



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**  
**DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

---

**“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE SEIQUE (CEDRELINGA CATENAEFORMIS) PROVENIENTE DEL CANTÓN TENA PROVINCIA DE NAPO Y SU FACTIBILIDAD COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL DE ACUERDO CON LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN (NEC 2015)”**

---

**AUTOR:** José Andrés Acosta Naranjo

**TUTOR:** Ing. MSc. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre

**AMBATO - ECUADOR**

**Septiembre - 2023**

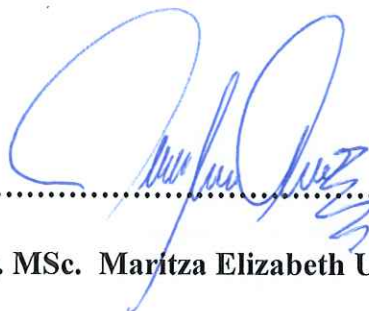
## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE SEIQUE (CEDRELINGA CATENAEFORMIS) PROVENIENTE DEL CANTÓN TENA PROVINCIA DE NAPO Y SU FACTIBILIDAD COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL DE ACUERDO CON LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN (NEC 2015)”**, elaborado por el señor José Andrés Acosta Naranjo, portador de cédula de ciudadanía C.I. 1804417671, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes
- Está concluido en su totalidad

Ambato, septiembre 2023




.....  
Ing. MSc. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre

**TUTORA**

## AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **José Andrés Acosta Naranjo**, con C.I. 180441767-1, declaro de todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE SEIQUE (CEDRELINGA CATENAEFORMIS) PROVENIENTE DEL CANTÓN TENA PROVINCIA DE NAPO Y SU FACTIBILIDAD COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL DE ACUERDO CON LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN (NEC 2015)”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencia bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2023

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke extending to the right. Below the signature is a horizontal dotted line.

**José Andrés Acosta Naranjo**

**C.I. 180441767-1**

**AUTOR**

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, septiembre 2023

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke extending to the right. The signature is positioned above a horizontal dotted line.

**José Andrés Acosta Naranjo**

**C.I. 180441767-1**

**AUTOR**

## APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante José Andrés Acosta Naranjo, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE SEIQUE (CEDRELINGA CATENAEFORMIS) PROVENIENTE DEL CANTÓN TENA PROVINCIA DE NAPO Y SU FACTIBILIDAD COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL DE ACUERDO CON LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN (NEC 2015)”**.

Ambato, septiembre 2023

Para constancia firman:



.....

Ing. Msc. Wladimir José Ramírez Cabrera

**MIEMBRO CALIFICADOR**



.....

Ing. MSc. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera

**MIEMBRO CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres, quienes dedicaron su tiempo, recursos y paciencia para que esto sea posible.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco las personas que me han acompañado en esta etapa de mi vida, familia, amigos, a mis mascotas que me enseñaron lo fugaz de la vida y el valor del tiempo; Además, agradezco a Lis que me ha acompañado en mi proceso de desarrollo personal.

De igual forma, agradezco a los docentes la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, que me brindaron conocimiento esencial para mi vida profesional como mi vida personal tanto como para lograr el desarrollo de este trabajo.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

### A. PÁGINAS PRELIMINARES

<b>APROBACIÓN DEL TUTOR .....</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....</b>	<b>iii</b>
<b>DERECHOS DE AUTOR.....</b>	<b>iv</b>
<b>APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO .....</b>	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS .....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xiv</b>
<b>CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes Investigativos .....	1
1.2 Justificación.....	5
1.3 Objetivos .....	6
1.3.1. Objetivo general: .....	6
1.3.2 Objetivos específicos: .....	6
<b>CAPITULO II.- METODOLOGÍA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Equipos y materiales .....	7
2.2 Métodos.....	10
Fase 1: Búsqueda de Centros de comercialización u origen .....	11
Fase 2: Elaboración de probetas.....	15
Fase 3: Ensayos de laboratorio.....	17
Fase 4: Elaboración de tabla resumen y actualización de la base de datos .....	24
<b>CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>25</b>
3.1 Análisis y discusión de los resultados. ....	25
Fase 1: Identificación de lugares de comercialización.....	25
Fase 2: Elaboración de probetas.....	26
Fase 3: Ensayos de laboratorio.....	28
Contenido de humedad y densidad seca al aire.....	28
Tracción paralela a la fibra.....	31
Compresión paralela a la fibra .....	38



Flexión estática.....	46
Fase 4: Elaboración de tablas resumen y actualización de la base de datos .....	53
3.2 Verificación de hipótesis .....	57
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	58
4.1 Conclusiones .....	58
4.2 Recomendaciones.....	61
BIBLIOGRAFÍA .....	62
ANEXOS .....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Fig. 1.</b>	Mapa de Tena.....	11
<b>Fig. 2.</b>	Aserradero “SORIA”.....	12
<b>Fig. 3.</b>	Aserradero “MADERAS & CONSTRUCCIONES” .....	12
<b>Fig. 4.</b>	Mapa de Ambato, sector Terremoto .....	13
<b>Fig. 5.</b>	Aserradero SN .....	13
<b>Fig. 6.</b>	Aserradero Sr. Héctor Mejía.....	14
<b>Fig. 7.</b>	Proceso de realización de probetas.....	15
<b>Fig. 8.</b>	Realización de probetas de tracción paralela.....	16
<b>Fig. 9.</b>	Mordazas usadas en ensayo de tracción paralela .....	17
<b>Fig. 10.</b>	Ensayo de compresión paralela a la fibra .....	18
<b>Fig. 11.</b>	Ensayo de flexión estática.....	19
<b>Fig. 12.</b>	Aserradero 2 (AU) .....	20
<b>Fig. 13.</b>	Cuadro de experimentos de la muestra T2 “Aserradero maderas y construcciones” .....	26
<b>Fig. 14.</b>	Cuadro de experimentos de la muestra AR “Aserradero propiedad SR. Héctor Mejía”.....	26
<b>Fig. 15.</b>	Cuadro de experimentos de la muestra AU “Aserradero SN” .....	27
<b>Fig. 16.</b>	Cuadro de experimentos de la muestra T1 “Aserradero SORIA” .....	27
<b>Fig. 17.</b>	Gráfica fuerza vs desplazamiento - tracción paralela a la fibra de la muestra T232	
<b>Fig. 18.</b>	Gráfica fuerza vs desplazamiento - tracción paralela a la fibra de la muestra AR.....	32
<b>Fig. 19.</b>	Gráfica fuerza vs desplazamiento - tracción paralela a la fibra de la muestra AU .....	33
<b>Fig. 20.</b>	Gráfica fuerza vs desplazamiento - tracción paralela a la fibra de la muestra T134	
<b>Fig. 21.</b>	Gráfica de fuerza de rotura - tracción paralela a la fibra de la muestra T2	35
<b>Fig. 22.</b>	Gráfica de esfuerzos de rotura - tracción paralela a la fibra de la muestra T2	35
<b>Fig. 23.</b>	Esfuerzos de rotura promedio - tracción paralela a la fibra de las muestras T2, AR, AU y T1 .....	36
<b>Fig. 24.</b>	Grafica de esfuerzos admisibles promedio – tracción paralela de las muestras T2, AR, AU y T1 .....	37
<b>Fig. 25.</b>	Módulos de elasticidad promedio - tracción paralela de las muestras T2, AR, AU y T1 .....	38

<b>Fig. 26.</b>	Gráfica fuerza vs desplazamiento - compresión paralela a la fibra de la muestra T239	
<b>Fig. 27.</b>	Gafica fuerza vs desplazamiento - compresión paralela a la fibra de la muestra AR.....	40
<b>Fig. 28.</b>	Gráfica fuerza vs desplazamiento - compresión paralela a la fibra de la muestra AU .....	40
<b>Fig. 29.</b>	Gráfica fuerza vs desplazamiento - compresión paralela a la fibra de la muestra T141	
<b>Fig. 30.</b>	Gráfica de fuerza de rotura - compresión paralela a la fibra de la muestra T2	42
<b>Fig. 31.</b>	Gráfica de esfuerzos de rotura - compresión paralela a la fibra de la muestra T242	
<b>Fig. 32.</b>	Gráfica de esfuerzos de rotura promedio - compresión paralela de las muestras T2, AR, AU y T1 .....	43
<b>Fig. 33.</b>	Gráfica de esfuerzos admisibles promedio - compresión paralela de las muestras T2, AR, AU y T1 .....	44
<b>Fig. 34.</b>	Módulos de elasticidad promedio - compresión paralela de las muestras T2, AR, AU y T1 .....	45
<b>Fig. 35.</b>	Probeta AU4 en ensayo de compresión paralela.....	45
<b>Fig. 36.</b>	Gráfica Fuerza vs desplazamiento -flexión estática de la muestra T2.....	46
<b>Fig. 37.</b>	Falla probeta AU3 .....	47
<b>Fig. 38.</b>	Gráfica Fuerza vs desplazamiento - flexión estática de la muestra AR...	48
<b>Fig. 39.</b>	Gráfica Fuerza vs desplazamiento - flexión estática de la muestra AU...	48
<b>Fig. 40.</b>	Gráfica Fuerza vs desplazamiento - flexión estática de la muestra T1 ....	49
<b>Fig. 41.</b>	Gráfica de fuerzas de rotura – flexión estática de la muestra T2.....	50
<b>Fig. 42.</b>	Gráfica de esfuerzos de rotura – flexión estática de la muestra T2 .....	50
<b>Fig. 43.</b>	Grafica de esfuerzos de rotura promedio – flexión estática de las muestras T2, AR, AU y T1 .....	51
<b>Fig. 44.</b>	Gráfica de esfuerzos admisibles promedio – flexión estática de las muestras T2, AR, AU y T1 .....	51
<b>Fig. 45.</b>	Módulos de elasticidad promedio – flexión estática de las muestras T2, AR, AU y T1 .....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Factores de reducción recomendados [17] .....	23
<b>Tabla 2.</b> COORDENADAS GEOGRÁFICAS UTM DE PUNTOS DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS (CEDRELINGA CATENAEFORMIS).....	25
<b>Tabla 3.</b> CUADRO DE EXPERIMENTOS PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN, COMPRESIÓN Y FLEXIÓN. ....	27
<b>Tabla 4.</b> TABLA DE CONTENIDOS DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA AL AIRE – PRUEBA DE COMPRESIÓN.....	29
<b>Tabla 5.</b> TABLA DE CONTENIDOS DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA AL AIRE – PRUEBA DE FLEXIÓN ESTÁTICA .....	30
<b>Tabla 6.</b> MÓDULOS DE ELASTICIDAD PARA CADA GRUPO ESTRUCTURAL [14].....	53
<b>Tabla 7.</b> ESFUERZOS ADMISIBLES PARA CADA GRUPO ESTRUCTURAL [14] .....	53
<b>Tabla 8.</b> RESUMEN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE SEIQUE (CEDRELINGA CATENAEFORMIS) – TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA..	54
<b>Tabla 9.</b> RESUMEN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE SEIQUE (CEDRELINGA CATENAEFORMIS) – COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA. ....	55
<b>Tabla 10.</b> RESUMEN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE SEIQUE (CEDRELINGA CATENAEFORMIS) – FLEXIÓN ESTÁTICA .....	56

## RESUMEN EJECUTIVO

La industria de la construcción tiene un papel clave en la sostenibilidad global debido a su alta demanda de recursos y emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, el uso de materiales como el bambú y la madera de bosques sostenibles pueden contribuir positivamente al almacenamiento de CO<sub>2</sub> durante su crecimiento, contrarrestando sus emisiones durante la producción.

La investigación analizó las propiedades físicas y mecánicas de la especie maderable *Cedrelinga Catenaeformis* de la región amazónica del Ecuador, y su idoneidad como material estructural según la NEC 2015. Se recolectaron muestras provenientes del cantón Tena en 4 puntos de comercialización, se realizaron ensayos de laboratorio de acuerdo con la normativa ASTM D 143-14, que permitieron determinar los esfuerzos máximos y el módulo de elasticidad a flexión estática, tracción y compresión paralela a la fibra de cada muestra.

Al realizar esta investigación se pudo obtener valores de módulo de elasticidad de tracción paralela máximos de 17 603.29 MPa, compresión paralela de 4459.86 MPa, flexión estática de 10 723 MPa, Así como esfuerzos admisibles máximos para tracción paralela de 46.23 MPa, compresión paralela de 15.93 MPa y de flexión estática de 30.23 MPa de la madera Seique, se pudo comparar con los requerimientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015 capítulo 8) determinando que es considerada como una especie maderable apta para usarse como un elemento estructural con ciertas limitaciones. Con esto se pudo crear una tabla resumen de las características físicas y mecánicas que serviría como guía para el diseño de estructuras de madera en el Ecuador.

**Palabras claves:** Seique (*Cedrelinga Catenaeformis*), NEC 2015, Madera estructural, Tracción, compresión, Flexión.

## ABSTRACT

The construction industry has a key role in global sustainability due to its high demand for resources and CO<sub>2</sub> emissions. However, the use of materials such as bamboo and wood from sustainable forests can positively contribute to the storage of CO<sub>2</sub> during its growth, offsetting its emissions during production.

The research analyzed the physical and mechanical properties of the timber species *Cedrelinga Catenaeformis* from the Amazon region of Ecuador, and its suitability as a structural material according to the NEC 2015. Samples from the Tena canton were collected at 4 commercialization points, laboratory tests were carried out in accordance with the ASTM D 143-14 standard, which allowed determining the maximum stresses and the modulus of elasticity to static bending, traction and compression parallel to the fiber of each sample.

When carrying out this investigation, it was possible to obtain maximum values of modulus of elasticity of tension parallel to grain of 17,603.29 MPa, compression parallel to grain of 4,459.86 MPa, static bending of 10,723 MPa, as well as maximum admissible stresses for tension parallel to grain of 46.23 MPa, compression parallel to grain of 15.93 MPa and static bending of 30.23 MPa of Seique wood, could be compared with the requirements of the Ecuadorian Construction Standard (NEC 2015 chapter 8) determining that it is considered a timber species suitable for use as a structural element with certain limitations. . With this, it was possible to create a summary table of the physical and mechanical characteristics that would serve as a guide for the design of wooden structures in Ecuador.

**Keywords:** Seique (*Cedrelinga Cateniformis*), NEC 2015, Structural wood, tension parallel to the grain, compression parallel to the grain, static bending.

## CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes Investigativos

Los investigadores PREDESUR en el año 1979 en su monografía llamada “Estudio tecnológico de propiedades y usos de 64 especies maderables del sur ecuatoriano” mencionan valores de propiedades mecánicas del Seique en el Ecuador. El estudio se realizó con muestras tomadas en la Provincia de Zamora Chinchipe mostrando valores de MOR en Flexión estática de 698 Kg/cm<sup>2</sup>, Un ELP de 328 Kg/cm<sup>2</sup>, MOE de 90 t/cm<sup>2</sup>. Un valor de 333 Kg/cm<sup>2</sup> en compresión paralela y un valor de 41 Kg/cm<sup>2</sup> en compresión perpendicular. Así como Una densidad en verde de 0.75-0.95 g/cm<sup>3</sup>, seca al aire de 0.38-0.52 g/cm<sup>3</sup> y básica de 0.37-0.42 g/cm<sup>3</sup>. [1]

También se tiene información en libros estadounidenses “Wood Handbook - Wood as an Engineering Material” acerca de madera como material de ingeniería desde 1999: El “Tornillo” en Perú o “Seique” En Ecuador es un árbol que puede alcanzar alturas de hasta 52,5 metros con diámetros de tronco de 1,5 a 3 metros. En Perú, los árboles suelen tener diámetros más pequeños y alturas comerciales de 15 metros o más. La madera presenta un duramen de color marrón pálido con un brillo dorado y líneas de vasos rojos prominentes, que se fusiona gradualmente con la albura de tono más claro. Tiene una textura gruesa. La densidad promedio del material seco al aire es de 640 kg/m<sup>3</sup> en Brasil y aproximadamente 480 kg/m<sup>3</sup> en el stock peruano. En términos de fuerza, la madera de Tornillo (Seique) es comparable al olmo americano. Es fácil de cortar y puede ser terminada sin problemas, aunque las áreas de madera tensa pueden dar lugar a superficies lanosas. El duramen es bastante duradero y muestra buena resistencia a la intemperie. [2]

En la (Centennial Edition) del mismo libro publicado en el 2010 acerca de la madera como material de ingeniería, menciona en su tabla "Propiedades mecánicas de algunas maderas importadas a los Estados Unidos que no sean importaciones canadienses" la madera de Cedrelinga Catenaeformis con contenido de humedad verde presenta una

densidad de 0.45 g/cm<sup>3</sup>, un módulo de ruptura por flexión estática de 57900 kPa (590.4 Kg/cm<sup>2</sup>), una compresión paralela al grano de 28300 kPa (288.6 Kg/cm<sup>2</sup>), un cortante paralelo al grano de 8100 kPa (82.6 Kg/cm<sup>2</sup>), con espacios vacíos en los valores de módulo de elasticidad para flexión estática y trabajo a carga máxima para flexión estática. En cambio, para un valor de contenido de humedad del 12% no existe ninguno de estos valores.[3]

En el 2011 se publica un artículo “Propiedades físico-mecánicas de las maderas de Simarouba amara (Aubl.) y Cedrelinga catenaeformis (Ducke) de plantaciones de diferentes edades, San Juan Bautista, Loreto, Perú” se concluye que la madera de Cedrelinga catenaeformis de 20 a 25 años muestra una densidad básica de 473 kg/m<sup>3</sup>, un módulo de elasticidad en flexión estática de 388 kg/cm<sup>2</sup> y un momento de ruptura en flexión estática de 744 kg/cm<sup>2</sup>. Las propiedades físico-mecánicas de la madera de plantaciones a partir de los 20 años son similares a las de la madera de bosque natural. La edad de la madera tiene una relación directa con sus propiedades físicas y mecánicas, lo que significa que, a mayor edad, se observa una mayor densidad y valores más altos en flexión estática, compresión paralela y compresión perpendicular. [4]

