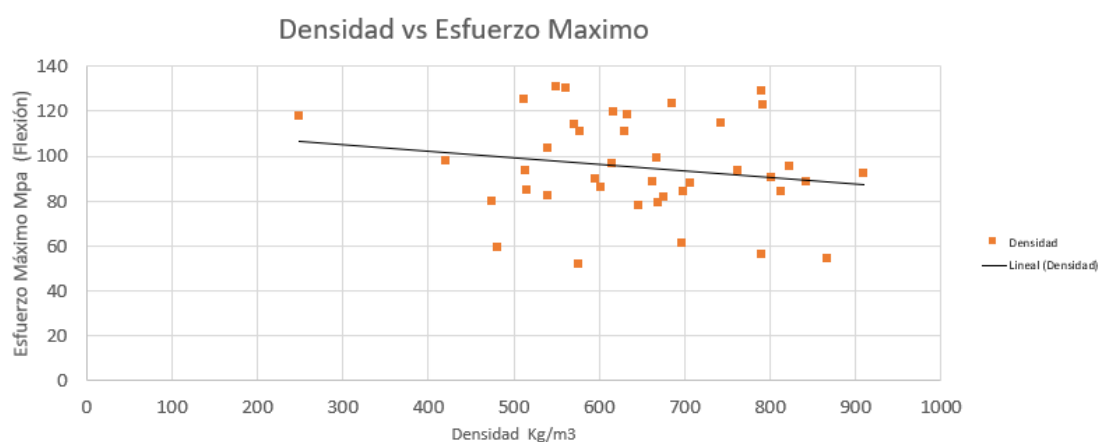


Gráfico 6

Gráfica de dispersión de densidad vs esfuerzo máximo (flexión) Amarillo



Con el objetivo de caracterizar el comportamiento físico de las tres especies de madera seleccionadas, se evaluaron parámetros fundamentales como densidad aparente

(Kg/m³), gravedad específica y contenido de humedad (%H), siguiendo los procedimientos establecidos en la norma ASTM D2395. Para cada especie se prepararon 40 probetas, lo que permitió obtener una base estadística robusta para el análisis comparativo.

Los resultados muestran una clara diferenciación entre las especies en cuanto a su densidad. La madera Melina presentó una densidad media de 356,25 kg/m³, mientras que el Cedro mostró un promedio considerablemente superior de 556,16 kg/m³. Por su parte, la madera Amarillo alcanzó el mayor valor medio con 635,56 kg/m³, posicionándose como la especie más densa entre las analizadas.

La distribución de los valores evidenció una variabilidad importante en Amarillo, con un rango que abarca desde 243,64 kg/m³ hasta 910,08 kg/m³, lo cual se refleja en una desviación estándar alta de 149,87 kg/m³. Este comportamiento puede deberse a diferencias en el origen del material, su maduración y posibles defectos estructurales. En contraste, Melina presentó la desviación más baja (38,84 kg/m³), indicando mayor homogeneidad en su densidad.

La gravedad específica siguió la misma tendencia que la densidad. Amarillo obtuvo el valor promedio más alto con 0,6355, seguido por Cedro con 0,5562, y finalmente Melina con 0,3564. Estos valores están directamente relacionados con la resistencia mecánica esperada de cada especie, y evidencian que Amarillo posee una mayor proporción de materia sólida en su estructura celular.

En cuanto al contenido de humedad, se observaron variaciones importantes entre las especies. Melina presentó una humedad promedio de 15,74 %, superior al promedio de 11,17 % registrado en el Cedro, y al 11,70 % observado en Amarillo. Esta diferencia puede explicarse por el comportamiento higroscópico de cada especie, así como por las condiciones de secado previas a los ensayos.

Cabe destacar que, aunque el contenido de humedad de las muestras se mantuvo dentro de rangos aceptables para ensayos mecánicos, se identificaron valores atípicos en Melina, con probetas que alcanzaron más del 30 %, lo cual podría afectar la interpretación de los resultados mecánicos si no se realiza la respectiva corrección o análisis complementario. Los gráficos de correlación entre densidad y esfuerzo máximo, así como entre humedad y esfuerzo máximo, revelan comportamientos contrastantes entre las especies. En el caso de Melina, se observó una leve correlación positiva entre la densidad y la resistencia a flexión, mientras que, para Cedro y Amarillo, la relación fue negativa, lo cual sugiere que en estas especies, factores adicionales como los defectos internos y la orientación de las fibras tienen un mayor impacto sobre el desempeño estructural que la densidad per se.

Asimismo, en las tres especies se evidenció una tendencia negativa entre el contenido de humedad y la resistencia, lo cual concuerda con la literatura especializada, ya que la presencia de agua libre y absorbida tiende a disminuir la rigidez y la resistencia mecánica del material leñoso.

Propiedades Mecánicas

Para cada tipo de esfuerzo, se realizaron 40 ensayos por especie, totalizando 120 probetas por prueba. A continuación, se presentan los resultados obtenidos: Los ensayos mecánicos realizados sobre las especies de madera permitieron determinar las propiedades resistentes más relevantes para su caracterización estructural. A continuación, se describen los resultados obtenidos para cada tipo de esfuerzo aplicado:

Tabla 6

Resultados de Ensayos Mecánicos Melina

Propiedades	VALORES ESTADÍSTICOS ESFUERZO MÁXIMO MELINA (Mpa)				
Mecánica	MAXIMO	MINIMO	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	5- PERCENTIL
FL	49,812	22,302	37,972	5,851	28,309

TP	84,082	8,673	41,334	18,324	11,118
TPE	3,306	0,989	1,771	0,444	1,108
CPA	22,464	8,733	14,951	3,813	9,701
CPE	8,708	3,390	5,683	1,371	3,599
COP	6,761	3,874	5,282	0,658	4,548
MODULO DE ELASTICIDAD	7868,200	3332,890	6074,519	966,666	4612,580

Tabla 7*Resultados de Ensayos Mecánicos Cedro*

Propiedades	VALORES ESTADISTICOS ESFUERZO MAXIMO CEDRO (Mpa)				
Mecanica	MAXIMO	MINIM O	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	5- PERCENTIL
FL	94,679	37,971	63,469	11,633	44,751
TP	114,679	25,279	66,059	20,861	37,693
TPE	4,347	1,071	2,923	0,931	1,589
CPA	52,304	23,813	36,991	6,491	27,748
CPE	31,697	10,057	16,352	4,651	10,870
COP	16,412	8,132	11,954	2,037	8,411
MODULO DE ELASTICIDAD	13183,500	7776,380	10370,069	1132,133	8730,098

Tabla 8*Resultados de Ensayos Mecánicos Amarillo*

Propiedades	VALORES ESTADISTICOS ESFUERZO MAXIMO AMARILLO (Mpa)				
Mecanica	MAXIMO	MINIM O	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	5- PERCENTIL
FL	130,686	52,106	95,219	21,663	56,263
TP	125,537	4,940	60,157	30,113	19,365
TPE	3,270	0,688	1,669	0,661	0,776
CPA	60,746	24,820	40,231	7,248	30,885
CPE	27,135	9,694	16,595	4,409	10,356
COP	23,635	10,519	17,573	0,000	12,821
MODULO DE ELASTICIDAD	17821,100	6807,920	12224,186	2512,739	8539,960

Ensayo a Flexión (FL)

Los valores promedio del esfuerzo máximo a flexión revelan una clara diferencia entre las especies estudiadas. La madera de Amarillo presentó el mejor comportamiento con una media de 95,22 MPa, desviación estándar de 21,66 MPa y un percentil 5 de 56,26 MPa, lo que indica alta capacidad portante y bajo riesgo de falla temprana. Le sigue el Cedro, con

una media de 63,47 MPa, desviación de 11,63 MPa y percentil 5 de 44,75 MPa. En contraste, la madera de Melina registró el valor más bajo con una media de 37,97 MPa, desviación estándar de 5,85 MPa y percentil 5 de 28,31 MPa.

El uso de la distribución Weibull es frecuente para modelar fenómenos gobernados por defectos y valores extremos en materiales frágiles (Weibull, 1951).

Para variables positivas con asimetría a la derecha, la distribución lognormal ofrece una representación adecuada (Johnson, Kotz, & Balakrishnan, 1994). Los valores P5, P50 y P95 corresponden a los percentiles 5, 50, y 95.

Gráfico 7

Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo flexión Melina

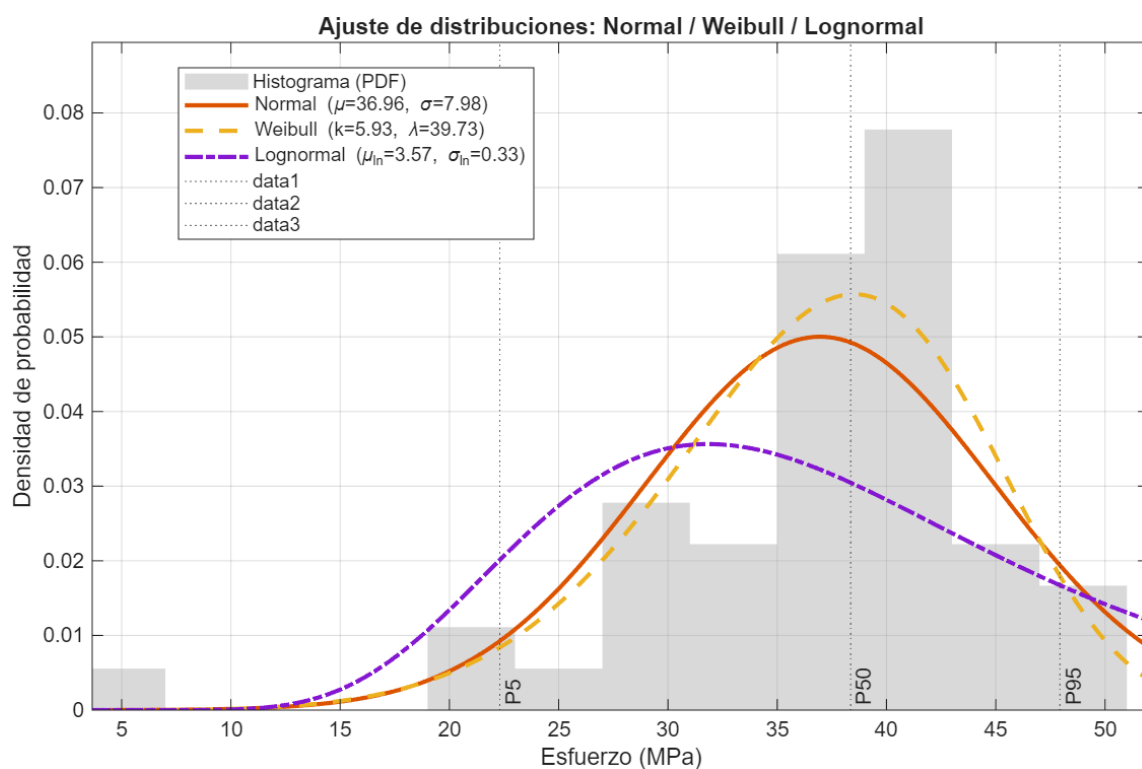


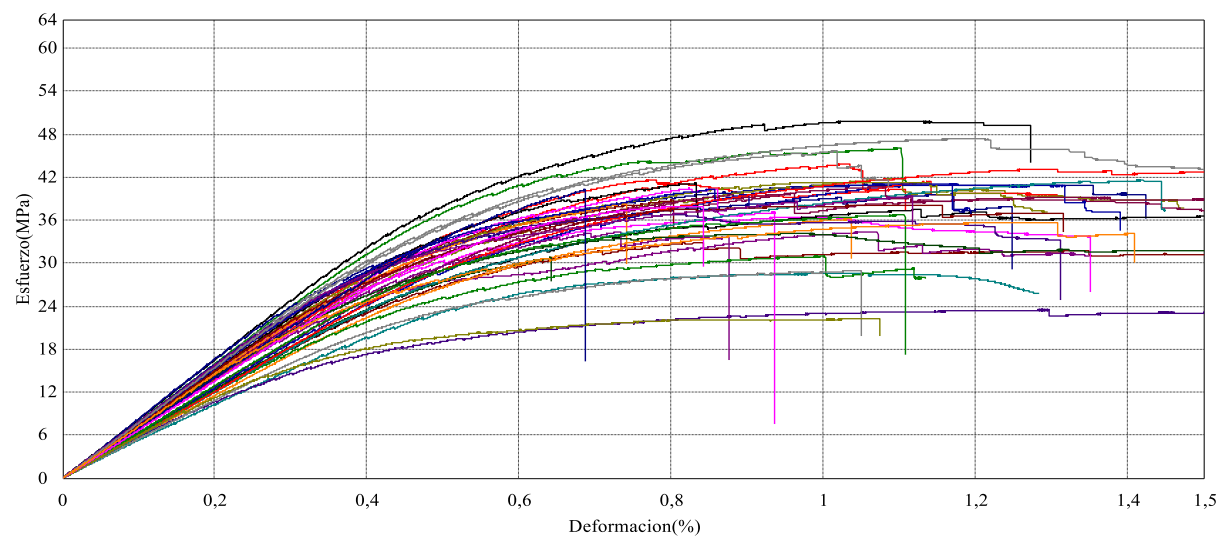
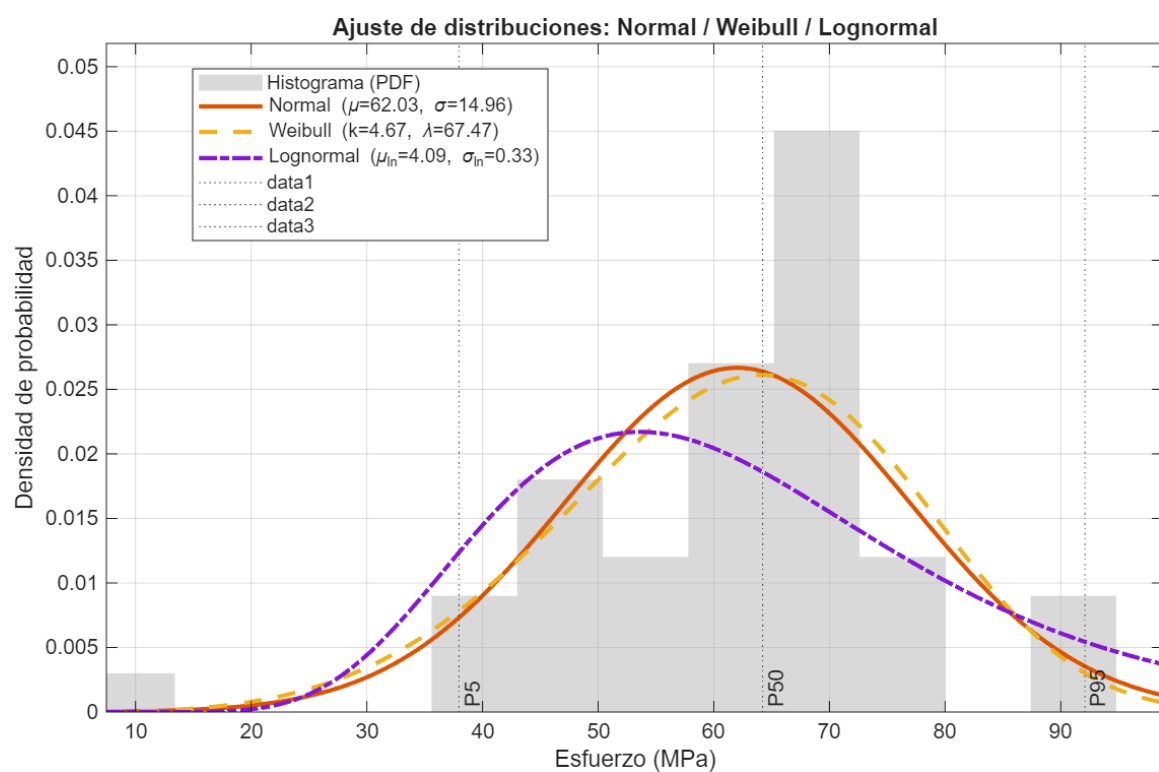
Gráfico 8*Grafica de Esfuerzo vs Deformación Melina***Gráfico 9***Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo flexión Cedro*

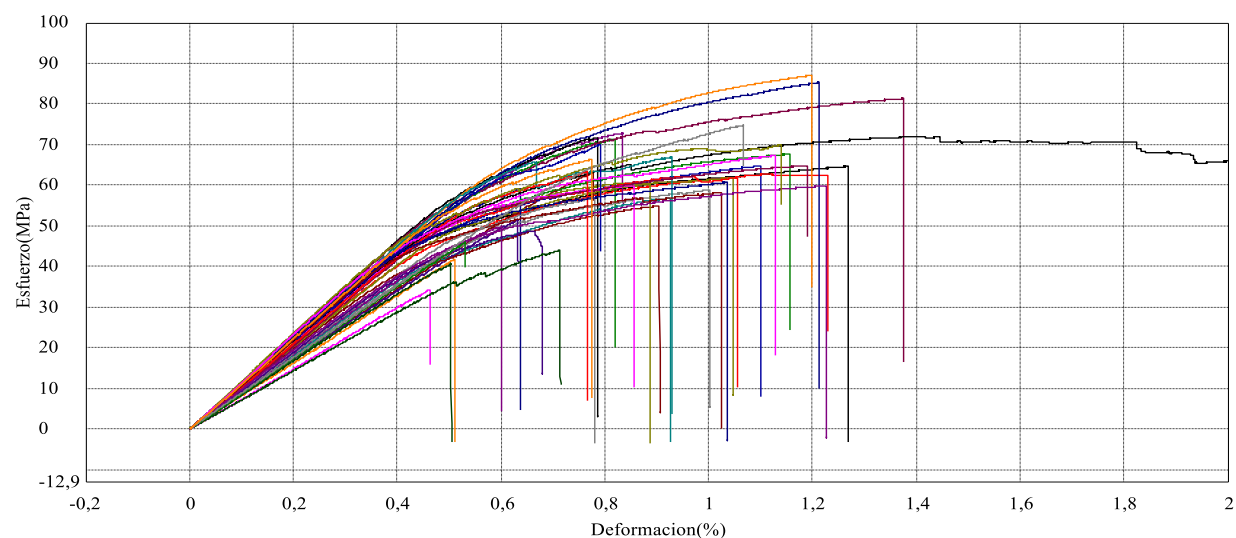
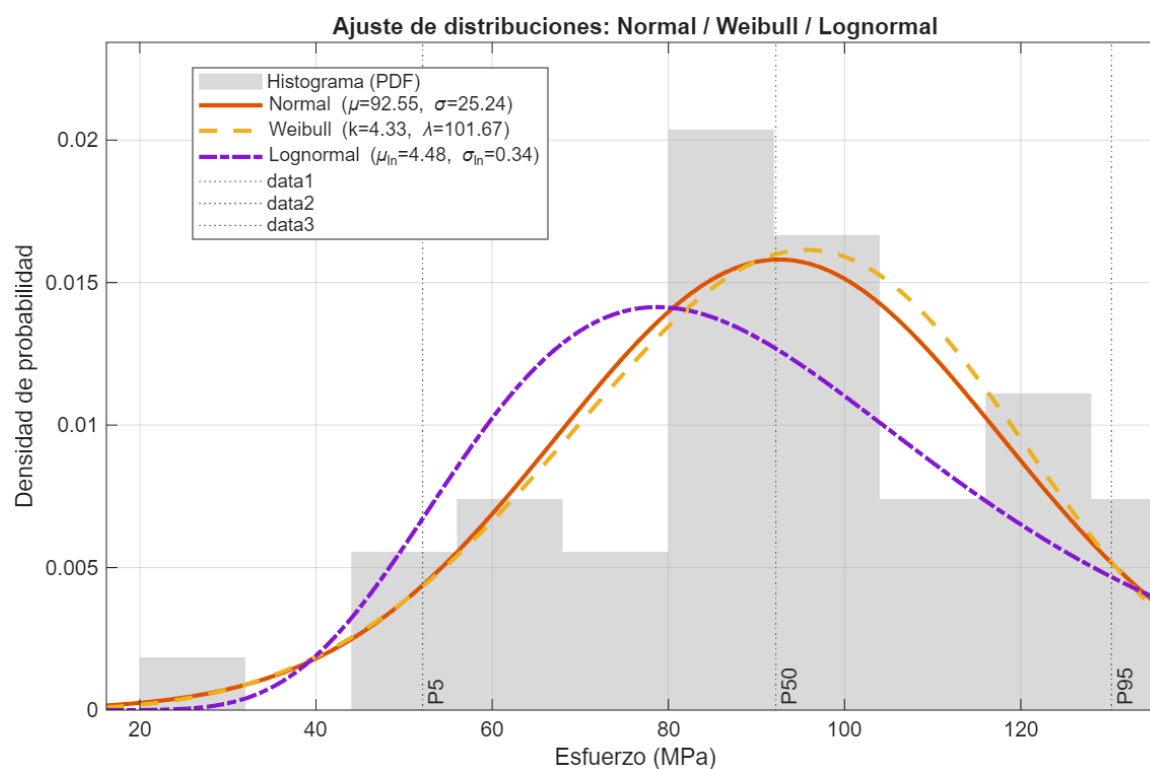
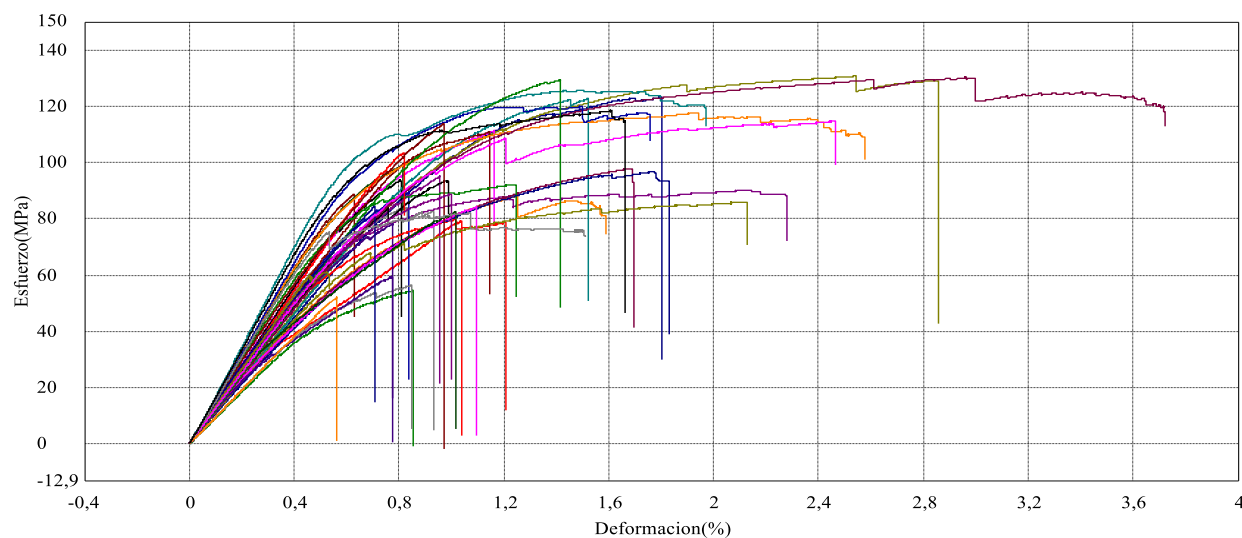
Gráfico 10*Grafica de Esfuerzo vs Deformación Cedro***Gráfico 11***Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo flexión Amarillo*

Gráfico 12

Grafica de Esfuerzo vs Deformación Amarillo



Tracción Paralela a las Fibras (TPA)

En este ensayo, el Cedro evidenció la mayor resistencia con una media de 66,06 MPa, seguido por Amarillo con 60,15 MPa y Melina con 41,33 MPa. No obstante, la alta desviación estándar en Amarillo (30,11 MPa) indica una mayor variabilidad respecto al Cedro (20,86 MPa), lo que sugiere menor consistencia estructural. El percentil 5 fue de 37,69 MPa para Cedro, 19,37 MPa para Amarillo y 11,18 MPa para Melina.

