



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ESPECIE FORESTAL
AMAZÓNICA YUYÚN (TERMINALIA OBLONGA), Y SU IDONEIDAD COMO
MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO A LA NORMA ECUATORIANA DE LA
CONSTRUCCIÓN**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Civil

AUTOR: Carlos Augusto Tanguila Andy
TUTOR: Sandri Germanico Castro Angulo

Quito - Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Augusto Tanguila Andy con documento de identificación N° 1500858269 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 10 de agosto del 2023

Atentamente,



Carlos Augusto Tanguila Andy
1500858269

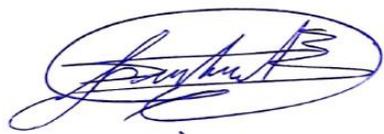
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Carlos Augusto Tanguila Andy con documento de identificación N° 1500858269, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Análisis de las Propiedades Mecánicas de la Especie Forestal Amazónica Yuyún (terminalia oblonga), y su idoneidad como Material Estructural de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 10 de agosto del 2023

Atentamente,



Carlos Augusto Tanguila Andy
1500858269

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Sandri Germanico Castro Angulo con documento de identificación N° 0802550301, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ESPECIE FORESTAL AMAZÓNICA YUYÚN (TERMINALIA OBLONGA), Y SU IDONEIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO A LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, realizado por Carlos Augusto Tanguila Andy con documento de identificación N° 1500858269, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 10 de agosto del 2023

Atentamente,

A handwritten signature in purple ink, appearing to be 'Sandri Germanico Castro Angulo', written over a horizontal line.

Ing. Sandri Germanico Castro Angulo, MSc.

0802550301

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ESPECIE FORESTAL AMAZÓNICA YUYÚN (TERMINALIA OBLONGA), Y SU IDONEIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO A LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN

ANALYSIS OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE YUYÚN AMAZON FOREST SPECIES (TERMINALIA OBLONGA), AND SUITABILITY AS A STRUCTURAL MATERIAL ACCORDING TO THE ECUADORIAN CONSTRUCTION STANDARD

Carlos Tanguila-Andy¹, Sandri Castro-Angulo²

Resumen

Ecuador no cuenta con una base de datos confiable de propiedades mecánicas de especies endémicas, la cual podría ampliar la gama de especies maderables y la utilización de estas, como una alternativa a las ya conocidas. Por esta razón, la presente investigación tuvo como objetivo determinar las propiedades mecánicas de flexión perpendicular a la fibra (f_m), compresión paralela a la fibra ($f_{c(p)}$), compresión perpendicular a la fibra ($f_{c(t)}$), Tracción paralela a la fibra (f_t) y corte paralelo a la fibra (f_v) de la especie forestal Amazónica Yuyún, aplicando la normativa NEC-SE-MD para establecer comparativamente mediante sus propiedades mecánicas la idoneidad de uso en la construcción civil de esta madera.

Para ello se realizó un muestreo de árboles mediante una zonificación en el Cantón Tena, con información de cultivos. Asimismo, se elaboraron probetas para determinar las propiedades

Abstract

Ecuador does not have a reliable database of mechanical properties for endemic species, which could expand the range of timber species and their utilization as an alternative to those already known. For this reason, the objective of this research was to determine the mechanical properties of flexural perpendicular to the grain (f_m), compressive parallel to the grain ($f_{c(p)}$), compressive perpendicular to the grain ($f_{c(t)}$), tensile parallel to the grain (f_t) and shear parallel to the grain (f_v) of the Amazon Forest species Yuyún. Applying the NEC-SE-MD regulations to establish comparatively through its mechanical properties the suitability for use in civil construction of this wood.

For this, a sampling of trees was carried out through zoning in the Tena Canton, with crop information. Likewise, test pieces were prepared to determine the aforementioned mechanical

¹ Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

² Docente – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia: ctanguila@est.ups.edu.ec¹, scastroa@ups.edu.ec²

mecánicas antes mencionadas, mediante ensayos de laboratorio con base a la norma ASTM D 143. Los resultados se ajustaron al 12% de contenido de humedad y se redujeron a esfuerzos Admisibles. Las propiedades mecánicas de resistencia se clasificaron a partir de esfuerzos admisibles para: (f_m) con 21.71 MPa en el grupo A; ($f_{c(p)}$) con 16.20 MPa en el grupo A; (f_t) con 10.94 MPa en el grupo B; ($f_{c(t)}$) con 6.22 MPa en el grupo A; y (f_v) con de 5.47 MPa en el grupo A.

Por lo tanto, la EFAY pertenece al grupo B de resistencia intermedia, trabajabilidad semidura y de buena calidad de acuerdo a la norma ecuatoriana de la construcción en su especificación de estructuras de madera.

properties, through laboratory tests based on the ASTM D 143 standard.

The results were adjusted to 12% moisture content and reduced to allowable stresses. The strength properties mechanical were classified based on allowable stresses as follows: flexural strength (f_m) with 21.71 MPa in Group A, compressive strength parallel to the grain ($f_{c(p)}$) with 16.20 MPa in Group A, tensile strength parallel to the grain (f_t) with 10.94 MPa in Group B, compressive strength perpendicular to the grain ($f_{c(t)}$) with 6.22 MPa in Group A, and shear strength parallel to the grain (f_v) with 5.47 MPa in Group A.

Therefore, the Yuyún wood species belongs to Group B with intermediate strength, semi-hard workability, and good quality according to the Ecuadorian building regulations, specifically for wooden structures.