El 2015, en el estudio “Caracterización de las propiedades físico-mecánicas de especies, Pino (*Pinus patula*) y Tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) provenientes del Perú utilizando técnicas no destructivas” se determinan valores de esfuerzo al límite proporcional de 35 MPa, módulo de ruptura de 58 MPa, módulo de elasticidad de 8268 MPa en ensayos de flexión estática con una humedad del 12%. Valores de 22 MPa en su límite proporcional longitudinal, Un módulo de ruptura longitudinal de 30 MPa y un módulo de elasticidad longitudinal de 10404 MPa en ensayos de compresión con una humedad del 17%. [5]

En un trabajo de tesis publicado el 2017 por Becalla James acerca de las características estructurales de las especies maderables se concluyó que las propiedades estructurales relevantes para el diseño resistente en una armadura utilizando la madera *Cedrelinga catenaeformis* son las siguientes: en cuanto a las propiedades físicas, se observa un contenido de humedad de 72.861% y una densidad básica de 0.491 gr/cm<sup>3</sup>. En



términos de las propiedades mecánicas, se registra un módulo de elasticidad de 57329 Kg/cm<sup>2</sup>, una resistencia a la compresión paralela a las fibras de 80 Kg/cm<sup>2</sup>, una resistencia a la compresión perpendicular a las fibras de 26 Kg/cm<sup>2</sup>, una resistencia a la tracción paralela a las fibras de 96 Kg/cm<sup>2</sup>, una resistencia a la flexión estática de 102 Kg/cm<sup>2</sup> y una resistencia al corte paralelo a las fibras de 17 Kg/cm<sup>2</sup>[6]

En una publicación realizada en el año 2018 por en la revista forestal venezolana se determinó un valor medio de módulo de elasticidad de 82417,60 kg/cm<sup>2</sup> para 2 árboles de una edad aproximada de 17 años con un método destructivo. Se tomo esta muestra del Área Piloto de la Estación Experimental Alexander Von Humboldt del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Esta área está situada en Perú, en el distrito de Irazola, provincia de Padre Abad, en la región de Ucayali, a una altitud de 225 metros sobre el nivel del mar.[7]

En ese mismo año se describen los resultados de compresión paralela a la fibra donde presenta una resistencia de 262,98 kg/cm<sup>2</sup> con un esfuerzo máximo de 25.8 MPa. En los ensayos de compresión perpendicular a la fibra se presentó un valor máximo de deformación unitaria de 0,142 y un esfuerzo de compresión de 8,52 MPa. En los ensayos de resistencia a tracción se determinaron valores de 52,56 kg/cm<sup>2</sup>. [8]

En la investigación titulada “Influence of moisture content on physical and mechanical properties of *Cedrelinga catenaeformis* wood” en el año 2021 se determinaron valores experimentales de módulo de elasticidad convencional en ensayo de flexión estática de 10228 MPa, módulo de elasticidad en compresión paralelo a las fibras de 10522 MPa, módulo de elasticidad en tracción paralela a las fibras de 11118 MPa, resistencia convencional en ensayo de flexión estática de 61.13 MPa, resistencia a la tracción paralela a las fibras de 62.73 MPa, resistencia a la tracción perpendicular a las fibras de 3.03 MPa, resistencia a la compresión paralela a las fibras de 42.23 MPa para un contenido de humedad del 12%. [9]

En el 2022 un estudio llamado “Propiedades mecánicas y aptitud de uso de la madera *Cedrelinga catenaeformis* (tornillo) con 15 años proveniente de un sistema agroforestal con *Theobroma cacao*” se obtuvo valores promedios en el nivel de corte medio de ELP

de 316,6 kg/cm<sup>2</sup>, MOR de 405,24 kg/cm<sup>2</sup>, y MOE de 49 990 kg/cm<sup>2</sup> en ensayos de flexión estática. Valores de ELP de 194 kg/cm<sup>2</sup>, RM de 218.16 kg/cm<sup>2</sup>, y MOE de 30 950 kg/cm<sup>2</sup> en ensayos de Compresión paralela y ELP de 74,4 kg/cm<sup>2</sup>. [10]

Los elementos constitutivos de la madera, como la lignina y la celulosa, presentan un comportamiento análogo a los componentes del hormigón armado. La lignina cumple un rol similar al del hormigón al exhibir una excelente capacidad de resistencia a la compresión, mientras que la celulosa se asemeja al acero gracias a su capacidad de resistencia a la tracción.[11]

Con lo que respecta a estudios en Ecuador no existen muchos más estudios acerca de esta especie maderable como tal, en el 2021 el estudio “Determination of Physical and Mechanical Properties of Three-layer Boards of Teak (*Tectona grandis*), Seike (*Cedrelinga catenaeformis*) and Mascarey (*Hieronima alchorneoides*), CoMPany PISMADE S.A., Riobamba cantón, Chimborazo Province” obtiene resultados de los ensayos realizados indican que las probetas de Tableros Tricapa de Seike (*C. catenaeformis*) presentan valores de 286,5 kg/cm<sup>2</sup> y 305 kg/cm<sup>2</sup> en resistencia en compresión perpendicular y flexión, respectivamente, así como un módulo de elasticidad de 15.767,67 kg/cm<sup>2</sup> y 1111,27 kg/cm<sup>2</sup>. También se observó un comportamiento regular en el ensayo de compresión paralela con 98,33 kg/cm<sup>2</sup> y una densidad media de 0,63 g/cm<sup>3</sup>. [12]

## **1.2 Justificación**

En comparación con otros materiales de construcción como el hormigón y el acero, la madera muestra una mejor respuesta a los esfuerzos aplicados y pesa menos de la mitad en elementos de dimensiones iguales. A pesar de ser inflamable, las estructuras de madera tienen un mejor rendimiento frente al fuego en comparación con las de acero o hormigón. Además, el uso de la madera conlleva un ahorro energético, ya que su producción se basa en la energía solar. Para producir una tonelada de madera se requiere 7 veces menos energía que para producir la misma cantidad de acero y 40 veces menos que para el aluminio. [13]

La madera se obtiene de los recursos forestales, tanto de bosques nativos como de plantaciones forestales. Si se maneja de manera sostenible, la madera es un recurso renovable. Sin embargo, si no se utiliza de manera responsable, este recurso puede degradarse e incluso extinguirse. Es importante destacar que en los bosques primarios se encuentran numerosas especies forestales que tienen potencial para ser utilizadas como madera, pero solo un número limitado de ellas ha sido estudiado y se dispone de información que puede ser aprovechada por la industria de la construcción. [14]

En Ecuador, se evidencian dificultades para que un importante grupo de pequeños propietarios acceda a la explotación legal de madera. Esto se debe a que cumplir con los requisitos establecidos por las normativas es difícil o en algunos casos no se consideran todas las situaciones para la extracción de madera. Por lo tanto, es necesario implementar mecanismos que permitan a estas personas ingresar al ámbito legal, la tala de árboles frutales, la extracción de pequeños volúmenes de madera para uso doméstico y construcción de viviendas, así como la producción de leña y carbón a partir de residuos, etc. [15]

El cuidado de la madera requiere satisfacer sus necesidades y es necesario contar con ingeniería y desarrollo tecnológico en este campo. Como resultado, es importante contar con un método eficiente para agilizar y optimizar el uso de la madera, especialmente en la construcción de estructuras, sin perder de vista los requisitos

constructivos. Por lo tanto, es fundamental disponer de datos sobre las características de la madera, en particular, sus propiedades físicas y mecánicas. [16]

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general:**

Determinar las propiedades físicas y mecánicas estructurales de la madera de Seique producida en las 4 parroquias del cantón Tena, provincia de Napo.

#### **1.3.2 Objetivos específicos:**

- Identificar los Lugares de origen y/o comercialización de la madera de Seique en la parroquia urbana Tena y las parroquias rurales: Misahualli, Puerto Napo y Chonta punta.
- Elaborar 7 probetas de madera de Seique por parroquia, provenientes del cantón Tena provincia de Napo de acuerdo con la Norma ASTM (American Society for Testing and Materials) D 143-94.
- Determinar mediante ensayos los valores de Contenido de humedad, módulo de elasticidad, Resistencia a la flexión y Resistencia a tracción, de la madera de Seique proveniente de las 4 parroquias del cantón Tena provincia de Napo.
- Realizar una tabla resumen de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de Seique ensayadas provenientes de las 4 parroquias del cantón Tena provincia de Napo.
- Actualizar la base de datos de las propiedades estructurales de la madera de Seique proveniente de 4 parroquias del cantón Tena provincia de Napo en las instalaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

## CAPITULO II.- METODOLOGÍA

### 2.1 Equipos y materiales

#### Materiales

Los materiales usados en el presente trabajo de investigación fueron:

- Probetas para ensayos a flexión.



- Probetas para ensayos a tracción.



- Probetas para ensayos a Compresión.



### **Equipo**

La fase de la investigación en la que se usó cada uno de los equipos y materiales a largo del trabajo experimental se detallada en su descripción.

### **Máquina de ensayo de compresión de hormigón**

- Fase de uso: Fase 2 (Ensayos de laboratorio)
- Marca: SHIMADZU
- Modelo: Concreto 2000X
- Capacidad máxima de carga: 40 - 2000 kN
- Método de control: Tipo de servo hidráulico



### **Maquina universal de ensayos**

- Fase de uso: Fase 2 (Ensayos de laboratorio)
- Marca: Shimadzu
- Modelo: Autograph AGS-X Series
- Capacidad máxima de carga: 50 kN
- Rango de velocidad: 0.001 – 800 mm/min

Imagen:



### **Balanza electrónica**

- Fase de uso: Fase 2 (Ensayos de laboratorio)
- Marca: Shimadzu
- Modelo: TX3202L PLATFORM BALANCE
- Precisión: 0.01 g

Imagen:



### **Horno eléctrico**

Fase de uso: Fase 2 (Ensayos de laboratorio)

Marca: Desconocida

Modelo: Desconocido

Ubicación: Laboratorio de suelos, FICM, Universidad Técnica de Ambato

### **Herramientas principales:**

#### **Calibrador pie de rey**

Fase de uso: Fases 1 (Preliminar) y 2 (Ensayos de laboratorio)

Marca:

Modelo:

#### **Flexómetro**

Fase de uso: Fases 1 (Preliminar) y 2 (Ensayos de laboratorio)

Marca: Truper

Modelo:

#### **Software Excel**

Fase de uso: Fases 2 (Ensayos de laboratorio) y 3 (Análisis y discusión de resultados)

## **2.2 Métodos**

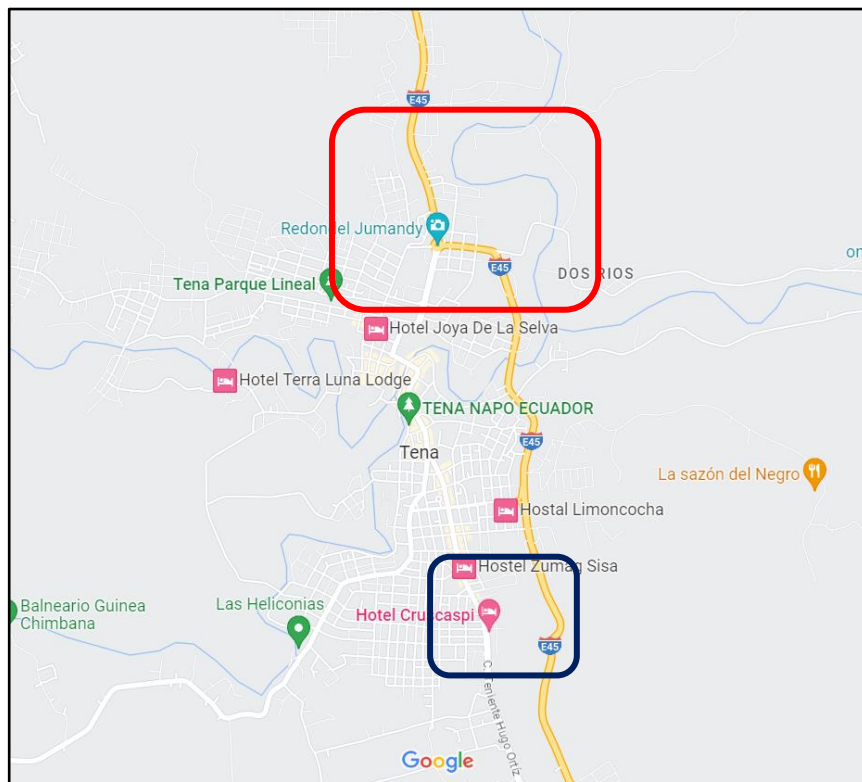
Esta investigación se llevó a cabo en tres fases claramente diferenciadas, cada una de las cuales se enfocó en abordar los cinco objetivos específicos establecidos para el estudio. A continuación, se detallan las etapas que se siguieron para llevar a cabo este proceso.



## Fase 1: Búsqueda de Centros de comercialización u origen

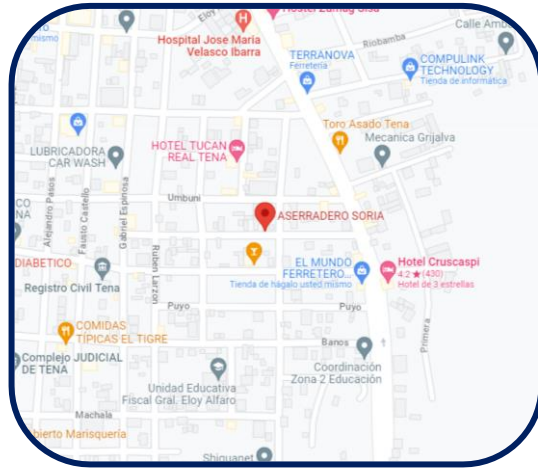
**Tipo de investigación:** Documental y de campo.

En el proceso de identificación de 4 lugares de comercialización de la madera de Cedrelinga Catenaeformis provenientes del cantón Tena, se siguieron una serie de pasos. En primer lugar, se realizó una exhaustiva búsqueda en internet acerca de la distribución de esta especie. Se recopilaron datos sobre las regiones donde suele encontrarse y se identificaron posibles áreas de interés en el cantón Tena.



**Fig. 1.** Mapa de Tena  
**Fuente:** Google Maps

Posteriormente, se llevó a cabo una búsqueda específica en internet acerca de los aserraderos ubicados en el cantón Tena. Se recopilaron datos sobre los diferentes aserraderos existentes en la zona y se evaluaron aquellos que podrían estar comercializando la madera de Cedrelinga catenaeformis.



**Fig. 2.** Aserradero “SORIA”  
**Fuente:** Google Maps

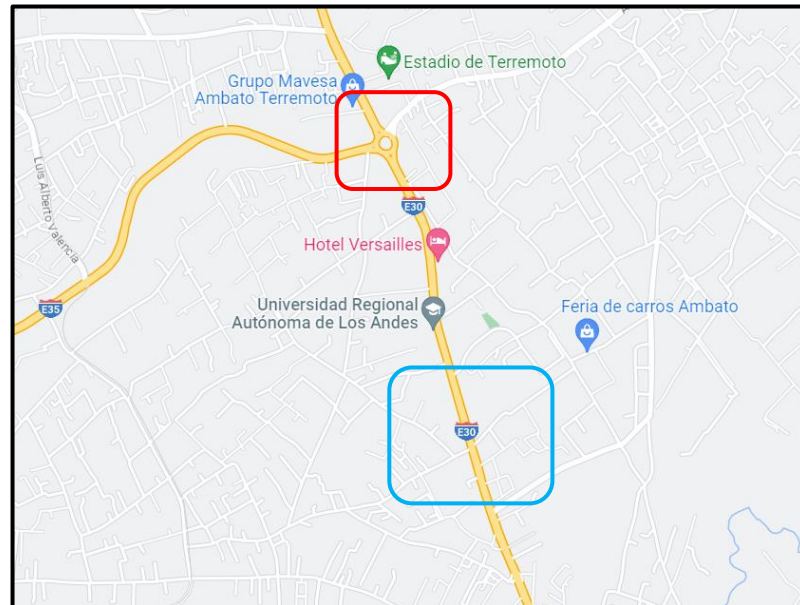
Una vez recopilada la información necesaria, se procedió a realizar un viaje al cantón Tena. Durante este viaje, se visitaron los centros de comercialización previamente identificados en la investigación. Dos de los establecimientos visitados fueron el "Aserradero SORIA" (Fig. 2) y "Aserradero MADERAS Y CONSTRUCCIONES" (Fig. 3). Estos centros fueron seleccionados debido a su reputación en el mercado local y su presunta oferta de madera.



**Fig. 3.** Aserradero “MADERAS & CONSTRUCCIONES”  
**Fuente:** Google Maps

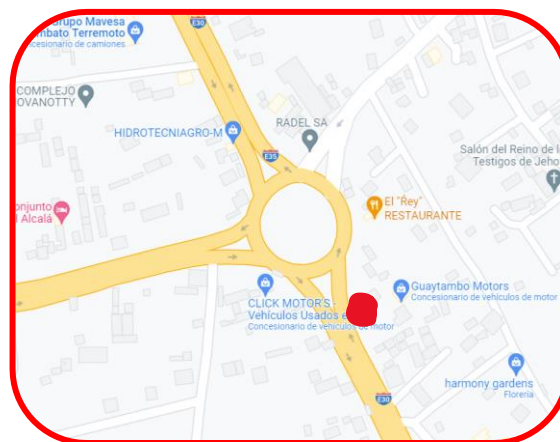
Durante las visitas a los establecimientos, se realizó la compra de tablones de madera de Cedrelinga catenaeformis secos al aire. Se adquirieron muestras representativas de

cada uno de los lugares de comercialización visitados para su posterior análisis y evaluación de las propiedades de la madera.



**Fig. 4.** Mapa de Ambato, sector Terremoto  
**Fuente:** Google Maps

Para obtener muestras de dos centros de comercialización de madera de *Cedrelinga catenaeformis* en Ambato, se llevó a cabo una investigación principalmente de campo. Inicialmente, se realizó una investigación para identificar los posibles centros de comercialización en el cantón Ambato que podrían ofrecer esta especie de madera. Esta información se obtuvo de carpinteros del Cantón.



**Fig. 5.** Aserradero SN  
**Fuente:** Google Maps



**Fig. 6.** Aserradero Sr. Héctor Mejía  
**Fuente:** Google Maps

En tanto a los tablonces de madera adquiridos tanto en Ambato como en Tena, se constató, según los vendedores, que se encontraban secos al aire. Sin embargo, los vendedores no proporcionaron información detallada sobre el stock de madera disponible para la distribución. Además, cabe destacar que las guías de transporte proporcionadas por los vendedores estaban en mal estado, algunas de ellas eran antiguas o presentaban signos de deterioro.