Gráfico 13

Gráfica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo tracción paralela Melina

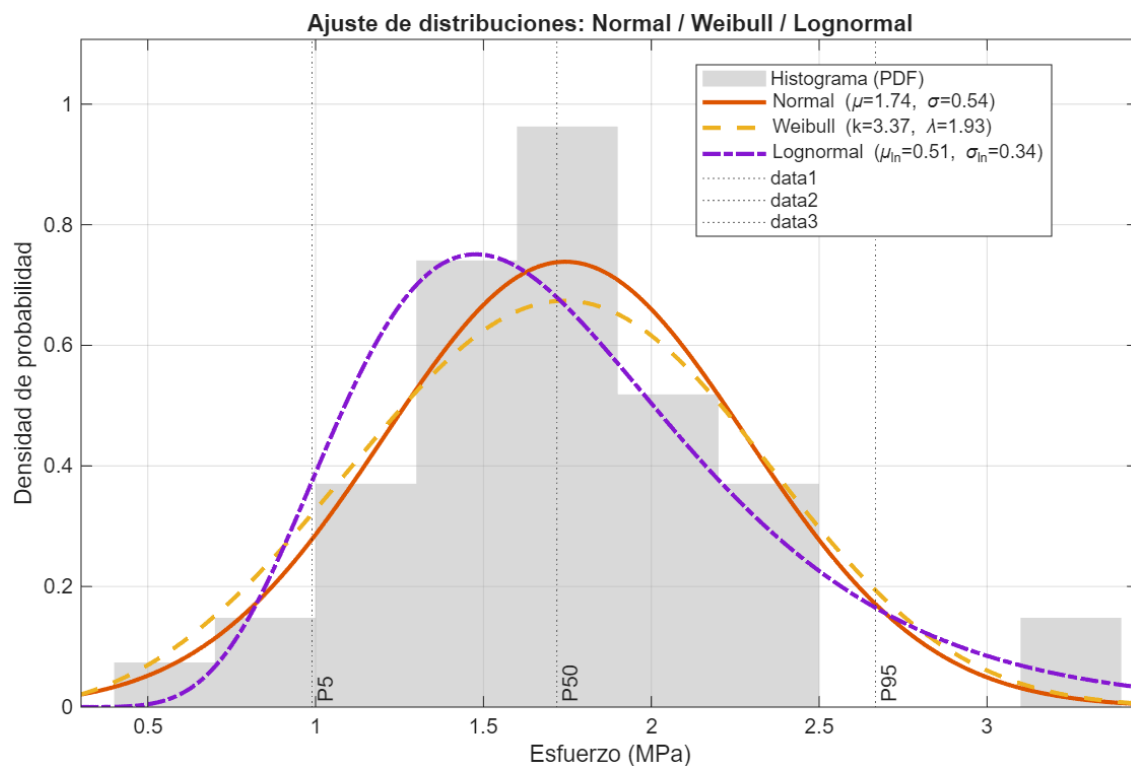


Gráfico 14

Gráfica de Esfuerzo vs Deformación Melina

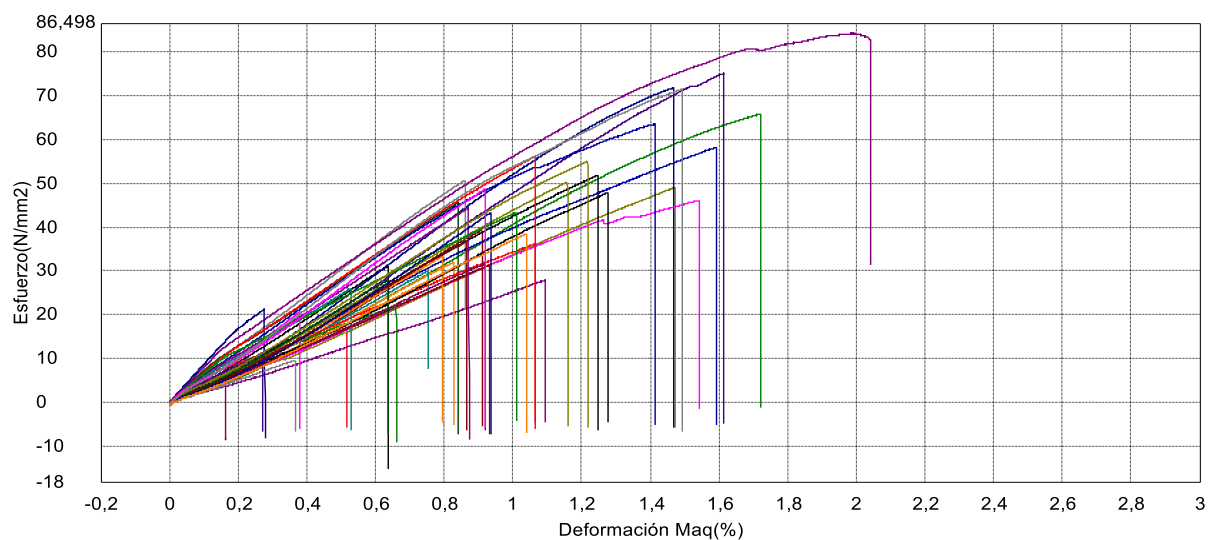


Gráfico 15

Gráfica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo tracción paralela Cedro

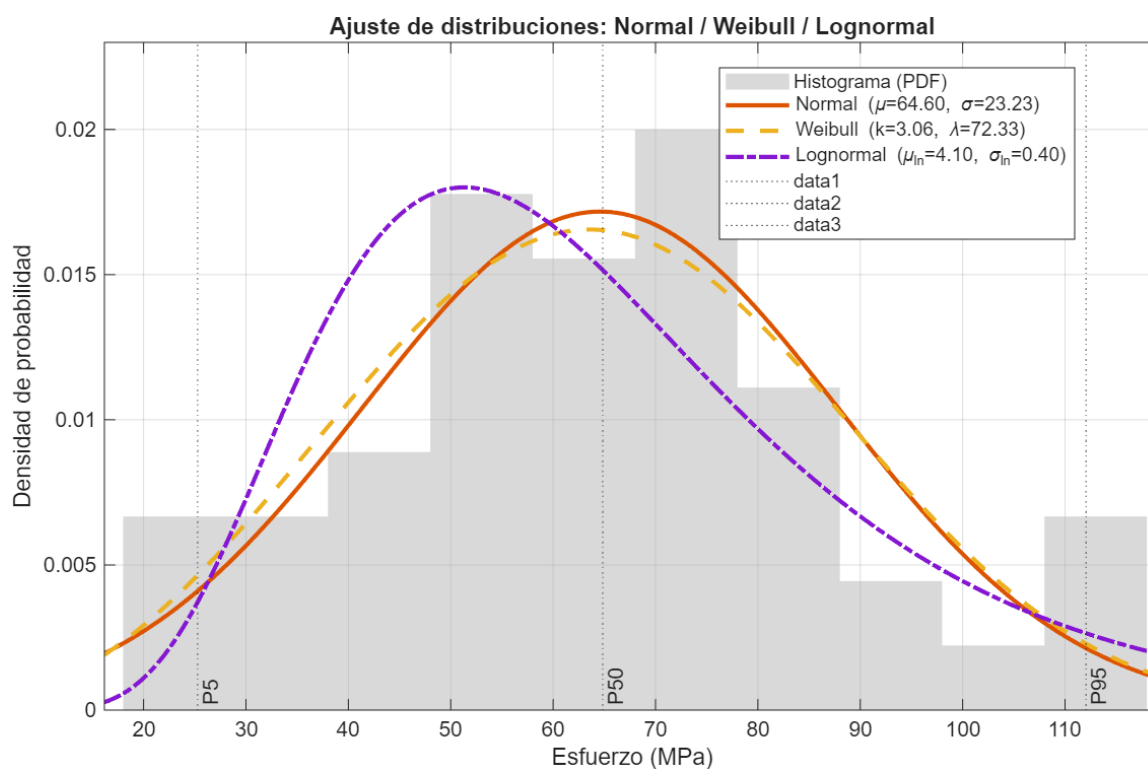


Gráfico 16

Gráfica de Esfuerzo vs Deformación Cedro

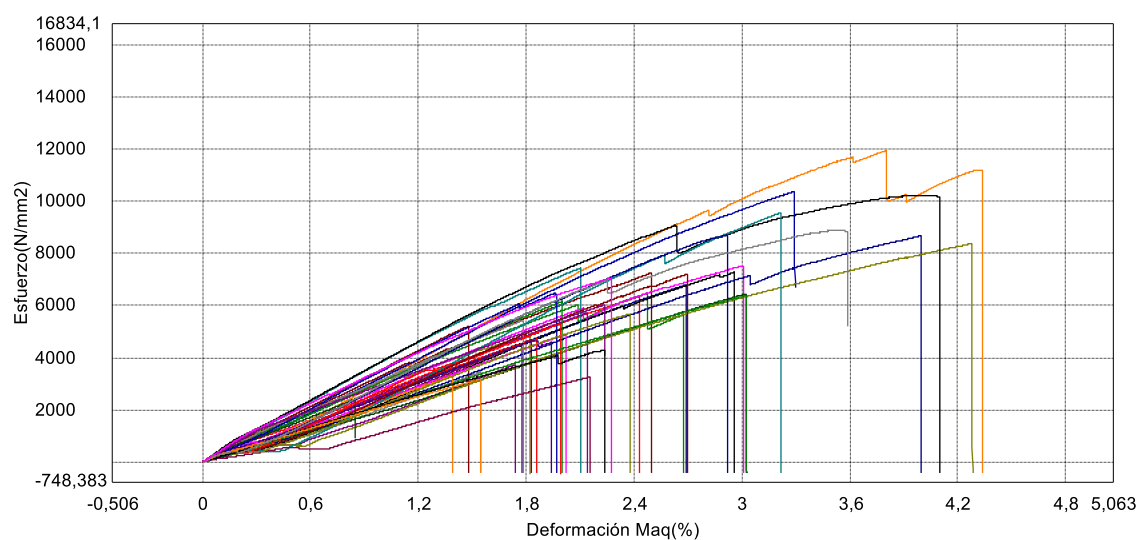
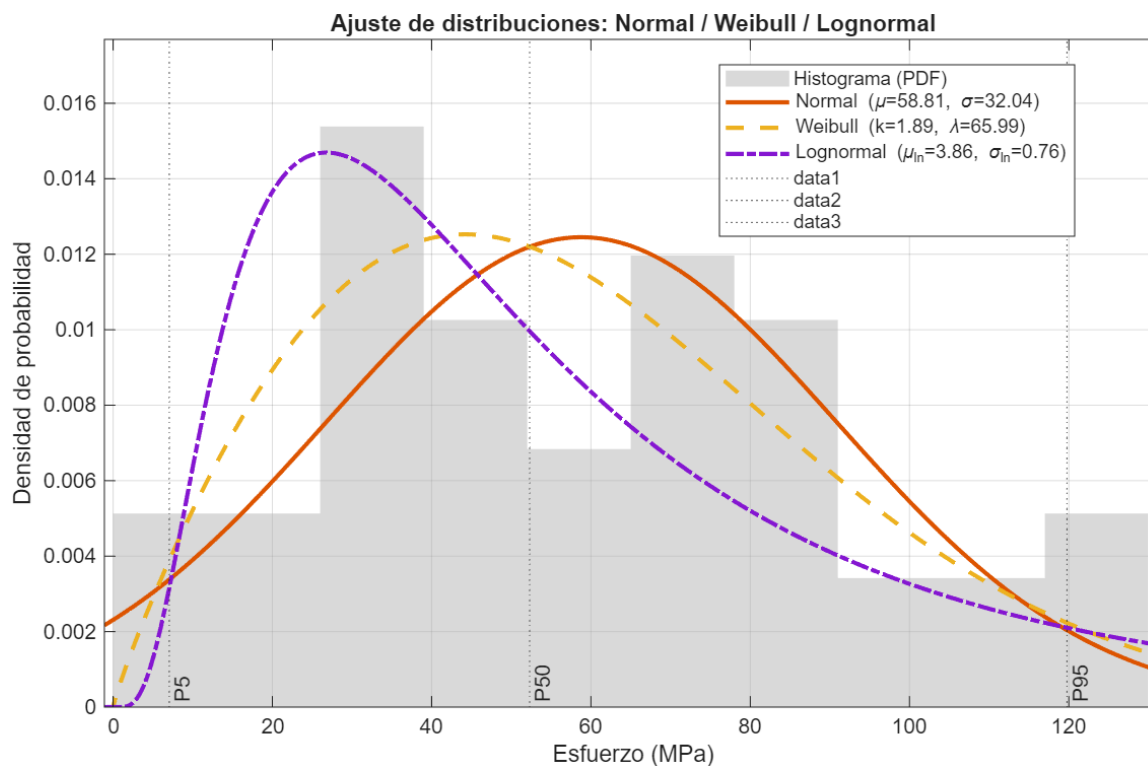
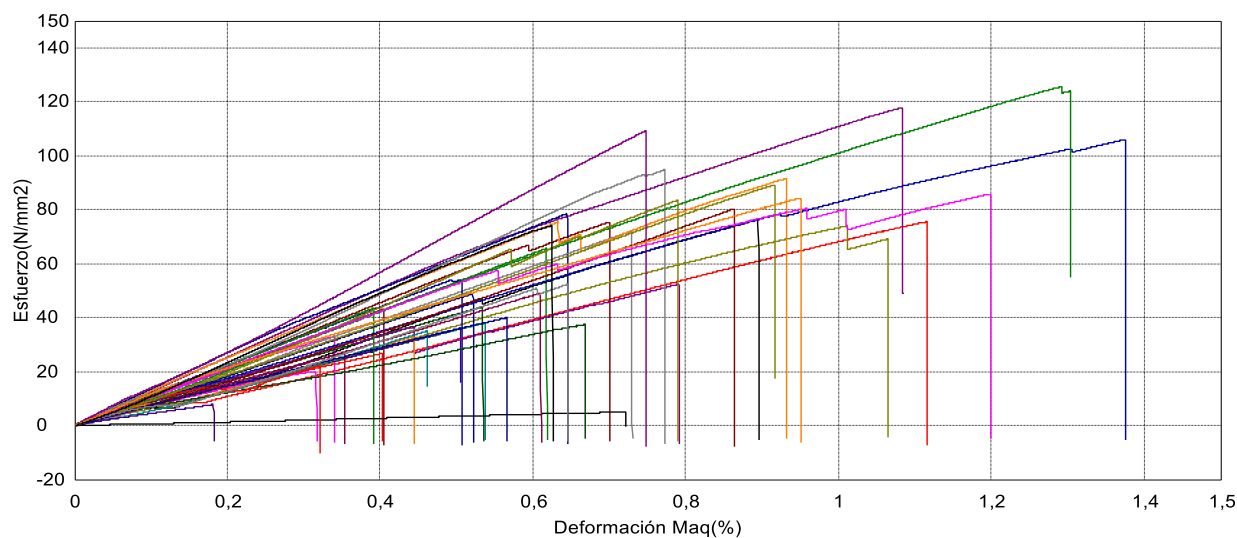


Gráfico 17

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

**Gráfico 18**

Grafica de Esfuerzo vs Deformación Amarillo



Tracción Perpendicular a las Fibras (TPE)

La resistencia a tracción perpendicular fue superior en Cedro con una media de 2,92 MPa, seguido por Melina (1,77 MPa) y Amarillo (1,67 MPa). Esta propiedad es clave para

evaluar el comportamiento de la madera en uniones y zonas de transferencia de carga transversal.

Gráfico 19

Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo tracción perpendicular Melina

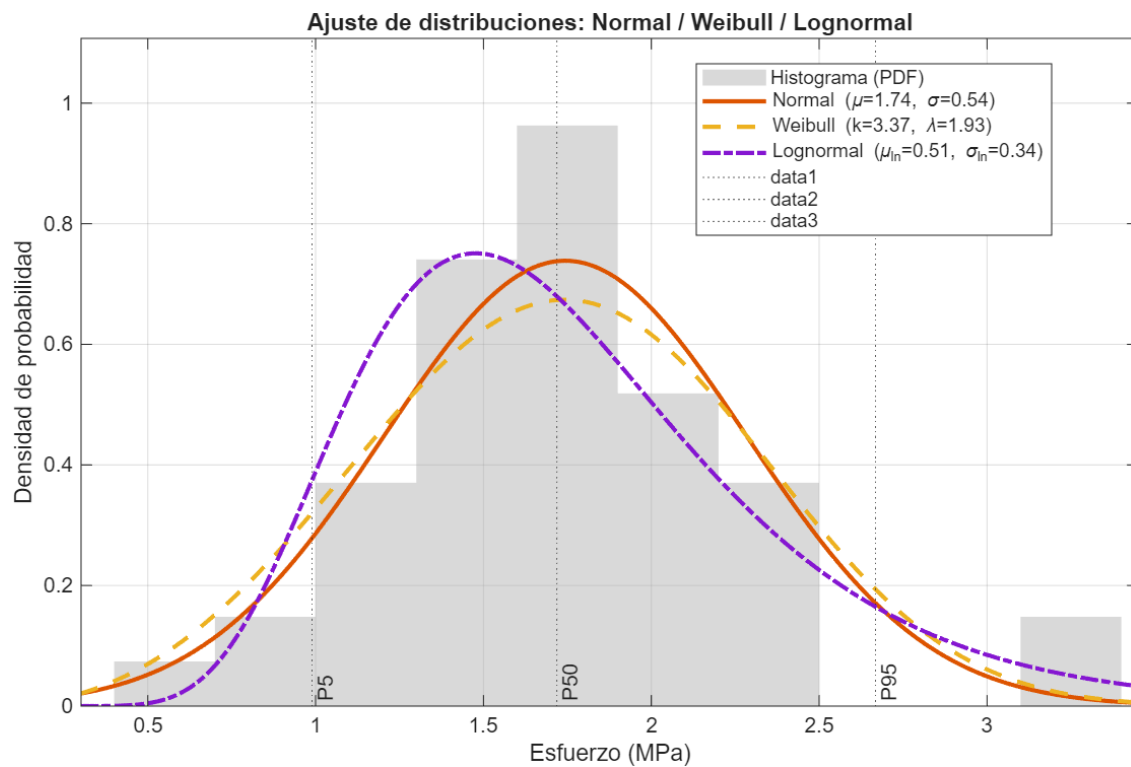


Gráfico 20

Grafica de Esfuerzo vs Deformación Melina

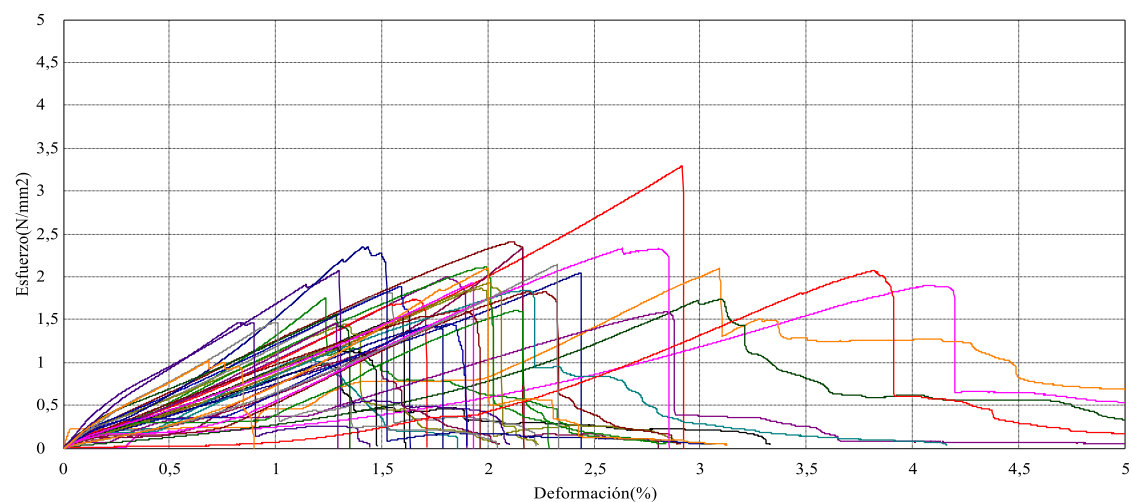


Gráfico 21

Gráfica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo tracción perpendicular Cedro

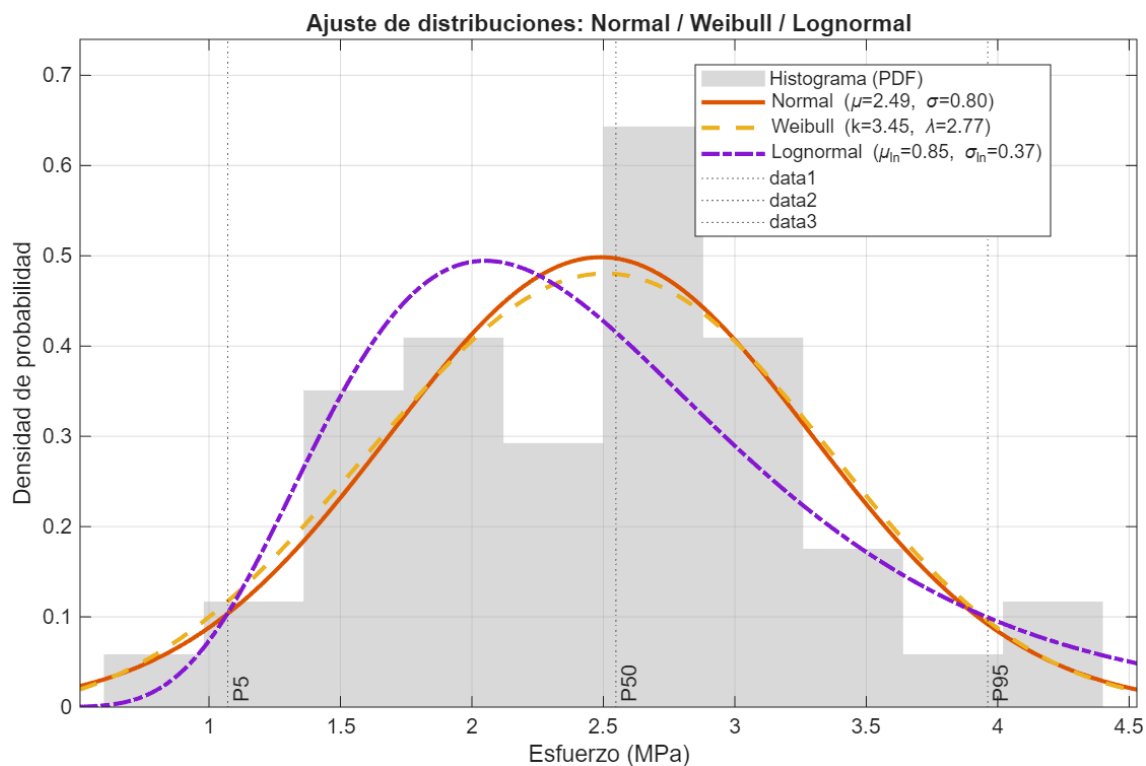


Gráfico 22

Gráfica de Esfuerzo vs Deformación Cedro

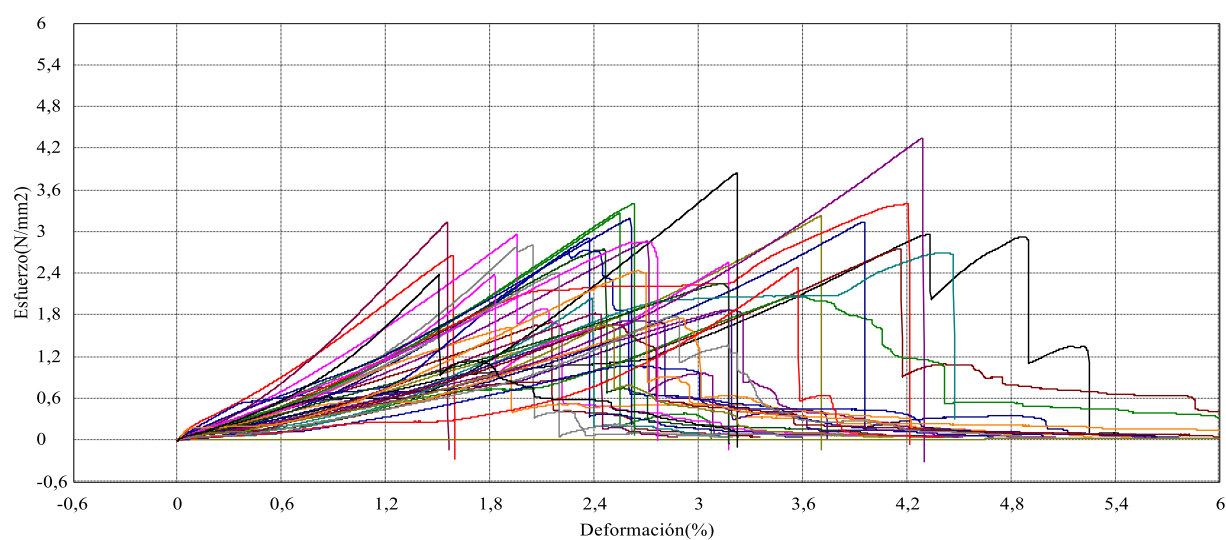


Gráfico 23

Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo tracción perpendicular

Amarillo

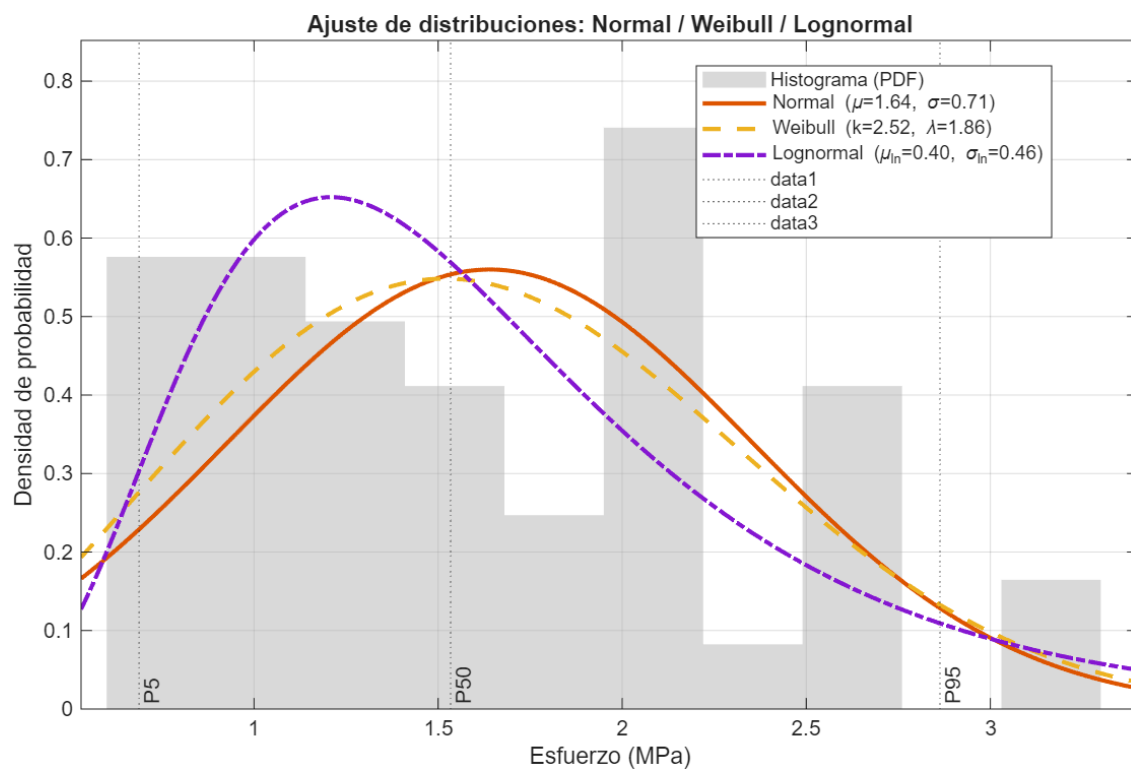
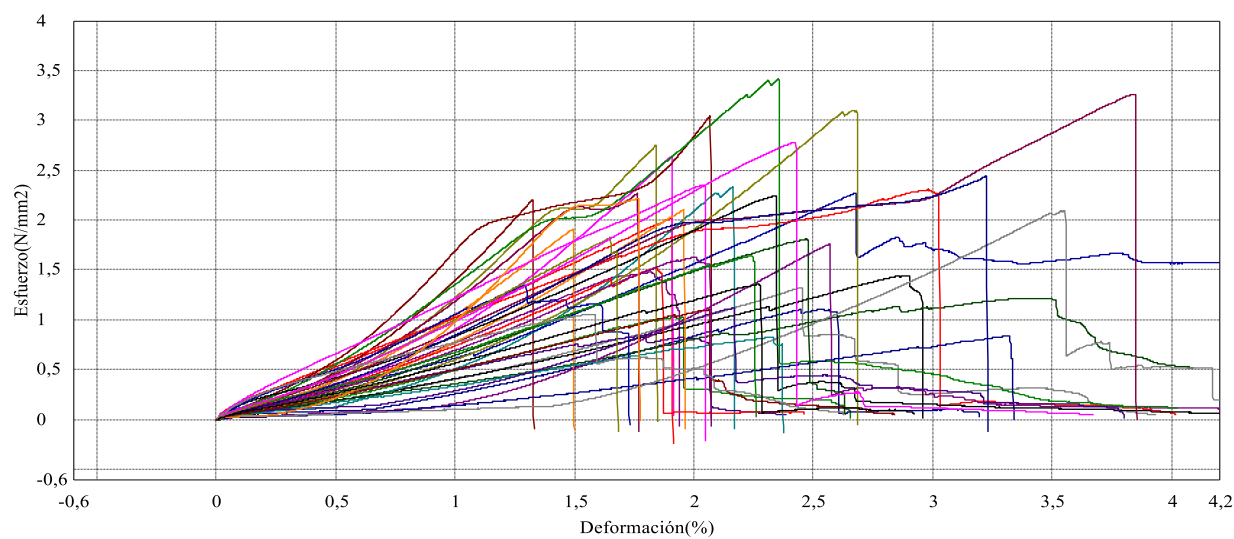


Gráfico 24

Grafica de Esfuerzo vs Deformación Amarillo



Compresión Paralela a las Fibras (CPA)

La compresión paralela evidenció que la especie Amarillo posee la mayor capacidad portante con una media de 40,23 MPa, seguida por Cedro con 36,99 MPa. Melina mostró una resistencia significativamente menor, de apenas 14,95 MPa, lo que restringe su aplicación en elementos comprimidos longitudinalmente.