Palabras Clave:

Propiedades mecánicas madera, yuyún

Keywords:

Mechanical properties wood, yuyún

1. Introducción

En Ecuador, las especies endémicas, como el yuyún de la región amazónica, son desconocidas en el medio de la construcción debido a la falta de experimentación en base a datos confiables de propiedades mecánicas, por esta razón el yuyún se utiliza de forma artesanal, es decir, basados en los conocimientos de la madera transmitidos de generación en generación [1]. La construcción de esta base de datos podría ampliar la gama de especies maderables, así como la no introducción de otras ajenas al ecosistema [2].

La *Terminalia Oblonga* conocido como *Yuyún* en *kichwa* [3], a la cual denominaremos especie forestal amazónica Yuyún (EFAY), fue el objeto de esta investigación mediante la cual se especificó información de identificación, agrupación y clasificación en función de las propiedades mecánicas, como aporte a la industria ecuatoriana de la construcción.

El estudio planteo la necesidad de dar a conocer la importancia de la EFAY como una especie maderable, que puede formar parte de la armadura estructural y de edificación, por ejemplo, los muros o las paredes, los pisos, los techos, los pies-derechos, las columnas, las vigas, las cerchas, entre otros [4] definidos como componentes resistentes, por lo que podría ser considerada en un grupo de maderas de mayor uso en la construcción [5].

La investigación se realizó mediante una zonificación de los sitios donde se encuentra información de cultivos de dicha especie [2], según la NTE INEN 1158, posterior a ello se elaboraron las muestras de las probetas para los respectivos ensayos.

Se determinó las propiedades mecánicas mediante los métodos de prueba estándar establecidos en la norma ASTM D143, se obtuvo los resultados y se compararon con los esfuerzos admisibles de clasificación de la madera en el Ecuador [6].

1.1. Parámetros de la investigación

1.1.1. Normativa

Como referencias para determinar la clasificación de la EFAY, se emplearon las especificaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción estructuras de madera código (NEC- SE- MD) [7], la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC) [5] y American Society for Testing and Materials (ASTM) [8]. Estos documentos sirvieron para establecer los métodos de prueba durante la experimentación, determinando los procesos y condiciones mínimas a ser aplicados en la construcción de resultados.

La JUNAC clasifica las maderas tropicales como tipo A, B y C mediante sus respectivos nombres comunes y científicos [5]. A continuación, en la Tabla 1, se puede identificar las especies maderables tipificadas en el Ecuador.

Tabla 1. Grupos de especies estudiadas en el PADT-REFORT para madera estructural del Ecuador. [5]

PAÍS	GRUPO	NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTÍFICO
ECUADOR	A	Caimitillo	Chrysophyllum procerum
		Guayacán	Cholorophara tinctoria
		Pechiche	Clarisia racemosa
	B	Chanul	Humiriastrum procerum
		Mora fino	Chlorophora tinctoria
		Pituca	Clarisia racemosa
	C	Fernansanchez	Triplaris guayavilensis
		Mascarey	Hieronyma chocoensis
		Sande	Brosimum utile

Como se puede evidenciar, la EFAY no se encuentra tipificada en la tabla de información.

1.1.2. Clasificación por resistencias

La NEC-SE-MD (2015), establece las características de resistencia en tres grupos: las maderas de mayor resistencia, también denominadas maderas duras, se caracterizan por ser fuertes, de superior calidad y generalmente difíciles de trabajar. Las maderas de resistencia intermedia, conocidas como maderas semiduras,

se caracterizan por ser medianamente durables, de regular resistencia, buena calidad y, generalmente, fáciles de trabajar. Las maderas de menor resistencia, conocidas también como maderas suaves, son poco durables, por lo general de muy baja calidad y poca durabilidad, pero fáciles de trabajar [9] [7].

1.1.3. Esfuerzos Admisibles

Los esfuerzos admisibles establecidos por la NEC-SE-MD para cada propiedad mecánica, sirvieron para clasificar a la EFAY en un determinado grupo mediante el comparativo de los resultados de la investigación con los parámetros establecidos [10] tal como se muestra en la (Tabla 2).

Tabla 2. Esfuerzos admisibles para clasificación de la madera (MPa). [7] [4]

Propiedad Mecánica	Esfuerzos admisibles (MPa)		
	A	B	C
Grupo			
Flexión perpendicular a la fibra	21	15	10
Tracción paralela a la fibra	14.5	10.5	7.5
Compresión paralela a la fibra	14.5	11	8
Compresión Perpendicular a la fibra	4	2.8	1.5
Corte paralelo a la fibra	1.5	1.2	0.8

1.1.4. Contenido de humedad

Para asignar los valores de resistencias se establecen condiciones ambientales de servicios. La NEC-SE-MD define el contenido de humedad como un factor muy importante en el uso de la madera, puesto que de él depende una buena parte de sus propiedades mecánicas de resistencia [11].

1.1.4.1. Condición estructural.

El contenido de humedad corresponde a un 12% secado al horno, siendo este un porcentaje optimo por las características de resistencia y seguridad estructural [12].

1.1.4.2. Condición de servicio.

El contenido de humedad corresponde al 21.4% (media anual) establecida en la provincia de Napo, zona de investigación, es la condición de secado al aire libre al cual la madera se mantendrá constante [7].

Para valores de humedad entre el 8% y el 20%, y piezas de madera libre de defectos, se considera que existe una relación lineal entre las propiedades mecánicas y el contenido de humedad [13].