Otro aspecto importante es que los vendedores del cantón Tena mencionaron que los ejemplares de madera no fueron obtenidos directamente de productores. En cambio, se estableció un acuerdo con el Ministerio del Ambiente en el cual se buscaba un servicio por parte del aserradero. Específicamente, se trataba de trabajar la madera y devolverla para su utilización en construcciones cercanas, a cambio de recibir una porción de la madera incautada de origen ilegal.

## **Fase 2: Elaboración de probetas**

La investigación llevó a cabo un muestreo que consistió en la elaboración de 21 probetas de madera de Cedrelinga Catenaeformis por punto de adquisición. De estas probetas, 7 fueron destinadas para realizar el ensayo de flexión estática, otras 7 se emplearon para el ensayo de tracción paralela a la fibra, mientras que los 7 restantes se utilizaron en el ensayo de compresión paralela a la fibra. La elaboración de las probetas siguió las pautas establecidas por la normativa internacional ASTM D143-94. Las medidas se detallan en el ANEXO 1.



**Fig. 7.** Proceso de realización de probetas

**Fuente:** Autor

Un aspecto relevante a tener en cuenta fue la necesidad de realizar una modificación en las medidas establecidas por la norma ASTM D 143 debido a las limitaciones de la máquina universal de ensayos de la Universidad Técnica de Ambato. En particular, se encontró que la distancia máxima entre las mordazas de la máquina era de 20 mm, mientras que la sección de las probetas destinadas al ensayo de tracción tenía dimensiones de 25 x 25 mm. Esta situación solo se presentó en el ensayo de tracción. Por lo tanto, se procedió a adaptar las medidas de las probetas para asegurar la compatibilidad con los requisitos de la máquina de ensayos utilizada.



**Fig. 8.** Realización de probetas de tracción paralela  
**Fuente:** Autor

En cuanto a los ensayos de compresión y flexión estática, no se encontraron irregularidades significativas. Los ensayos se llevaron a cabo de acuerdo con las normas establecidas, siguiendo los procedimientos adecuados. No se observaron problemas o anomalías que pudieran comprometer la validez de los resultados obtenidos.

En todos los casos, las probetas fueron cuidadosamente dimensionadas y preparadas específicamente para el método secundario de ensayo. Esta elección se debió a que las dimensiones de la madera obtenida no cumplían con los requisitos del método primario de ensayo. La diferencia principal entre ambos métodos radicaba en la sección transversal de la probeta, siendo el método primario de 2 x 2 pulgadas, mientras que el secundario utilizaba una sección de 1 x 1 pulgadas, con variaciones en sus longitudes. El uso del método secundario permitió adaptar las dimensiones de las probetas a la madera disponible, asegurando así la realización adecuada de los ensayos y la obtención de resultados confiables para la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

### **Fase 3: Ensayos de laboratorio.**

**Tipo de investigación:** Experimental.

#### **Ensayo de tracción paralela a la fibra**

En primer lugar, se prepararon las probetas siguiendo las dimensiones y requisitos establecidos en la norma. Las probetas fueron cortadas con una sección transversal rectangular, asegurando que cumplieran con las dimensiones requeridas. A continuación, se acondicionaron las probetas antes del ensayo, siguiendo las condiciones ambientales establecidas en la norma.



**Fig. 9.** Mordazas usadas en ensayo de tracción paralela

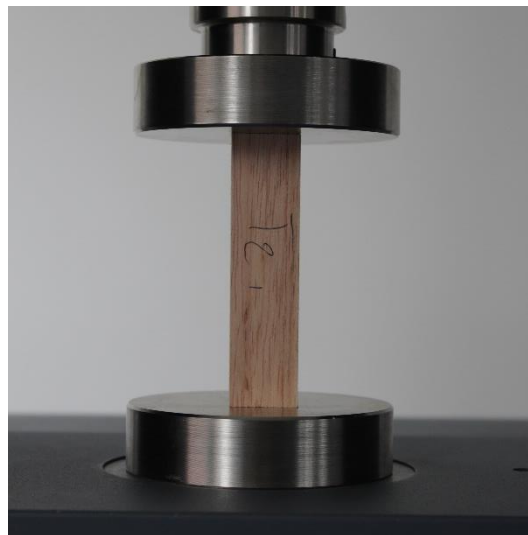
**Fuente:** Autor

Las probetas fueron montadas en la máquina de ensayos de tracción paralela a la fibra, asegurando una correcta alineación y utilizando las mordazas adecuadas, según lo indicado en la norma. Se verificó que las probetas estuvieran debidamente sujetas durante el ensayo. Se procedió a aplicar una carga de tracción gradual a una velocidad constante de 1mm/min, como se establece en la norma. La carga se incrementó hasta que las probetas se rompieron, registrando los datos de carga y deformación a lo largo del ensayo.

Durante el ensayo, se registraron automáticamente los datos de carga aplicada y deformación de las probetas. Estos datos se utilizaron posteriormente para calcular las propiedades mecánicas requeridas, como la resistencia a la tracción y la elasticidad, de acuerdo con los requisitos de la norma.

### **Ensayo de compresión paralelo a la fibra**

Las probetas de madera fueron preparadas siguiendo las especificaciones y dimensiones establecidas en la norma. Posteriormente, se procedió a montar las probetas en la máquina de ensayos, asegurando un correcto alineamiento y utilizando las mordazas adecuadas. Se aplicó una carga de compresión gradual a una velocidad constante, siguiendo las pautas establecidas en la norma. Durante el ensayo, se registraron cuidadosamente los datos de carga aplicada y deformación de las probetas, que posteriormente se utilizaron para calcular las propiedades mecánicas requeridas según los requisitos de la norma



**Fig. 10.** Ensayo de compresión paralela a la fibra  
**Fuente:** Autor

### **Ensayo de flexión estática**

El ensayo de flexión estática según la norma ASTM D143 consistió en una prueba mecánica realizada para determinar la resistencia y rigidez de las muestras de madera cuando se sometieron a fuerzas aplicadas en un plano perpendicular a la dirección de las fibras de la madera. Para llevar a cabo el ensayo, se utilizaron probetas rectangulares con dimensiones específicas según la norma ASTM D143.

Las muestras se colocaron horizontalmente sobre dos puntos de apoyo separados por una distancia determinada de 360 mm, luego se aplicó una fuerza en el centro de cada



muestra (Fig.11), generando una carga en el medio del largo de la probeta y en dirección perpendicular a las fibras. A medida que se aplicaba la carga, se midió el desplazamiento de las muestras y la fuerza aplicada.



**Fig. 11.** Ensayo de flexión estática  
**Fuente:** Autor

El ensayo de flexión estática permitió obtener información sobre la resistencia máxima de la madera antes de que se produjera la rotura, así como el comportamiento de las muestras en relación con la deformación a medida que se aumentaba la carga. Los resultados del ensayo se utilizaron para calcular el módulo de elasticidad, que es una medida de la rigidez de la madera. También se obtuvo información sobre el tipo de fractura y el comportamiento de la madera ante fuerzas de flexión.

La norma ASTM D143 estableció los procedimientos y requisitos específicos para llevar a cabo este ensayo, asegurando la precisión y consistencia de los resultados obtenidos en diferentes laboratorios y condiciones de prueba.

## Ensayos complementarios

### Contenido De humedad (CH) Densidad Seca al Aire (DSA)

La norma ASTM D 143-14 proporciona un método para determinar el contenido de humedad de una muestra de madera. A continuación, se describe el procedimiento según la norma:

**Preparación de la muestra:** Se selecciona una muestra representativa de madera y se la prepara para el ensayo. Esto puede incluir el corte de la muestra en dimensiones adecuadas y la eliminación de cualquier contaminante o capa superficial.

**Peso inicial:** Se registra el peso inicial de la muestra de madera utilizando una balanza de precisión. Este peso se utiliza como referencia para el cálculo del contenido de humedad.

**Secado de la muestra:** La muestra de madera se somete a un proceso de secado en un horno a una temperatura específica (generalmente alrededor de  $103 \pm 2$  °C) durante un tiempo determinado (generalmente 24 horas). El objetivo es eliminar toda la humedad presente en la muestra.

**Peso final:** Después del periodo de secado, se retira la muestra del horno y se deja enfriar en un desecador antes de pesarla nuevamente. Se registra el peso final de la muestra seca.



**Fig. 12.** Aserradero 2 (AU)

**Fuente:** Autor

Cálculo del contenido de humedad: Utilizando los pesos inicial y final de la muestra, se calcula el contenido de humedad de la siguiente manera:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = [(\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) / \text{Peso final}] \times 100$$

### **Densidad Seca al Aire (DSA)**

El cálculo de la densidad seca al aire de la madera fue realizado mediante un proceso paso a paso. En primer lugar, se seleccionó una muestra representativa de la madera que se iba a analizar. Se aseguró de que las probetas fueran lo más representativa posible del material en cuestión y que tuviera un tamaño y forma estandarizados para obtener resultados precisos.

Una vez obtenida las muestras, al estar seca al aire según los vendedores se procedió a medir su masa con una balanza de alta precisión. La masa seca al aire de la muestra (Msec) se expresó en gramos (g).

A continuación, se calculó el volumen de la muestra de madera. Se utilizaron métodos geométricos para medir las dimensiones de la muestra (longitud, ancho y espesor) y se aplicó la fórmula correspondiente para obtener el volumen en centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>).

Finalmente, se determinó la densidad seca al aire de la madera ( $\rho$ ) dividiendo la masa seca de la muestra (Msec) entre su volumen (V). El resultado se expresó en unidades de masa por unidad de volumen, como kilogramos por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>) o gramos por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>) como en el caso de la presente investigación.

$$\rho = \frac{Msec}{V}$$

## Fórmulas para el cálculo de Esfuerzos y Modulo de elasticidad

### Resistencia a la tracción y compresión

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

$\sigma_t$  = Resistencia a la traccion (Mpa)

$P_{max}$  = Carga maxima soportada en el especimen (N)

$A$  = Area de la sección transversal (mm)

### Módulo de elasticidad para ensayo a tracción y compresión

$$E_{axial} = \frac{\sigma_t}{\varepsilon}$$

$E_{axial}$  = Modulo de elasticidad (Mpa)

$\sigma_t$  = Carga aplicada en el limite proporcional (N)

$\varepsilon$  = Deformacion en el limite proporcional  $\left(\frac{mm}{mm}\right)$

### Módulo de ruptura para ensayo a flexión

$$SR = \frac{3 P_{max} L}{2 b d^2}$$

$SR$  = Modulo de ruptura (Mpa)

$P_{max}$  = Carga maxima soportada por el especimen (N)

$L$  = Distancia libre entre apoyos (mm)

$b$  = Ancho del especimen de flexion (mm)

$d$  = Profundidad del especimen de flexion

### Módulo de elasticidad aparente para ensayo a flexión

$$E_{app} = \frac{P'l^3}{4bd^3\Delta}$$

$E_{app}$  = Modulo de elasticidad aparente (Mpa)

$P'$  = Carga aplicada en el limite proporcional (N)

$l$  = Distancia libre entre apoyos ( mm)

$b$  = Ancho de expecimen de flexion ( mm)

$d$  = Profundidad del especimen de flexion ( mm)

$\Delta$  = Deflexion del especimen en el limite proporcional (mm)

### Esfuerzo admisible

$$E_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * E_{ult}$$

$E_{adm}$  = Esfuerzo admisible (Mpa)

$E_{ult}$  = Esfuerzo ultimo

F.C=Factor de reducción por calidad

F.T.=Factor de reducción por tamaño

F.S.=Factor de servicio y seguridad

F.D.C= Factor de duración de carga

Tabla 1. FACTORES DE REDUCCIÓN RECOMENDADOS [17]

	Tracción paralela	compresión paralela	Flexión
F.C.	0.8	0.8	0.8
F.T.	-	-	0.9
F.S.	2	1.6	2
F.D.C.	1.15	1.25	1.15

Fuente: Autor

#### **Fase 4: Elaboración de tabla resumen y actualización de la base de datos**

Antes de realizar los ensayos, las muestras se acondicionaron en un ambiente controlado para alcanzar un equilibrio de humedad. Se mantuvieron en condiciones estables de temperatura y humedad hasta que se alcanzó el contenido de humedad de equilibrio. Los datos obtenidos de los ensayos de resistencia se analizaron y compararon entre las muestras provenientes de los diferentes centros de adquisición. Se evaluaron las diferencias y similitudes en términos de resistencia.

Al seguir esta metodología, se pudo comparar de manera sistemática los resultados de resistencia en la madera de *Cedrelinga catenaeformis* proveniente de diferentes centros de adquisición, pero con un mismo lugar de origen y método de secado al aire. Esto permitió evaluar las posibles variaciones en la resistencia de la madera debido a factores asociados a los centros de adquisición.

### CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra y flexión estática, así como los resultados obtenidos en cada fase de la investigación

#### 3.1 Análisis y discusión de los resultados.

##### Fase 1: Identificación de lugares de comercialización.

Durante esta fase de la investigación, se logró identificar 4 lugares de comercialización de la especie, distribuidos entre la ciudad de Ambato y el cantón Tena. Sin embargo, solamente 3 establecimientos proporcionaron la guía de transporte correspondiente de años anteriores, la cual contenía información sobre los tablones de la especie requerida. Para registrar y organizar esta información, se elaboraron tablas con las coordenadas UTM (Tabla 2) y los enlaces URL (Anexos) de los centros de comercio, facilitando así su posterior análisis y referencia.

**Tabla 2.** COORDENADAS GEOGRÁFICAS UTM DE PUNTOS DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS (CEDRELINGA CATENAEFORMIS)

<b>DATOS DE GEORREFERENCIACIÓN COORDENADAS PROYECTADAS UTM CENTROS DE COMERCIALIZACIÓN</b>				
<b>CODIGO DE MUESTRA</b>	<b>Nombre del centro de comercialización</b>	<b>ZONA</b>	<b>NORTE m</b>	<b>ESTE m</b>
T2	Aserradero “Maderas y construcciones”	18 M	9892573	186874
AR	Aserradero SN	17 M	9857303	766495
AU	Aserradero Propiedad de Sr. Héctor Mejía	17 M	9856100	766815
T1	Aserradero “SORIA”	18 M	9888559	187143

Fuente: Autor

## Fase 2: Elaboración de probetas

Durante el desarrollo de esta investigación, se llevó a cabo la elaboración de un total de 84 probetas de madera de Seique, siguiendo rigurosamente las medidas establecidas en la norma ASTM D-143-14. De estas probetas, se destinaron 28 para ser sometidas al ensayo de Tracción, compresión, y flexión estática. Cada muestra, denominada como "T2", "AR", "AU" y "T1. Estas fueron codificadas y responden a sus respectivos cuadros de experimentos Fig 13, Fig. 14, Fig. 15, Fig.16.

	<b>Codigo de la muestra:</b>		<b>T2</b>	
	<b>Centro de</b>		Aserradero "Maderas y	
	<b>Ciudad de origen:</b>		Tena	
	<b>Ubicación centro de comercialización:</b>			
	<a href="https://goo.gl/maps/RJeujyKR6VR8n3bE9">https://goo.gl/maps/RJeujyKR6VR8n3bE9</a>			
	<b>Zona UTM:</b>	<b>Norte:</b>	<b>Este:</b>	
	18 M	9892573	186874	
<b>Dimensiones:</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	
		mm	mm	
	T (tracción)	460	25	
	C (compresión)	100	25	
	F (Flexión)	410	25	
Seccion central		5.8		9.8

Fig. 13. Cuadro de experimentos de la muestra T2 “Aserradero maderas y construcciones”

Fuente: Google Maps

	<b>Codigo de la muestra:</b>		<b>AR</b>	
	<b>Centro de</b>		Aserradero de Sr. Mejía	
	<b>Ciudad de origen:</b>		Tena	
	<b>Ubicación centro de comercialización:</b>			
	<a href="https://goo.gl/maps/h2kH1Ush9iXAb0Pw9">https://goo.gl/maps/h2kH1Ush9iXAb0Pw9</a>			
	<b>Zona UTM:</b>	<b>Norte:</b>	<b>Este:</b>	
	18 M	9857303	766495	
<b>Dimensiones:</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	
		mm	mm	
	T (tracción)	460	25	
	C (compresión)	100	25	
	F (Flexión)	410	25	
Seccion central		5.8		9.8

Fig. 14. Cuadro de experimentos de la muestra AR “Aserradero propiedad SR. Héctor Mejía”

Fuente: Google Maps



	<b>Codigo de la muestra:</b>	<b>AU</b>		
	<b>Centro de</b>	Aserradero SN		
	<b>Ciudad de origen:</b>	Tena		
	<b>Ubicación centro de comercialización:</b> <a href="https://goo.gl/maps/r4xW6H2fKWG2tvqC7">https://goo.gl/maps/r4xW6H2fKWG2tvqC7</a>			
	<b>Zona UTM:</b>	<b>Norte:</b>	<b>Este:</b>	
	18 M	9856100	766815	
<b>Dimensiones:</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	
		mm	mm	mm
	T (tracción)	460	25	25
	C (compresión)	100	25	25
	F (Flexión)	410	25	25
Seccion central		5.8	9.8	

**Fig. 15.** Cuadro de experimentos de la muestra AU “Aserradero SN”  
**Fuente:** Google Maps

	<b>Codigo de la muestra:</b>	<b>T1</b>		
	<b>Centro de</b>	Aserradero "SORIA"		
	<b>Ciudad de origen:</b>	Tena		
	<b>Ubicación centro de comercialización:</b> <a href="https://goo.gl/maps/9kfcsCSafDsSwq7SA">https://goo.gl/maps/9kfcsCSafDsSwq7SA</a>			
	<b>Zona UTM:</b>	<b>Norte:</b>	<b>Este:</b>	
	18 M	9888559	187143	
<b>Dimensiones:</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	
		mm	mm	mm
	T (tracción)	460	25	25
	C (compresión)	100	25	25
	F (Flexión)	410	25	25
Seccion central		5.8	9.8	

**Fig. 16.** Cuadro de experimentos de la muestra T1 “Aserradero SORIA”  
**Fuente:** Google Maps

Las probetas elaboradas responden al siguiente cuadro de experimentos de la tabla 3.