Gráfico 25

Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo compresión paralela Melina

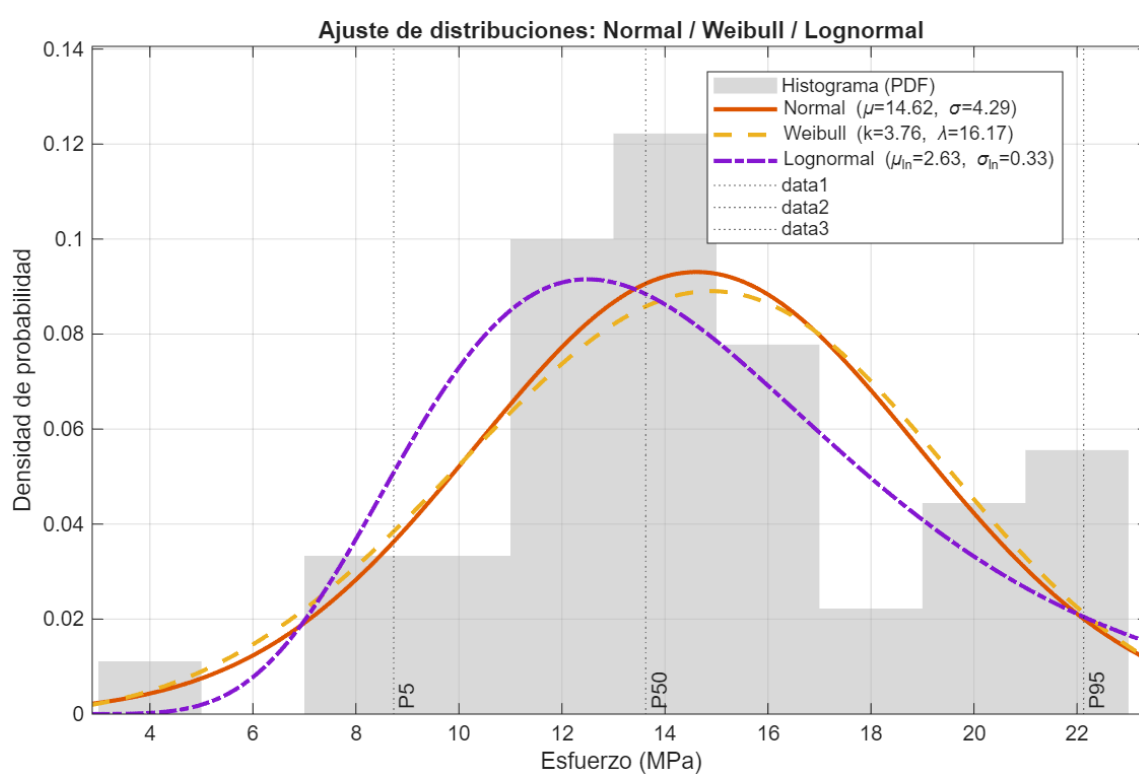


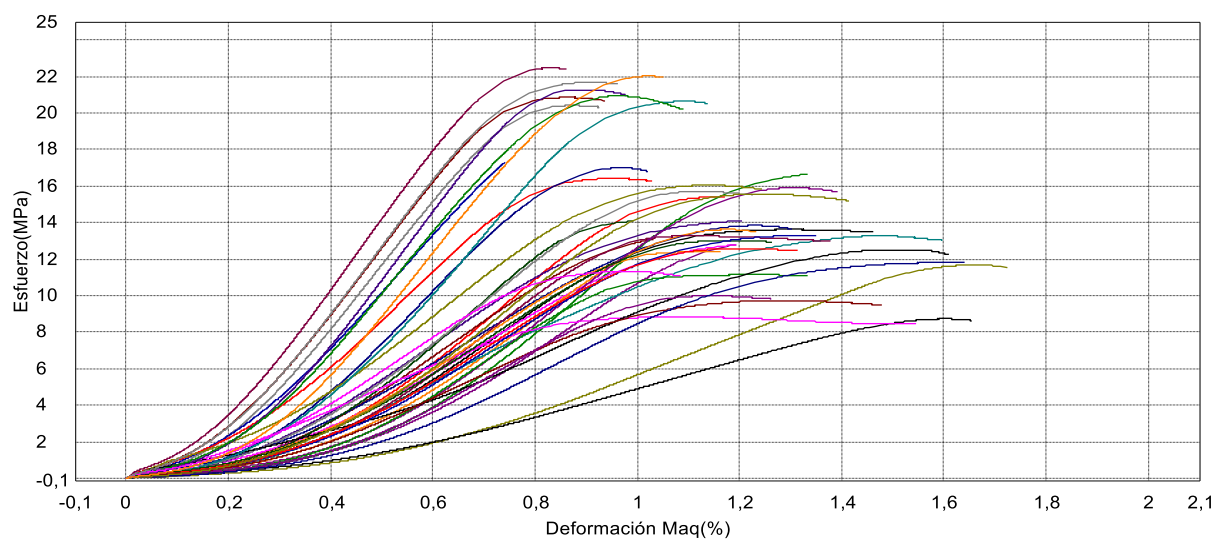
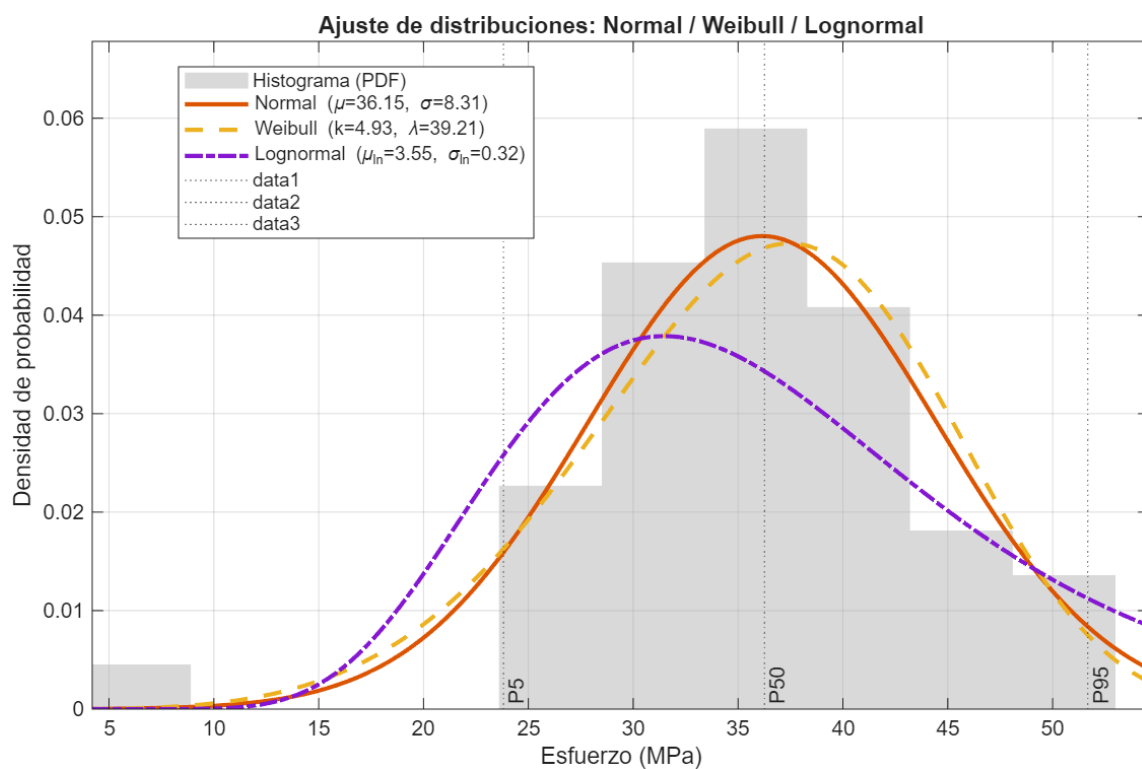
Gráfico 26*Gráfica de Esfuerzo vs Deformación Melina***Gráfico 27***Gráfica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo compresión paralela Cedro*

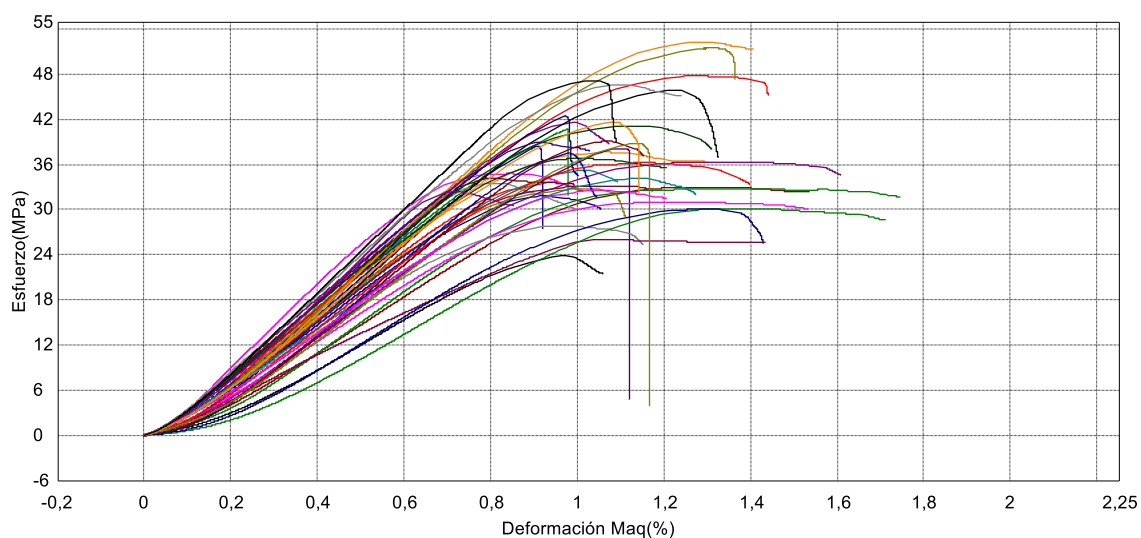
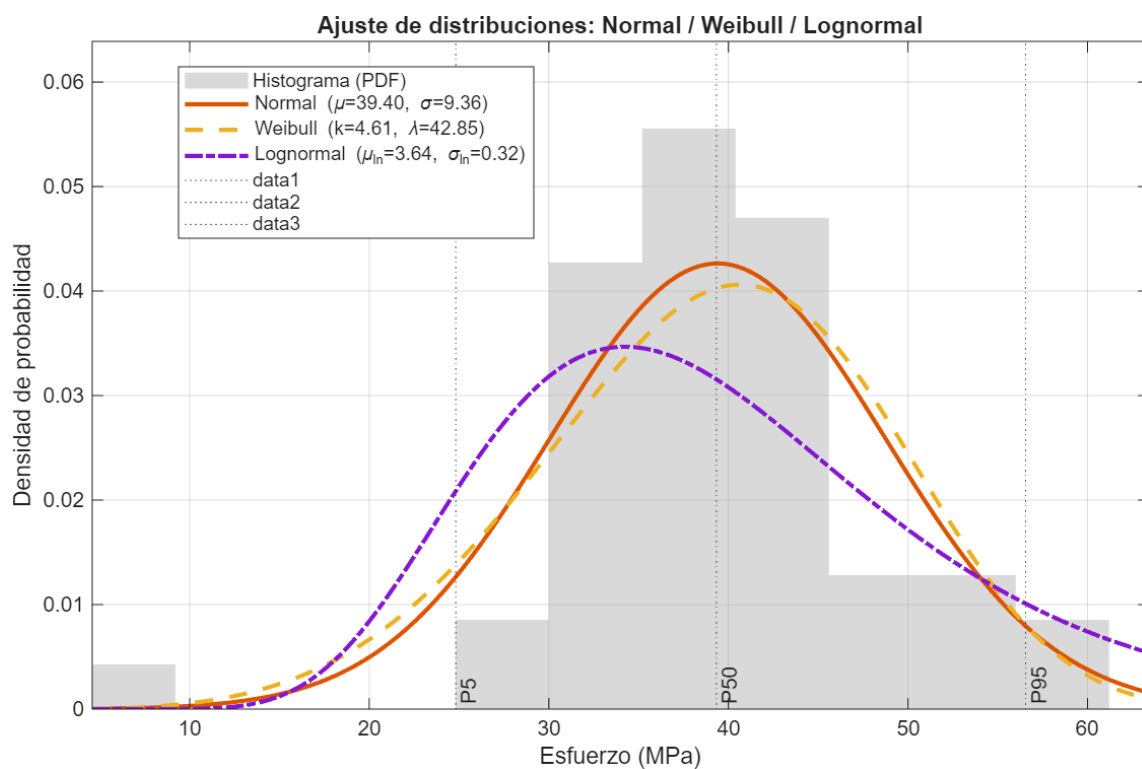
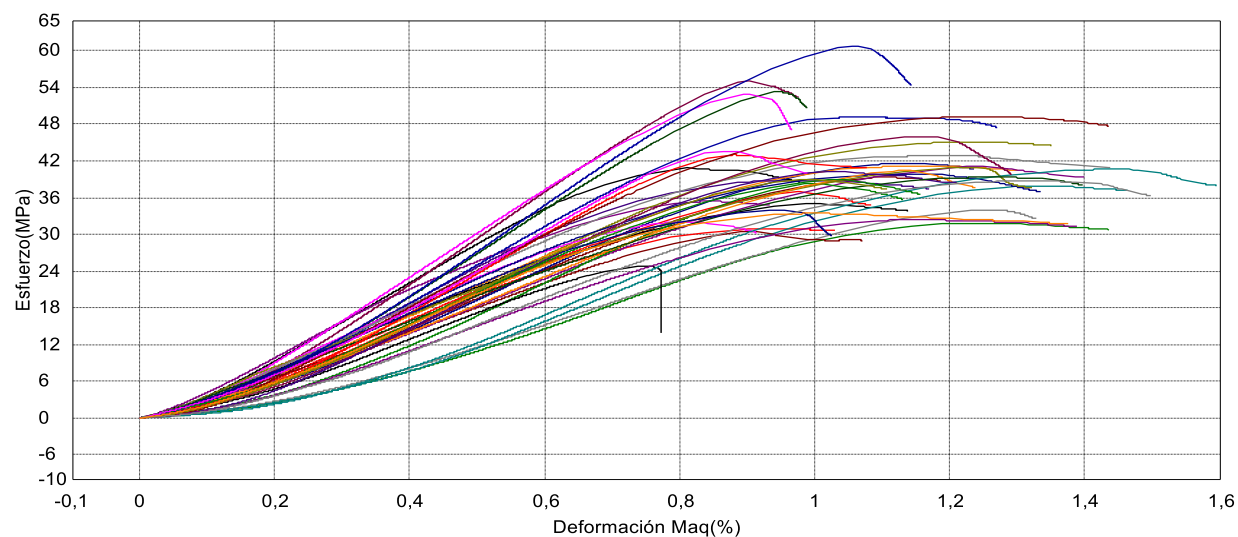
Gráfico 28*Grafica de Esfuerzo vs Deformación Cedro***Gráfico 29***Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo compresión paralela Amarillo*

Gráfico 30

Gráfica de Esfuerzo vs Deformación Amarillo



Compresión Perpendicular a las Fibras (CPE)

En este ensayo, tanto Amarillo como Cedro registraron comportamientos similares, con medias de 16,60 MPa y 16,35 MPa respectivamente. Melina nuevamente mostró valores inferiores, con un promedio de 5,68 MPa, lo que limita su desempeño en zonas de apoyo o contacto transversal.