1.1.4.3. Condición de estado verde

El contenido de humedad mayor al 30% corresponde a ningún proceso de secado directamente extraída, considerado adecuado para realizar trabajos de clavado y labrado previo a su secado y endurecimiento [7] [14].

Para niveles de humedad por debajo del 30% y madera comercial, a medida que aumenta la humedad de la madera, disminuye su resistencia y su módulo de elasticidad [13].

2. Materiales y Métodos

2.1. Selección y recolección de las muestras

El muestreo para el estudio se realizó en la región amazonia del Ecuador, en la provincia de Napo del cantón Tena, con información de cultivos en posesión de comunidades nativas y colonias [15], en cuatro parroquias: Misahuallí, Pano, Puerto Napo y Tena, como se evidencian la Figura 1.



Figura 1. Localización Muestras Georreferenciadas. [16]

Mediante una aplicación de dispositivo digital se pudo georreferenciar la localización de las cinco muestras para los respectivos ensayos.

La norma NTE INEN 1158 establece que se considere cinco árboles como mínimo para establecer una seguridad estadística del 95%, y un intervalo de confianza, más o menos, del 15% [17]. De las cinco muestras, dos se consiguieron en estado seco y tres se consiguieron en estado verde, las cuales pasaron un proceso de secado previo a su ensayo.

2.2. Elaboración de probetas

El número de probetas deben ser entre cinco a diez, y deben estar libres de defectos. Para esta investigación se elaboraron cinco probetas para cada ensayo según la disposición de la fibra (flexión perpendicular, tracción paralela, corte paralelo, compresión perpendicular y paralela) tal como se ilustra en la Figura 2, por lo tanto, se elaboraron 25 probetas, teniendo un total de 125 según Norma ASTM D 143 [8]. Dimensiones probetas para cada ensayo según ASTM D143:

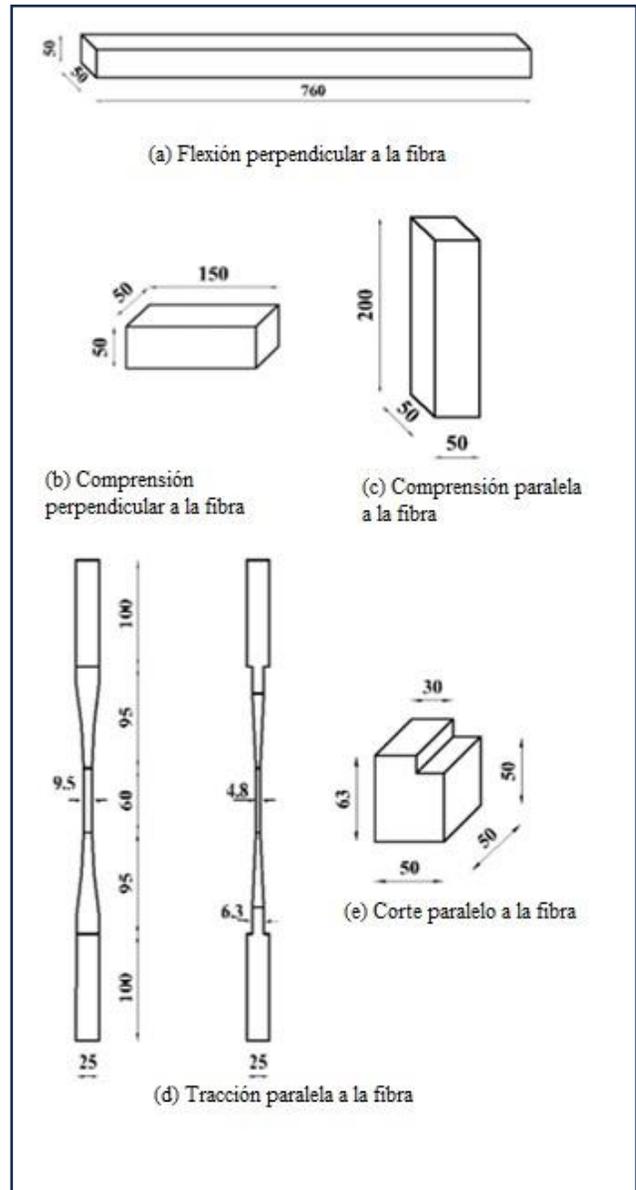


Figura 2. Dimensiones probetas [8].

2.3. Acondicionamiento de las probetas en laboratorio

2.3.1. Identificación de los especímenes.

A cada espécimen se le asignó un código [18], como se muestra en la Figura 3, que incluía la siguiente información: número de Muestra (M) sector (M1, M2, M3 y así hasta llegar al total del grupo). Número de Probeta (P) (P1, P2, P3 y así hasta llegar al total del grupo). Ensayo (FM= Flexión Perpendicular, CPA=Compresión Paralela, CPE = Compresión Perpendicular, COP= Corte Paralelo, TPA=Tensión Paralela, CH=Contenido de Humedad). Por ejemplo: M1P1_FM significa que se trata de la Muestra 1, Probeta 1, analizada a flexión perpendicular.



Figura 3. Identificación especímenes.

2.3.2. Secado

Para las muestras en estado verde, se emplearon los horarios de secado clasificados como suave, moderado y severo [19], hasta conseguir una constante cerca de $20\% \pm 5\%$ de contenido de humedad [5].

Las probetas en estado verde se pesan en la balanza para determinar el peso húmedo e inmediatamente se colocan en la estufa eléctrica como se muestran en la Figura 4, en programas de secado según la Junac, en su guía práctica que minimiza los defectos de cambios dimensionales.