**Tabla 3.** CUADRO DE EXPERIMENTOS PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN, COMPRESIÓN Y FLEXIÓN.

<b>CADRO DE EXPERIMENTOS</b>					
<b>Ensayos:</b> (Norma ASTM D143-14)	<b>CÓDIGO</b>				<b>SUBTOTAL</b> (# probetas)
	<b>T2</b>	<b>AR</b>	<b>AU</b>	<b>T1</b>	
Tracción paralela a la fibra	7	7	7	7	28
Compresión paralela a la fibra	7	7	7	7	28
Flexión estática	7	7	7	7	28
<b>Total:</b>					<b>84</b>

### **Fase 3: Ensayos de laboratorio.**

Los ensayos de tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra y flexión estática jugaron un papel esencial en la investigación sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Cedrelinga catenaeformis* proveniente de la ciudad de Tena. Estos rigurosos ensayos fueron llevados a cabo con el objetivo de profundizar en el comportamiento y la resistencia de dicho material en diversas condiciones de carga. Los resultados obtenidos proporcionaron una valiosa comprensión de las capacidades de la madera en términos de su resistencia, permitiendo establecer comparaciones significativas entre las muestras adquiridas en diferentes centros de adquisición. A continuación, se presentan los resultados de cada ensayo, lo que pretende contribuir al conocimiento de la especie para el ámbito de la construcción y otras áreas de interés.

#### **Contenido de humedad y densidad seca al aire**

Para determinar los valores de contenido de humedad y densidad seca al aire de la madera, se optó por utilizar únicamente las probetas sometidas a compresión (tabla #) y flexión (tabla #), debido a que las probetas a tracción presentaban una forma irregular que dificultaba la medición precisa de su volumen. Al analizar los resultados, se pudo observar una disminución del contenido de humedad entre las pruebas de compresión y flexión realizadas con un intervalo de 10 días. Esta reducción en la humedad se estabilizó de valores de 21%, 21%, 22% y 29% para las muestras T2, AR, AU y T1 respectivamente para el ensayo a compresión paralela a un valor promedio cercano al 17% para todas las muestras en el ensayo a flexión.

Es relevante mencionar que el contenido de humedad promedio calculado es de aproximadamente 17% para todas las muestras, cercano al 16% de humedad de equilibrio, que es la humedad de equilibrio promedio anual para maderas según la normativa NEC 2015 en la ciudad de Ambato. Este valor es especialmente importante en el contexto de aplicaciones estructurales, ya que alcanzar la humedad de equilibrio ayuda a prevenir esfuerzos internos y, por ende, deformaciones en el material. Mantener la madera cerca de este punto óptimo de humedad es fundamental para asegurar su estabilidad y resistencia en proyectos de construcción y diseño estructural.

Tabla 4. TABLA DE CONTENIDOS DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA AL AIRE – PRUEBA DE COMPRESIÓN

Compresión paralela a la fibra						
Dimensiones (cm):			2.5 x 2.5 x 10			
<b>Día:</b>	11/7/2023	<b>Realizado por:</b>	Andrés Acosta	<b>Lugar:</b>		
<b>Temperatura:</b>	23 °C			Laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato		
<b>Humedad:</b>	54%					
Código	peso ensayo	peso seco	Contenido de Humedad		Densidad seca al aire	
	gr	gr	%	Promedio	g/cm3	Promedio
T21	46.52	38.53	21%	21%	0.74	0.72
T22	40.43	33.93	19%		0.65	
T23	44.96	36.76	22%		0.72	
T24	45.47	37.27	22%		0.73	
T25	43.75	36.2	21%		0.70	
T26	46.85	38.6	21%		0.75	
T27	45	37.3	21%		0.72	
AR1	34.4	26.8	28%	21%	0.55	0.57
AR2	36.28	30.5	19%		0.58	
AR3	36.95	30.1	23%		0.59	
AR4	35.1	29.4	19%		0.56	
AR5	35.25	29.7	19%		0.56	
AR6	36.29	30.6	19%		0.58	
AR7	36.1	30.3	19%		0.58	
AU1	33.75	27	25%	22%	0.54	0.53
AU2	34.64	28.7	21%		0.55	
AU3	31.92	27.1	18%		0.51	
AU4	33.6	26.7	26%		0.54	
AU5	33.04	26.7	24%		0.53	
AU6	35.25	28.9	22%		0.56	
AU7	31.33	25.9	21%		0.50	
T11	41.7	32.9	27%	29%	0.67	0.63
T12	41.32	30.8	34%		0.66	
T13	40.37	31.4	29%		0.65	
T14	37.44	28.2	33%		0.60	
T15	37.61	30.6	23%		0.60	
T16	39.61	29.9	32%		0.63	
T17	39.16	30.7	28%		0.63	

Al analizar los resultados se observó que las densidades secas al aire en la prueba de flexión estática a pesar de mantener un contenido de humedad similar las densidades

secas al aire varían entre los valores de 0.68 g/cm<sup>3</sup> para la muestra T2 y 0.51 g/cm<sup>3</sup> para la muestra AU. Valores similares se encuentra en la ficha técnica del seique de “Ecuador forestal” con un valor de 0.45 a 0.55 [18]

**Tabla 5.** TABLA DE CONTENIDOS DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA AL AIRE – PRUEBA DE FLEXIÓN ESTÁTICA

<b>Flexión estática</b>						
<b>Dimensiones (cm) :</b>			2.5 x 2.5 x 10			
<b>Día:</b>	11/7/2023	<b>Realizado por:</b>	Andrés Acosta	<b>Lugar:</b>		
<b>Temperatura:</b>	23 °C			Laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato		
<b>Humedad:</b>	54%					
	<b>peso ensayo</b>	<b>peso seco</b>	<b>Contenido de Humedad</b>		<b>Densidad seca al aire</b>	
<b>Código</b>	<b>gr</b>	<b>gr</b>	<b>%</b>	<b>Promedio</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Promedio</b>
T21	173.48	148.6	17%	17%	0.68	0.68
T22	166.32	142.6	17%		0.65	
T23	171.88	148	16%		0.67	
T24	179.67	154.2	17%		0.70	
T25	179.75	153.1	17%		0.70	
T26	183.4	157.6	16%		0.72	
T27	158.24	134.8	17%		0.62	
AR1	143.68	123	17%	17%	0.56	0.55
AR2	140.53	120.1	17%		0.55	
AR3	142.77	121.9	17%		0.56	
AR4	139.03	119.1	17%		0.54	
AR5	141.19	120.8	17%		0.55	
AR6	141.91	121.2	17%		0.55	
AR7	145.04	124.1	17%		0.57	
AU1	142.83	125	14%	16%	0.56	0.51
AU2	136.97	118.1	16%		0.53	
AU3	120.49	105	15%		0.47	
AU4	130.52	111.9	17%		0.51	
AU5	122.76	105.8	16%		0.48	
AU6	124.04	107.1	16%		0.48	
AU7	135.02	116.6	16%		0.53	
T11	156.17	133.2	17%	17%	0.61	0.62
T12	151.39	129.2	17%		0.59	
T13	172.7	148.3	16%		0.67	
T14	167.15	142.9	17%		0.65	
T15	153.48	130.2	18%		0.60	
T16	161.72	138.1	17%		0.63	
T17	146.82	125.4	17%		0.57	

### **Tracción paralela a la fibra**

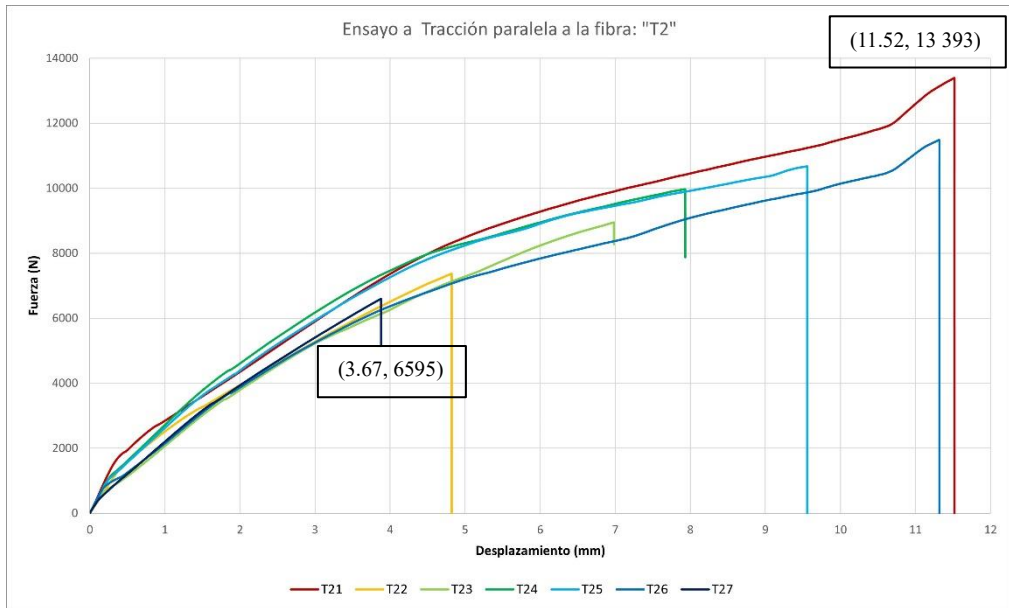
La madera presenta una mayor resistencia a la tracción cuando se somete a fuerzas en el sentido paralelo a las fibras en comparación con el sentido perpendicular. Esto se debe a que, al estirar la madera en el sentido paralelo a las fibras, estas se cortan, lo que genera una mayor resistencia. Por otro lado, al aplicar fuerzas en el sentido perpendicular, se separan los manojos de fibras unos de otros, lo que resulta en una menor resistencia.[19]

### **Comportamiento general.**

Para analizar los resultados de la madera a tracción, es esencial examinar cómo se comportó el material bajo cargas de tracción y cómo variaron los esfuerzos de rotura entre las diferentes muestras. Es importante comparar estos resultados con los valores de referencia establecidos por las normas aplicables, como la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), para categorizar la madera dentro de los grupos de madera estructural.

Según Harry Parker [20] El comportamiento de la madera no está claramente definido. La ubicación de las probetas con respecto al duramen muestra que las probetas que se encuentran más cercanas a esta zona son las que presentan valores más altos de resistencia en general. Un claro ejemplo se observa en el comportamiento a tracción de la Fig. 17, Fig. 18, Fig. 19, Fig. 20 donde se evidencian marcadas diferencias en la fuerza de rotura.

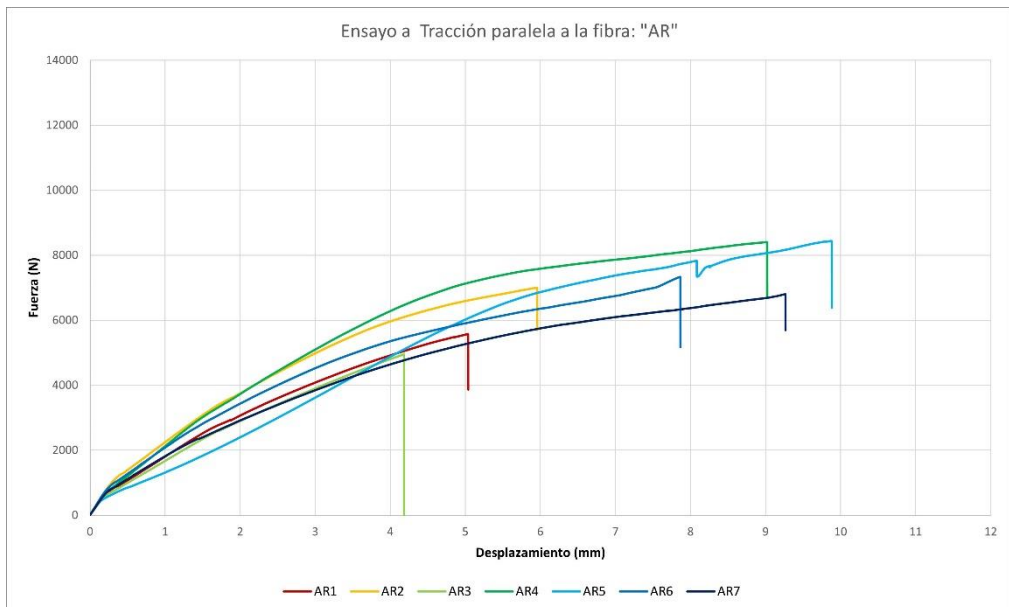
En el análisis de los resultados de tracción de la madera estudiada, En este caso de la muestra T2, las probetas T21 y T27 registraron valores máximos y mínimos de fuerza de rotura, oscilando entre 13 393 Newtons y 6 595 Newtons, y desplazamientos variando desde 11.52 mm hasta 3.67 mm respectivamente (Fig. 17). La variación porcentual de fuerza de rotura entre el valor máximo y el valor mínimo es del 50.7%. El resto de los valores se distribuyen dentro de este rango, lo que indica una variación significativa en la resistencia a la tracción entre las muestras.



**Fig. 17.** Gráfica fuerza vs desplazamiento - tracción paralela a la fibra de la muestra T2

**Fuente:** Autor

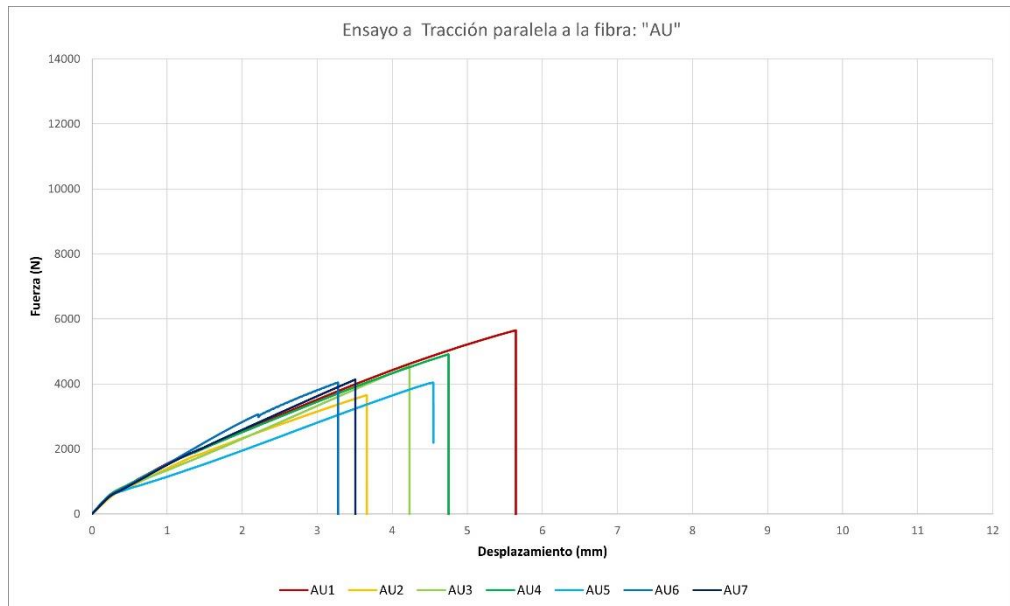
En la muestra AR (Fig. 18), los valores de fuerza de rotura oscilaron entre 8 433 y 4 949 Newtons, reflejando una variación de aproximadamente el 41.3% en la resistencia de las probetas evaluadas. En la muestra AR, las probetas AR5 y AR3 destacaron con los valores máximos y mínimos respectivos.



**Fig. 18.** Gráfica fuerza vs desplazamiento - tracción paralela a la fibra de la muestra AR

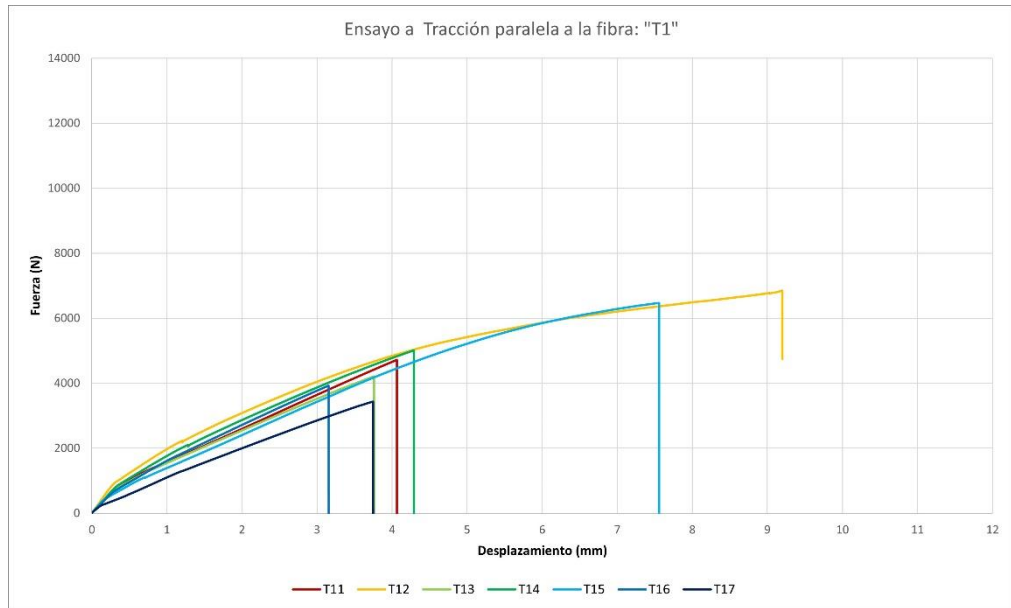
**Fuente:** Autor

En la muestra AU (Fig. 19), se observó que las probetas AU1 y AU2 destacaron con los valores máximos y mínimos. Se registraron valores de fuerza de rotura que variaron desde 5 654 hasta 3 660 Newtons respectivamente, Lo que indica una variación de aproximadamente el 35.3% en la resistencia de las probetas evaluadas.



**Fig. 19.** Gráfica fuerza vs desplazamiento - tracción paralela a la fibra de la muestra AU  
**Fuente:** Autor

En la muestra T1 (Fig. 20), se registraron valores de fuerza de rotura que variaron desde 6 849 hasta 3 434 Newtons, lo que indica una variación de aproximadamente el 49.8% en la resistencia de las probetas evaluadas. Asimismo, se observó que las probetas T12 y T17 destacaron con los valores máximos y mínimos, respectivamente.