Gráfico 31

Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo compresión perpendicular

Melina

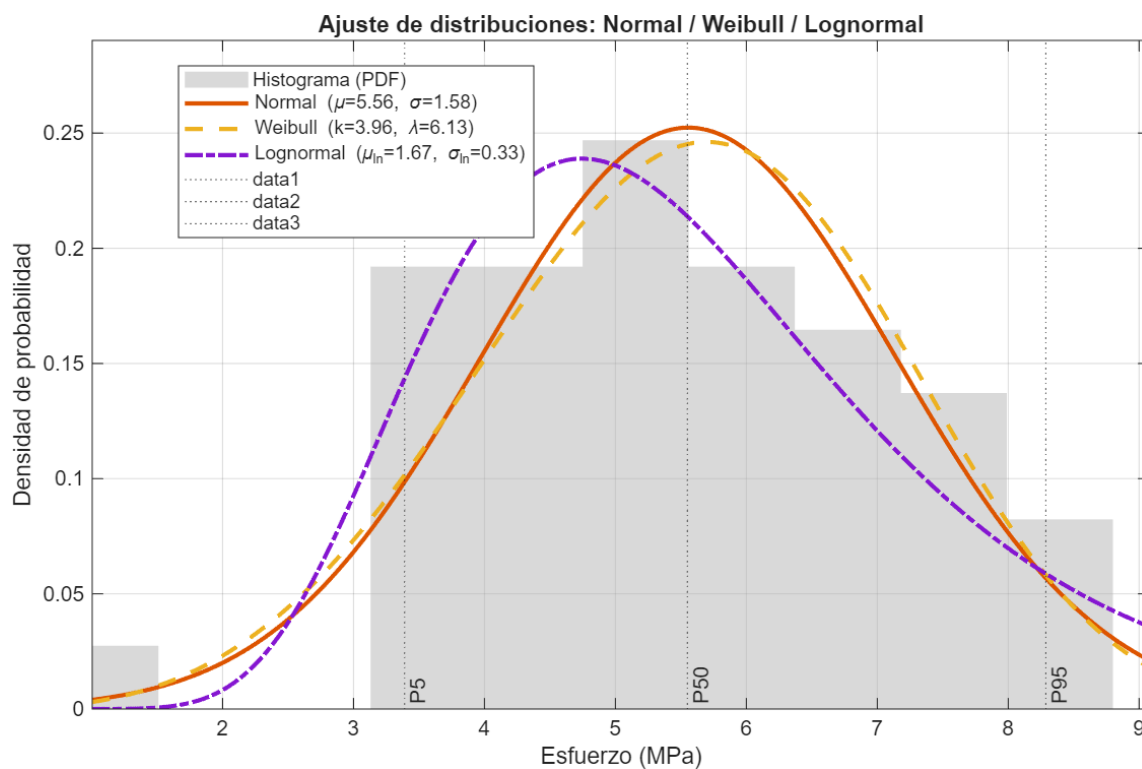


Gráfico 32

Grafica de Esfuerzo vs Deformación Melina

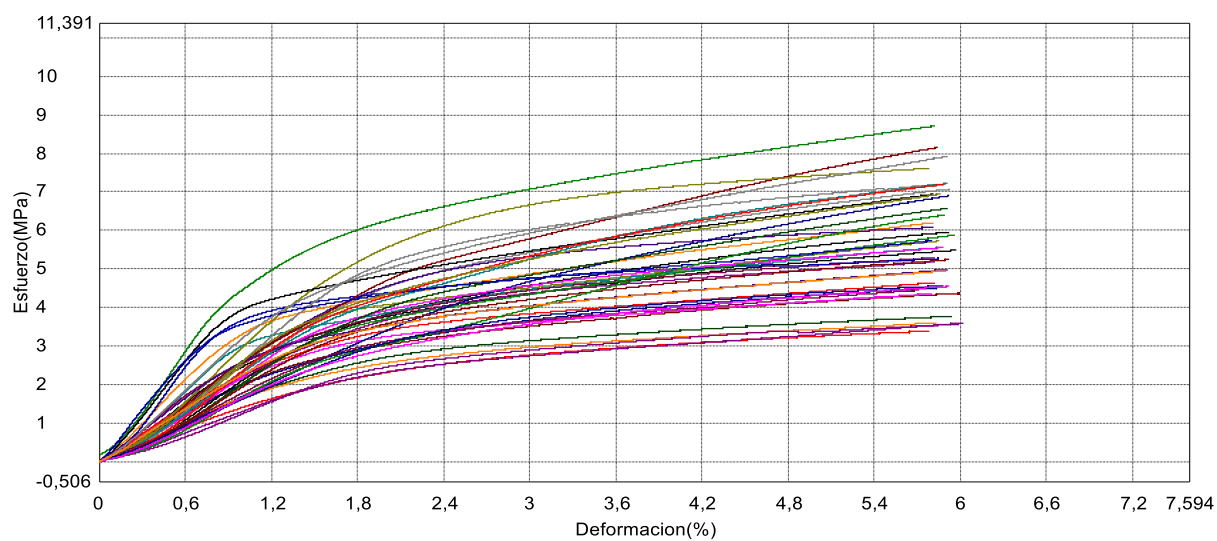


Gráfico 33

Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo compresión perpendicular

Cedro

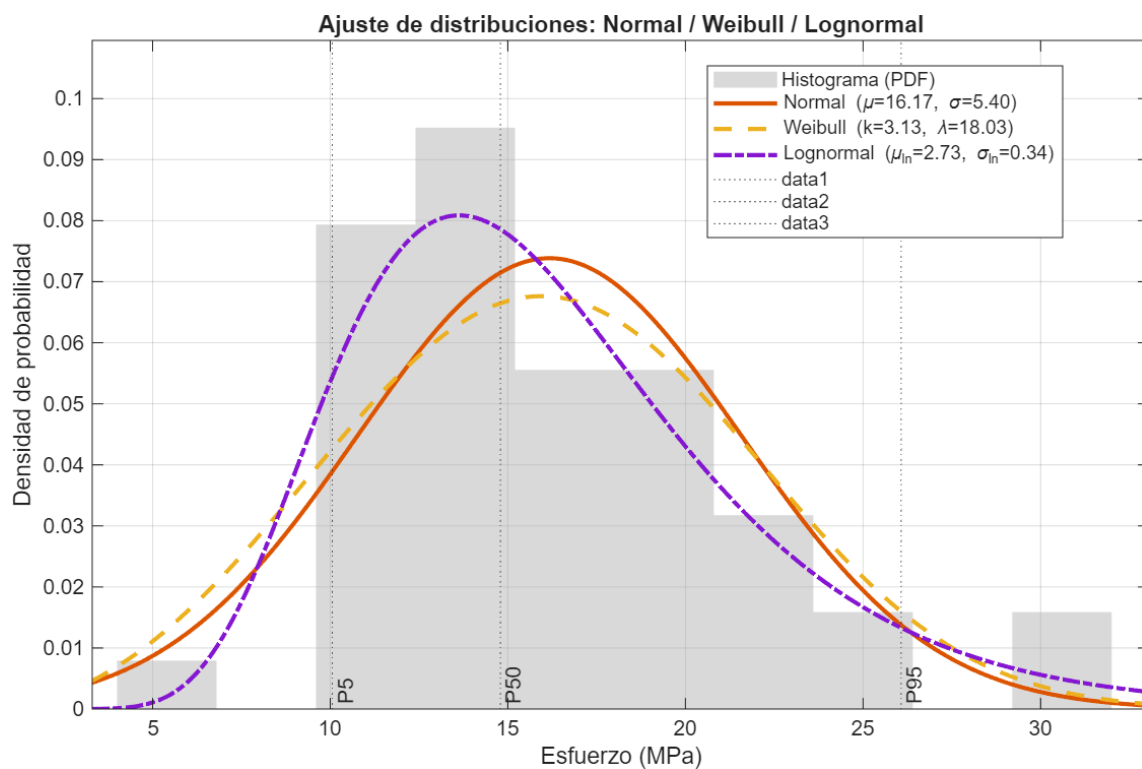


Gráfico 34

Grafica de Esfuerzo vs Deformación Cedro

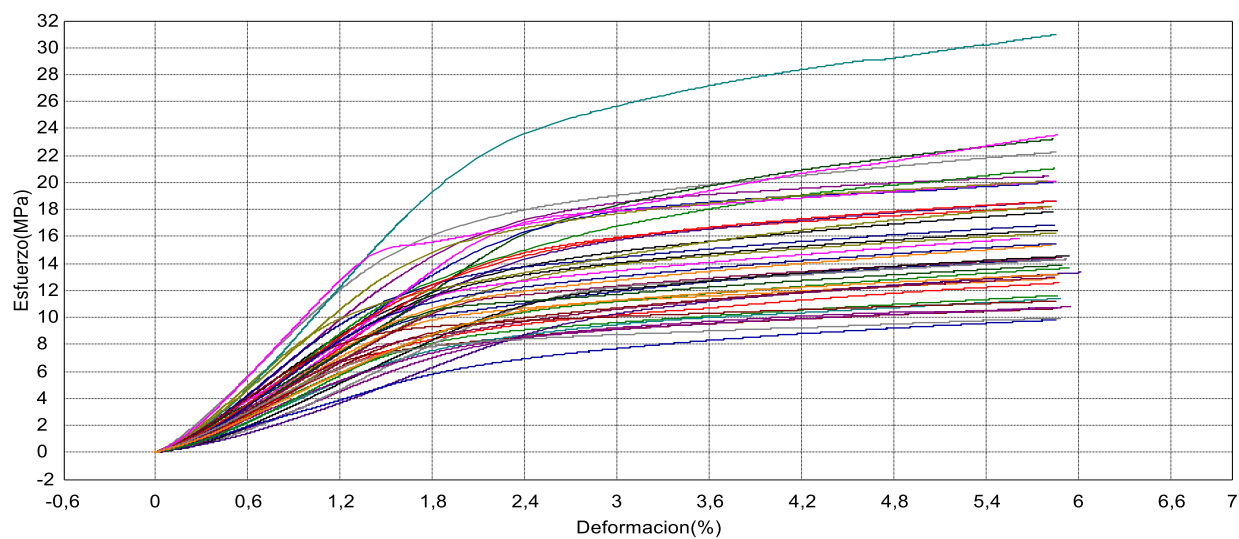


Gráfico 35

Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo compresión perpendicular

Amarillo

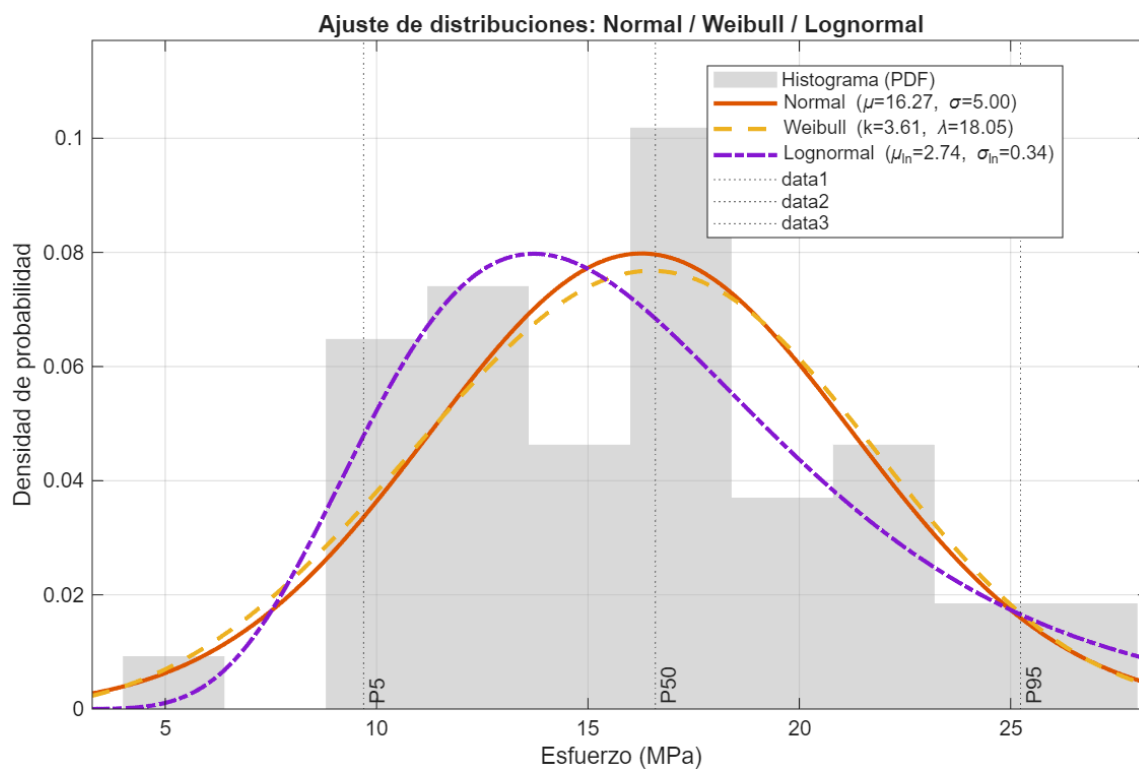
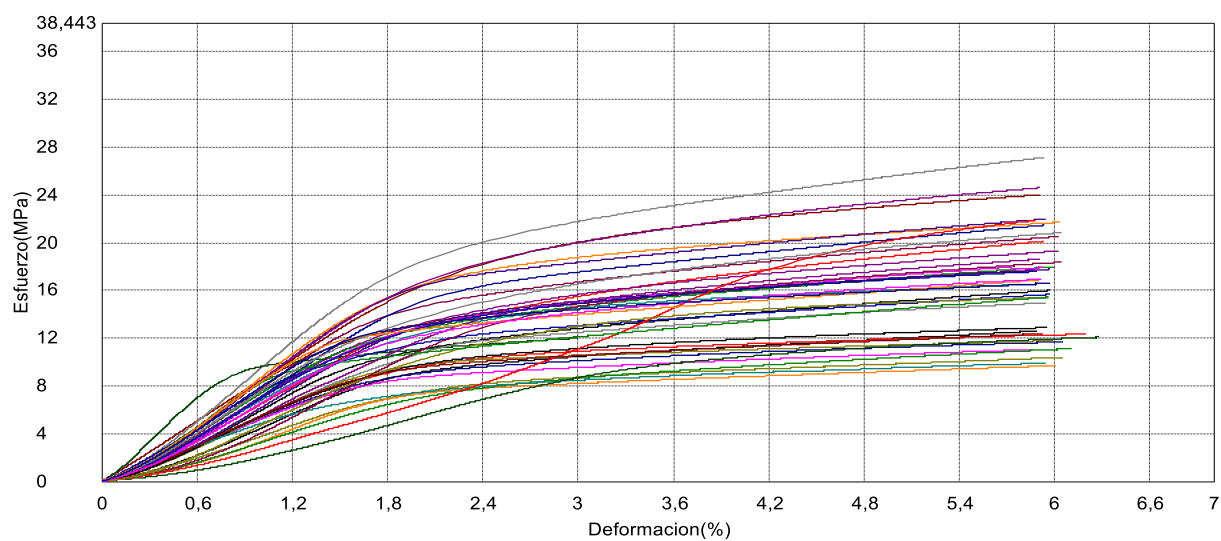


Gráfico 36

Grafica de Esfuerzo vs Deformación Amarillo



Corte Paralelo a las Fibras (COP)

La resistencia al corte fue superior en Amarillo, con un valor promedio de 17,57 MPa, superando al Cedro (11,95 MPa) y a Melina (5,28 MPa). Esta propiedad es esencial para evaluar la capacidad de las maderas frente a esfuerzos de cortante en zonas críticas o de conexión.

Gráfico 37

Grafica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo corte Melina

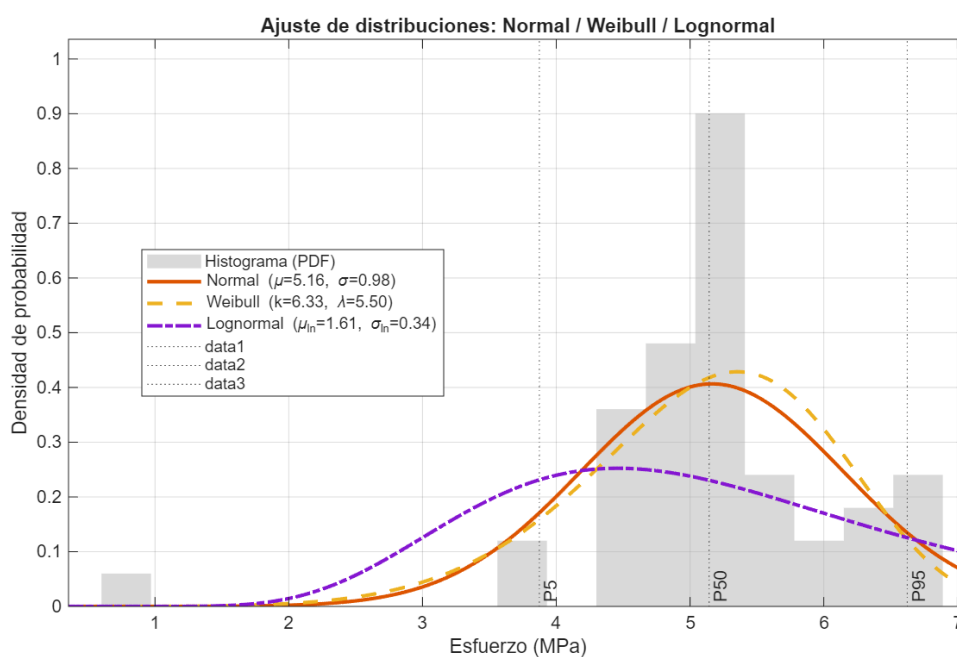


Gráfico 38

Grafica de Esfuerzo vs Deformación Melina

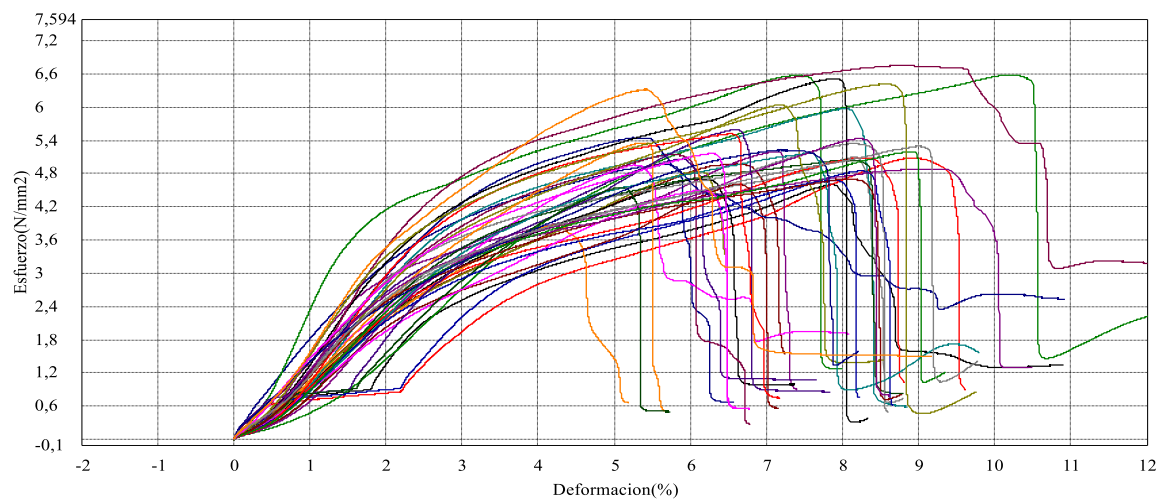


Gráfico 39

Gráfica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo corte Cedro

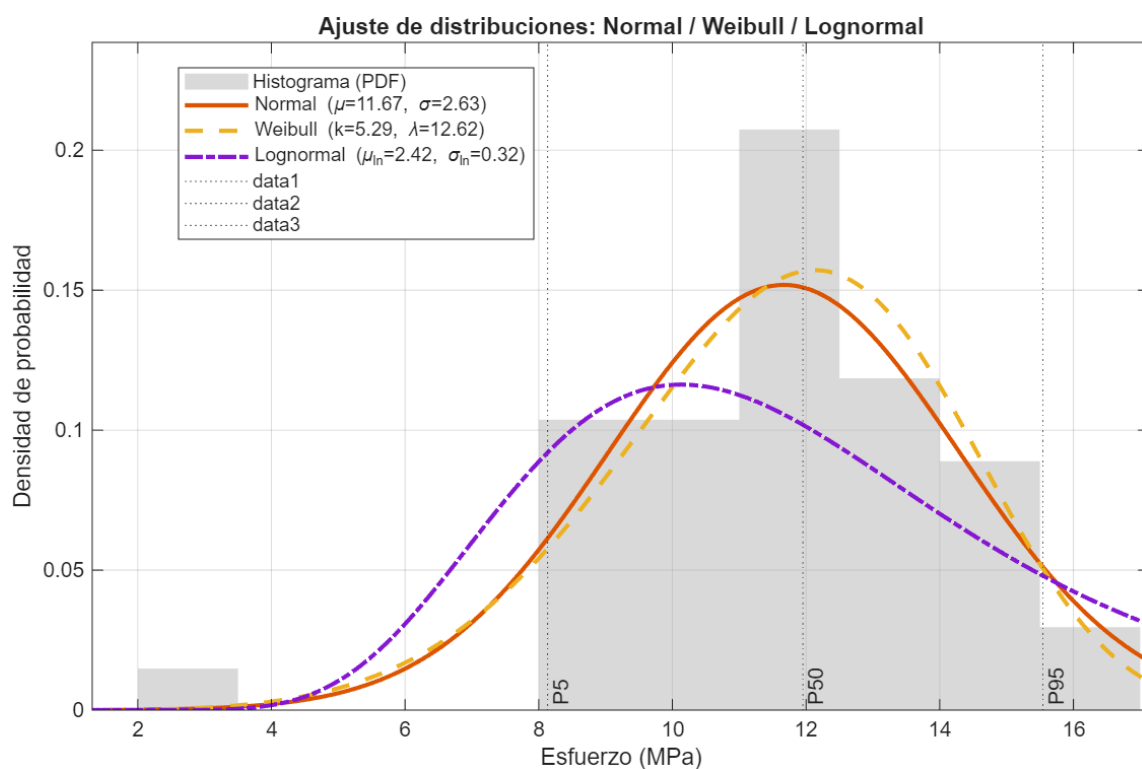


Gráfico 40

Gráfica de Esfuerzo vs Deformación Cedro

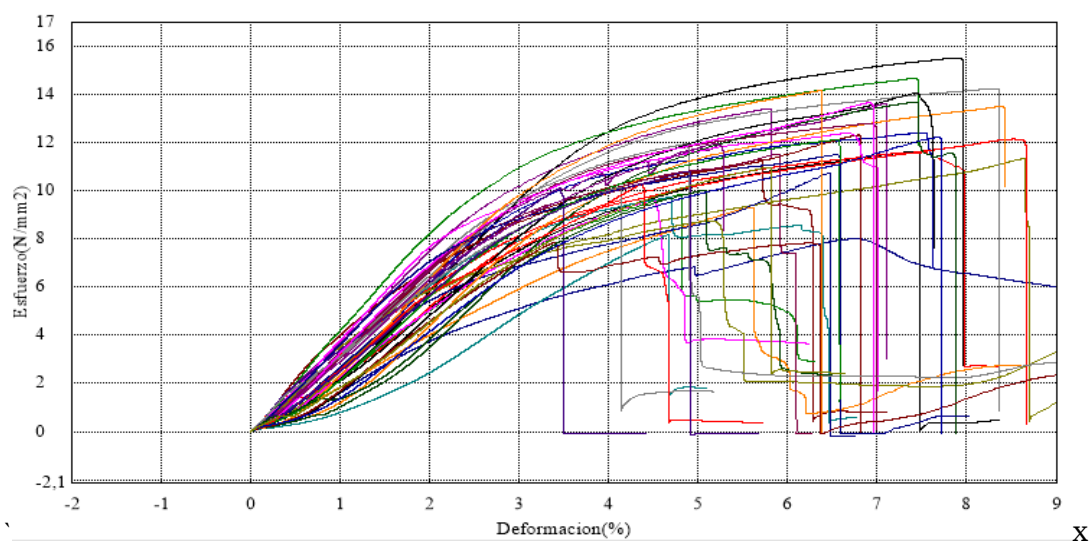


Gráfico 41

Gráfica de distribución Normal Log normal y Weibull ensayo corte Cedro

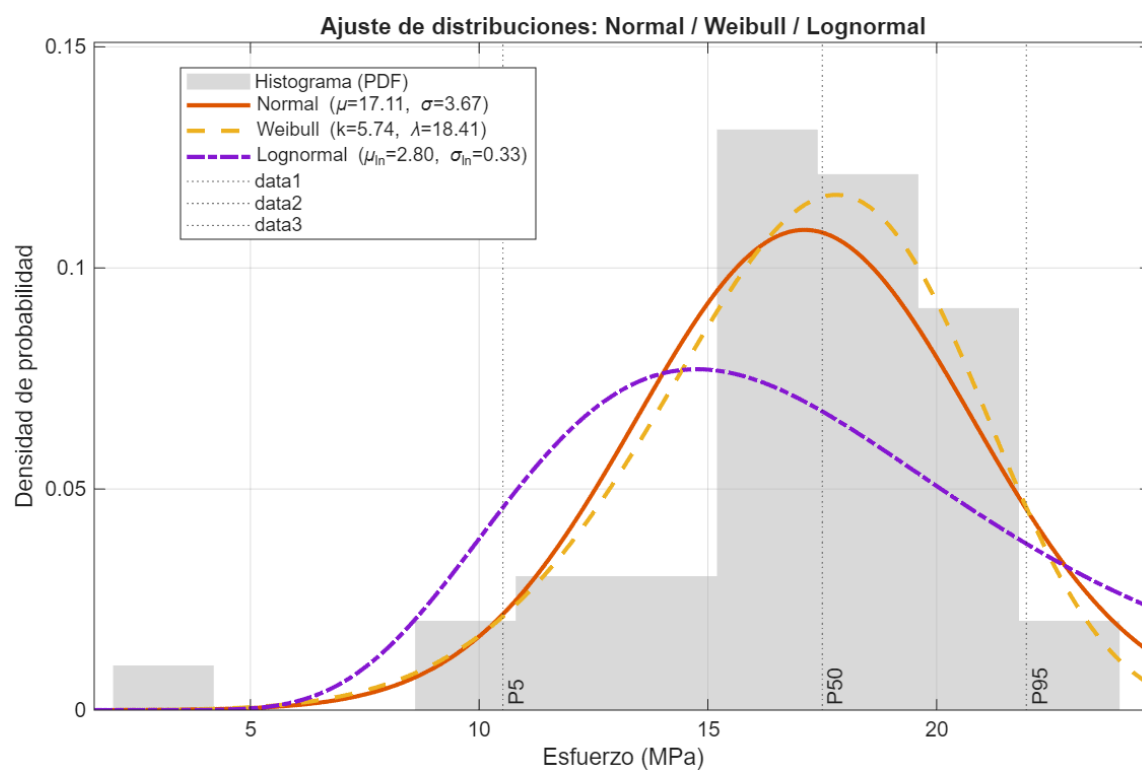
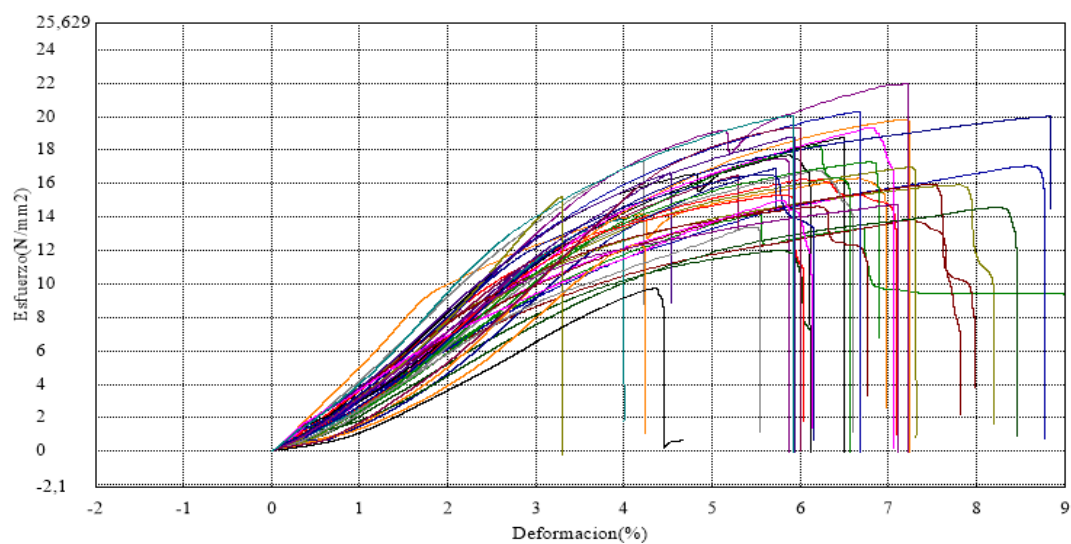


Gráfico 42

Gráfica de Esfuerzo vs Deformación Amarillo



Módulo de Elasticidad

En cuanto al módulo de elasticidad, la madera de Amarillo registró el valor más alto con 12.224,19 MPa, lo que refleja una mayor rigidez frente a cargas. El Cedro obtuvo un valor medio de 10.370,07 MPa, mientras que Melina alcanzó solo 6.074,52 MPa, confirmando su menor capacidad de recuperación elástica ante sollicitaciones estructurales.

Resultados del Cálculo Teórico y Clasificación Normativa

Además de los ensayos experimentales realizados en laboratorio, se llevó a cabo un proceso de clasificación teórica de las especies de madera evaluadas —Melina (*Gmelina arborea*), Cedro (*Cedrela odorata*) y Amarillo (*Centrolobium ochroxylum*)— con base en los lineamientos establecidos por tres normativas técnicas de referencia: BS-EN 338, NEC-SE-Madera (Ecuador) y ASTM D2555/NDS (EE. UU.). Este procedimiento permitió contrastar los resultados de laboratorio con los rangos establecidos por cada norma, a fin de identificar su potencial uso estructural según estándares internacionales y nacionales.

Clasificación según la Norma BS-EN 338

La clase se asigna verificando simultáneamente los umbrales de densidad, resistencia a flexión y módulo de elasticidad, la clase final corresponde a la más baja que satisface todas las verificaciones (no se permite pertenecer a varios grupos). Los resultados obtenidos permiten establecer las siguientes clasificaciones:

- **Melina:** Fue clasificada en C14 por densidad (310,26 kg/m³), CPA (9,70 MPa) y módulo de elasticidad (4612,58 MPa); mientras que el valor de flexión (28,30 MPa) la posiciona en la clase C27. Por lo que se selecciona la clasificación menor.
- **Cedro:** Presentó propiedades superiores, alcanzando las clases C27 a C50, con una densidad de 456,16 kg/m³, CPA de 27,75 MPa, FL de 44,75 MPa y módulo de elasticidad de 8730,10 MPa. Por lo que se selecciona la clasificación menor.

- **Amarillo:** Registró los mejores valores, especialmente en FL (56,26 MPa) y CPA (30,89 MPa), lo cual permitió su clasificación directa en la clase C50 según esta normativa. Por lo que se selecciona la clasificación menor.

Tabla 9*Norma BS-EN Melina*

BS-EN MELINA			
Propiedad	Ensayo (Mpa)	Clasificación	
FL	22,21	28,309	C14
Densidad	310,27	310,2662	C14
Módulo de elasticidad	4612,58	4612,580	C14
TP	13,33	11,118	C14
TPE	0,47	1,108	C14
CPA	20,18	9,701	C14
CPE	2,17	3,599	C14
CT	2,39	4,548	C14

Tabla 10*Norma BS-EN Cedro*

BS-EN CEDRO			
Propiedad	Ensayo	Clasificación	
FL	37,13	44,75	C16
Densidad	456,16	456,16	C16
Módulo de elasticidad	8730,10	8730,09	C16
TP	22,28	37,69	C16
TPE	0,68	1,58	C16
CPA	25,43	27,74	C16
CPE	3,19	10,87	C16
CT	3,60	8,41	C16

Tabla 11*Norma BS-EN Amarillo*

BS-EN AMARILLO			
Propiedad	Ensayo	Clasificación	
FL	55,70	56,26	C16
Densidad	471,59	471,59	C16
Módulo de elasticidad	8539,96	8539,96	C16
TP	33,42	19,36	C16
TPE	0,7073	0,77	C16
CPA	30,52	30,88	C16
CPE	3,30	10,35	C16

CT	4,99	12,82	C16
----	------	-------	-----

Estos resultados posicionan al Amarillo como la especie de mejor desempeño estructural, seguido por el Cedro y posteriormente la Melina, de menor capacidad portante según esta norma.