Para determinar el peso seco, se dejan enfriar las probetas de 10 a 15 minutos evitando un peligro de absorción de humedad del aire y, por lo tanto, un aumento de peso, una vez fría las probetas se pesan y se calcula el contenido de humedad.



Figura 4. Secado especímenes.

2.3.3. Control de dimensionamiento

Según la norma ASTM D 143, deben tener una apreciación de $\pm 2\text{mm}$ para probetas regulares (Longitud, Ancho y Altura) [20], (ver Figura 5); y para probetas irregulares se procede de la misma manera dividiéndolas por piezas regulares, de darse el caso.



Figura 5. Control dimensiones especímenes.

2.3.4. Control de contenido de humedad

Cabe aclarar que, en lo posible, las probetas no deben sufrir alteraciones en su contenido de humedad durante el análisis, por lo que se protegieron introduciéndolas en bolsas de polietileno (durante el proceso de traslado) [18], y fueron sustraídas al momento de ser requeridas para la toma de masas [21], tal como se muestra en Figura 6, para, posteriormente, ser sometidas en las pruebas.

Para cada ensayo se verificó el contenido de humedad de las muestras en una zona cercana a la falla [13], debidamente identificadas con un volumen mínimo de 33cm^3 , como especifica la norma NTE INEN 1160 [22], porción de las probetas que se desprendió después de la prueba.



Figura 6. Control de masas para determinar contenidos de humedades.



Figura 7. Ensayo flexión perpendicular a la fibra.

2.4. Ensayos

Para determinar cargas y deformaciones se efectúan los ensayos: Flexión Perpendicular a la fibra, Tracción Paralela a la fibra, Compresión Paralela a la fibra, Compresión Perpendicular a la fibra, Corte Paralelo a la fibra [23].

2.4.1. Flexión perpendicular a la fibra

La máquina de compresión hidráulica fue acondicionada con dos apoyos (71 cm de separación) [8], aplicando una carga perpendicular a la fibra en el centro de la luz, a una velocidad de 2.5 mm/min hasta llegar a la falla por tensión simple debido al cruce de fibras (ver Figura 7).

2.4.2. Compresión paralela a la fibra

Se aplicaron cargas paralelas a la fibra a una velocidad de carga de 0.03 mm/min [8] hasta llegar a la falla, encontrando una por corte. Dicha falla tiene una inclinación entre 30° y 45° a su plano transversal (Figura 8).



Figura 8. Ensayo Compresión Paralela a la fibra.

2.4.3. Compresión perpendicular a la fibra

Se aplicaron cargas perpendiculares al tercio medio de la probeta en su sección longitudinal, (ver Figura 9), a una velocidad de carga de 0.305mm/min hasta llegar a la falla por

aplastamiento [8], considerando que dicha falla se da antes de 1 pulgada de deformación (límite proporcional al 0.02 mm/mm)



Figura 9. Ensayo Compresión Perpendicular a la fibra.

2.4.4. Tracción paralela a la fibra

Los ensayos de tracción fueron realizados en un equipo de prueba de accionamiento mecánico equipado con mordazas de acción neumática (Ver Figura 10). La velocidad de la prueba utilizada fue 1 mm/min y se probaron 25 muestras con un promedio de longitud inicial de 25mm. [24].

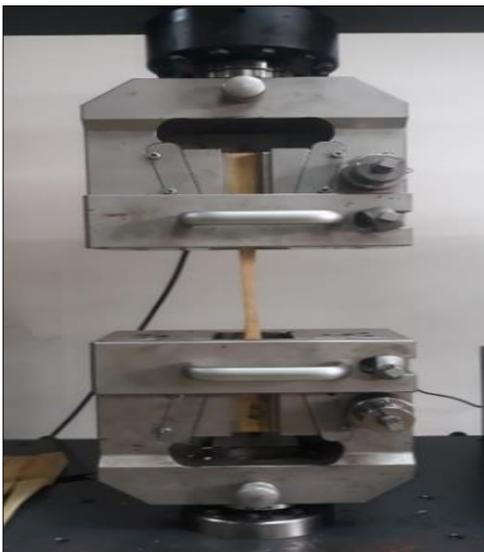


Figura 10. Ensayo tracción paralela a la fibra.

Una probeta de madera sometida a un esfuerzo de tracción uniaxial, donde las elongaciones son mayores en la dirección axial, por lo que las deformaciones y esfuerzos se pueden medir, hasta que ocurre una falla [25].

2.4.5. Corte paralelo a la fibra

En la probeta irregular. Se aplicó una carga paralela en la sección 2x5cm esta sección debe estar libre para crear un comportamiento de corte. Se tomaron cargas ultimas, a velocidad de 0.6mm/min [8] (ver Figura 11).

Los esfuerzos cortantes se identifican con la letra griega τ (tau) [25], este esfuerzo de corte genera una falla por deslizamiento en dirección paralela a la fibra en maderas.



Figura 11. Ensayo Corte Paralelo a la fibra.

Dicha falla ocurre cuando la fisura comienza a progresar, es decir, el pico de esfuerzo a la tracción excede la resistencia de la madera en este punto [24]

3. Resultados y discusión

Los resultados de esfuerzos últimos se ajustaron al 12% de contenido de humedad y se redujeron a esfuerzos Admisibles de acuerdo a la norma NEC-SE-ME [7]. Se ajustaron los esfuerzos últimos al 12% de contenido de humedad, como presenta Cubillos et al. (2019) [26], y para los resultados de esfuerzos admisibles se aplicaron factores de reducción propuesto por la Junac [5], como los determino J. Alvis y L. Cabas (2017) [27].