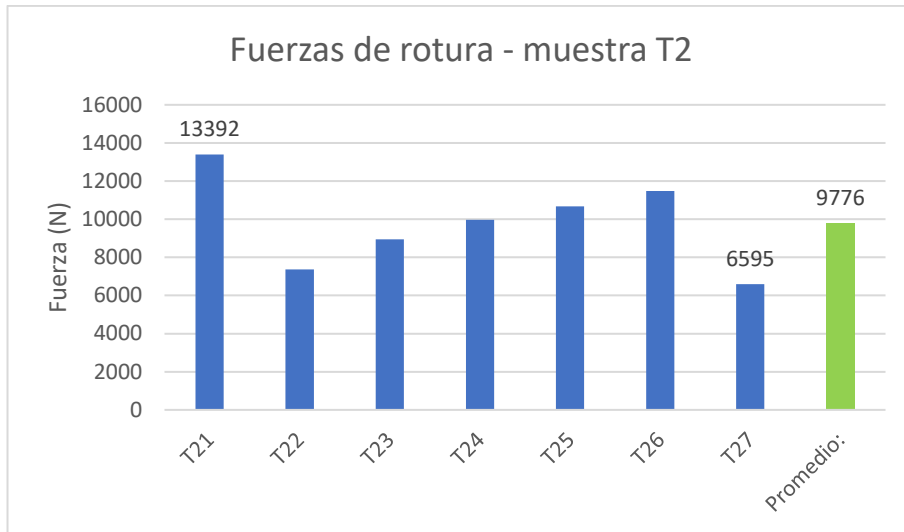
**Fig. 20.** Gráfica fuerza vs desplazamiento - tracción paralela a la fibra de la muestra T1  
**Fuente:** Autor

### **Esfuerzos de rotura y esfuerzos admisibles**

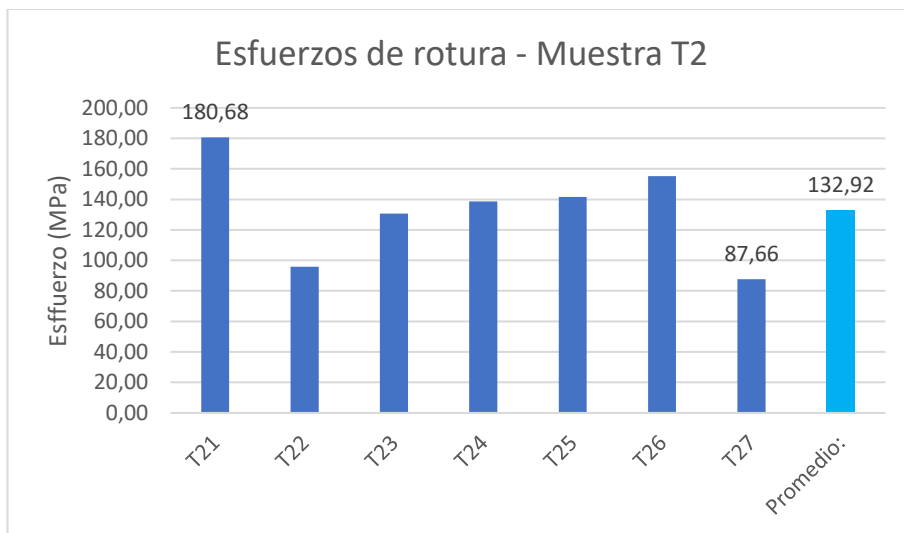
Los esfuerzos están directamente relacionados con la fuerza aplicada sobre un material, lo que significa que la magnitud de la fuerza determina la intensidad del esfuerzo generado en el material. Esta relación directa entre fuerza y esfuerzo tiene un papel crucial en el comportamiento del material bajo carga. Cuando se aplica una fuerza a un material, este puede responder de diferentes maneras según su composición y propiedades mecánicas.

Por ende, es fundamental tener en cuenta los gráficos de fuerza vs desplazamiento durante el análisis, ya que los esfuerzos de rotura muestran un comportamiento similar en todas las probetas como se puede observar en la Fig. 21 y Fig. 22. Esta información es esencial para comprender las diferencias en las resistencias y establecer conclusiones precisas sobre el comportamiento de la madera en los ensayos de tracción.





**Fig. 21.** Gráfica de fuerza de rotura - tracción paralela a la fibra de la muestra T2  
**Fuente:** Autor

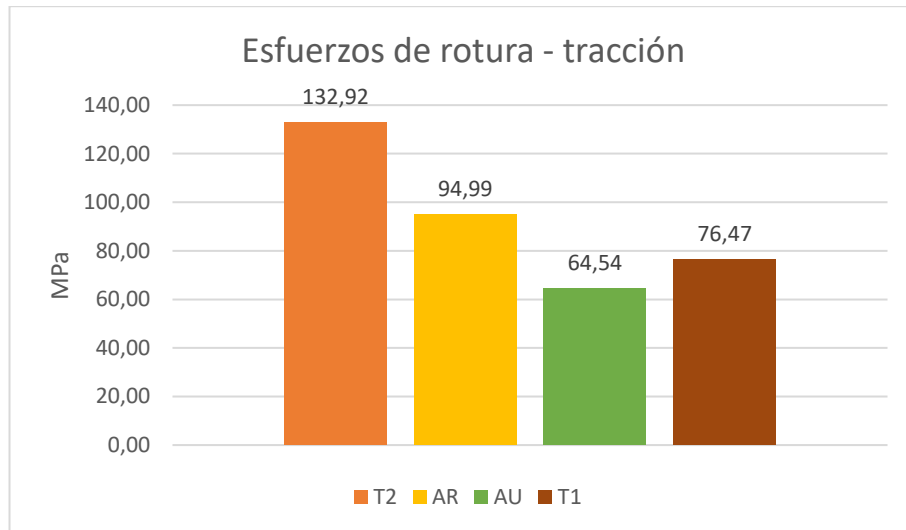


**Fig. 22.** Gráfica de esfuerzos de rotura - tracción paralela a la fibra de la muestra T2  
**Fuente:** Autor

Se obtuvo el esfuerzo de rotura promedio de las muestras obtenidas a partir de ensayos mecánicos, y se graficaron estos valores para poder comparar de mejor manera el comportamiento de las diferentes muestras entre sí. Esto nos proporcionó una clara comparación de las propiedades mecánicas de las muestras de madera de cedrelinga catenaeformis analizadas.

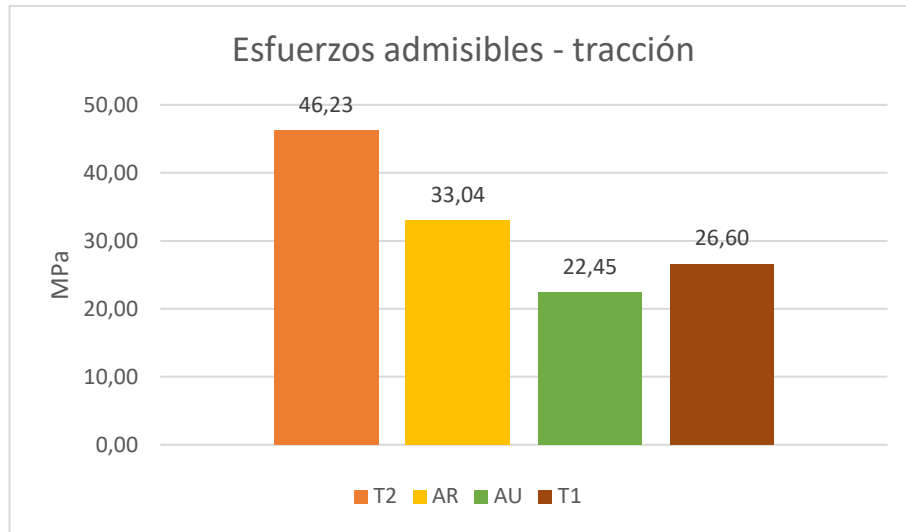
La Figura 23 muestra los promedios de esfuerzos de rotura a tracción paralela para las diferentes muestras. Se observa que todas las muestras presentan una notable

resistencia a la tracción, con valores máximos de 132.92 MPa para la muestra T2, 94.99 MPa para la muestra AR, 76.46 MPa para la muestra T1 y un valor mínimo de 64.54 MPa para la muestra AU. Estos resultados destacan la capacidad del material para soportar cargas de tracción y su alta resistencia a la deformación bajo este tipo de esfuerzo.



**Fig. 23.** Esfuerzos de rotura promedio - tracción paralela a la fibra de las muestras T2, AR, AU y T1  
**Fuente:** Autor

Luego de aplicar los factores de reducción a los valores obtenidos en los ensayos mecánicos, se obtuvieron los esfuerzos admisibles para cada muestra de madera (Fig. 24). Para la muestra T2 se obtuvo un valor promedio de 46.23 MPa, para la muestra AR un esfuerzo admisible de 33.4 MPa, el valor menor corresponde a la muestra AU de 22.45 MPa y finalmente 26.6 MPa para la muestra T1, Estos esfuerzos admisibles representan los límites de resistencia que se consideran seguros y aceptables para su uso en aplicaciones estructurales. Todos estos valores entran en el grupo A (14,5 MPa) según la NEC-SE-MD bajo el criterio de esfuerzos admisibles

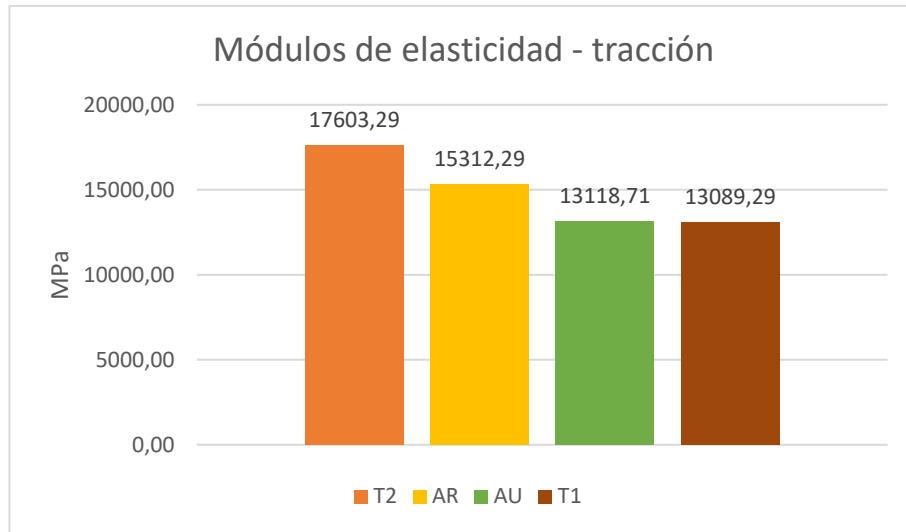


**Fig. 24.** Grafica de esfuerzos admisibles promedio – tracción paralela de las muestras T2, AR, AU y T1  
**Fuente:** Autor

### Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad es una propiedad crucial para la madera utilizada en aplicaciones estructurales. Esta medida representa la capacidad del material para resistir deformaciones elásticas bajo cargas externas, lo que determina su rigidez y estabilidad en las estructuras. Una madera con un alto módulo de elasticidad será más rígida y menos propensa a deformaciones permanentes, asegurando la resistencia y estabilidad de la construcción. Además, el conocimiento del módulo de elasticidad permite predecir su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga, asegurando un diseño seguro y eficiente.

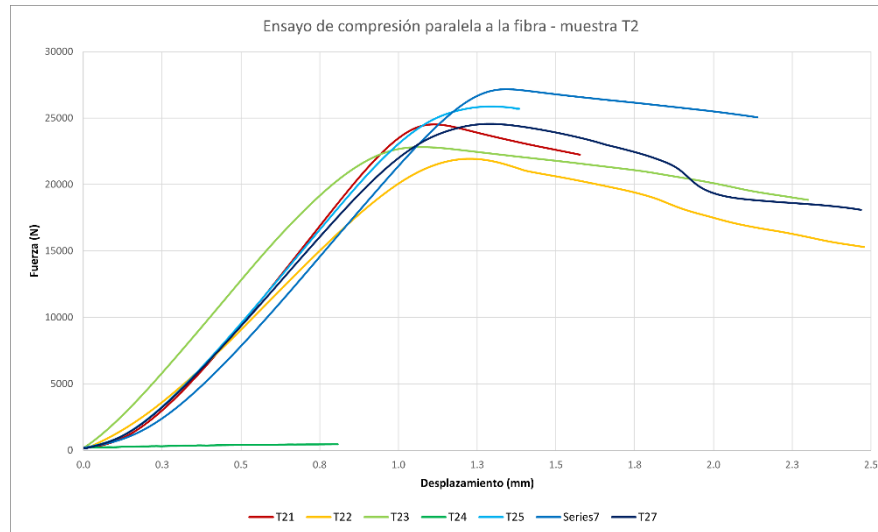
En las pruebas de Tracción paralela a la fibra, se encontró que, en promedio, todas las muestras presentan valores superiores al valor promedio del Grupo A de madera estructural según la normativa NEC 2015, que establece un valor mínimo de 9,500 MPa y un promedio de 13,000 MPa para ser considerada madera de dicho grupo. Siendo estos promedios de 17 603.29 MPa para la muestra T2, 15 312.29 MPa para la muestra AR, para la muestra AU un valor de 13 118.71MPa y 13 089.29 MPa para la muestra T1. Además, todas las probetas cumplen con los valores mínimos requeridos, excepto las probetas AR5 y T17, que, al ser analizadas, mostraron signos de imperfecciones, como poros en la sección crítica.



**Fig. 25.** Módulos de elasticidad promedio - tracción paralela de las muestras T2, AR, AU y T1  
**Fuente:** Autor

### Compresión paralela a la fibra

Con respecto a la resistencia a compresión, se observó un comportamiento muy similar a lo largo de los ensayos. A diferencia de los ensayos de tracción, los valores de fuerza o carga de rotura entre las probetas no variaron drásticamente. Nuevamente, la muestra T2 (Fig. 26) mostró la mayor capacidad de soportar carga antes de su rotura, con un valor de 27 428 N para la probeta T24, el cual no difiere significativamente de la probeta con el valor más bajo que fue de 21 936 N correspondiente a la probeta T22, dando una variación porcentual de aproximadamente 20%. Este comportamiento uniforme en los ensayos de compresión indica que las muestras exhiben una consistencia notable en su resistencia al ser sometidas a fuerzas compresivas.}

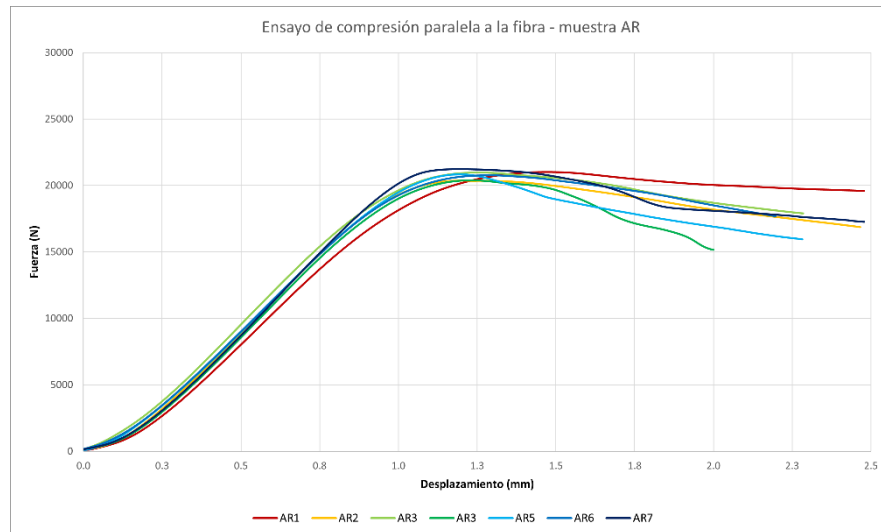


**Fig. 26.** Gráfica fuerza vs desplazamiento - compresión paralela a la fibra de la muestra T2  
**Fuente:** Autor

Durante el análisis de los resultados en la Figura 26, se observó un comportamiento inusual en la gráfica de fuerza vs deformación en la probeta T24, que no se correspondía con el patrón exhibido por las demás probetas. Luego de investigar la causa de esta discrepancia, se descubrió que se trataba de un error de archivo al descargar la información del software del equipo utilizado en el ensayo. Por esta razón, dicho valor atípico fue excluido de la visualización y análisis posteriores para asegurar la coherencia de los datos obtenidos en los ensayos.

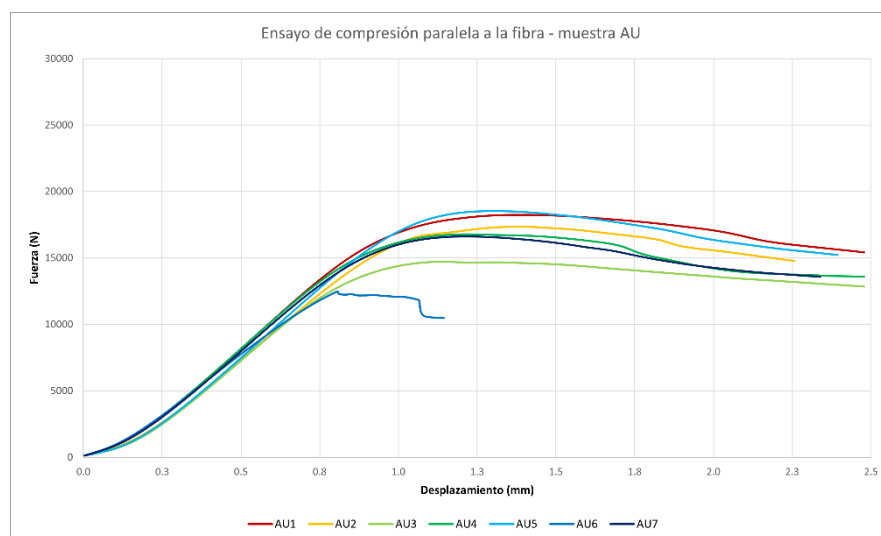
Tras detectar el comportamiento atípico en la gráfica de fuerza vs deformación para la probeta T24, se sospechó de un posible error en los datos obtenidos. Por ello, se decidió volver a ensayar dicha probeta para obtener resultados precisos y confiables. Una vez realizado el nuevo ensayo, se corroboraron los valores reales de resistencia y deformación de la madera en esa muestra en particular. Estos datos verificados fueron considerados y tomados en cuenta en el cálculo general de los resultados, asegurando así la integridad del análisis y garantizando que la información presentada en el estudio fuera precisa y completa. De esta manera, se pudo evitar cualquier distorsión en la interpretación de los resultados debido al incidente inicial con la gráfica, proporcionando una evaluación más sólida y confiable del comportamiento mecánico de la madera de *Cedrelinga catenaeformis*.