Clasificación según la Norma NEC-SE-Madera (Ecuador)

La normativa ecuatoriana clasifica las maderas en grupos estructurales A, B o C, en función de promedios de propiedades mecánicas. La asignación considera la densidad básica y las propiedades mecánicas de referencia del grupo (resistencias y MOE). Para cada especie se compararon los resultados experimentales con los valores del grupo; la clasificación final corresponde al grupo único que cumple integralmente con la densidad y propiedades. La Tabla NEC resume las verificaciones y se clasifica según la densidad. En este contexto:

- **Melina:** Se clasificó como grupo A para la mayoría de las propiedades (FL, TP, CPA), aunque el módulo de elasticidad (6074,52 MPa) la ubica en el grupo B, y su densidad (350,69 kg/m³) en el grupo C.
- **Cedro:** Obtuvo clasificación A para las propiedades principales (FL: 63,47 MPa; CPA: 36,99 MPa; TP: 66,06 MPa), aunque el módulo de elasticidad (10370,07 MPa) corresponde al grupo B, y su densidad (538,27 kg/m³) nuevamente al grupo C.
- **Amarillo:** Se ubicó en el grupo A para todas las propiedades mecánicas analizadas (FL: 95,22 MPa; CPA: 40,23 MPa; TP: 60,16 MPa), y en el grupo B tanto para el módulo de elasticidad como para la densidad.

El análisis muestra que, bajo la NEC, las tres especies pueden ser consideradas aptas para uso estructural, aunque nuevamente Amarillo se destaca con mejor clasificación general.

Tabla 12*Norma NEC Melina*

NEC 15 MELINA			
Propiedad	Ensayo (Mpa)	Clasificación	
FL	21,042	37,97	C
TP	14,729	41,33	C
TPE	1,771	1,77	-
CPA	13,677	14,95	C
CPE	5,683	5,68	C
CT	1,052	5,28	C
MODULO DE ELASTICIDAD	8289,082	6074,52	C
Densidad	350,692	350,69	C

Tabla 13*Norma NEC Cedro*

NEC 15 CEDRO			
Propiedad	Ensayo	Clasificación	
FL	32,296	63,47	C
TP	22,607	66,06	C
TPE	2,923	2,92	-
CPA	20,993	36,99	C
CPE	16,352	16,35	C
CT	1,615	11,95	C
MODULO DE ELASTICIDAD	12722,792	10370,07	C
Densidad	538,272	538,27	C

Tabla 14*Norma NEC Cedro*

NEC 15 AMARILLO			
Propiedad	Ensayo	Clasificacion	
FL	38,735	95,22	B
TP	27,114	60,16	B
TPE	1,669	1,67	-
CPA	25,178	40,23	B
CPE	16,595	16,59	B
CT	1,937	17,57	B
MODULO DE ELASTICIDAD	15259,325	12224,19	B
Densidad	645,587	645,59	B

Clasificación según ASTM D2555 / NDS

Bajo la norma ASTM D2555 y el sistema NDS, se establecen rangos estructurales en formato “f-E” (por ejemplo, 3000f-2,4E), donde “f” corresponde a la resistencia a flexión (en psi) y “E” al módulo de elasticidad. En este marco:

- **Melina:** Se clasificó como 2550f-2,1E, basada en su resistencia a flexión (5507,31 psi) y MOE (881034 psi). Las propiedades de CPA y TP corresponden a valores similares a la designación 900F-1,0E.
- **Cedro:** Fue ubicada en la clase 3000f-2,4E, debido a su resistencia a flexión (9205,35 psi) y módulo de elasticidad (1504050,88 psi). También CPA y TP respaldan esta clasificación.
- **Amarillo:** Al presentar la mayor resistencia a flexión (13810,37 psi) y el mayor módulo de elasticidad (1772967,82 psi), también fue clasificada en 3000f-2,4E, siendo apta para aplicaciones estructurales de alta exigencia.

Tabla 15

Norma ASTM/NDS Melina

ASTM / NDS MELINA			
Propiedad	Ensayo (psi)	Rango - Clasificación	
FL	5507,308	2622,527	2550f-2,1E
TP	2478,288	2854,762	2550f-2,1E
TPE	-	122,328	-
CPA	3141,993	1032,633	900f-1,0E
CPE	309,899	392,522	-
CT	766,151	364,834	-
MODULO DE ELASTICIDAD	881034,301	419540,143	900f-1,0E
Densidad	350,692	350,692	-

ASTM / NDS MELINA			
Propiedad	Ensayo (Mpa)	Rango - Clasificación	
FL	37,972	18,082	2550f-2,1E
TP	17,087	19,683	2550f-2,1E
TPE	-	0,843	-
CPA	21,663	7,120	900f-1,0E
CPE	2,137	2,706	-
CT	5,282	2,515	-
MODULO DE ELASTICIDAD	6074,519	2892,628	900f-1,0E
Densidad	2,418	350,692	-

Tabla 16*Norma ASTM/NDS Cedro*

ASTM / NDS CEDRO			
Propiedad	Ensayo (psi)	Rango - Clasificación	
FL	9205,350	4383,500	3000f-2,4E
TP	4142,407	4562,395	3000f-2,4E
TPE	-	201,890	-
CPA	4523,504	2554,775	3000f-2,4E
CPE	732,404	1129,394	-
CT	1733,708	825,575	-
MODULO DE ELASTICIDAD	1504050,884	716214,707	3000f-2,4E
Densidad	538,272	0,000	-

ASTM / NDS CEDRO			
Propiedad	Ensayo (Mpa)	Rango - Clasificación	
FL	63,469	30,223	3000f-2,4E
TP	28,561	31,457	3000f-2,4E
TPE	-	1,392	-
CPA	31,188	17,615	3000f-2,4E
CPE	5,050	7,787	-
CT	11,954	5,692	-
MODULO DE ELASTICIDAD	10370,069	4938,128	3000f-2,4E
Densidad	3,711	0,000	-

Tabla 17*Norma ASTM/NDS Amarillo*

ASTM / NDS AMARILLO			
Propiedad	Ensayo (psi)	Rango - Clasificación	
FL	13810,371	6576,367	3000f-2,4E
TP	6214,667	4154,773	3000f-2,4E
TPE	-	115,287	-
CPA	6243,843	2778,549	3000f-2,4E
CPE	974,120	1146,126	-
CT	2548,710	1213,671	-
MODULO DE ELASTICIDAD	1772967,822	844270,391	3000f-2,4E
Densidad	645,587	645,587	-

ASTM / NDS AMARILLO			
Propiedad	Ensayo (Mpa)	Rango - Clasificación	
FL	95,219	45,342	3000f-2,4E
TP	42,849	28,646	3000f-2,4E
TPE	-	0,795	-
CPA	43,050	19,157	3000f-2,4E
CPE	6,716	7,902	-
CT	17,573	8,368	-
MODULO DE ELASTICIDAD	12224,186	5821,041	3000f-2,4E
Densidad	645,587	645,587	-

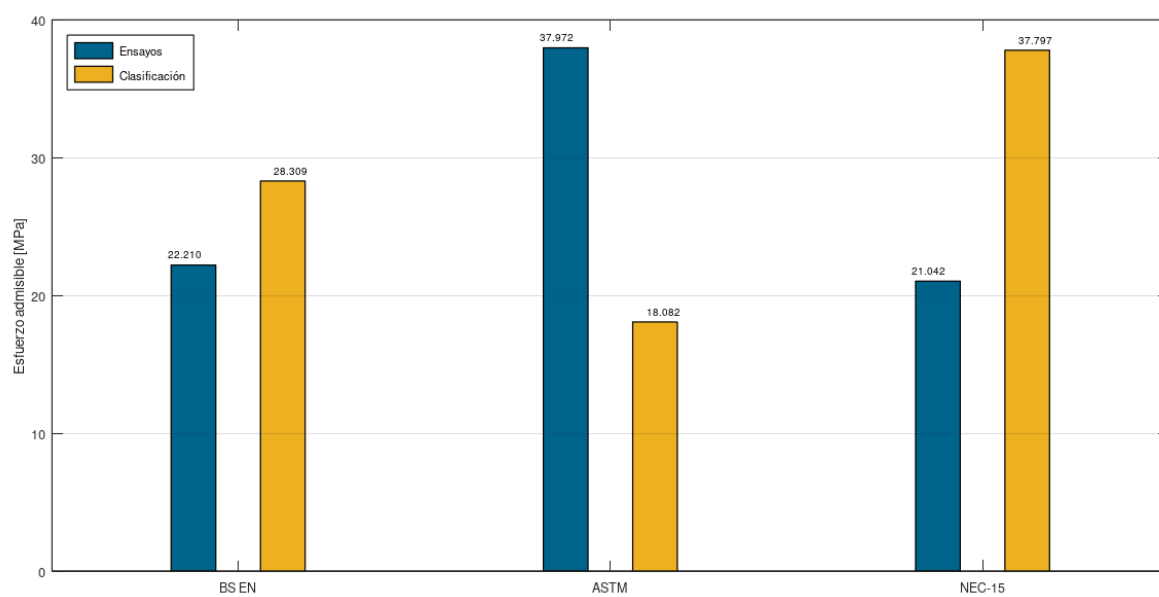
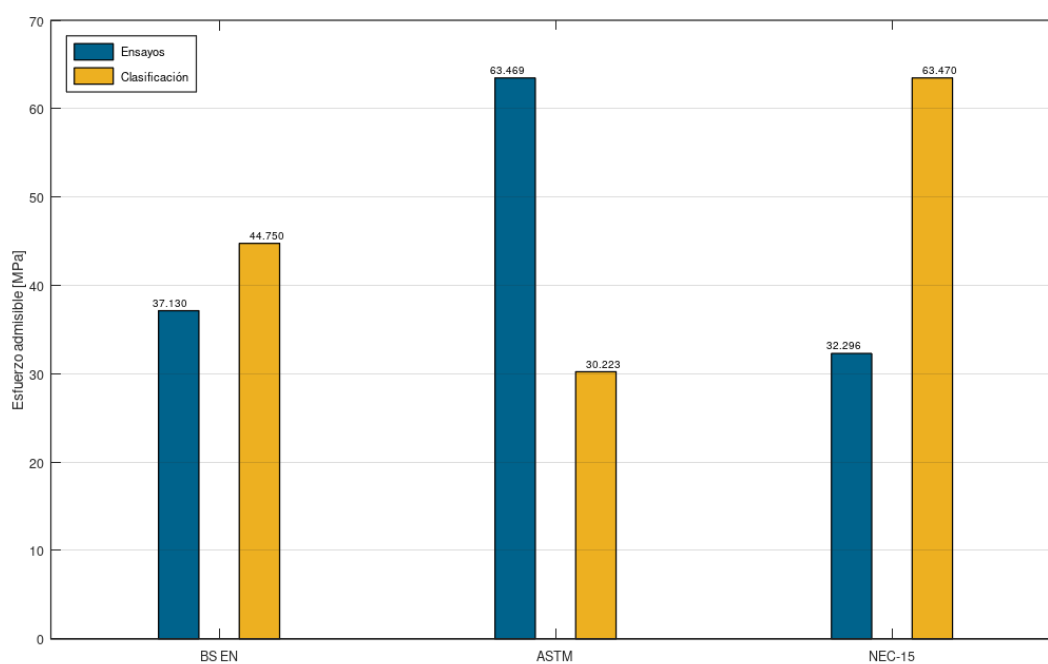
Gráfico 43*Melina Flexión***Gráfico 44***Cedro Flexión*

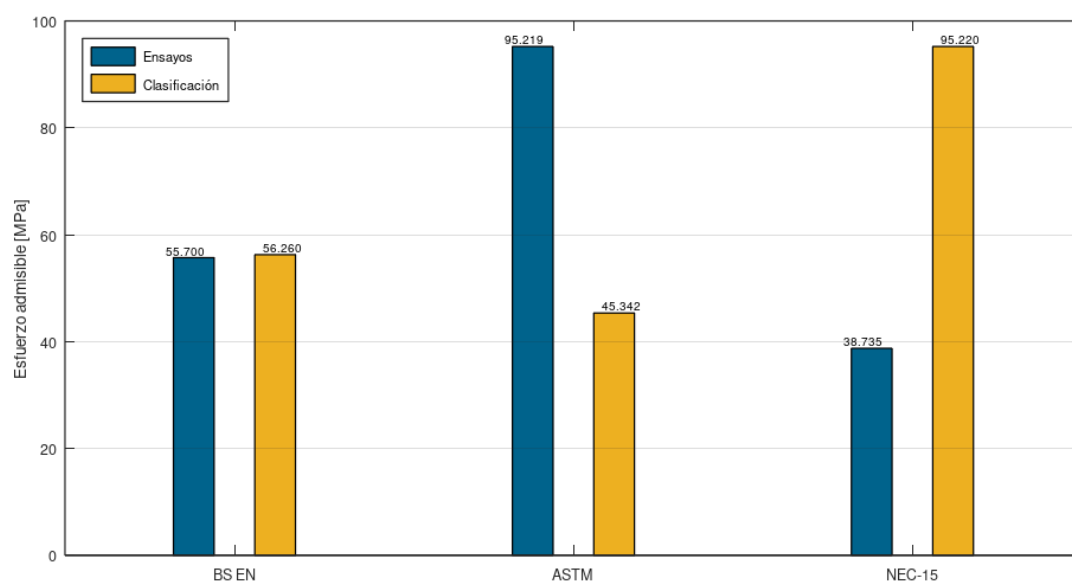
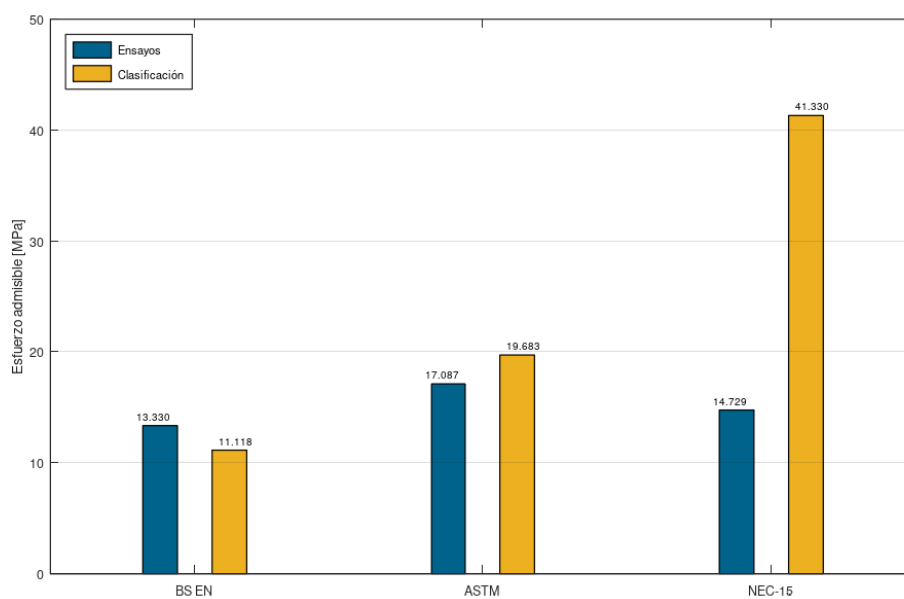
Gráfico 45*Amarillo Flexión***Gráfico 46***Melina Tracción Paralela*

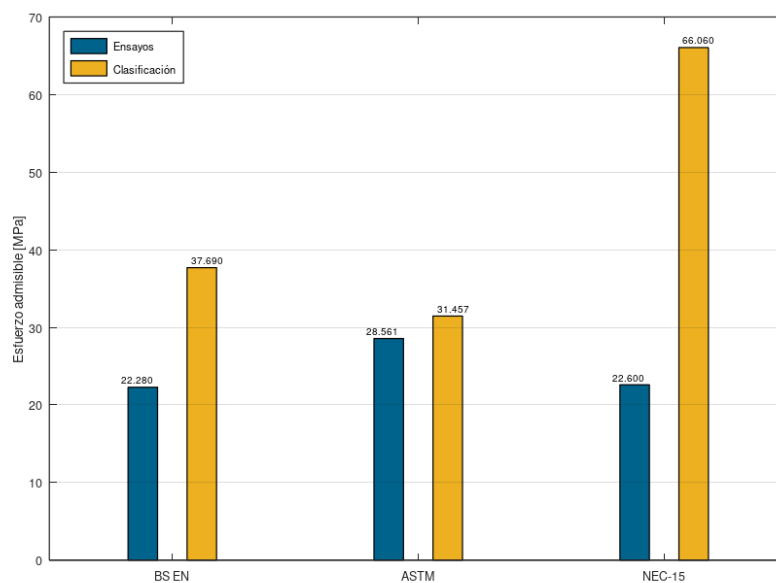
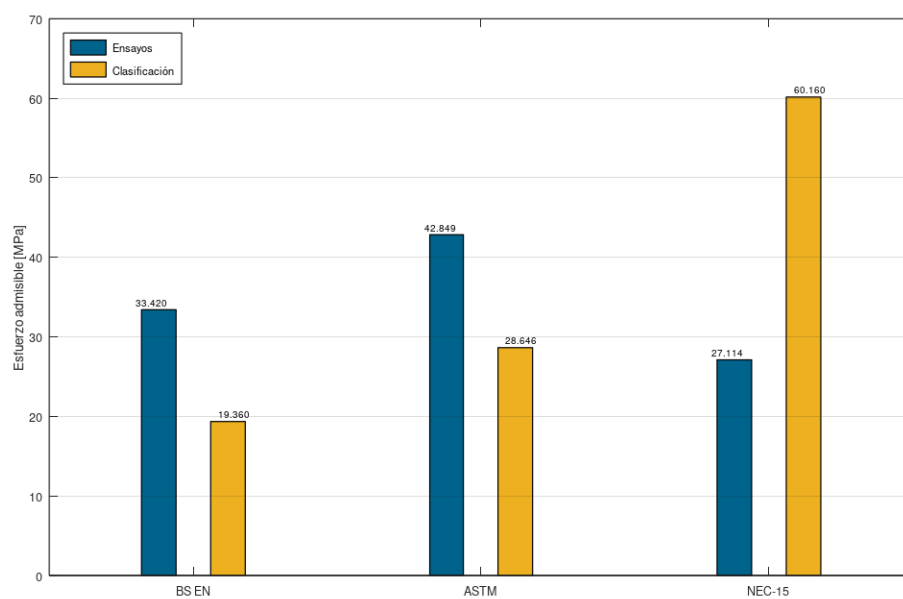
Gráfico 47*Cedro Tracción Paralela***Gráfico 48***Amarillo Tracción Paralela*

Gráfico 49

Melina Tracción Perpendicular

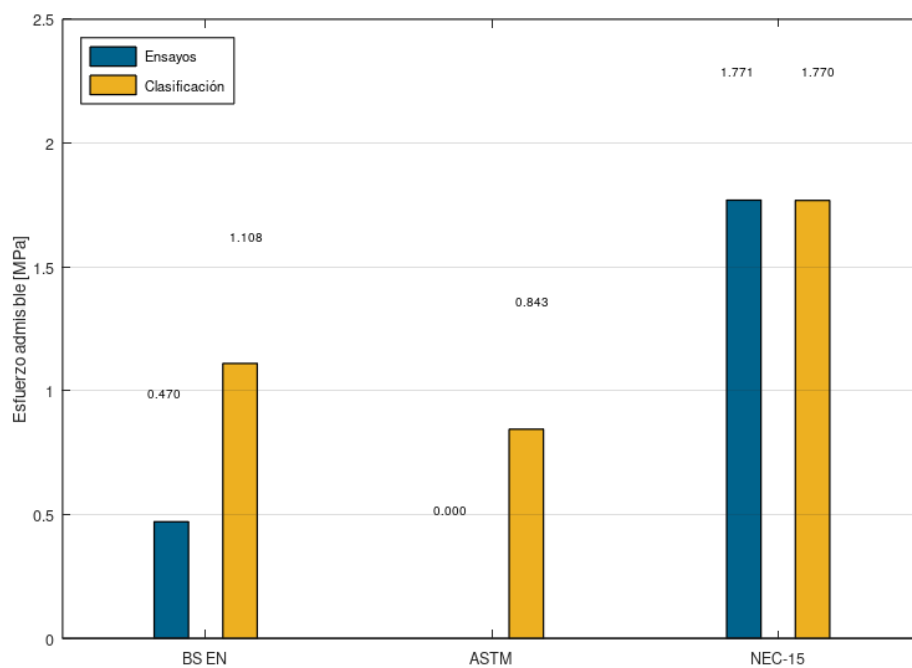


Gráfico 50

Cedro Tracción Perpendicular

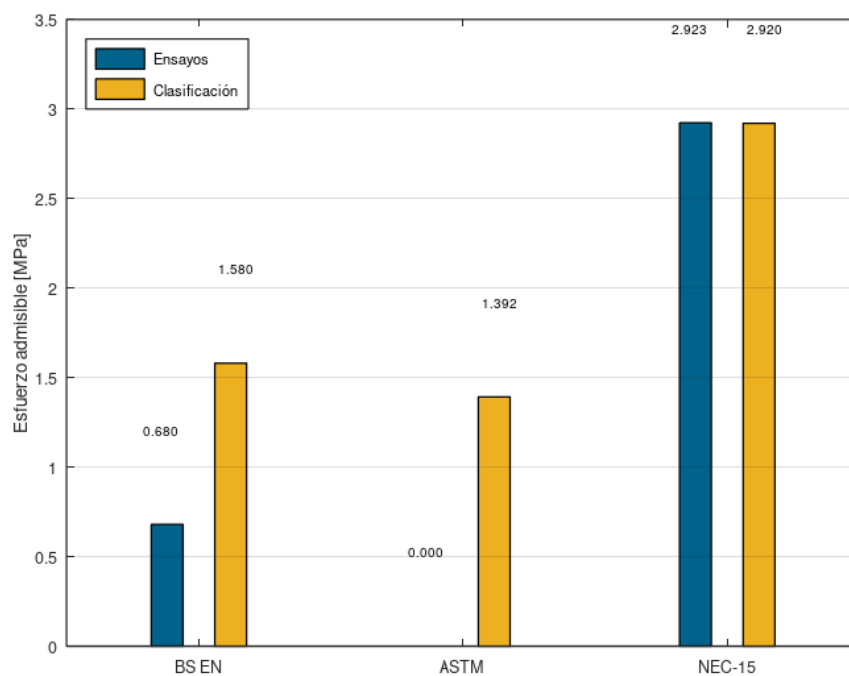


Gráfico 51

Amarillo Tracción Perpendicular

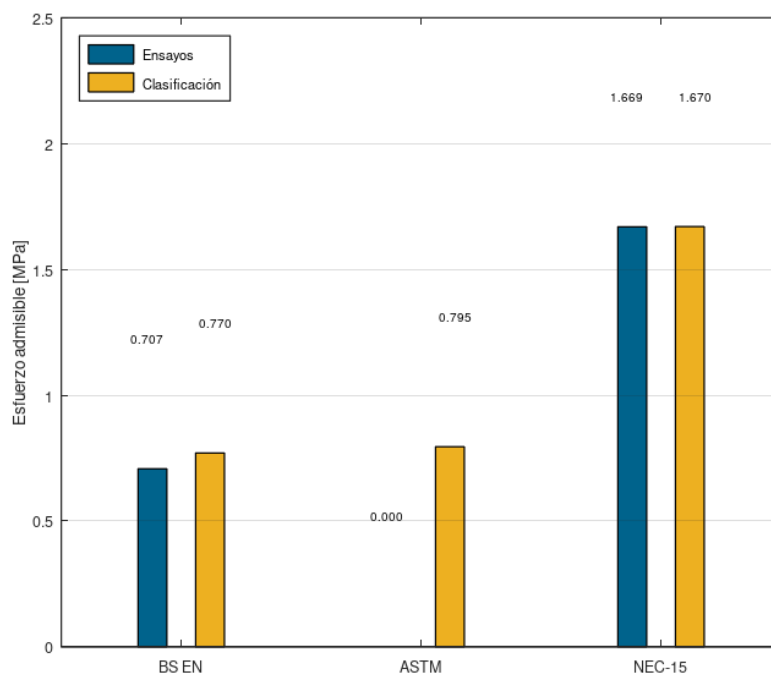


Gráfico 52

Melina Compresión Paralela

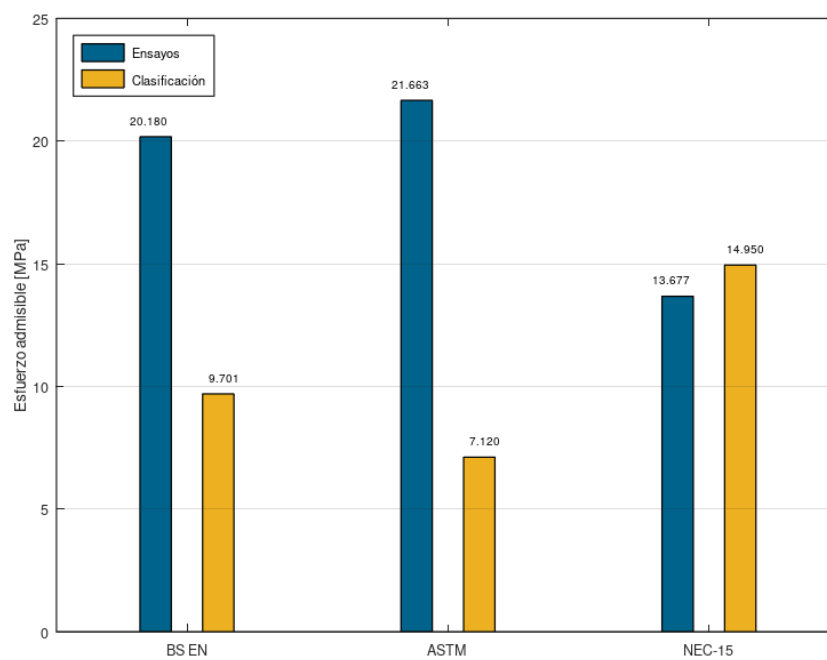


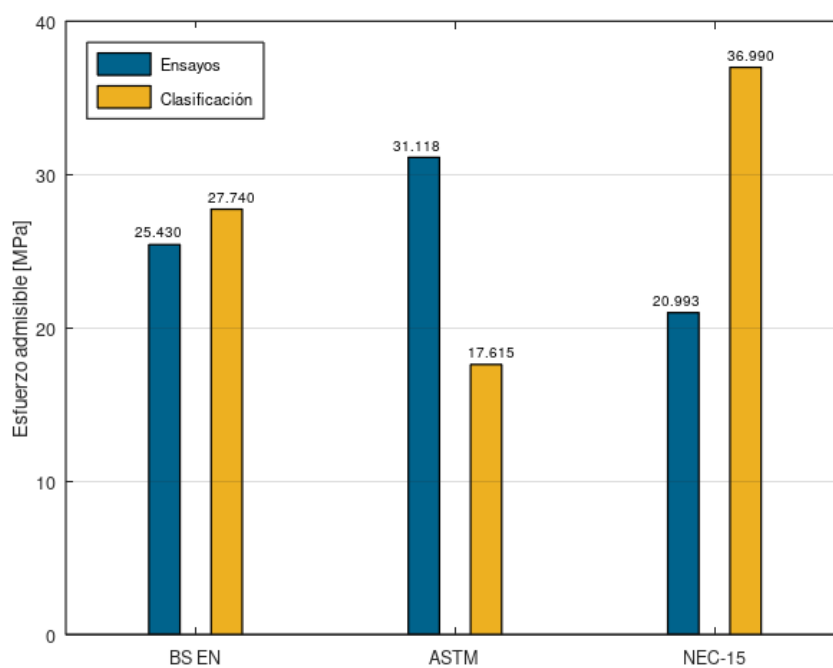
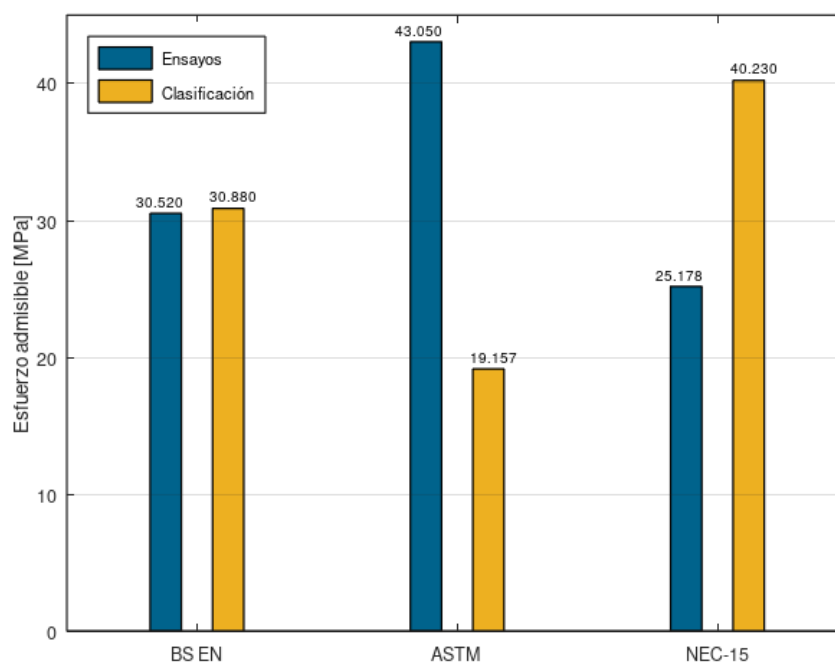
Gráfico 53*Cedro Compresión Paralela***Gráfico 54***Amarillo Compresión Paralela*