Para ajustar las propiedades mecánicas de resistencia y rigidez a cierto contenido de humedad, se tomó como referencia lo realizado por Ordóñez et al. (1996) [28], que utilizan ecuaciones con coeficientes de corrección constante; considerando un aumento promedio en las propiedades mecánicas por cada 1% de variación en el contenido de humedad [29].

Para entender el comportamiento de la resistencia a partir de ciertos contenidos de humedad se ajustaron las resistencias a contenidos de humedad del 12% considerado como el valor que define a la madera seca al aire [7], 21% como valor de adecuación de la madera donde prestara servicio (Tena) [7] y 30% como punto de saturación de las fibras [7], con base en estudios de la madera de Douglas Fir y Southern Pine, utilizados en la norma ASTM D-1990 [30].

Además, se han creado curva esfuerzo vs deformación para presentar todos los datos de forma sintética y comprensible. En ensayos de especímenes pequeños de madera, obteniendo una curva característica semejante, a partir de datos de la carga aplicada y el desplazamiento [31].

3.1. Flexión perpendicular a la fibra

El comportamiento de los especímenes libres de defectos tipo viga para este ensayo, durante el proceso esfuerzo-deflexión (ver Figuras 12) corresponden a un comportamiento elástico perfecto [32], para resistencia a la flexión los valores van de 19.61 y 166.71 MPa dependiendo del contenido de humedad [5].

En las pruebas se utilizaron instrumentos de carga y desplazamiento, los que permitieron

obtener las curvas Esfuerzo-Deflexión [33].

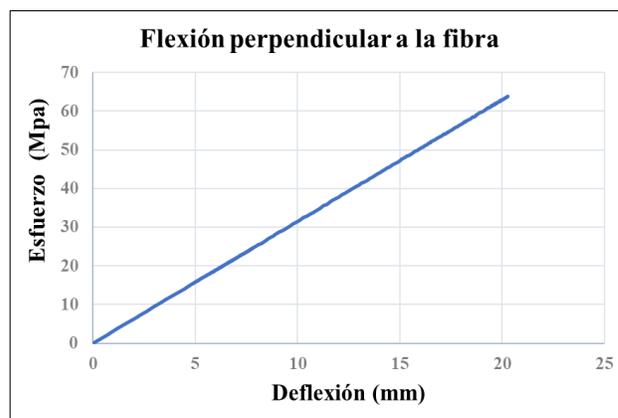


Figura 12. Grafica característica ensayo Flexión perpendicular a la fibra.

Para la flexión perpendicular a la fibra (f_m), se obtuvo un esfuerzo admisible de 21.71 MPa con un contenido de humedad ajustado al 12% (Ver Figura 13), encontrándose en el grupo A al ser el valor mayor a 21 MPa y con un módulo de elasticidad (MOE) de 10569.88 MPa y un módulo de rotura (MOR) de 114.92 MPa [34].

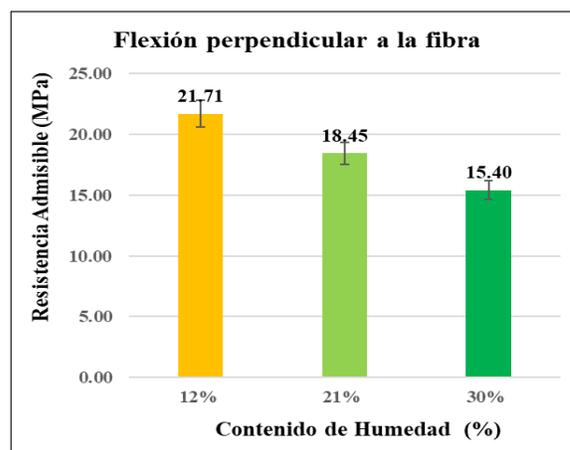


Figura 13. Diminución de la resistencia en el ensayo flexión perpendicular a la fibra

3.2. Compresión Paralela a la fibra

El esfuerzo límite proporcional es aproximadamente el 75 % del esfuerzo máximo [5]. La curva de esfuerzo deformación en compresión paralela es solo parcialmente elástica, ya que, a partir de cierta deformación, (ver Figura 14), se entra en una zona de deformaciones elastoplásticas, que finaliza en un tramo recto bajo tensión constante. [35]

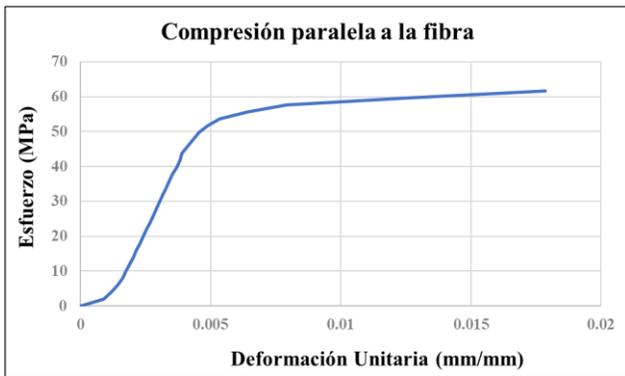


Figura 14. Grafica característica ensayo Compresión Paralela a la fibra.

Para la Compresión Paralela a la fibra ($f_{c(p)}$) [13], se obtuvo un esfuerzo admisible de 16.20 MPa (ver Figura 15), encontrándose en el grupo A al ser el valor mayor a 14.50 MPa y con un módulo de elasticidad promedio (E_{prom}) de 10060.96 MPa y un módulo de elasticidad mínimo (E_{min}) de 6249.04 MPa [11].