Además. La muestra AR tuvo una considerable capacidad de resistir carga antes de la rotura, con un valor máximo de 21 241 N en la probeta AR7, un poco lejano al mínimo de 20 368 N en la probeta AR2, mostrando una variación porcentual de aproximadamente 4.11%.



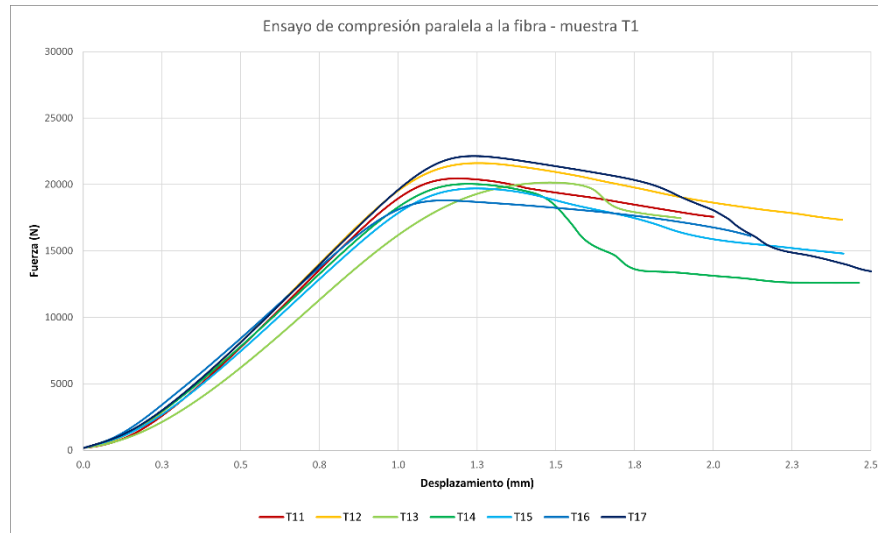
**Fig. 27.** Gáfica fuerza vs desplazamiento - compresión paralela a la fibra de la muestra AR  
Fuente: Autor

En la muestra AU (Fig. 27), la probeta AU5 soportó la carga máxima de 18 534 N, mientras que la probeta AU6 tuvo el valor más bajo de 12 481 N antes de la rotura, con una variación porcentual de aproximadamente 32.66%.



**Fig. 28.** Gráfica fuerza vs desplazamiento - compresión paralela a la fibra de la muestra AU  
Fuente: Autor

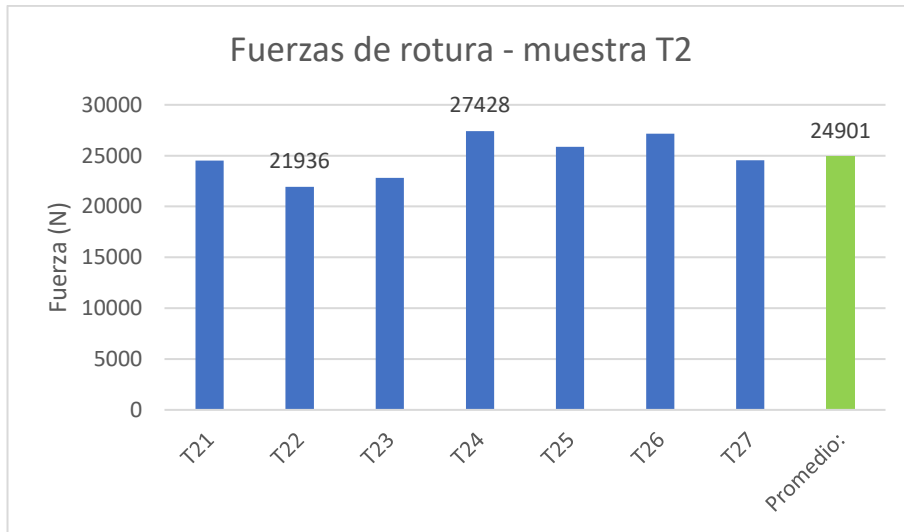
La muestra T1 (Fig. 28) exhibió una alta resistencia a la carga antes de la rotura, con la probeta T17 alcanzando 22 143 N y la probeta T16 con el valor más bajo de 18 808 N, lo que representa una variación porcentual de alrededor del 15%.



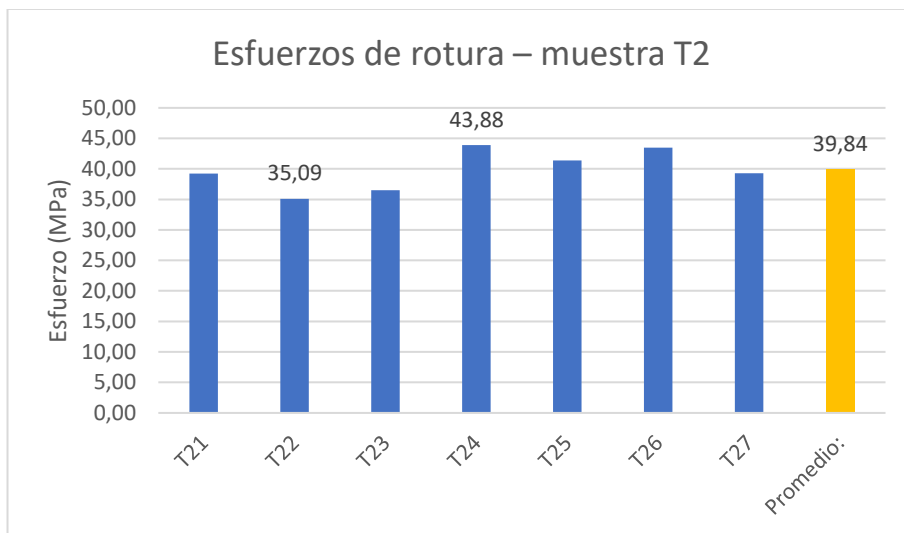
**Fig. 29.** Gráfica fuerza vs desplazamiento - compresión paralela a la fibra de la muestra T1  
**Fuente:** Autor

### **Esfuerzos de rotura y esfuerzos admisibles**

La fuerza de rotura y los esfuerzos admisibles fueron calculados utilizando las fórmulas y factores pertinentes al ensayo de tracción. Como se puede observar en la Fig. 30 y la Fig. 31, el comportamiento de las muestras sigue un patrón coherente de resultados, lo cual confirma visualmente que los valores calculados están en concordancia con las características mecánicas de la madera de *Cedrelinga catenaeformis* estudiada. El análisis gráfico proporciona una validación adicional de la precisión de los cálculos realizados en el estudio.



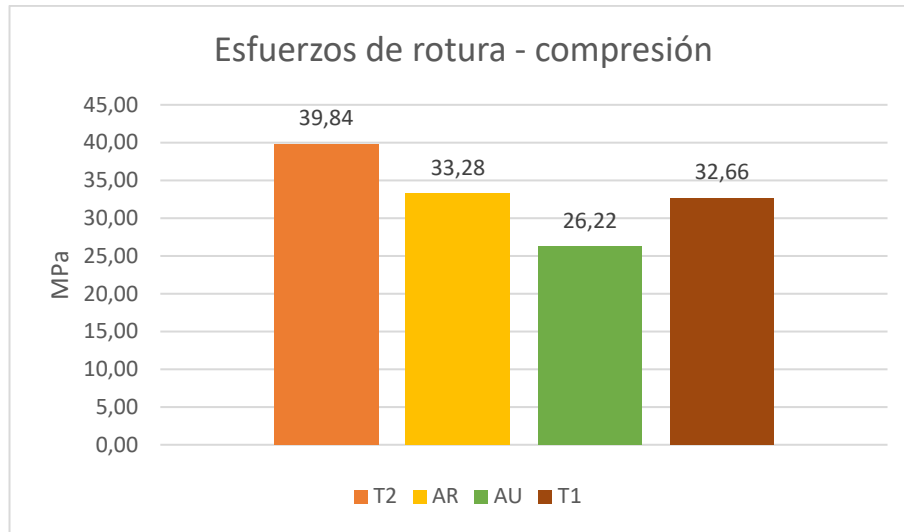
**Fig. 30.** Gráfica de fuerza de rotura - compresión paralela a la fibra de la muestra T2  
**Fuente:** Autor



**Fig. 31.** Gráfica de esfuerzos de rotura - compresión paralela a la fibra de la muestra T2  
**Fuente:** Autor

Al analizar los esfuerzos de rotura a compresión promedio de las muestras, se observa una tendencia similar a la obtenida en los resultados de tracción paralela. La muestra T2 muestra el valor más alto, con un esfuerzo de rotura de 39.84 MPa, seguida de cerca por la muestra AR, con un valor de 33.28 MPa. La muestra T1 también presenta un valor cercano, con 32.66 MPa, mientras que la muestra AU registra el valor más bajo, con un esfuerzo de rotura promedio de 26.22 MPa.

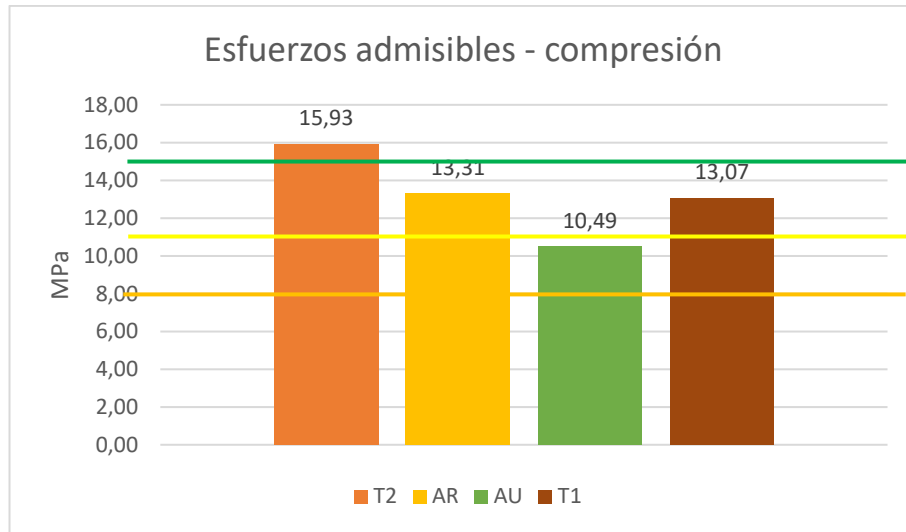




**Fig. 32.** Gráfica de esfuerzos de rotura promedio - compresión paralela de las muestras T2, AR, AU y T1  
**Fuente:** Autor

Posteriormente, se procedió a calcular los esfuerzos admisibles a compresión para cada muestra, utilizando los factores de reducción correspondientes según el Manual de Diseño para madera del Grupo Andino. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: la muestra T2 mostró el esfuerzo admisible más alto, con un valor de 15,93 MPa, seguida de cerca por la muestra AR, con un valor de 13.31 MPa. La muestra T1 también presentó un valor cercano, con 13.07 MPa, mientras que la muestra AU registró el valor más bajo, con un esfuerzo admisible de 10,49 MPa.

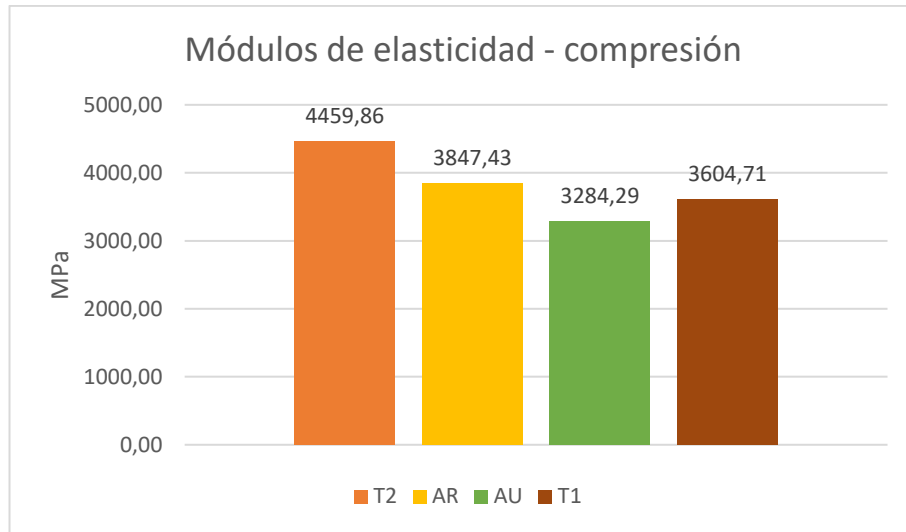
Estos cálculos permiten determinar la capacidad de carga que cada muestra puede soportar antes de sufrir una falla en condiciones de compresión, lo que es fundamental para el diseño estructural y la seguridad de las construcciones que utilizan madera de *Cedrelinga catenaeformis*. En la Fig. 33 se pueden apreciar las líneas que indican los límites inferiores para la clasificación de grupos estructurales según la norma NEC. El grupo A (representado en verde) tiene un límite inferior de 14.5 MPa, mientras que el grupo B (mostrado en amarillo) tiene un límite inferior de 11 MPa y el grupo C (representado en naranja) tiene un límite inferior de 8 MPa. Estos valores son de vital importancia para determinar la idoneidad de la madera de *Cedrelinga catenaeformis* en aplicaciones estructurales y asegurar que cumple con los estándares de resistencia y seguridad requeridos según su grupo estructural.



**Fig. 33.** Gráfica de esfuerzos admisibles promedio - compresión paralela de las muestras T2, AR, AU y T1  
**Fuente:** Autor

### Módulo de elasticidad

Con respecto a los valores obtenidos de módulos de resistencia, con valores promedio máximos de 4459.86 MPa para la muestra T2 y un mínimo de 3284.29 MPa para la muestra AU se observa que ninguno de ellos alcanza el mínimo requerido por la NEC, mientras que la muestra AR y T1 se encuentran dentro de aquel rango con valores de 3847.86 MPa y 604.71 MPa. Esto significa que estas muestras no cumplen con los criterios necesarios para ser clasificadas estructuralmente en el diseño a compresión sin llegar si quiera al valor mínimo para el grupo C que es de 5500 MPa y 9000 MPa para el valor promedio. Es importante tener en cuenta esta limitación al considerar el uso de la madera de *Cedrelinga catenaeformis* en aplicaciones que requieran resistencia a compresión.



**Fig. 34.** Módulos de elasticidad promedio - compresión paralela de las muestras T2, AR, AU y T1  
**Fuente:** Autor

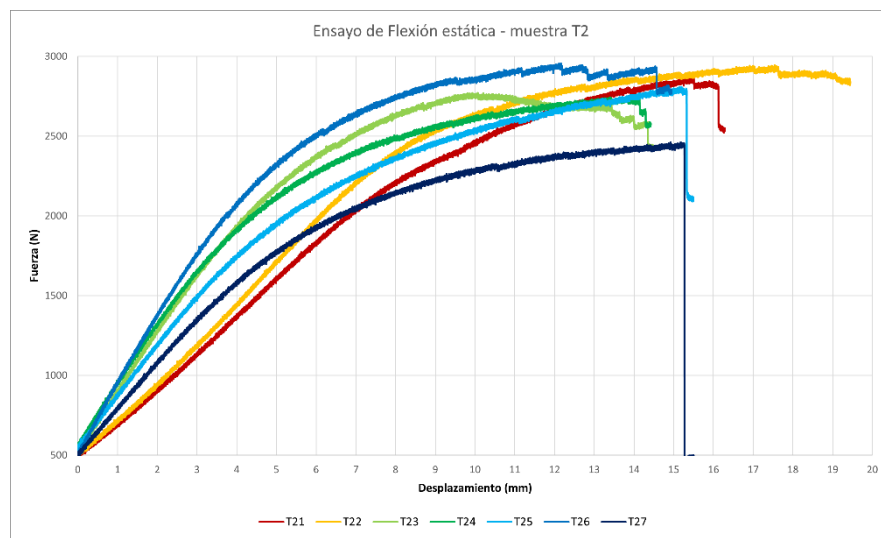
Durante los ensayos, se observó un detalle importante en el comportamiento de ciertas probetas: cuando la fibra tenía una inclinación con respecto al eje neutro de la probeta y se aplicaba carga para el ensayo, la madera tendía a desplazar sus caras de apoyo en la dirección de la fibra. Con el aumento de carga, la madera se alineaba gradualmente con el plano perpendicular, y en ese punto, lograba desarrollar su resistencia máxima. Este fenómeno es claramente visible en la Fig. 35 y es relevante para entender cómo la orientación de la fibra puede influir en la resistencia y comportamiento bajo cargas de la madera durante los ensayos de compresión paralela.



**Fig. 35.** Probeta AU4 en ensayo de compresión paralela  
**Fuente:** Autor

## Flexión estática

Durante el ensayo de flexión estática se observaron diferencias significativas en la fuerza de rotura de la muestra T2 (Fig. 36). La probeta T26 alcanzó un valor máximo de 2 956 N, mientras que la probeta T27 registró un valor más bajo de 2 461 N, con una variación porcentual de 16%. Estas disparidades destacan la diversidad en las propiedades mecánicas de la madera de *Cedrelinga catenaeformis* proveniente de distintos puntos de adquisición.