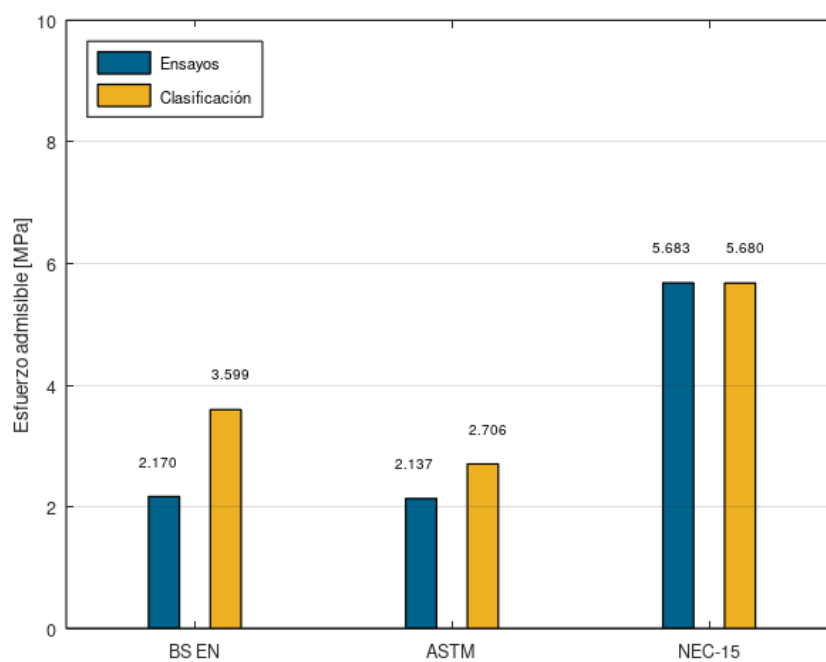
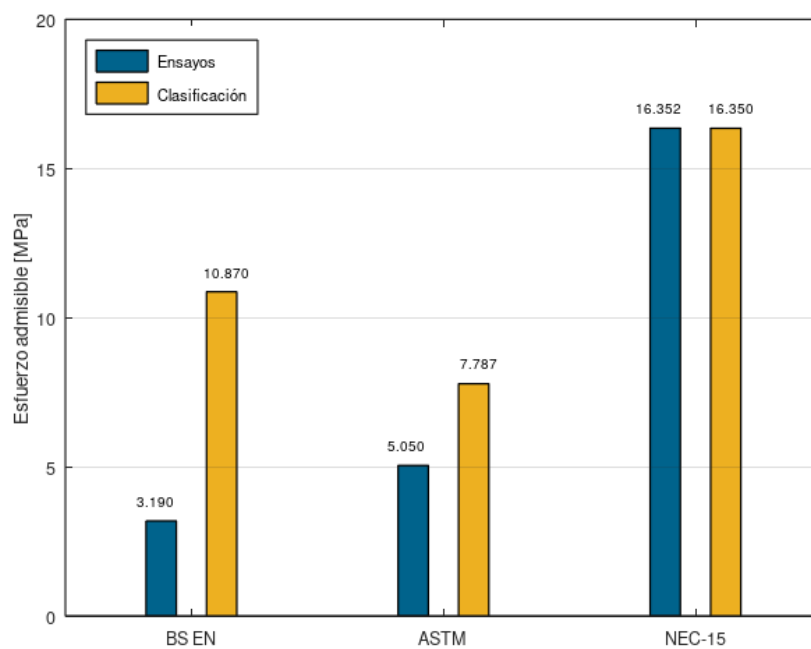
Gráfico 55*Melina Compresión Perpendicular***Gráfico 56***Cedro Compresión Perpendicular*

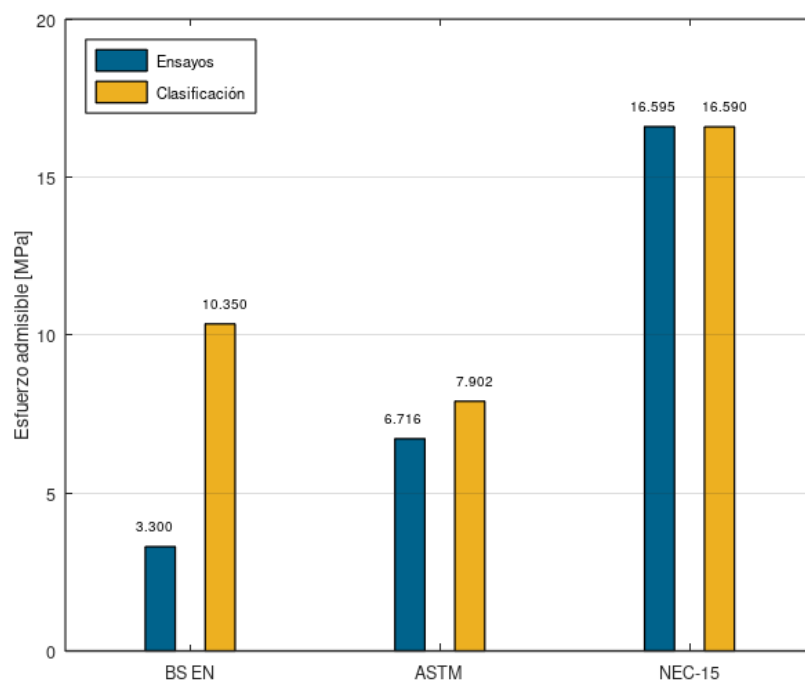
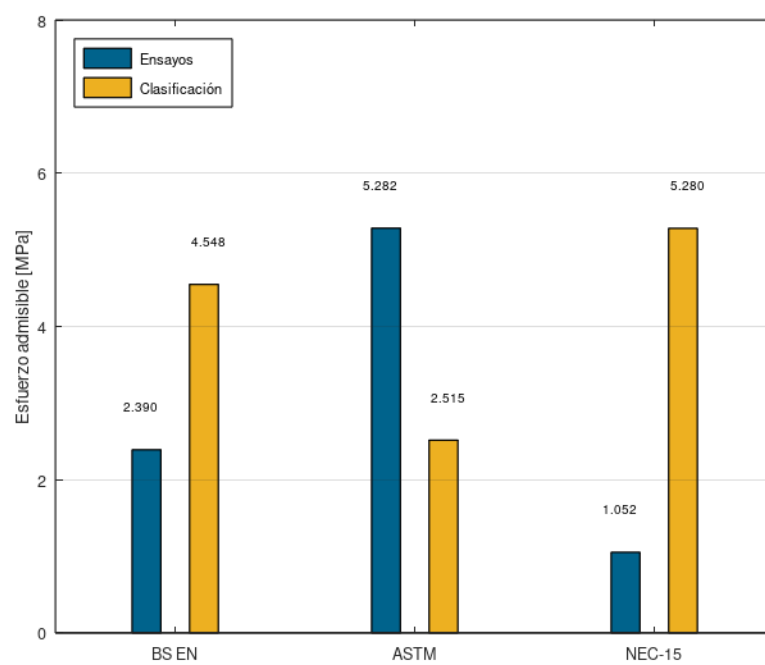
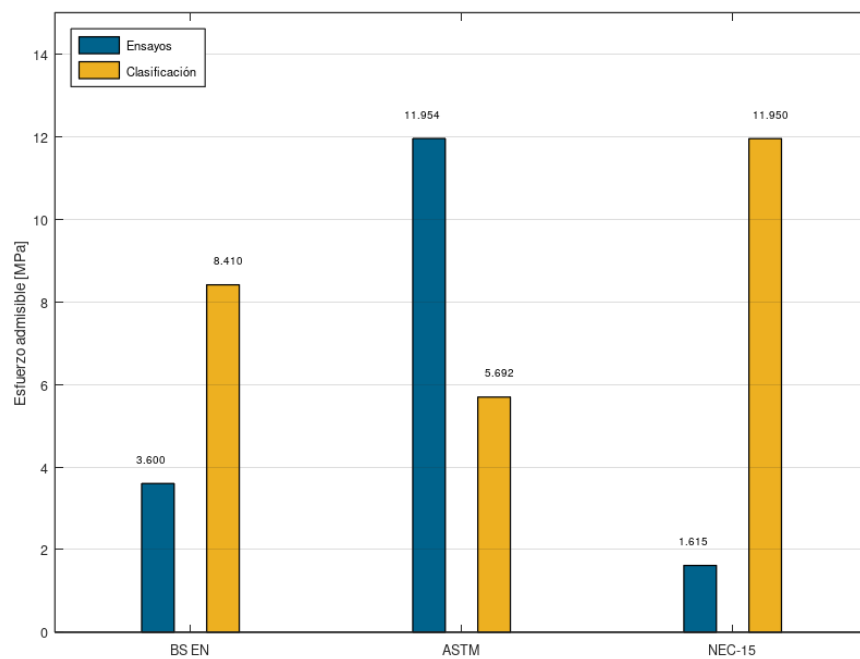
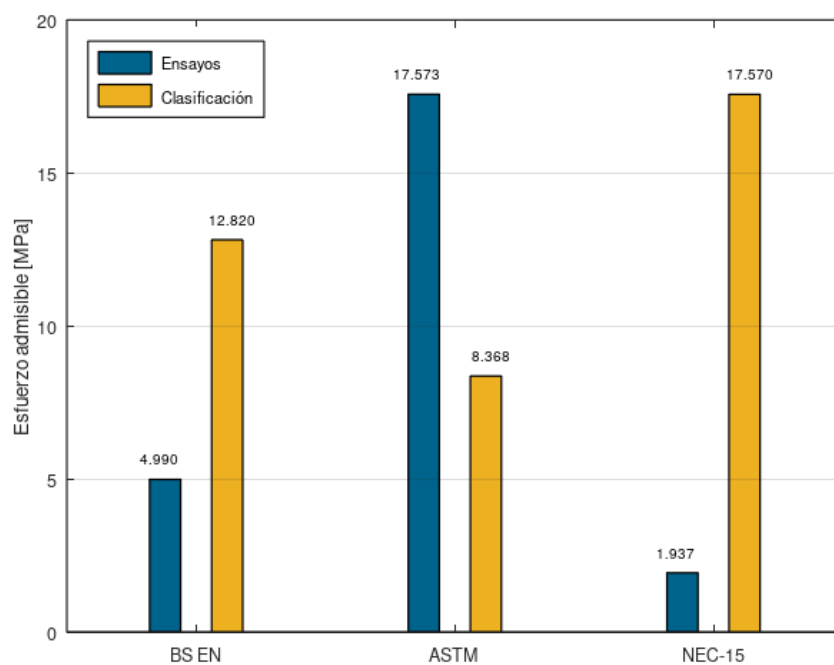
Gráfico 57*Amarillo Compresión Perpendicular***Gráfico 58***Melina Corte*

Gráfico 59*Cedro Corte***Gráfico 60***Amarillo Corte*

Discusión

La caracterización estructural de las especies Melina (*Gmelina arborea* Roxb), Cedro (*Cedrela odorata* L.) y Amarillo (*Centrolobium ochroxylum* Rose ex Rudd) permitió obtener resultados experimentales de las propiedades mecánicas fundamentales mediante ensayos normalizados según ASTM D143-23. Posteriormente, estos resultados fueron comparados con los valores teóricos y clasificatorios establecidos por distintas normativas internacionales y nacionales, entre ellas la NEC-SE-MD (2015), la BS EN 384:2004, BS EN 338:2003 y el sistema de clasificación de maderas estructurales de la NDS (National Design Specification for Wood Construction).

En términos generales, se evidencian diferencias notables entre los esfuerzos últimos obtenidos experimentalmente y los valores admisibles propuestos por las distintas normativas. Esta variación pone de manifiesto la necesidad de contextualizar los criterios de clasificación estructural para maderas tropicales en función de su origen, condiciones ambientales y particularidades anatómicas.

Por ejemplo, en el caso de la resistencia a la flexión, la especie Amarillo presentó el mayor valor experimental promedio (57.44 MPa), Amarillo presenta la mayor densidad y, en consecuencia, el mejor desempeño en flexión y rigidez de las tres especies; reportes recientes para *C. ochroxylum* señalan una madera pesada ($\approx 0,78 \text{ g/cm}^3$) y de alto potencial para construcción, aportando contexto regional y de manejo sostenible (Cañadas-López et al., 2025), en sucesión de Cedro (46.82 MPa) y Melina (45.63 MPa). Estos valores contrastan significativamente con los esfuerzos admisibles propuestos por la NEC (2015), que en la mayoría de los casos tienden a ser más conservadores. La BS EN 384 y la BS EN 338, al estar basadas principalmente en especies de zonas templadas, presentan también diferencias importantes, asignando en varios casos una resistencia menor a especies tropicales como

Melina o Cedro, que presentan propiedades mecánicas adecuadas para aplicaciones estructurales.

La ASTM, por su parte, proporciona valores más cercanos a los experimentales debido a su metodología basada en esfuerzos últimos, lo cual refuerza su aplicabilidad en contextos investigativos o de caracterización preliminar.

Respecto a la resistencia a la compresión paralela a las fibras, los valores experimentales muestran una tendencia coherente con la flexión: Amarillo nuevamente se posiciona como la especie más resistente (31.23 MPa), seguido de Cedro (26.74 MPa) y Melina (25.01 MPa). Estos resultados superan ampliamente los valores de diseño propuestos por la NEC para las especies clasificadas como grupo estructural medio, lo que sugiere un potencial subestimado de estas maderas para aplicaciones estructurales en Ecuador. Similar comportamiento se repite en la resistencia a la tracción paralela y al corte, donde los resultados experimentales superan con holgura los valores normativos propuestos.

Un caso particular lo constituye la tracción perpendicular, un esfuerzo transversal poco considerado en normativas locales como la NEC, lo cual limita la posibilidad de diseñar estructuras complejas donde este tipo de carga puede ser relevante (como uniones o anclajes laterales). En este aspecto, las normativas BS EN y la ASTM ofrecen mayor cobertura, lo que evidencia la necesidad de que la normativa ecuatoriana integre este tipo de esfuerzos en futuras actualizaciones.

El módulo de elasticidad (E), fundamental para el análisis de deformaciones, también presentó valores experimentales superiores en la mayoría de los casos respecto a los valores propuestos por la BS EN 338 y BS EN 384. Por ejemplo, Amarillo mostró un módulo de elasticidad promedio de 12,210 MPa, superando el rango típico de clasificación europea para maderas de resistencia media. Este hallazgo refuerza la necesidad de contar con clasificaciones locales más ajustadas a las características propias de las especies nativas. Los

valores de MOR/MOE de Melina muestran el desempeño más bajo entre las especies evaluadas; no obstante, estudios recientes reportan que modificaciones térmicas pueden mejorar la estabilidad dimensional y ajustar las propiedades mecánicas de *G. arborea*, lo que abre líneas de investigación aplicada para su uso estructural (Olaniran & Militz, 2024). Finalmente, la clasificación normativa de las tres especies bajo diferentes criterios indica que Melina podría clasificarse como una madera de resistencia media-baja según BS EN, mientras que Cedro y Amarillo alcanzan categorías superiores, dependiendo del tipo de esfuerzo y normativa considerada. En la normativa NDS, Amarillo podría alinearse con maderas del grupo B o C en cuanto a capacidad portante, mientras que Melina se aproxima más al grupo D, similar a especies como el pino amarillo del sur. Estas tendencias concuerdan con los principios macromecánicos y microestructurales reportados en la literatura clásica (Kollmann & Côté, 1968).

Estas observaciones confirman la necesidad de adaptar los marcos normativos existentes a las realidades de las maderas tropicales de Ecuador. La NEC, al ser una normativa local, ofrece una base conservadora que debe ser enriquecida con datos experimentales como los presentados en esta investigación. La implementación de una clasificación nacional para especies como Melina, Cedro y Amarillo, fundamentada en datos empíricos, permitiría no solo optimizar el uso estructural de estos recursos renovables, sino también promover su aprovechamiento sostenible en el sector de la construcción.

Conclusiones

A partir de la ejecución de ensayos normalizados conforme a la *ASTM D143-23* (ASTM International, 2023), se determinaron con precisión las propiedades físicas y mecánicas de las tres especies analizadas. Los resultados mostraron que la madera de Amarillo (*Centrolobium ochroxylum* Rudd.) presentó los valores más altos de resistencia mecánica en todos los tipos de esfuerzo —flexión, compresión y tracción—, seguida por el Cedro (*Cedrela odorata* L.) y la Melina (*Gmelina arborea* Roxb.).

Además, se identificaron variaciones significativas en el módulo de elasticidad y en la densidad aparente, factores determinantes para el diseño estructural. Esta caracterización experimental evidencia el potencial estructural de estas especies, especialmente del Amarillo, cuyas propiedades son compatibles con demandas estructurales de mediana a alta exigencia.

Mediante la aplicación de relaciones normativas, y a partir de las propiedades físicas medidas (densidad y gravedad específica), se calcularon los valores teóricos correspondientes según la *BS EN 384:2004*, *BS EN 338:2003*, *ASTM D245/NDS* y la *NEC-SE-MD (2015)*. Este proceso permitió establecer una base comparativa frente a los resultados experimentales, observándose que las normativas internacionales tienden a asignar valores superiores a los esfuerzos admisibles, en especial la ASTM, mientras que la NEC muestra un enfoque marcadamente conservador que subestima parcialmente el potencial estructural de especies tropicales como el Cedro y el Amarillo.

El análisis comparativo evidenció discrepancias relevantes entre normativas y valores experimentales. La ASTM presentó la mayor aproximación a los resultados de laboratorio, mientras que la NEC resultó ser más restrictiva, lo que pone de manifiesto la necesidad de ajustar y actualizar la normativa ecuatoriana mediante la inclusión de ensayos locales y

estudios específicos para especies nativas. Esto garantizará diseños estructurales seguros y, al mismo tiempo, más eficientes en el contexto nacional.

En cuanto a la comparación entre clasificación directa y ensayos experimentales, se observaron disminuciones significativas en las propiedades resistentes, reflejando la variabilidad de la madera y la rigurosidad de los métodos normalizados.

Para la Melina, las reducciones oscilaron entre 32 % y 48 %. En flexión estática, bajo la *NEC-SE-MD*, el esfuerzo admisible promedio disminuyó de 21 MPa en clasificación directa a 14 MPa mediante ensayos, equivalente a una reducción del 33,3 %. En compresión paralela la disminución alcanzó el 42,6 %, y en tracción paralela llegó al 46,2 %, reflejando la baja homogeneidad de esta especie y su limitada capacidad portante. Estos resultados concuerdan con su ubicación en la clase C14 según la *BS-EN 338*.

En el Cedro, las disminuciones fueron moderadas, situándose entre 22 % y 35 %. En flexión, la diferencia entre el valor directo (32 MPa) y el experimental (25 MPa) fue del 21,9 %, mientras que en compresión paralela la reducción alcanzó el 29,5 %, y en tracción paralela se aproximó al 34,8 %. Esta especie se posiciona en un rango intermedio, confirmando su clasificación en la clase C27 de la *BS-EN 338*, adecuada para elementos de carga media.

Para el Amarillo, la disminución fue menor gracias a su mayor densidad y homogeneidad, con reducciones entre 15 % y 25 %. En flexión, pasó de 55 MPa a 45 MPa (18,3 % de disminución). En compresión paralela, la reducción alcanzó el 21,5 %, y en tracción paralela fue de 19,6 %. Este desempeño consistente permitió su clasificación en la clase C50 de la *BS-EN 338* y en el grupo B de la *NEC-SE-MD*, siendo óptimo para elementos estructurales primarios.

A nivel normativo, la *NEC-SE-MD* mostró valores más conservadores, con disminuciones promedio cercanas al 35 %, mientras que la *BS-EN 338* y la *NDS 2018*

reflejaron reducciones más equilibradas, entre 20 % y 30 %, gracias a la incorporación de factores de ajuste relacionados con la variabilidad estadística y las condiciones de servicio.

En conjunto, estos resultados resaltan la necesidad de priorizar ensayos experimentales normalizados para la clasificación estructural, dado que los métodos de clasificación directa tienden a sobreestimar la resistencia de la madera, generando riesgos potenciales en el diseño. Además, se confirma que especies como el Amarillo pueden competir con maderas comerciales internacionalmente reconocidas, mientras que la Melina y el Cedro requieren procesos de selección más rigurosos y controlados para garantizar un desempeño estructural seguro y eficiente.

Referencias

- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716–723. <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>
- American Wood Council. (2018). National Design Specification (NDS) for Wood Construction. American Wood Council.
- ASTM International. (2020). ASTM D4442-20: Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials. ASTM International.
- ASTM International. (2022a). ASTM D2395-17(2022): Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials. ASTM International.
- ASTM International. (2023b). ASTM D143-23: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM International.
- ASTM International. (2022c). ASTM D2915-17(2022): Standard Practice for Sampling and Data-Analysis for Structural Wood and Wood-Based Products. ASTM International.
- ASTM International. (2023a). ASTM D143-23: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. <https://www.astm.org/D143-23.html>
- ASTM International. (2023b). ASTM D6570-18a(2023)e1: Standard Practice for Assigning Allowable Properties for Mechanically Graded Lumber. <https://www.astm.org/d6570-18a-23e01.html>
- ASTM International. (2024). ASTM D2555-17a(2024)e1: Standard Practice for Establishing Clear Wood Strength and Related Properties for Structural Use. <https://www.astm.org/d2555-17a.html>
- Bodart, M., Rossi, B., & Magnabosco, C. (2020). Mechanical performance of tropical timber species and its relation to moisture and density. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(8), 04020245. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003256](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003256)
- Bodig, J., & Jayne, B. A. (1982). *Mechanics of Wood and Wood Composites*. Van Nostrand Reinhold.
- British Standards Institution. (2003). BS EN 338:2003: Structural timber—Strength classes. BSI.
- British Standards Institution. (2004). BS EN 384:2004: Structural timber—Determination of characteristic values of mechanical properties and density. BSI.
- Cañadas-López, Á., Bayas, M., Murua, M., Manzano, P., & Rivadeneira, J. (2025). Growth and yield models for *Centrolobium ochroxylum* Rose ex Rudd (Amarillo Guayaquil) in the western lowland region of Ecuador. *Frontiers in Forests and Global Change*, 8, 1577103. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2025.1577103> [Frontiers](https://doi.org/10.3389/ffgc.2025.1577103)

- CEN (European Committee for Standardization). (2016a). EN 338:2016: Structural timber—Strength classes. CEN.
- CEN (European Committee for Standardization). (2016b). EN 384:2016: Structural timber—Determination of characteristic values of mechanical properties and density. CEN.
- D’Agostino, R. B., & Stephens, M. A. (1986). Goodness-of-Fit Techniques. Marcel Dekker.
- Forest Products Laboratory. (2021). Wood Handbook—Wood as an Engineering Material (General Technical Report FPL-GTR-282). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-Madera. Quito, Ecuador. <https://www.normalizacion.gob.ec>
- Johnson, N. L., Kotz, S., & Balakrishnan, N. (1994). Continuous Univariate Distributions, Vol. 1 (2nd ed.). Wiley.
- Kollmann, F. F. P., & Côté, W. A. (1968). Principles of Wood Science and Technology I: Solid Wood. Springer.
- Martínez, J. M., Herrera, D., & Moya, R. (2021). Influence of growth and drying conditions on the mechanical properties of tropical woods. Construction and Building Materials, 287, 123056. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123056>
- Olaniran, S. O., & Militz, H. (2024). Dimensional stability and mechanical properties of *Gmelina arborea* Roxb. wood thermally modified through open reactor and low-pressure closed reactor systems. *Forests*, 15(3), 403. <https://doi.org/10.3390/f15030403>
- Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics*, 6(2), 461–464. <https://doi.org/10.1214/aos/1176344136>
- Weibull, W. (1951). A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics*, 18, 293–297.