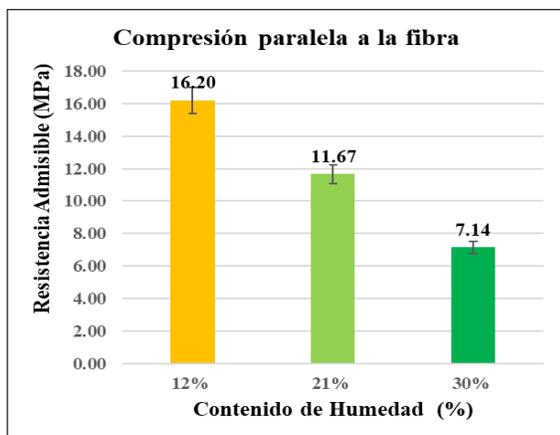


Figura 15. Diminución de la resistencia en el ensayo Compresión Paralela a la fibra

3.3. Compresión Perpendicular a la fibra

El comportamiento esfuerzo-deformación unitaria tiene una relación creciente positiva (Ver Figura 16). La resistencia esta caracterizada por el esfuerzo al límite proporcional, este varia entre 1/4 a 1/5 del esfuerzo al límite proporcional en compresion paralela [5] [9]

Las curvas de esfuerzo-deformación logradas en los ensayos de compresión presentan un comportamiento lineal, hasta el límite de elasticidad [6].

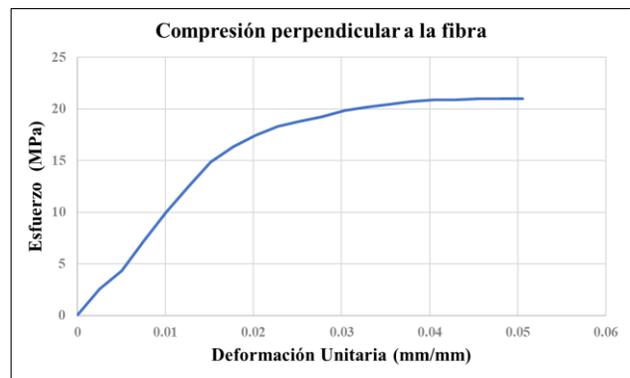


Figura 16. Grafica característica ensayo Compresión Perpendicular a la fibra.

Para la Compresión Perpendicular ($f_{c(t)}$), se obtuvo un esfuerzo admisible de 6.22 MPa encontrándose en el grupo A al ser el valor mayor a 4 MPa y con un módulo de elasticidad promedio (E_{prom}) de 992.70 MPa y un módulo de elasticidad mínimo (E_{min}) de 616.59 MPa [6].

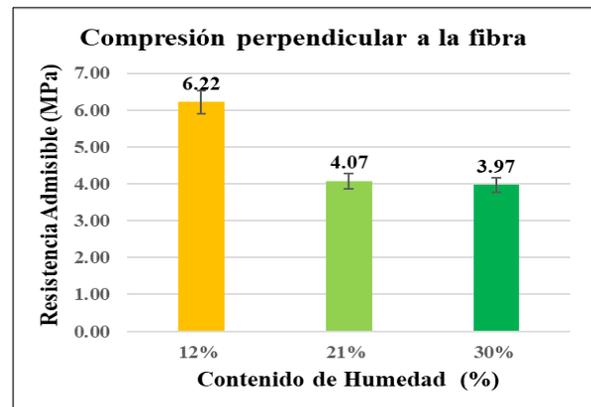


Figura 17. Diminución de la resistencia en el ensayo Compresión Perpendicular a la fibra.

3.4. Tracción paralela a la fibra

La resistencia a la tracción paralela en especímenes libres de defectos es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela a la fibra.

El valor típico que caracteriza este ensayo es el esfuerzo de rotura que varía entre 49.03 a 147.09 MPa [36]. Para efectos prácticos la resistencia a la tracción perpendicular es nula [4].

En la (Figura 18), la curva de esfuerzo-deformación en tracción es elástica hasta la rotura, adoptando la pendiente un ángulo de inclinación (β), [35].

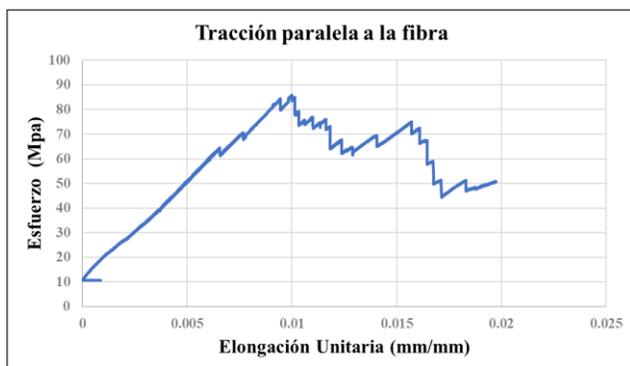


Figura 18. Gráfica característica ensayo tracción paralela a la fibra

La curva esfuerzo-deformación aumenta linealmente hasta llegar a la resistencia a la fluencia [25]. Para la Tracción Paralela a la fibra (f_t), se obtuvo un esfuerzo admisible de 10.94 MPa [35] (ver Figura 19) encontrándose en el grupo B al ser el límite de 10.50 MPa y con un módulo de elasticidad promedio (E_{prom}) de 9953.60 MPa y un módulo de elasticidad mínimo (E_{min}) de 6182.36 MPa [11].