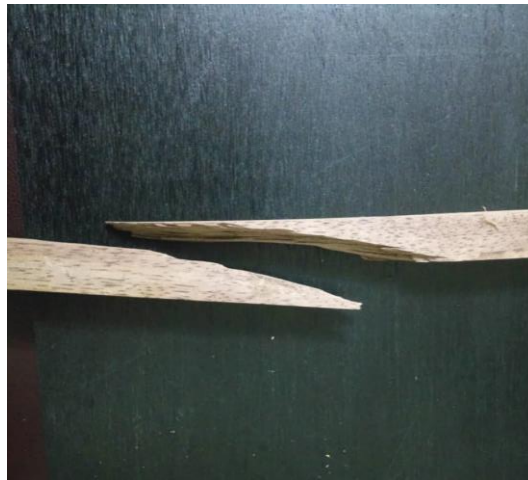


**Fig. 36.** Gráfica Fuerza vs desplazamiento -flexión estática de la muestra T2  
**Fuente:** Autor

Durante el análisis del comportamiento de las probetas a flexión, se pudo distinguir un patrón relacionado con la orientación de las fibras de la madera, especialmente en las probetas de la muestra AU. En dos de los siete casos, cuando la madera alcanzaba el esfuerzo máximo o esfuerzo de rotura se fallaba por tensión cortante y se rompía en 2 partes (Fig. 37)

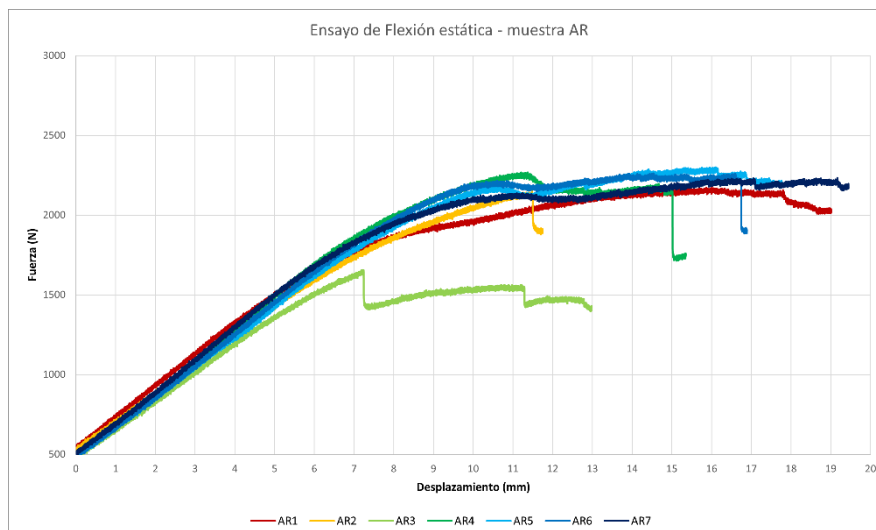
El fenómeno observado durante los ensayos, en el cual la carga axial se transforma en tensión cortante entre las fibras de la madera, se conoce como "fibra inclinada". Este comportamiento es similar al que se presenta en los ensayos de tracción, donde la madera presenta una menor resistencia a esta carga cortante, lo que provoca la falla del material. Como resultado, se pueden observar superficies lisas en la zona de fractura de la madera.

Estos hallazgos son significativos y demuestran la importancia de considerar la orientación de las fibras al evaluar la resistencia y el comportamiento mecánico de la madera de *Cedrelinga catenaeformis*. La presencia de la fibra inclinada es un defecto común en la madera y puede afectar su capacidad para soportar cargas y tensiones. Es importante tener en cuenta este fenómeno al diseñar y utilizar estructuras de madera, ya que puede influir en la seguridad y el rendimiento de estas.



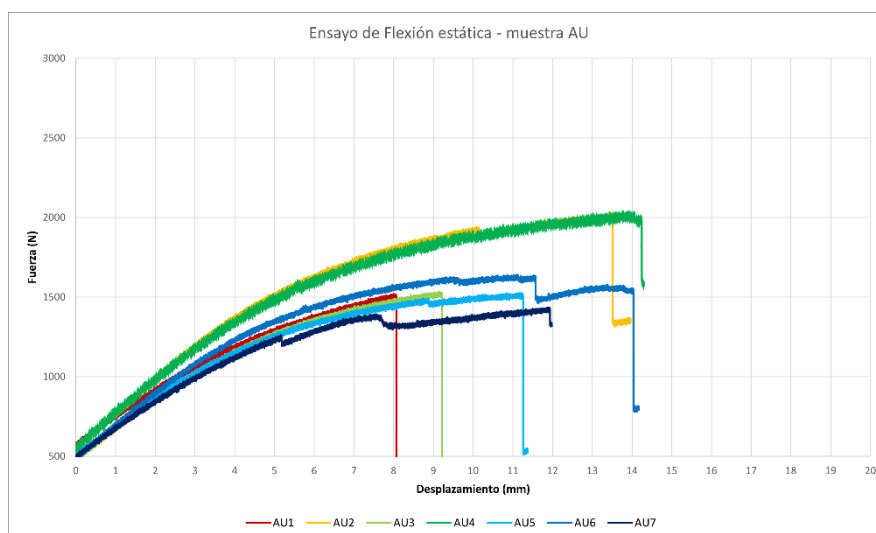
**Fig. 37.** Falla probeta AU3  
**Fuente:** Autor

En el ensayo de flexión estática, se evidenciaron discrepancias significativas en la fuerza de rotura de la muestra AR (Fig. 38). La probeta AR5 alcanzó un valor máximo de 2 299 N, mientras que la probeta AR3 registró un valor más bajo de 1 655 N, presentando una variación porcentual de 28%.



**Fig. 38.** Gráfica Fuerza vs desplazamiento - flexión estática de la muestra AR  
**Fuente:** Autor

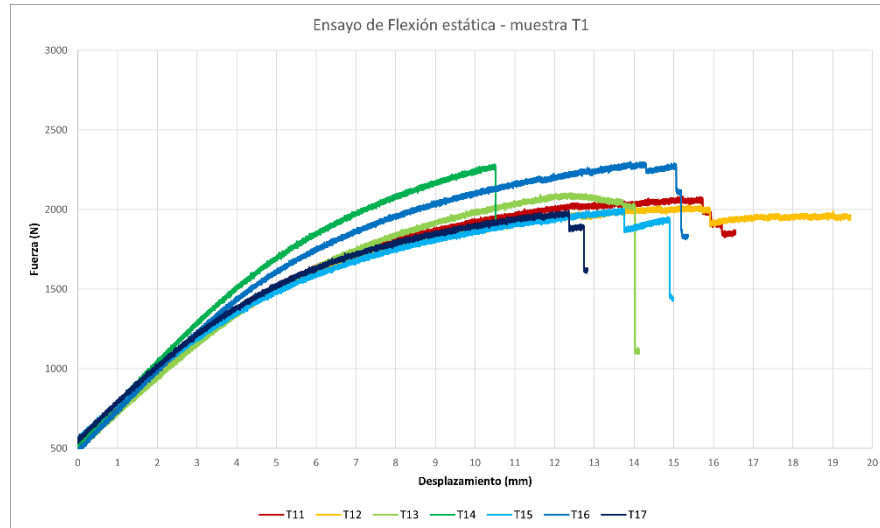
Se observa en la Fig. 39 notables diferencias en la fuerza de rotura de la muestra AU. La probeta AU2 exhibió un valor máximo de 2 031 N, mientras que la probeta AU7 mostró un valor más reducido de 1 436 N, generando una variación porcentual de 29.3%.



**Fig. 39.** Gráfica Fuerza vs desplazamiento - flexión estática de la muestra AU  
**Fuente:** Autor

Se identificaron notorias diferencias en la fuerza de rotura de la muestra T1 (Fig. 40). La probeta T26 alcanzó un valor máximo de 2 299 N, mientras que la probeta T27 arrojó un valor más bajo de 1 994 N, mostrando una variación porcentual de 13.2%.

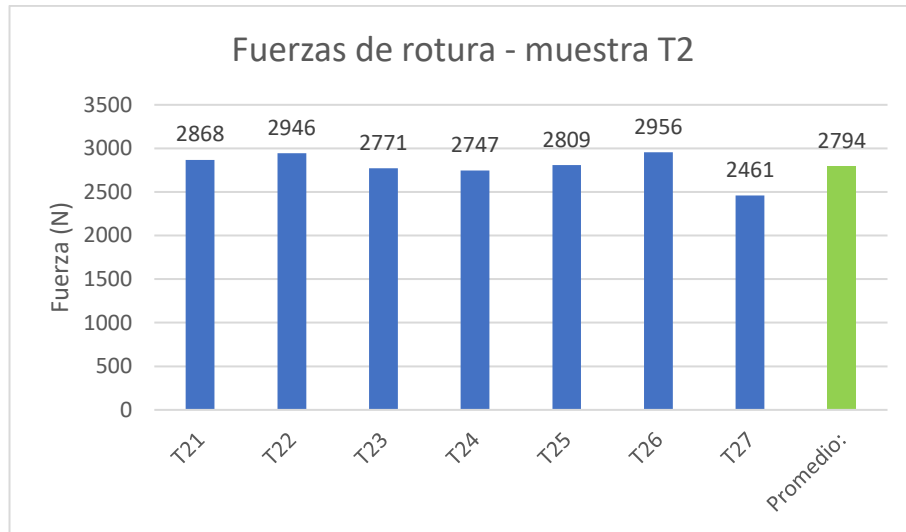
Estas discrepancias resaltan la heterogeneidad en las propiedades mecánicas de la madera de *Cedrelinga catenaeformis* incluso siendo la misma muestra.



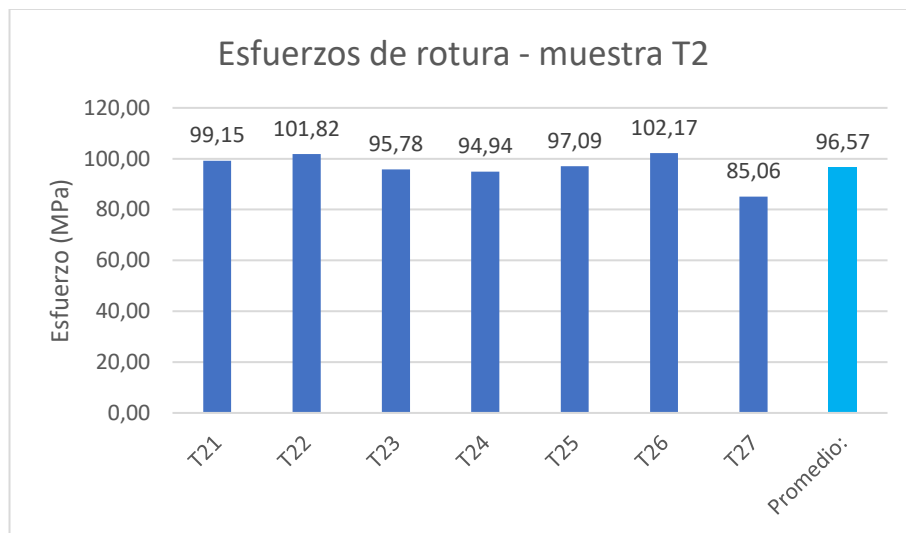
**Fig. 40.** Gráfica Fuerza vs desplazamiento - flexión estática de la muestra T1  
**Fuente:** Autor

### **Esfuerzos de rotura y esfuerzos admisibles.**

Al calcular los valores de esfuerzos máximos de rotura en los ensayos, se pudo apreciar una relación directa entre estos esfuerzos y las cargas de rotura aplicadas a las probetas. Esta relación se evidencia claramente en las Fig. 41 y Fig. 42, donde se muestra el comportamiento de variabilidad de los esfuerzos de rotura. Ambas figuras presentan un patrón similar en el cual los valores de esfuerzo aumentan o disminuyen en función de las cargas aplicadas, demostrando la coherencia y consistencia de los resultados obtenidos. Esta observación confirma que los esfuerzos de rotura están directamente relacionados con las cargas de rotura, lo que es fundamental para entender el comportamiento mecánico de la madera de *Cedrelinga catenaeformis* en situaciones de carga y aplicaciones estructurales.



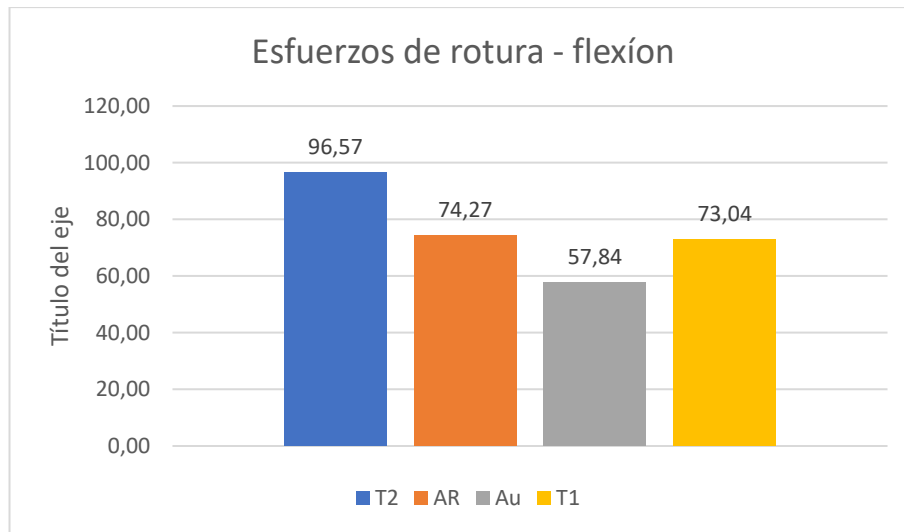
**Fig. 41.** Gráfica de fuerzas de rotura – flexión estática de la muestra T2  
**Fuente:** Autor



**Fig. 42.** Gráfica de esfuerzos de rotura – flexión estática de la muestra T2  
**Fuente:** Autor

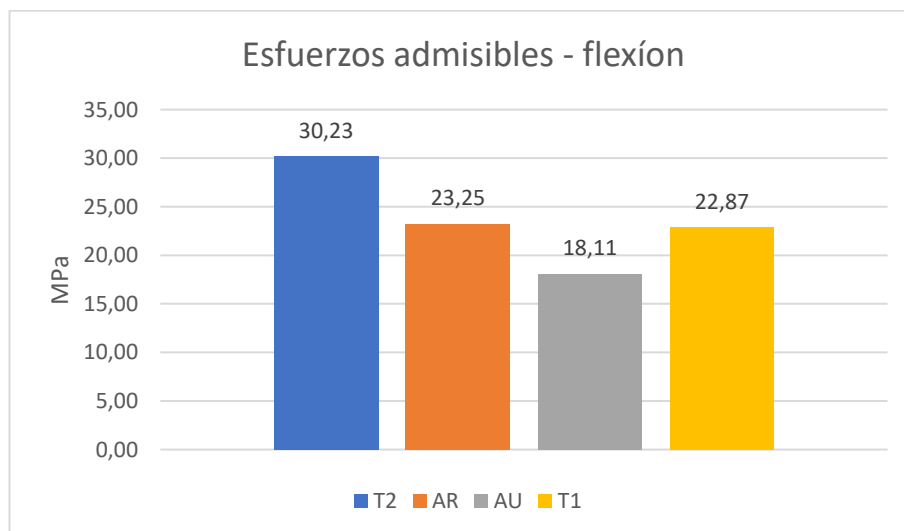
Al analizar los patrones de comportamiento en relación con los esfuerzos de rotura y, por ende, a los esfuerzos admisibles, se evidencia que siguen el mismo orden descendente en cuanto a los valores de resistencia. La muestra T2 muestra el valor más alto con un esfuerzo de rotura de 96.57 MPa, seguida muy de cerca por la muestra AR con valores de 74.27 MPa y la muestra T1 con 73.04 MPa. Por último, la muestra AU registra el valor mínimo promedio de 57.84 MPa. Estos resultados confirman la consistencia en el comportamiento mecánico de la madera de Cedrelinga catenaeformis.





**Fig. 43.** Grafica de esfuerzos de rotura promedio – flexión estática de las muestras T2, AR, AU y T1  
**Fuente:** Autor

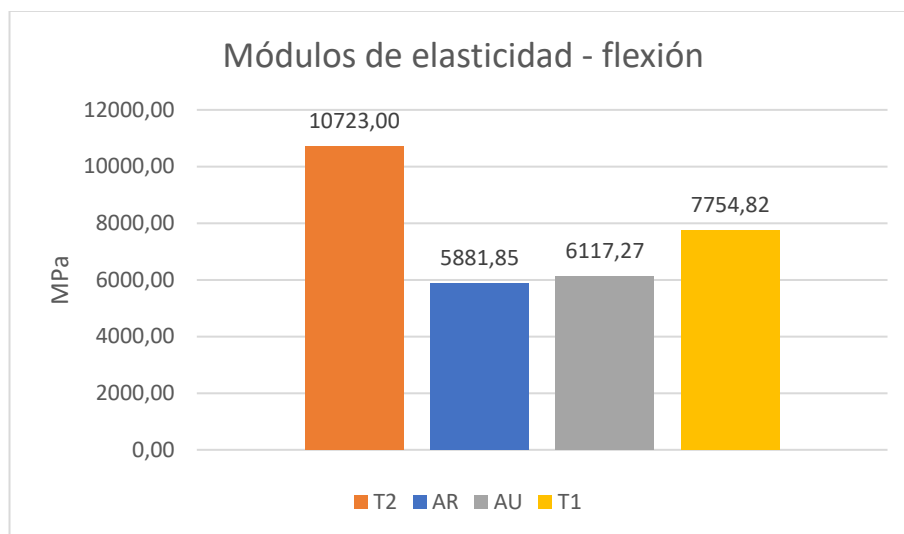
Después de ello, se procedió al cálculo de los esfuerzos admisibles, arrojando los siguientes resultados: La muestra T2 obtuvo el valor más alto con un esfuerzo de rotura de 30.23 MPa, seguida de cerca por la muestra AR con valores de 23.25 MPa y la muestra T1 con 22.87 MPa. Por otra parte, la muestra AU presentó el valor mínimo promedio de 18.11 MPa. el valor mínimo para el grupo A según la norma NEC para elementos que trabajan a flexión es de 21 MPa y el mínimo del grupo B de 15 MPa.