Anexos

Dimensiones:

Tabla 18

Probetas de ensayo de compresión paralela

PROBETAS DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA MELINA						
Código de probeta	Espesor (mm)	Anchura (mm)	Area (mm ²)	Altura (mm)	Humedad %	Masa (g)
	[T]	[W]	A	[H]		
CPA 01-M	50,41	51,36	2589,0576	203	39,5	305,9
CPA 02-M	50,85	50,33	2559,2805	202	25,7	304,5
CPA 03-M	51,27	51,78	2654,7606	203	39,5	383,8
CPA 04-M	51,21	50,74	2598,3954	203	27,4	336,6
CPA 05-M	50,43	50,65	2554,2795	203	24	290,7
CPA 06-M	50,29	50,68	2548,6972	203	39,4	311,7
CPA 07-M	50,59	51,07	2583,6313	202	35,9	345,1
CPA 08-M	51,77	50,75	2627,3275	203	41,5	396
CPA 09-M	50,75	51,14	2595,355	203	41,9	375,9
CPA 10-M	50,31	50,44	2537,6364	203	37,5	343,5
CPA 11-M	50,92	51,13	2603,5396	203	36,4	363
CPA 12-M	50,58	51,02	2580,5916	203	39,5	385,4
CPA 13-M	50,62	50,98	2580,6076	203	29,1	352,6
CPA 14-M	51	51,3	2616,3	203	29,1	368,8
CPA 15-M	50,61	51,3	2596,293	203	26,8	457,8
CPA 16-M	51,33	50,8	2607,564	203	27,4	330,6
CPA 17-M	50,4	51,62	2601,648	203	20,7	422
CPA 18-M	50,65	51,16	2591,254	203	30,1	321
CPA 19-M	50,61	51,14	2588,1954	203	40,1	357,2
CPA 20-M	50,5	50,76	2563,38	203	29	349,9
CPA 21-M	51,15	50,38	2576,937	203	28	321,5
CPA 22-M	49,72	50,96	2533,7312	203	36,3	330,2
CPA 23-M	50,38	50,9	2564,342	203	31,5	315,6
CPA 24-M	50,35	50,73	2554,2555	202	27,4	340,9
CPA 25-M	50,47	51,01	2574,4747	203	31,5	317,1
CPA 26-M	50,54	51,36	2595,7344	203	26,5	418,6
CPA 27-M	50,63	51,12	2588,2056	203	30,6	475,1
CPA 28-M	50,61	51,11	2586,6771	203	30,8	458,2
CPA 29-M	49,95	50,73	2533,9635	203	39,2	389,1
CPA 30-M	51,22	51,28	2626,5616	203	37,3	336,1
CPA 31-M	50,61	51,31	2596,7991	203	29,4	362,1
CPA 32-M	51,55	50,93	2625,4415	203	41,5	371,3
CPA 33-M	50,7	49,88	2528,916	203	29,7	368,2

CPA 34-M	51,5	50,52	2601,78	202	28,4	407,3
CPA 35-M	51	50,39	2569,89	203	29,4	354,5
CPA 36-M	50,46	51,58	2602,7268	203	35,2	323,2
CPA 37-M	50,36	50,58	2547,2088	203	36,6	372,8
CPA 38-M	51,16	51,1	2614,276	203	27,6	486,4
CPA 39-M	51,12	50,52	2582,5824	203	25,8	417,3
CPA 40-M	52,03	51,03	2655,0909	203	41,4	388

Tabla 19*Probetas de ensayos de compresión perpendicular*

PROBETAS DE ENSAYO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR MELINA						
Código de probeta	Espesor (mm)	Anchura(mm)	Area (mm2)	Altura (mm)	Humedad %	Masa (g)
	[T]	[W]	A	[H]		
CPE 01-M	50,32	50	2516	51,9	29	2980,4
CPE 02-M	51,8	50	2590	50,04	22,5	200,4
CPE 03-M	51,63	50	2581,5	49,8	19,7	288,4
CPE 04-M	51,78	50	2589	51,53	25,9	306,6
CPE 05-M	50,1	50	2505	51,41	23,5	282,5
CPE 06 -M	51,6	50	2580	51,26	26,4	301,5
CPE 07-M	51,71	50	2585,5	51,67	37,5	275,2
CPE 08-M	51,62	50	2581	50,64	37,2	303,2
CPE 09-M	50,93	50	2546,5	51,62	35,7	336,1
CPE 10-M	51,68	50	2584	50,68	30,7	295
CPE 11-M	50,9	50	2545	51,3	26,1	325,7
CPE 12-M	50,67	50	2533,5	51,48	28	310,6
CPE 13-M	51,28	50	2564	51,6	24,4	246,7
CPE 14-M	51,5	50	2575	50,51	27,2	306,7
CPE 15-M	50,5	50	2525	51,3	25,9	321,1
CPE 16-M	51	50	2550	51,48	36,4	297,1
CPE 17-M	51,51	50	2575,5	51,36	28,1	349,8
CPE 18-M	50,3	50	2515	51,53	25,9	265
CPE 19-M	51,3	50	2565	50,35	27,6	327,8
CPE 20-M	50,73	50	2536,5	50,63	34,9	347,8
CPE 21-M	50,68	50	2534	51,82	27,7	321,1
CPE 22-M	51,45	50	2572,5	50,98	27,3	304,4
CPE 23-M	51,73	50	2586,5	50,7	29,5	288,2
CPE 24-M	50,59	50	2529,5	51,39	30,4	283,4
CPE 25-M	50,83	50	2541,5	51,57	29,5	343,9
CPE 26-M	51,44	50	2572	50,81	28,2	323,6
CPE 27-M	51,93	50	2596,5	52,5	27,8	270,9
CPE 28-M	51,34	50	2567	50,75	25	296,6
CPE 29-M	51,44	50	2572	50,76	34,8	290,7
CPE 30-M	51,32	50	2566	51,7	26,3	325,6
CPE 31-M	51,28	50	2564	51	27,1	336,4

CPE 32-M	51,46	50	2573	50,63	25,8	294,1
CPE 33-M	51,64	50	2582	50,06	29,6	242,9
CPE 34-M	51,62	50	2581	50,91	36,3	343,2
CPE 35-M	51,91	50	2595,5	51,03	26,9	308,1
CPE 36-M	51,53	50	2576,5	51,17	29,8	352,8
CPE 37-M	51,51	50	2575,5	50,61	35,8	319
CPE 38-M	51,92	50	2596	50,72	28,1	355
CPE 39-M	51,37	50	2568,5	50,78	26,1	290,4
CPE 40-M	51,86	50	2593	50,25	29,4	293,2

Tabla 20

Probetas de ensayos de tracción paralela.

PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN PARALELA MELINA					
Código de probeta	Espesor (mm)	Anchura (mm)	Área (mm)	Altura (mm)	Humedad %
	[T]	[W]	A	H	
TPA 01-M	6,34	11,58	73,4172	200	20,1
TPA 02-M	6,87	11,21	77,0127	200	10,3
TPA 03-M	6,8	12,23	83,164	200	20,5
TPA 04-M	7,12	12,5	89	200	12,5
TPA 05-M	6,98	11,94	83,3412	200	22,9
TPA 06-M	6,22	12,62	78,4964	200	15
TPA 07-M	6,24	11,05	68,952	200	18,6
TPA 08-M	6,19	12,12	75,0228	200	22,6
TPA 09-M	8,33	11,82	98,4606	200	22,9
TPA 10-M	6,96	10,68	74,3328	200	19,5
TPA 11-M	7,31	10,48	76,6088	200	20,6
TPA 12-M	5	9,64	48,2	200	23
TPA 13-M	6,12	13,21	80,8452	200	21
TPA 14-M	6,01	9,61	57,7561	200	21
TPA 15-M	7,78	10,23	79,5894	200	24,2
TPA 16-M	6,82	10,49	71,5418	200	18,6
TPA 17-M	6,32	10,08	63,7056	200	23,9
TPA 18-M	6,99	10,71	74,8629	200	26,8
TPA 19-M	7,5	12,21	91,575	200	21,2
TPA 20-M	5,7	10,44	59,508	200	17,8
TPA 21-M	7,41	10,58	78,3978	200	20,9
TPA 22-M	6,23	10,86	67,6578	200	21,2
TPA 23-M	5,99	12,31	73,7369	200	19,1
TPA 24-M	7,81	11,35	88,6435	200	20,8
TPA 25-M	6,73	12,09	81,3657	200	25,2
TPA 26-M	5,78	10,53	60,8634	200	23,7
TPA 27-M	5,82	12,37	71,9934	200	22,2
TPA 28-M	6,29	11,31	71,1399	200	18,2
TPA 29-M	5,4	10,21	55,134	200	18,7
TPA 30-M	7,44	12,86	95,6784	200	22,8

TPA 31-M	7	13,72	96,04	200	21,6
TPA 32-M	6,04	12,68	76,5872	200	22,7
TPA 33-M	5,77	10,43	60,1811	200	21,4
TPA 34-M	7,82	10,73	83,9086	200	25,1
TPA 35-M	6,05	9,93	60,0765	200	28,2
TPA 36-M	6,5	12,72	82,68	200	21,3
TPA 37-M	6,77	11,34	76,7718	200	23,4
TPA 38-M	6,26	11,78	73,7428	200	20,4
TPA 39-M	7,13	12,35	88,0555	200	19,2
TPA 40-M	5,97	11,04	65,9088	200	22,5

Tabla 21

Probetas de ensayos de tracción perpendicular.

PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN PERPENDICULAR MELINA						
Código de probeta	Espesor (mm)	Anchura (mm)	Area (mm ²)	Longitud calibrada (mm)	Humedad %	Masa (g)
	[T]	[W]	A	[L]		
TPE 01-M	50,93	23,58	1200,9294	51,1	26,1	62,6
TPE 02-M	51,16	26,96	1379,2736	50,84	27,2	66,7
TPE 03-M	51,53	26,65	1373,2745	51,13	26,6	65
TPE 04-M	51,11	27,57	1409,1027	51,46	28,9	79,3
TPE 05-M	50,95	24,11	1228,4045	51,12	37,1	66,9
TPE 06-M	51,25	26,64	1365,3	50,96	36	62,3
TPE 07-M	51,82	27,55	1427,641	51,16	36,1	66,7
TPE 08-M	51,05	26,77	1366,6085	51,09	36,3	71
TPE 09-M	47,3	28,2	1333,86	51,26	31,8	68,6
TPE 10-M	51,07	27,59	1409,0213	51,18	35,4	70,3
TPE 11-M	50,88	27,17	1382,4096	50,17	36,6	70,4
TPE 12-M	51,05	25,18	1285,439	51,54	18,1	68,3
TPE 13-M	50,73	25,43	1290,0639	51,13	28,5	64,2
TPE 14-M	50,9	25,73	1309,657	50,52	29,7	62,5
TPE 15-M	50,39	28,19	1420,4941	51	25,2	69,7
TPE 16-M	51,01	27,49	1402,2649	50,98	10,4	72,3
TPE 17-M	50,94	27,3	1390,662	51,3	34,1	77,1

TPE 18-M	50,38	25,86	1302,8268	50,13	20,4	56
TPE 19-M	47,96	27,79	1332,8084	50,62	22,9	59,6
TPE 20-M	51,12	25,7	1313,784	51,18	27,8	67,4
TPE 21-M	50,8	27,03	1373,124	50,76	21	67,7
TPE 22-M	51,2	27,52	1409,024	49,5	30,5	64,4
TPE 23-M	50,66	24,11	1221,4126	51,13	32,5	60,7
TPE 24-M	50,6	25,57	1293,842	50,98	22,2	67,5
TPE 25-M	50,7	26,02	1319,214	51,31	26	60,4
TPE 26-M	51,02	27,36	1395,9072	50,99	29,8	75,7
TPE 27-M	47,86	28,31	1354,9166	50,51	20,4	58
TPE 28-M	51,26	25,64	1314,3064	51,22	20,5	66,7
TPE 29-M	51,15	27,22	1392,303	50,88	21,4	68,9
TPE 30-M	49,92	26,38	1316,8896	50,93	21,6	63,8
TPE 31-M	50,68	25,73	1303,9964	50,61	28,3	63,6
TPE 32-M	51	27,31	1392,81	51,1	27,3	67,6
TPE 33-M	50,49	27,03	1364,7447	50,64	24,6	58,3
TPE 34-M	51,06	27,14	1385,7684	51,07	36,3	62,3
TPE 35-M	51,11	24,72	1263,4392	51,07	35,6	61,7
TPE 36-M	50,87	26,05	1325,1635	51,38	18,9	66,1
TPE 37-M	51	24,24	1236,24	51,34	29,4	70,3
TPE 38-M	50,85	25,69	1306,3365	50,57	22	67,1
TPE 39-M	48,74	25,5	1242,87	49,88	19,3	60
TPE 40-M	51,23	26,47	1356,0581	51,26	22	71,5

Tabla 22

Probetas de ensayos de Corte.

PROBETAS DE ENSAYO A CORTE MELINA						
Código de probeta	Espesor (mm) [T]	Anchura (mm) [W]	Area (mm ²) A	Altura (mm) H	Humedad %	Masa (g)
COP 01-M	50,56	50,9	2573,504	50	30,2	148,9
COP 02-M	50,3	50,57	2543,671	50	23,8	145,8

COP 03-M	50,35	51	2567,85	50	41,6	138
COP 04-M	48,34	50,76	2453,7384	50	18,1	142,5
COP 05-M	50,07	50,87	2547,0609	50	38,9	145,8
COP 06-M	51,05	50,85	2595,8925	50	41,4	143,3
COP 07-M	50,25	51,51	2588,3775	50	33,1	140,2
COP 08-M	51,69	50,54	2612,4126	50	47,3	145,5
COP 09-M	51,09	50,46	2578,0014	50	41,5	147,7
COP 10-M	50,95	50,81	2588,7695	50	26,2	149,6
COP 11-M	51,5	50,61	2606,415	50	34,9	149
COP 12-M	51	50,9	2595,9	50	18,7	150,5
COP 13-M	50,87	50,95	2591,8265	50	41,5	149,2
COP 14-M	51,02	51,25	2614,775	50	40,5	137,6
COP 15-M	51,53	50,47	2600,7191	50	44,4	147,5
COP 16-M	51,02	50,68	2585,6936	50	29,6	148,4
COP 17-M	50,92	51,16	2605,0672	50	15,1	149,4
COP 18-M	51,42	50,86	2615,2212	50	41,6	151,8
COP 19-M	51,18	50,84	2601,9912	50	20,9	151,8
COP 20-M	51,14	50,94	2605,0716	50	28,2	154,3
COP 21-M	50,68	51,47	2608,4996	50	41,3	150,8
COP 22-M	50,81	51,34	2608,5854	50	18,1	145,2
COP 23-M	51,14	51,09	2612,7426	50	24,1	142,9
COP 24-M	51,08	50,7	2589,756	50	39,4	145,9
COP 25-M	51,33	50,8	2607,564	50	27,5	148,2
COP 26-M	51,67	50,47	2607,7849	50	21	157
COP 27-M	51,65	50,92	2630,018	50	38,2	157,9
COP 28-M	50,82	50,88	2585,7216	50	28	149,1
COP 29-M	51,65	50,56	2611,424	50	38,2	151,9
COP 30-M	50,83	51,3	2607,579	50	31,1	140,4
COP 31-M	51,36	51,45	2642,472	50	23,2	149,7
COP 32-M	50,93	49,85	2538,8605	50	29	139,6
COP 33-M	51,39	50,6	2600,334	50	41,5	148,1
COP 34-M	50,77	51,13	2595,8701	50	44,3	139,6
COP 35-M	50,5	50,69	2559,845	50	39,9	139,3
COP 36-M	50,85	51	2593,35	50	31,7	150,8
COP 37-M	51	50,77	2589,27	50	37	148,4
COP 38-M	51,03	50,72	2588,2416	50	20,1	151,5
COP 39-M	50,59	50,64	2561,8776	50	37,6	152
COP 40-M	50,51	50,78	2564,8978	50	31,1	143,8

Tabla 23

Probetas de ensayos de Flexión.

PROBETAS DE ENSAYO A FLEXION MELINA					
Código de probeta	Espesor (mm)	Anchura(mm)	Largo (mm)	Humedad %	Masa (g)
	[T]	[W]	[L]		

F 01-M	50,48	49,75	710	26,4	1989,9
F 02-M	50,47	51,96	710	27,7	1366,3
F 03-M	50,41	52,01	710	24	1440
F 04-M	49,84	51,91	710	28,3	1881,5
F 05-M	50,6	51,2	710	29,6	1746,7
F 06 -M	51,64	50,68	710	24,9	1793,8
F 07-M	50,01	51,16	710	35,7	1820,4
F 08-M	50,53	50,76	710	28	1822,4
F 09-M	50,28	51,38	710	35,6	1611,9
F 10-M	51,23	50,54	710	33,9	1685,3
F 11-M	50,05	50,6	710	43,2	1246,8
F 12-M	52,1	51,05	710	36,6	1876,3
F 13-M	47,95	53,54	710	46	1135,9
F 14-M	50,48	49,76	710	29,2	1196,3
F 15-M	51,56	51,27	710	29,4	1948,5
F 16-M	51,08	49,97	710	29,8	1976,9
F 17-M	50,36	51,16	710	46,2	1285,6
F 18-M	50,62	50,77	710	30,1	1587,6
F 19-M	49,8	51,35	710	38,1	1665,3
F 20-M	50,3	52,07	710	29,8	1424,9
F 21-M	51,53	50,32	710	39,5	1708,6
F 22-M	50,93	51,44	710	41,6	1184,7
F 23-M	51,01	51,9	710	27,2	1263,1
F 24-M	50,6	51,24	710	29,7	1515,3
F 25-M	51,17	50,67	710	29,3	1906,1
F 26-M	51,03	51,65	710	35	1761,4
F 27-M	50,61	52,12	710	28,5	1470,4
F 28-M	50,6	51,73	710	28,6	1675,8
F 29-M	50,72	51,78	710	30	1741,7
F 30-M	50,56	51,62	710	30	1521,3
F 31-M	51,73	50,84	710	30,6	1740,3
F 32-M	51,68	50,46	710	25,3	1513,5
F 33-M	52,02	50,88	710	26,4	1483,3
F 34-M	51,48	50,73	710	41,4	1188,4
F 35-M	48,95	50,48	710	29,8	1481,5
F 36-M	50,82	50,4	710	41,6	1214,3
F 37-M	52,72	50,57	710	25,2	1432,7
F 38-M	51,49	50,94	710	25,6	1741,3
F 39-M	50,58	51,39	710	41,3	1509,2
F 40-M	49,7	49,9	710	30,6	1798,4

Dimensionamiento y diseño de Cedro

Tabla 24

Probetas de ensayos de compresión paralela.

PROBETAS DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA CEDRO					
Código de probeta	Espesor (mm)	Anchura (mm)	Altura (mm)	Humedad %	Masa (g)
	[T]	[W]	[H]		
CPA 01-C	51,46	51,03	202	12	277,1
CPA 02-C	50,48	50,21	202	17,1	254
CPA 03-C	51,26	51,27	202	11,8	339,9
CPA 04-C	51,47	51,57	202	12,1	319,8
CPA 05-C	51,46	50,97	202	14	373,4
CPA 06-C	51,26	51,48	202	13,8	285,9
CPA 07-C	51,79	49,09	202	16,5	293,8
CPA 08-C	50,12	51,27	203	16	257,2
CPA 09-C	51,31	51,08	202	12	269,1
CPA 10-C	51,47	51,52	202	18,5	381,3
CPA 11-C	51,72	51,1	202	13,1	354,5
CPA 12-C	51,33	51,39	202	18,9	292,8
CPA 13-C	51,65	51,4	202	9,6	379,1
CPA 14-C	47,81	51,2	203	15,8	256,9
CPA 15-C	50,82	52,86	201	12,3	267,5
CPA 16-C	51,31	51,5	202	9,7	350,5
CPA 17-C	51,01	51,54	202	19,6	278,6
CPA 18-C	51,66	51,23	202	14,2	295,2
CPA 19-C	51,29	51,54	201	15,2	300,2
CPA 20-C	51,01	51,28	201	17,4	306
CPA 21-C	49,89	51,8	202	17,2	252,5
CPA 22-C	59,7	51,71	202	16,5	253,7
CPA 23-C	51,57	49,91	202	16,9	259,1
CPA 24-C	51,54	49,86	202	15,6	248,5
CPA 25-C	51,69	50,15	202	20,7	303,9
CPA 26-C	50,94	51,32	202	14,9	335,3
CPA 27-C	50,97	51,45	201	18,6	294,9
CPA 28-C	50,51	50,81	202	17,8	302,9
CPA 29-C	51,26	51,32	201	12,3	326,9
CPA 30-C	51,51	51,62	202	10,3	320,5
CPA 31-C	51,41	50,97	202	11,6	269,6
CPA 32-C	51,17	50,67	202	14,7	298,5
CPA 33-C	50,9	50,95	202	15,4	251,8
CPA 34-C	50,96	50,76	201	16,5	252,8
CPA 35-C	51	51,2	202	14,2	292
CPA 36-C	51,68	47,71	201	16	286,7
CPA 37-C	51,67	51,71	202	10,4	319,1

CPA 38-C	51,46	51,02	202	9,9	359,9
CPA 39-C	51,51	51,02	202	11,6	389,4
CPA 40-C	51,39	51	203	9,8	351,4

Tabla 25

Probetas de ensayos de compresión perpendicular.

PROBETAS DE ENSAYO A COMPRESIÓN CEDRO					
Código de Probeta	Espesor (mm) [T]	Anchura (mm) [W]	Altura (mm) [H]	Humedad %	Masa (g)
CPE 01-C	51,21	50	51,5	13,9	235,1
CPE 02-C	51,28	50	51,4	19,1	217,5
CPE 03-C	51,21	50	51,57	13,4	246,5
CPE 04-C	50,8	50	51,09	18	211,5
CPE 05-C	51,37	50	51,32	19,3	225,1
CPE 06-C	51,32	50	51,19	13,7	236,5
CPE 07-C	51,23	50	53,37	12	249,2
CPE 08-C	51,15	50	51,23	11,1	269,9
CPE 09-C	51,21	50	51,24	14,4	215,6
CPE 10-C	51,2	50	51,13	10,4	255
CPE 11-C	51,22	50	50,93	19	214,8
CPE 12-C	51,1	50	50,9	17,4	222,5
CPE 13-C	51,41	50	51,23	9,8	272,5
CPE 14-C	51,47	50	51,39	14,9	282
CPE 15-C	51,32	50	51,39	9,8	268,4
CPE 16-C	51,55	50	51,01	14,6	222,1
CPE 17-C	51,08	50	51,18	12,1	218,2
CPE 18-C	50,74	50	50,4	19,5	214,8
CPE 19-A	51,32	50	51,26	17,7	266,6
CPE 20-C	51,26	50	51,28	11,2	251,9
CPE 21-C	51,26	50	51,45	12	258,9
CPE 22-C	53,22	50	51,16	13,5	254,7
CPE 23-C	50,94	50	50,59	14,7	214,6
CPE 24-C	51,13	50	51,44	12	226,7
CPE 25-C	50,9	50	50,45	15,7	219,7
CPE 26-C	51,26	50	51,18	9,9	312,9
CPE 27-C	51,09	50	51,28	17,7	222,9
CPE 28-C	50,93	50	49,83	16	216,2
CPE 29-C	51,12	50	50,89	19	222,9
CPE 30-C	51,35	50	51,17	10	200,9
CPE 31-C	51,54	50	51,18	10	258,3
CPE 32-C	51,3	50	51,21	18,8	214
CPE 33-C	51,08	50	51,09	12,8	204
CPE 34-C	51,28	50	50,46	14,4	220,6
CPE 35-C	51,16	50	51,18	16	233
CPE 36-C	51,09	50	51,67	9,8	251,1

CPE 37-C	51,52	50	51,15	17,5	285,4
CPE 38-C	51,33	50	50,93	18,4	205,4
CPE 39-C	51,26	50	51	14,6	219,9
CPE 40-C	51,4	50	51,4	16,7	262,5

Tabla 26*Probetas de ensayos de tracción paralela.*

PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN PARALELA CEDRO				
Código de probeta	Espesor (mm)	Anchura (mm)	Longitud (mm)	Humedad %
	[T]	[W]	[L]	
TPA 01-C	7,3	11,6	200	12,9
TPA 02-C	6,45	13,38	200	9,6
TPA 03-C	8,06	11,83	200	16
TPA 04-C	7,45	12,1	200	9,7
TPA 05-C	7,15	13,38	200	11,9
TPA 06-C	6,45	14,07	200	11,1
TPA 07-C	7,25	13,52	200	14
TPA 08-C	7,63	10,59	200	9,2
TPA 09-C	8,27	12,6	200	16
TPA 10-C	7,85	12,6	200	15,2
TPA 11-C	7,01	13,54	200	14,7
TPA 12-C	6,76	12,98	200	14,9
TPA 13-C	7,81	15,22	200	11,5
TPA 14-C	7,35	14,01	200	10,8
TPA 15-C	7,64	13,95	200	10,7
TPA 16-C	7,68	11,62	200	8,9
TPA 17-C	6,24	12,43	200	16
TPA 18-C	7,96	12,28	200	19,6
TPA 19-C	7,05	12,48	200	15,8
TPA 20-C	7,7	12,89	200	16,4
TPA 21-C	8,39	14,04	200	16,4
TPA 22-C	7,69	12,33	200	16,7
TPA 23-C	6,78	13	200	10,5
TPA 24-C	6,8	12,02	200	11
TPA 25-C	8,16	13,43	200	10,9
TPA 26-C	6,96	13,91	200	8,9
TPA 27-C	7,96	12,82	200	17
TPA 28-C	6,77	13,51	200	12,2
TPA 29-C	7,98	12,01	200	12,2
TPA 30-C	6,2	14,01	200	10,3
TPA 31-C	7,34	13,71	200	9,3
TPA 32-C	7,38	11,43	200	14,8
TPA 33-C	7,43	12,53	200	17,3
TPA 34-C	8,26	12,22	200	14,6
TPA 35-C	6,62	11,84	200	10,7

TPA 36-C	7,9	13,94	200	10
TPA 37-C	7,75	11,5	200	15,3
TPA 38-C	9,08	13,15	200	8,1
TPA 39-C	6,85	10,68	200	15,2
TPA 40-C	6,49	13,81	200	16,4

Tabla 27

Probetas de ensayos de tracción perpendicular.

PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN PERPENDICULAR CEDRO					
Código de probeta	Espesor (mm)	Anchura (mm)	Longitud C. (mm)	Humedad %	Masa (g)
	[T]	[W]	[L]		
TPE 01-C	51,1	27,78	51,13	13	74,5
TPE 02-C	51,33	29,45	50,97	11,5	75,3
TPE 03-C	51,07	27,21	51	9,9	72,2
TPE 04-C	51,01	26,64	51,04	10,9	73,7
TPE 05-C	50,95	25,88	51,15	12,3	75,3
TPE 06-C	50,82	24,39	51,19	10,5	79,9
TPE 07-C	49,51	26	51,21	12,3	73,7
TPE 08-C	51,3	25,03	51,49	15,3	79
TPE 09-C	51,07	29,7	51,38	12	81,3
TPE 10-C	51,09	25,66	51,09	11,4	72,5
TPE 11-C	50,56	24,96	51,17	11,5	74,2
TPE 12-C	51,36	24,4	51,09	12,3	74,1
TPE 13-C	50,87	27,8	51,56	9,3	75,4
TPE 14-C	51,48	26,86	51,06	12,1	73,8
TPE 15-C	51,38	28,17	51,32	10,1	77,1
TPE 16-C	51,16	26,55	51,23	12,9	72,3
TPE 17-C	50,79	28,56	50,83	12	75,8
TPE 18-C	50,38	28,94	51,19	11,7	80,1
TPE 19-C	51,05	27,98	50,59	12,2	75,8
TPE 20-C	49,85	26,58	51,08	12,3	75,8
TPE 21-C	50,8	27,03	50,77	12,1	77,1
TPE 22-C	51,03	24,45	51,05	13,1	72,5
TPE 23-C	50,51	26,13	50,98	11,7	75,9
TPE 24-C	50,54	27,79	51,12	10,4	76,2
TPE 25-C	50,88	26,13	51,16	9,7	74,2
TPE 26-C	51,03	27,97	51,12	13,4	74,5
TPE 27-C	51,04	26,6	51,08	12,3	72,9
TPE 28-C	50,73	28,47	51,37	12,3	78,9
TPE 29-C	51,15	28,51	51,16	11,1	78,4
TPE 30-C	50,88	27,47	51,37	12,3	78,1
TPE 31-C	51,27	25,13	51,09	11,1	76,6
TPE 32-C	51,5	28,48	51	12,2	74,9

TPE 33-C	51,23	25	50,95	16,1	78,2
TPE 34-C	48,89	25,81	48,24	11,3	70,1
TPE 35-C	50,95	26,13	51,26	9,9	76,2
TPE 36-C	50,48	27	51,23	11	79,3
TPE 37-C	51,7	26,77	51,31	11,8	75,1
TPE 38-C	51,04	26,61	50,88	10,7	74,9
TPE 39-C	51,04	27	50,96	11,7	75,4
TPE 40-C	48,5	25,59	50,97	10,6	72,8

Tabla 28*Probetas de ensayos Corte*

PROBETAS DE ENSAYO A CORTE CEDRO					
Código de probeta	Espesor (mm)	Anchura (mm)	Longitud (mm)	Humedad %	Masa (g)
	[T]	[W]	[L]		
COP 01-C	50,55	49,81	50	13,7	79,2
COP 02-C	50,71	48,88	50	11,6	82,7
COP 03-C	50,45	49,11	50	10,4	82,1
COP 04-C	50,75	49,69	50	10,2	76,4
COP 05-C	50,5	49,49	50	10,3	78,4
COP 06-C	50,96	49,89	50	9,7	80
COP 07-C	50,56	50,86	50	10,4	75,6
COP 08-C	52	49,76	50	9,5	90,3
COP 09-C	50,22	49,87	50	14,2	74,3
COP 10-C	51,02	49,18	50	10,3	88
COP 11-C	50,74	50,21	50	10,1	78,7
COP 12-C	50,78	49,62	50	9,8	85,4
COP 13-C	50,76	49,84	50	10,7	80,2
COP 14-C	50,78	49,41	50	9,3	83,4
COP 15-C	50,83	50,02	50	10,8	79,2
COP 16-C	50,44	49,15	50	10,7	90
COP 17-C	50,73	49,5	50	11,8	75
COP 18-C	50,88	48,95	50	10,9	82,4
COP 19-C	50,73	49,59	50	10,6	85,8
COP 20-C	49,79	50,37	50	8,7	80,2
COP 21-C	50,75	49,26	50	9,9	74,7
COP 22-C	50,71	49,72	50	11,5	78,8
COP 23-C	50,58	49,25	50	9,9	78,4
COP 24-C	50,85	50,14	50	10,1	82,6
COP 25-C	50,65	49,99	50	10,1	86,1
COP 26-C	50,08	50,34	50	17,8	74
COP 27-C	51,65	49,43	50	10,2	78,2
COP 28-C	51,21	50	50	10,4	78
COP 29-C	50,78	49,56	50	10,3	79
COP 30-C	50,82	49,72	50	10	74,7

COP 31-C	50,9	49,43	50	9,8	79,2
COP 32-C	50,67	50,03	50	8,7	75,6
COP 33-C	50,46	50,08	50	10,7	84,8
COP 34-C	50,83	49,64	50	9,9	74,8
COP 35-C	50,88	49,51	50	10	80,2
COP 36-C	50,72	49,86	50	13,7	74,9
COP 37-C	50,83	49,39	50	10,5	85,6
COP 38-C	50,43	50,32	50	16,8	75,2
COP 39-C	50,74	49,4	50	9,7	82,1
COP 40-C	50,79	49,72	50	10,4	76,3

Tabla 29*Probetas de ensayos de Flexión*

PROBETAS DE ENSAYO A FLEXION CEDRO					
Código de probeta	Espesor (mm)	Anchura (mm)	Longitud (mm)	Humedad %	Masa (g)
	[T]	[W]	[L]		
F 01-C	50,39	51,9	710	17,6	996,1
F 02-C	51,13	51,02	710	13,4	1168,9
F 03-C	49,51	50,52	710	16,4	1091,6
F 04-C	49,84	51,03	710	15,5	1109,5
F 05-C	50,02	51,02	710	12,6	978,4
F 06-C	49,66	51,03	710	17,5	976,7
F 07-C	51,27	51,27	710	18,3	1062,8
F 08-C	50,14	52,08	710	19,6	928,4
F 09-C	51,8	51,43	710	12,3	1304,8
F 10-C	50,33	49,99	710	17,3	1070,2
F 11-C	52,1	50,09	710	20	959,1
F 12-C	49,73	49,92	710	16,7	1061,3
F 13-C	51,75	51,19	710	11,4	1256,1
F 14-C	51,45	51,33	710	15,7	1361
F 15-C	50,65	50,22	710	11,3	989,1
F 16-C	51,25	50,49	710	22	1101,1
F 17-C	50,02	51,18	710	17,7	936,1
F 18-C	50,51	50,13	710	18,7	1031,4
F 19-C	50,32	49,97	710	19,5	1065,4
F 20-C	51,65	50,08	710	17,4	1143,7
F 21-C	49,68	50,4	710	17,2	908,5
F 22-C	51,05	50,35	710	16,2	948,2
F 23-C	49,57	50,66	710	16,9	940,6
F 24-C	52,17	50,11	710	16,8	1175,9
F 25-C	51,23	50,01	710	17,9	1166,2
F 26-C	50,27	51,3	710	16,6	1075,2
F 27-C	50,46	51,45	710	19,3	1019,9
F 28-C	50,94	50,09	710	17,3	918

F 29-C	51,11	51,44	710	18,2	1103,9
F 30-C	50,63	50,1	710	16,2	1057,2
F 31-C	51,55	49,26	710	18,5	1090,2
F 32-C	51,72	48,52	710	16,7	972,9
F 33-C	52,19	49,29	710	18,2	1004,9
F 34-C	51,44	51,28	710	12	1094,1
F 35-C	51,01	50,34	710	16,5	959,9
F 36-C	47,96	50,94	710	17,4	993,4
F 37-C	50,37	50,85	710	16,5	1047,5
F 38-C	51,4	50,02	710	14,3	1136,4
F 39-C	50,02	51,51	710	16,6	1039,9
F 40-C	51,31	50,32	710	19,1	998,3

Dimensionamiento y diseño de Amarillo

Tabla 30

Probetas de ensayos de compresión paralela.

PROBETAS DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA AMARILLO					
Código de probeta	Espesor (mm)	Anchura (mm)	Altura (mm)	Humedad %	Masa (g)
	[T]	[W]	[H]		
CPA 01-A	47,59	50,93	203	17,3	321,8
CPA 02-A	47,5	50,64	203	11,9	269,2
CPA 03-A	50,69	47,06	202	10,2	280,1
CPA 04-A	47,39	49,94	201	11,2	288
CPA 05-A	50,02	47,51	201	19,8	291,2
CPA 06-A	50,45	49,77	203	11,7	333,7
CPA 07-A	47,22	50,56	202	17	272,7
CPA 08-A	48,12	50,69	203	18	306,3
CPA 09-A	47,91	50,59	202	18,4	272,4
CPA 10-A	49,07	50,33	202	16,8	295,7
CPA 11-A	49,78	50,68	203	14,5	316,1
CPA 12-A	50,37	48,8	203	21,6	396,6
CPA 13-A	49,58	50,36	203	16,4	271,1
CPA 14-A	50,63	49,5	202	22,7	394
CPA 15-A	50,29	48,64	202	21,6	388,8
CPA 16-A	49,82	49,89	202	15,4	305
CPA 17-A	49,55	50,82	202	17,3	312,1
CPA 18-A	49,51	50,55	202	15,7	325
CPA 19-A	49,64	50,38	203	18,6	339,3
CPA 20-A	50,38	49,35	202	17,7	331,8
CPA 21-A	49,61	50,39	203	18,8	284,5
CPA 22-A	49,75	50,5	201	21,4	405,2
CPA 23-A	49,43	50,35	202	16,3	339,3
CPA 24-A	46,6	50,49	203	15,6	307,4
CPA 25-A	48,44	50,52	203	22,4	339,5

CPA 26-A	50,3	49,54	203	15,5	373,1
CPA 27-A	48,51	50,22	203	23,5	375,7
CPA 28-A	50,43	49,68	202	15	364,3
CPA 29-A	49,51	50,48	202	16,3	268,3
CPA 30-A	48,69	50,37	203	20,7	413,8
CPA 31-A	49,63	50,74	202	21	393,8
CPA 32-A	47,99	50,49	202	11,2	326,3
CPA 33-A	47,67	50,41	201	18	261,7
CPA 34-A	50,42	49,4	203	18,7	291,2
CPA 35-A	50,46	48,88	203	21,5	312,9
CPA 36-A	50,61	49,48	202	21,5	387,3
CPA 37-A	50,65	49,2	203	20,7	440,9
CPA 38-A	47,36	50,4	202	17,5	281
CPA 39-A	47,55	50,37	202	12,2	267,5
CPA 40-A					

Tabla 31

Probetas de ensayos de compresión perpendicular.

PROBETAS DE ENSAYO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR AMARILLO					
Código de Probeta	Espesor (mm) [T]	Anchura (mm) [W]	Altura (mm) [H]	Humedad %	Masa (g)
CPE 01-A	50,54	50	50,6	20	317,3
CPE 02-A	50,89	50	51,1	12,8	300,1
CPE 03-A	50,1	50	49,78	21,2	304,9
CPE 04-A	49,71	50	50,01	22,3	293,6
CPE 05-A	50,41	50	49,58	18,5	252,4
CPE 06-A	49,49	50	49,59	16,7	208,8
CPE 07-A	50,78	50	51,21	15,4	219,8
CPE 08-A	50,24	50	50,59	13,3	314,8
CPE 09-A	49,65	50	49,97	15,8	212,7
CPE 10-A	49,58	50	50,22	22,2	286,2
CPE 11-A	50,83	50	50,89	12,9	256,8
CPE 12-A	50,22	50	49,78	22,4	311,4
CPE 13-A	51,08	50	50,21	14,6	165
CPE 14-A	48,58	50	50,,08	10,5	201,8
CPE 15-A	48,62	50	50,23	17,7	254
CPE 16-A	50,38	50	48,42	21,7	237,2
CPE 17-A	51,42	50	50,77	20,7	323,8
CPE 18-A	50,36	50	50,75	21,8	325
CPE 19-A	50,45	50	49,15	17,6	211,9
CPE 20-A	50,17	50	50,53	13,2	330,5
CPE 21-A	50,14	50	50,12	9,5	198,6
CPE 22-A	50,48	50	50,66	22,4	326,2
CPE 23-A	50,82	50	50,51	15,8	233,7
CPE 24-A	50,16	50	49,74	12,5	307,8
CPE 25-A	48,4	50	50,38	21,3	245

CPE 26-A	50,79	50	50,46	14,2	214,9
CPE 27-A	50,12	50	49,61	23,6	305,9
CPE 28-A	50,77	50	50,51	13,7	322,9
CPE 29-A	50,16	50	47,81	21,6	253,9
CPE 30-A	50,58	50	50,96	21,3	321,5
CPE 31-A	50,78	50	51,03	17,6	168,3
CPE 32-A	50,69	50	50,62	11,8	237,5
CPE 33-A	50,77	50	50,82	20,6	329,3
CPE 34-A	48,88	50	50,34	21,9	293,8
CPE 35-A	48,73	50	50,21	21,9	278,5
CPE 36-A	49,65	50	50,32	20,1	265,8
CPE 37-A	50,68	50	50,73	21,3	310,3
CPE 38-A	50,16	50	49,63	21,8	313,2
CPE 39-A	50,16	50	50,75	17,9	303,6
CPE 40-A	50,73	50	50,94	14,2	250,6

Tabla 32

Probetas de ensayos de tracción paralela.

PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN PARALELA AMARILLO				
Código de probeta	Espesor	Anchura	Longitud	Humedad %
	[T]	[W]	[L]	
TPA 01-A	6,01	10,1	200	11,2
TPA 02-A	6,28	12,08	200	12,3
TPA 03-A	6,72	10,84	200	10,4
TPA 04-A	6,55	12,2	200	9,6
TPA 05-A	5,84	10,44	200	11,4
TPA 06-A	7,21	12,77	200	9,5
TPA 07-A	6,34	10,69	200	13
TPA 08-A	7,94	10,88	200	12,2
TPA 09-A	6,71	12,56	200	10,8
TPA 10-A	6,8	11,95	200	12
TPA 11-A	6,63	11,9	200	12,1
TPA 12-A	6,2	10,4	200	12
TPA 13-A	7,51	12,67	200	10,4
TPA 14-A	6,32	12,22	200	10,8
TPA 15-A	5,32	11,36	200	15,3
TPA 16-A	6,31	11,3	200	18,7
TPA 17-A	5,43	10,84	200	17,5
TPA 18-A	7	9,32	200	10,7
TPA 19-A	5,43	12	200	12
TPA 20-A	6,72	10,26	200	17,2
TPA 21-A	6,7	13,18	200	14
TPA 22-A	6,91	10,94	200	13,5
TPA 23-A	5,94	11,23	200	18,6
TPA 24-A	5,73	11,49	200	12

TPA 25-A	75	11,16	200	12,4
TPA 26-A	6,39	10,43	200	11,6
TPA 27-A	6,13	11,26	200	11,8
TPA 28-A	6,8	10,64	200	18,7
TPA 29-A	7,38	12,42	200	22,6
TPA 30-A	6,59	11,65	200	19,1
TPA 31-A	5,32	8,29	200	15,8
TPA 32-A	6,31	9,03	200	9,1
TPA 33-A	5,92	9,1	200	21,1
TPA 34-A	6,92	12,39	200	13,2
TPA 35-A	7,27	10,54	200	11
TPA 36-A	6,8	10,54	200	14,2
TPA 37-A	7,08	13,28	200	12,3
TPA 38-A	6,38	11,75	200	17,7
TPA 39-A	5,67	11,66	200	9,3
TPA 40-A	6,45	11,75	200	12,1

Tabla 33

Probetas de ensayos de tracción perpendicular.

PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN PERPENDICULAR AMARILLO					
Código de probeta	Espesor	Anchura	Longitud C.	Humedad %	Masa
	[T]	[W]	[L]		
TPE 01-A	50,4	28,77	51,25	15,5	59,7
TPE 02-A	51	26,11	51,29	14,5	60,4
TPE 03-A	51,27	27,36	50,46	12,9	60,8
TPE 04-A	51,17	27,33	50,99	13,2	55,9
TPE 05-A	50,85	26,87	50,55	11,9	54
TPE 06-A	50,85	25,51	51,07	12,5	59,9
TPE 07-A	51,02	24,66	50,74	13,4	61,3
TPE 08-A	51,3	28,17	50,84	15,7	63,7
TPE 09-A	51,25	25,15	51,16	13,9	54,2
TPE 10-A	51,1	28,82	50,57	13,1	61,2
TPE 11-A	51,27	25,16	51,29	13,1	58,9
TPE 12-A	51,01	25,76	50,37	12,9	54
TPE 13-A	51,12	27,03	51,12	12,7	56,2
TPE 14-A	50,84	28,81	50,7	10,1	92,7
TPE 15-A	51,14	26,41	50,93	11,7	77,4
TPE 16-A	51,48	27,77	50,64	11,4	98,4
TPE 17-A	50,51	25,32	50,88	11,4	80,6
TPE 18-A	51,51	26,08	51,09	13,4	54,7
TPE 19-A	50,26	26,15	50,95	10,8	93,3
TPE 20-A	50,86	27,43	50,85	12,5	56,7
TPE 21-A	50,93	26,48	50,77	16,4	62,1
TPE 22-A	50,72	27,92	50,95	12,2	61

TPE 23-A	51,13	26,85	51	8,9	53,3
TPE 24-A	50,66	26,19	50,96	12,4	58,1
TPE 25-A	51,01	26,95	51,08	10,5	59,2
TPE 26-A	51,34	27,29	51,72	12	58,8
TPE 27-A	50,77	27,33	50,47	12,3	61,2
TPE 28-A	50,91	28,34	51,54	10	55,2
TPE 29-A	51,59	28,63	51,49	9,2	60,6
TPE 30-A	50,99	26,69	51,02	16,5	60,9
TPE 31-A	51,55	27,83	51,34	14	60,5
TPE 32-A	51,21	27,69	51,04	15,4	56,1
TPE 33-A	50,91	27	51	11,6	62,4
TPE 34-A	51,03	26,88	51,04	10,8	62,8
TPE 35-A	50,96	27,41	51,03	16,5	59,1
TPE 36-A	51,06	27,62	50,96	12,7	58
TPE 37-A	51,03	26,55	51,13	10,9	59,2
TPE 38-A	49,72	29,05	50,7	11,3	63,9
TPE 39-A	50,91	24,97	51,17	12,2	60,3
TPE 40-A	50,87	28,71	50,84	9,7	55,8

Tabla 34*Probetas de ensayos Corte.*

PROBETAS DE ENSAYO A CORTE AMARILLO					
Código de probeta	Espesor	Anchura	Longitud	Humedad %	Masa
	[T]	[W]	[L]		
COP 01-A	51,01	51,53	50	10,8	129,1
COP 02-A	51,32	51,47	50	19,8	109,7
COP 03-A	50,88	50,9	50	21	95,7
COP 04-A	50,89	51,53	50	10	126,7
COP 05-A	50,91	51,84	50	13,7	126,9
COP 06-A	50,67	51,38	50	21,2	124,4
COP 07-A	50,96	51,48	50	17,9	124,4
COP 08-A	50,96	51,7	50	19,9	104,2
COP 09-A	51,26	51,86	50	11,2	130,4
COP 10-A	50,18	51	50	12,8	102,2
COP 11-A	50,82	51,18	50	14,6	123,4
COP 12-A	51,36	51,55	50	12,3	127,2
COP 13-A	51,19	51,11	50	12	126,4
COP 14-A	50,88	51,77	50	12	126,7
COP 15-A	50,93	50,74	50	9,8	124,6
COP 16-A	50,97	51,13	50	10,6	123,6
COP 17-A	50,95	50,61	50	12	123,6
COP 18-A	50,79	51,52	50	15,3	125,8
COP 19-A	50,98	51,15	50	10,1	124,7
COP 20-A	51,13	51,35	50	10,2	126,9

COP 21-A	51,09	51,,60	50	15	129,6
COP 22-A	50,93	51,78	50	10,4	131
COP 23-A	50,7	50,95	50	10,7	125,6
COP 24-A	51	50,66	50	10,4	125,6
COP 25-A	50,66	51,55	50	9,7	130,6
COP 26-A	50,58	51,85	50	14,2	126,1
COP 27-A	50,79	51,56	50	9,9	126,7
COP 28-A	50,47	51,35	50	10,3	128,2
COP 29-A	50,86	51,34	50	10	110,3
COP 30-A	51,3	52,09	50	10,9	127,3
COP 31-A	50,91	50,94	50	10	125,5
COP 32-A	50,98	51,38	50	16,6	102,7
COP 33-A	51,3	51,13	50	8,5	126,9
COP 34-A	51,37	51,46	50	17,6	111,3
COP 35-A	50,88	50,94	50	14,1	125
COP 36-A	51,03	52,1	50	15	124,8
COP 37-A	50,93	51,62	50	10,8	122,9
COP 38-A	51,15	51,62	50	10,8	128,5
COP 39-A	50,84	51,5	50	10,8	127,2
COP 40-A	50,71	50,83	50	11,1	127,4

Tabla 35

Probetas de ensayos de Flexión

PROBETAS DE ENSAYO A FLEXIÓN AMARILLO					
Código de probeta	Espesor	Anchura	Longitud	Humedad %	Masa
	[T]	[W]	[L]		
F 01-A	50,55	50,3	710	11,9	1478,8
F 02-A	51,01	50,94	710	22,4	1570,2
F 03-A	51,29	51,28	710	18,6	1594,9
F 04-A	51,22	51,49	710	20	849,1
F 05-A	50,66	50,71	710	13,7	1611,4
F 06-A	50,1	51,01	710	13	1597,3
F 07-A	50,78	50,84	710	22,2	1392,3
F 08-A	50,7	50,65	710	17,1	1146,6
F 09-A	50,86	50,67	710	11,5	1531,2
F 10-A	51,11	50,76	710	14,5	1322,9
F 11-A	50,72	50,7	710	14,5	1451,4
F 12-A	50,8	50,73	710	13,9	1516,1
F 13-A	51,2	51,25	710	18,5	1564
F 14-A	51,18	50,52	710	23,5	1613,3
F 15-A	50,83	50,78	710	10,4	1152
F 16-A	51,2	51,14	710	22	1544,6
F 17-A	50,68	50,86	710	21	1481,4
F 18-A	51,19	51,15	710	20,6	1603

F 19-A	50,8	50,65	710	14,2	1589,2
F 20-A	50,5	50,95	710	19	1534,4
F 21-A	50,19	50,78	710	17,1	1486,8
F 22-A	50,97	50,93	710	12,6	1256,2
F 23-A	51,19	51,49	710	18,2	8575
F 24-A	51,55	51,21	710	14,8	1635,7
F 25-A	51,32	50,81	710	13,5	1659,7
F 26-A	50,53	48,52	710	21,4	1606,1
F 27-A	50,72	50,47	710	13,5	1715,4
F 28-A	50,73	50,69	710	11,8	1391,7
F 29-A	51,04	51,06	710	18,2	1437,5
F 30-A	50,35	50,67	710	22,5	1631,5
F 31-A	49,83	51,14	710	11,8	1576,1
F 32-A	51,21	51,37	710	12,7	1501,1
F 33-A	51,02	50,88	710	15,3	1318
F 34-A	50,75	50,58	710	12,3	1458,4
F 35-A	51,08	51,15	710	12,8	1449,3
F 36-A	50,35	48,59	710	23,7	1209,5
F 37-A	50,62	50,69	710	16,8	1659,5
F 38-A	51,12	51,28	710	12,2	1680,9
F 39-A	51,17	50,16	710	11,4	1493,2
F 40-A	50,52	49,85	710	23	1520,9

Carpeta drive incluye:

Informes de ensayo

Figuras



Enlace a carpeta drive:

<https://pucesm->

my.sharepoint.com/:f:/g/personal/hpalacios9940_pucesm_edu_ec/EpZIL6g3pV9MghYdF8ci

[ZvcB-WuBtfKBI8MMwwt1q-vkVg?e=C1xIFY](https://my.sharepoint.com/:f:/g/personal/hpalacios9940_pucesm_edu_ec/EpZIL6g3pV9MghYdF8ciZvcB-WuBtfKBI8MMwwt1q-vkVg?e=C1xIFY)