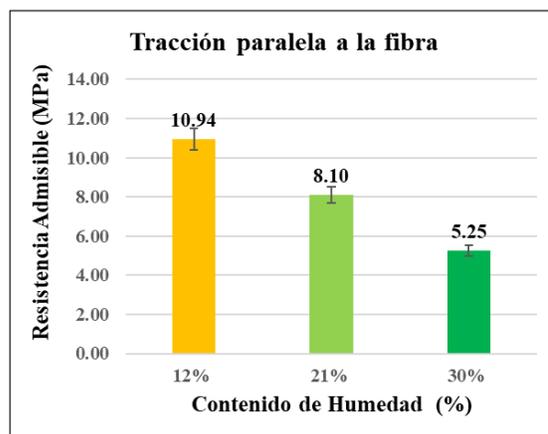


Figura 19. Diminución de la resistencia en el ensayo tracción paralelo

3.5. Corte paralelo a la fibra

El esfuerzo de rotura en probetas sometidas a corte paralelo varía entre 2.45 y 19.61 MPa en promedio [5]. En este ensayo se determinaron únicamente esfuerzos últimos, sin deformaciones, por ende, no se creó una gráfica característica corte paralelo a la fibra.

Para Corte Paralelo (f_v), se obtuvo un esfuerzo admisible de 5.47 MPa (ver Figura 20), encontrándose en el grupo A al ser el valor mayor a 1.50 MPa.

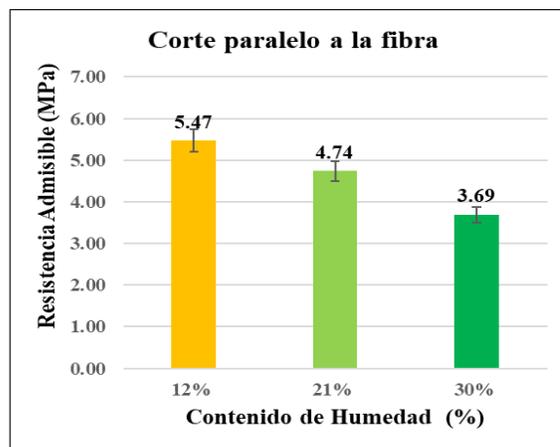


Figura 20. Diminución de la resistencia en el ensayo Corte Paralelo a la fibra

4. Conclusiones

La clasificación mediante propiedades mecánicas de resistencia según NEC SD MD [7], tanto de: flexión perpendicular a la fibra, compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra y de corte paralelo a la fibra dan a la EFAY en el grupo A, mientras que para la tracción paralela a la fibra la clasifican en el grupo B.

La investigación determina que, según la comparación de esfuerzos admisibles, este tipo de madera se clasifica en el grupo B, es decir, maderas de resistencia media establecida en la NEC- SE- MD.

Las propiedades mecánicas de resistencia de la EFAY demuestran, una relación inversamente proporcional al contenido de Humedad.

Con base en los resultados de clasificación de resistencia, la NEC- SE- MD hace referencia a la trabajabilidad, estableciendo que la EFAY presenta una trabajabilidad semidura.

Asimismo, de acuerdo con los resultados de clasificación de resistencia de la NEC- SE- MD en términos de calidad, se establece que la EFAY posee una calidad buena.

Se recomienda utilizar una máquina de compresión universal para los respectivos ensayos de las propiedades mecánicas en madera, en los laboratorios de ensayo de materiales de la carrera de ingeniería civil.

Referencias

- [1] Uquillas, J., Colonización y asentamientos espontáneos en la Amazonia ecuatoriana, Instituto Nacional de Colonización de la Región Amazonica Ecuatoriana p.31, 1981.
- [2] J. Clavijo y P. Yáñez, «Plantas Frecuentemente Utilizadas en Zonas Rurales de la Región Amazónica Centro Occidental de Ecuador,» *INNOVA Research Journal*, vol. 2, n° 6, pp. 9-21, 2017.
- [3] C. Cerón y C. Montalvo, «Reserva Biologica Limoncocha Formaciones Vegetales, Diversidad y Etnobotanica,» *Chinchonia*, vol. 1, n° 1, 2000.
- [4] D. Aldás, «"Análisis de las Propiedades Mecánicas, Tracción Paralela a la Fibra y Flexión Perpendicular a la Fibra de la Madera de Capulí, Proveniente de la Provincia de Tungurahua y su Factibilidad como Material Estructural de Acuerdo con la Norma Ecuatoriana de ",» Ambato, 2023.
- [5] JUNAC, Manual de Clasificación de Maderas Estructurales, vol. 2da, Perú: PADT-REFORT/JUNAC, 1984.
- [6] J. Lozano, «Determinación de los Esfuerzos últimos de la Guadua Angustifolia en la Región Andina de Colombia correlacionada con Variables del Clima,» Universidad Politécnica de Valencia, 2020.
- [7] NEC-SE-MD, «NEC-SE-MD Estructuras de Madera,» Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, Quito, 2015.
- [8] ASTM D 143, Standard Test Methods for small clear Specimens of Timber: ASTM, D143, 2000.
- [9] A. Muirragui, «"El Uso de la Guadua como Madera Alternativa para la Construcción y su Aplicación en la Elaboración de Tablas para Encofrado",» Escuela Superior Pelitécnica del Litoral, Guayaquil, 2004.

- [10] A. Martínez, R. I. Granda Castillo y J. D. Chimbo Alvarado, «Determinación de la madera más óptima comercializada en la ciudad de Riobamba, obteniendo sus propiedades físicas y mecánicas para la aplicación de la Norma NEC-SE-MD para diseño de elementos estructurales,» UNACH, 2016.
- [11] D. Aulestia, *NEC. Norma Ecuatoriana de la Construcción CÓDIGO NEC - SE - MD*, MIDUVI, 2014.
- [12] V. Baño y L. Moya, «Pliego de Condiciones Técnicas para la Madera Estructural en la Edificación en Uruguay,» Universidad Ort Uruguay, Uruguay, 2015.
- [13] M. Montero, «Clasificación de Madera Estructural de Gran Escuadría de Pinus Sylvestris L. Mediante Métodos no Destructivos,» Universidad Politécnica de Valencia, Madrid, 2013.
- [14] E. Morejón, X. Lara, E. Cabezas, D. Román y E. Salazar, «Propiedades Físicas Y Mecánicas De Tres Especies Forestales: Piptocoma Discolor (Kunth.) Pruski (Pigüe), Iriartea Deltoidea Ruiz & Pav. (Chonta) Y Pouteria Glomerata (Intachi),» *European Scientific Journa*, vol. 14, n° 24, pp. 295-310, agosto 2018.
- [15] J. Grijalva, F. Jara, V. Arévalo, A. Cerda y F. Guerra, «Iniciativa Comunitaria para la Conservación y Manejo Sostenible del Bosque de Comunidades Kichwas en la Subcuenca de los Rios Napo-Wambuino y Puni-Arajuno,» INIAP. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, 2008.
- [16] Google Earth, Imágenes de la Región Amazónica Ecuatoriana, Revisadas entre mayo a agosto 2014, 2014.
- [17] NTE INEN 1158, «Maderas. Selección y Colección de Muestras.,» 1984.
- [18] I. González, M. Cerón y L. Solís, «Esfuerzos Cortante y de Tensión Paralelos a la Fibra en Madera Tropical de Crecimiento Rápido,» *Artículo de Investigación*, vol. 8, n° 1, pp. 23-32, 2004.
- [19] C. Betancourt, J. Herrera y L. Mejía, «Estudio de las Propiedades Físicas y Mecánicas: Trabajabilidad y Secado de la Teca (Tecnona Grandis) de Puerto Libertador (Córdova),» 2000.
- [20] D. Osis, «"Determinación de las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera Eucalipto (Eucalypnus Globulus), Pino (Pinus Radiato) y Ciprés (Cipressus Hastitánica), para su Uso como Material Estructural y su Aplicación al Diseño de un Tijeral par y Nodillo, Abancay-" ,» 2022.
- [21] Blériot V. Feujofack Ka Pérdida de Cristiano b, «Campaña experimental sobre las propiedades mecanicas de madera canadiense Abeto y Pino,» 2023.

- [22] NTE INEN 1160, «Maderas. Determinación del Contenido de Humedad,» 2012.
- [23] R. Moya y G. González, «Esfuerzos admisibles de Diseño por Grado Estructural para Nueve Maderas de Plantación de Costa Rica,» *Forestal Mesoamericana Kurú*, 2014.
- [24] N. Vargas, «Caracterización Físico-Mecánica de las Fibras de la Palma de Chontaduro,» *Pontificia Universidade Catolica Do Rio De Janeiro*, 2015.
- [25] R. Budynas y K. Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, vol. 8, McGraw-Hill, 2008.
- [26] A. Cubillos, «Propiedades Mecánicas de la Madera de Chuchaca,» *Boletín de Semillas Ambientales*, p. 13, 2019.
- [27] J. Alvis y L. Cabas, «Propiedades Físico Mecánicas de la Madera de Uraco,» *Bioteología del Sector Agropecuario*, p. 11, 2017.
- [28] V. R. Ordóñez Candelaria y R. Dávalos Sotelo, «Ajuste de las propiedades mecánicas de la madera estructural por cambios del contenido de humedad,» *Maderas y Bosques*, 1996.
- [29] M. Triana, G. González y S. Paspur, «Estudio de las Propiedades Mecánicas de la Madera de Palosangre (*Brosimum Rubescens* Taub.),» *Revista Colombia Forestal*, 2008.
- [30] ASTM D 1990, «Prácticas estándar para establecimiento de propiedades permitidas para madera de dimensiones clasificadas visualmente de pruebas en grado de tamaño completo,» 2000.
- [31] ASTM 2555 «Práctica estándar para Establecimiento de Valores Claros de Resistencia de la Madera,» 2000.
- [32] T. Suirezs y G. Berger, «Descripciones de las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera,» *Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones*, 2010.
- [33] M. Juárez, «"Manejo de Propiedades Índice para Piezas Laminadas de Madera de Pino Obtenidas Experimentalmente",» México, 2012.
- [34] P. Mercado, «Caracterización Física y Mecánica de la Madera Cedro (*Cedrela Odorata* L.) Proveniente del Departamento de Córdoba Colombia,» Universidad de Córdoba, Montería, 2020.
- [35] V. Baño, R. Argüelles, R. Regueira y M. Guaita, «Determinación de la Curva Tensión-Deformación en Madera de *Pinus Sylvestris* L. para la Simulación Numérica de Vigas de Madera Libre de Defectos,» *Materiales de Construcción*, 2012.
- [36] E. Velasco, «Propuesta para la Comercialización Interna y Externa de Muebles Finos de Madera de la Empresa Maderfin S.A. de la ciudad de Quito,» UCE, 2012.