**Fig. 44.** Gráfica de esfuerzos admisibles promedio – flexión estática de las muestras T2, AR, AU y T1  
**Fuente:** Autor

## Módulo de elasticidad

Con lo que respecta al módulo de elasticidad de las probetas solamente la muestra T2 llegó a alcanzar valores de módulo de elasticidad dentro de la clasificación de la NEC para maderas estructurales con un valor promedio de 10723 MPa que está dentro de los 10 000 MPa de promedio para el grupo B bajo este criterio, quedando el resto de las muestras fuera de la clasificación normada debido a que el valor mínimo para el grupo C es de 9000 MPa. Cabe resaltar que en este ensayo el valor mínimo con respecto a módulo de elasticidad no fue la muestra AU con un módulo de elasticidad de 6117.27 MPa sino más bien la muestra AR siendo esta la menor de todas con un promedio de 5 881.85 MPa, Por último, un valor medio de la muestra T1 con 754.82 MPa como módulo de elasticidad.



**Fig. 45.** Módulos de elasticidad promedio – flexión estática de las muestras T2, AR, AU y T1

**Fuente:** Autor

#### Fase 4: Elaboración de tablas resumen y actualización de la base de datos

En esta fase se crearon tablas resumen de los ensayos de laboratorio realizados en la fase anterior así como parámetros de ensayo, lugar, fecha, y contenidos de humedad para que sea usado como referencia para valores de diseño.

Una vez obtenidos los valores de resistencia de la madera, se presenta en la tabla # un resumen del ensayo a tracción que muestra de manera clara el comportamiento general de cada una de las muestras sometidas al ensayo de tracción. Es destacable el comportamiento particular de la muestra AU, que, a pesar de presentar los valores más bajos en esfuerzo de rotura y el segundo más bajo en módulos de elasticidad, exhibe una mínima variación entre estos valores en comparación con el resto. Su desviación estándar es de 785.52 MPa, lo que representa aproximadamente el 6% de la media. En contraste, la muestra T2, que proporciona los valores más altos de resistencia, presenta una desviación de aproximadamente el 28% con respecto al promedio. Es decir, las características mecánicas de la muestra AU son más uniformes.

Una vez realizada esta tabla resumen se identificó a los respectivos valores de resistencia, los cuales son módulo de elasticidad y esfuerzos admisibles con colores respectivos a cada grupo estructural según la NEC. (tabla), usando el color verde para grupo A, amarillo para el Grupo B y naranja para el grupo C.

Tabla 6. MÓDULOS DE ELASTICIDAD PARA CADA GRUPO ESTRUCTURAL [14]

MODULO DE ELASTICIDAD		
GRUPO	E min	E prom
A	9500	13000
B	7500	10000
C	5500	9000

Tabla 7. ESFUERZOS ADMISIBLES PARA CADA GRUPO ESTRUCTURAL [14]

Esfuerzos admisibles			
Grupo	Tracción paralela	Compresión paralela	Flexión
	MPa	MPa	MPa
A	14.5	14.5	21
B	10.5	11	15
C	7.5	8	10

**Tabla 8.** RESUMEN DE PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SEIQUE (CEDRELINGA CATENAEFORMIS) – TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA.

<b>Tipo de ensayo:</b>	Tracción Paralela a la Fibra		<b>Norma:</b>	ASTM D-143-14		
<b>Maquina:</b>	Autograph AGS-X Series		<b>Fecha:</b>	7/7/2023		
<b>Velocidad de ensayo:</b>	1 mm/min		<b>Realizado por:</b>	Andrés Acosta		
<b>Distancia entre apoyos (mm):</b>	365		<b>Dimensiones (mm):</b>	25 x 25 x 460		
<b>CÓDIGO</b>	<b>Contenido de Humedad</b>	<b>Módulo de Elasticidad</b>	<b>Fuerza de Rotura</b>	<b>Esfuerzo de rotura</b>	<b>Esfuerzo admisible</b>	<b>Tipo de falla</b>
	<b>%</b>	<b>MPa</b>	<b>N</b>	<b>MPa</b>	<b>mm</b>	
T21		24800.00	13392	180.68	62.85	a
T22		16818.00	7372	95.82	33.33	d
T23		12945.00	8950	130.77	45.49	c
T24		22310.00	9969	138.61	48.21	c
T25		20242.00	10676	141.61	49.26	a
T26		12238.00	11480	155.31	54.02	b
T27		13870.00	6595	87.66	30.49	c
<b>Promedio:</b>		<b>17603.29</b>	<b>9776</b>	<b>132.92</b>	<b>46.23</b>	
<b>Desviacion estandar:</b>		<b>4932.02</b>	<b>2359.61</b>	<b>32.45</b>	<b>11.29</b>	
<b>Desviacion Estandar %</b>		<b>28%</b>	<b>24%</b>	<b>24%</b>	<b>24%</b>	
AR1		15848.00	5571	76.43	26.58	c
AR2		17130.00	6980	90.32	31.42	b
AR3		15904.00	4949	70.30	24.45	c
AR4		15179.00	8396	118.65	41.27	b
AR5		7215.00	8433	108.04	37.58	b
AR6		19634.00	7331	107.50	37.39	b
AR7		16276.00	6803	93.70	32.59	c
<b>Promedio:</b>		<b>15312.29</b>	<b>6923</b>	<b>94.99</b>	<b>33.04</b>	
<b>Desviacion estandar:</b>		<b>3854.24</b>	<b>1313.93</b>	<b>17.63</b>	<b>6.13</b>	
<b>Desviacion Estandar %</b>		<b>25%</b>	<b>19%</b>	<b>19%</b>	<b>19%</b>	
AU1		13533.00	5654	83.50	29.04	b
AU2		11878.00	3660	55.45	19.29	c
AU3		13219.00	4554	64.30	22.37	c
AU4		13165.00	4912	68.74	23.91	b
AU5		13514.00	4043	60.80	21.15	c
AU6		14205.00	4047	60.44	21.02	c
AU7		12317.00	4139	58.56	20.37	c
<b>Promedio:</b>		<b>13118.71</b>	<b>4430</b>	<b>64.54</b>	<b>22.45</b>	
<b>Desviacion estandar:</b>		<b>785.52</b>	<b>673.29</b>	<b>9.37</b>	<b>3.26</b>	
<b>Desviacion Estandar %</b>		<b>6%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>	
T11		12732.00	4719	70.49	24.52	b
T12		16662.00	6849	95.80	33.32	a
T13		14044.00	4209	63.20	21.98	c
T14		15727.00	5013	83.62	29.09	c
T15		11394.00	6470	106.46	37.03	a
T16		12991.00	3922	59.98	20.86	c
T17		8075.00	3434	55.76	19.39	c
<b>Promedio:</b>		<b>13089.29</b>	<b>4945</b>	<b>76.47</b>	<b>26.60</b>	
<b>Desviacion estandar:</b>		<b>2851.54</b>	<b>1283.09</b>	<b>19.31</b>	<b>6.72</b>	
<b>Desviacion Estandar %</b>		<b>22%</b>	<b>26%</b>	<b>25%</b>	<b>25%</b>	

**Tabla 9. RESUMEN DE PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SEIQUE (CEDRELINGA CATENAEFORMIS) – COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA.**

<b>Tipo de ensayo:</b>		Compresión Paralela a la Fibra		<b>Norma:</b>	ASTM D-143-14	
<b>Maquina:</b>		Autograph AGS-X Series		<b>Fecha:</b>	11/7/2023	
<b>Velocidad de ensayo:</b>		0.3 mm/min		<b>Realizado por:</b>	Andrés Acosta	
<b>Distancia entre apoyos (mm):</b>		100		<b>Dimensiones (mm):</b>	25 x 25 x 100	
CÓDIGO	Contenido de Humedad	Módulo de Elasticidad	Fuerza de Rotura	Esfuerzo de rotura	Esfuerzo admisible	Tipo de falla
	%	MPa	N	MPa	MPa	
T21	21%	4812.00	24524	39.23	15.69	S
T22	19%	3825.00	21936	35.09	14.04	S
T23	22%	4512.00	22816	36.50	14.60	C
T24	22%	4760.00	27428	43.88	17.55	C
T25	21%	4545.00	25871	41.39	16.56	S
T26	21%	4441.00	27170	43.47	17.39	S
T27	21%	4324.00	24562	39.29	15.72	C
<b>Promedio:</b>	<b>0.21</b>	<b>4459.86</b>	<b>24901</b>	<b>39.84</b>	<b>15.93</b>	
<b>Desviación estándar:</b>	<b>0.01</b>	<b>328.10</b>	<b>2076.47</b>	<b>3.32</b>	<b>1.33</b>	
<b>Desviación estándar %</b>	<b>5%</b>	<b>7%</b>	<b>8%</b>	<b>8%</b>	<b>8%</b>	
AR1	28%	3708.00	21017	33.62	13.45	C
AR2	19%	3865.00	20368	32.58	13.03	C
AR3	23%	3898.00	20975	33.56	13.42	S
AR4	19%	3878.00	20394	32.63	13.05	C
AR5	19%	3790.00	20838	33.34	13.34	C
AR6	19%	3778.00	20771	33.23	13.29	C
AR7	19%	4015.00	21241	33.98	13.59	C
<b>Promedio:</b>	<b>0.21</b>	<b>3847.43</b>	<b>20801</b>	<b>33.28</b>	<b>13.31</b>	
<b>Desviación estándar:</b>	<b>0.04</b>	<b>99.53</b>	<b>322.99</b>	<b>0.52</b>	<b>0.21</b>	
<b>Desviación estándar %</b>	<b>17%</b>	<b>3%</b>	<b>2%</b>	<b>2%</b>	<b>2%</b>	
AU1	25%	3403.00	18243	29.19	11.68	C
AU2	21%	3220.00	17354	27.76	11.10	C
AU3	18%	3245.00	14715	23.54	9.42	C
AU4	26%	3371.00	16777	26.84	10.74	C
AU5	24%	3397.00	18534	29.65	11.86	C
AU6	22%	3024.00	12481	19.97	7.99	CS
AU7	21%	3330.00	16619	26.59	10.64	C
<b>Promedio:</b>	<b>0.22</b>	<b>3284.29</b>	<b>16389</b>	<b>26.22</b>	<b>10.49</b>	
<b>Desviación estándar:</b>	<b>0.03</b>	<b>135.30</b>	<b>2131.03</b>	<b>3.41</b>	<b>1.36</b>	
<b>Desviación estándar %</b>	<b>13%</b>	<b>4%</b>	<b>13%</b>	<b>13%</b>	<b>13%</b>	
T11	27%	3780.00	20457	32.73	13.09	C
T12	34%	3822.00	21613	34.58	13.83	C
T13	29%	3372.00	20150	32.24	12.90	C
T14	33%	3523.00	20046	32.07	12.83	CS
T15	23%	3514.00	19706	31.52	12.61	C
T16	32%	3438.00	18808	30.09	12.04	C
T17	28%	3784.00	22143	35.42	14.17	CS
<b>Promedio:</b>	<b>0.29</b>	<b>3604.71</b>	<b>20418</b>	<b>32.66</b>	<b>13.07</b>	
<b>Desviación estándar:</b>	<b>0.04</b>	<b>185.71</b>	<b>1133.90</b>	<b>1.81</b>	<b>0.73</b>	
<b>Desviación estándar %</b>	<b>14%</b>	<b>5%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	

Tabla 10. RESUMEN DE PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SEIQUE (CEDRELINGA CATENAEFORMIS) – FLEXIÓN ESTÁTICA

Tipo de ensayo:		Flexión estática		Norma:	ASTM D-143-14	
Maquina:		Shimadzu Concreto 2000X		Fecha:	21/7/2023	
Velocidad de ensayo:		1.3 mm/min		Realizado por:	Andrés Acosta	
Distancia entre apoyos (mm):		360	Dimensiones (mm):		25 x 25 x 410	
CÓDIGO	Contenido de Humedad	Módulo de Elasticidad	Fuerza de Rotura	Esfuerzo de rotura	Esfuerzo admisible	Tipo de falla
	%	MPa	N	MPa	MPa	
T21	17%	7098.00	2868	99.15	31.04	a
T22	17%	7965.00	2946	101.82	31.87	c
T23	16%	11591.00	2771	95.78	29.98	e,c
T24	17%	11783.00	2747	94.94	29.72	c
T25	17%	14018.00	2809	97.09	30.39	c
T26	16%	13853.00	2956	102.17	31.98	e,c
T27	17%	8753.00	2461	85.06	26.63	a,d
<b>Promedio:</b>	<b>0.17</b>	<b>10723.00</b>	<b>2794</b>	<b>96.57</b>	<b>30.23</b>	
<b>Desviación estándar:</b>	<b>0.00</b>	<b>2803.54</b>	<b>167.67</b>	<b>5.80</b>	<b>1.81</b>	
<b>Desviación estándar %</b>	<b>3%</b>	<b>26%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	
AR1	17%	5862.10	2173	75.12	23.52	e,c
AR2	17%	5583.82	2151	74.36	23.28	c
AR3	17%	5415.01	1655	57.21	17.91	b
AR4	17%	6273.83	2267	78.36	24.53	e,c
AR5	17%	5860.19	2299	79.47	24.88	e,c
AR6	17%	6020.45	2261	78.15	24.46	e,b
AR7	17%	6157.54	2233	77.20	24.17	e
<b>Promedio:</b>	<b>0.17</b>	<b>5881.85</b>	<b>2148</b>	<b>74.27</b>	<b>23.25</b>	
<b>Desviación estándar:</b>	<b>0.00</b>	<b>304.54</b>	<b>223.84</b>	<b>7.74</b>	<b>2.42</b>	
<b>Desviación estándar %</b>	<b>1%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>10%</b>	<b>10%</b>	
AU1	14%	5976.91	1551	52.56	16.45	b*
AU2	16%	6883.83	2031	70.20	21.98	c,a
AU3	15%	5844.09	1535	53.07	16.61	b*
AU4	17%	6499.95	2024	69.96	21.90	b
AU5	16%	5750.55	1526	52.74	16.51	b
AU6	16%	6313.82	1640	56.71	17.75	c
AU7	16%	5551.75	1436	49.63	15.54	c,b
<b>Promedio:</b>	<b>0.16</b>	<b>6117.27</b>	<b>1678</b>	<b>57.84</b>	<b>18.11</b>	
<b>Desviación estándar:</b>	<b>0.01</b>	<b>469.28</b>	<b>246.31</b>	<b>8.61</b>	<b>2.70</b>	
<b>Desviación estándar %</b>	<b>5%</b>	<b>8%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>	
T11	17%	7710.42	2082	71.91	22.51	c
T12	17%	7473.11	2025	70.01	21.92	e,c
T13	16%	6857.03	2104	72.71	22.76	b
T14	17%	7768.16	2284	78.95	24.71	c
T15	18%	8228.12	2005	69.32	21.70	c
T16	17%	7524.42	2299	79.47	24.88	c
T17	17%	8722.48	1994	68.92	21.57	c
<b>Promedio:</b>	<b>0.17</b>	<b>7754.82</b>	<b>2113</b>	<b>73.04</b>	<b>22.87</b>	
<b>Desviación estándar:</b>	<b>0.00</b>	<b>591.75</b>	<b>128.09</b>	<b>4.43</b>	<b>1.39</b>	
<b>Desviación estándar %</b>	<b>2%</b>	<b>8%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	

### 3.2 Verificación de hipótesis

Hipótesis:

EL SEIQUE (CEDRELINGA CATENAEFORMIS) PROVENIENTE DEL CANTÓN TENA PROVINCIA DE NAPO ES CONSIDERADO COMO UNA ESPECIE MADERABLE APTA PARA USARSE COMO UN ELEMENTO ESTRUCTURAL

Verificación de hipótesis

Para verificar la hipótesis de que el Seique (*Cedrelinga catenaeformis*) proveniente del cantón Tena, provincia de Napo, es considerado como una especie maderable apta para usarse como un elemento estructural, se llevaron a cabo ensayos mecánicos, incluyendo tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra y flexión estática. Los resultados obtenidos de estos ensayos demostraron que la madera de Seique cumple parcialmente con los requisitos y valores mínimos establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) para ser clasificada como una madera estructural. La resistencia a la tracción, compresión y flexión presentó valores dentro de rangos adecuados para su uso como elemento estructural bajo el criterio de esfuerzos admisibles, pero solamente la resistencia a tracción fue catalogada dentro de un grupo estructural bajo el criterio de Módulos de elasticidad, respaldando la afirmación inicial de la hipótesis.

## CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- A través de un proceso de búsqueda en campo, se lograron identificar cuatro lugares de comercialización, dos en la ciudad de Tena y dos en la ciudad de Ambato al encontrar limitaciones importantes al momento de adquirir las muestras en estado verde. Sin embargo, se destaca que únicamente tres de estos establecimientos presentaron la documentación adecuada que respalda la procedencia de los tablones de Seique. Esta información es crucial para la planificación y desarrollo de futuros proyectos de aprovechamiento y uso sostenible de la madera de Seique en la región, asegurando que se cumplan con los criterios de sostenibilidad y trazabilidad de esta importante especie forestal.
- Se logró cumplir con el objetivo de elaborar 7 probetas de madera de Seique (*Cedrelinga catenaeformis*) por ensayo, provenientes del cantón Tena, provincia de Napo, siguiendo los lineamientos establecidos por la Norma ASTM D 143-14. Este proceso de preparación y fabricación de las probetas garantiza la homogeneidad y estandarización de las muestras utilizadas en los ensayos mecánicos, lo que proporciona resultados confiables y representativos del comportamiento mecánico de la madera estudiada. Estas probetas se convierten en la base para el análisis y la comprensión de las propiedades mecánicas de la madera de Zeique, con miras a evaluar su potencial como material estructural en futuros proyectos de ingeniería y construcción, así como para promover su uso sostenible y responsable en la industria forestal. Estas se encuentran detalladas en los cuadros de experimentos correspondientes.
- Los ensayos de la madera de Seique proveniente del cantón Tena, provincia de Napo, revelaron valores promedio de contenido de humedad de aproximadamente 23% en estado seco al aire durante la prueba de Tracción. Además, el módulo de elasticidad en tracción varió entre 17,603.29 MPa en la muestra T2 y 13,089.29 MPa en la muestra T1, clasificando todas las muestras dentro del Grupo A con un valor mínimo de 13,000 MPa. Asimismo, los esfuerzos admisibles en tracción paralela oscilaron entre 46.23 MPa en la muestra T2 y 22.45 MPa en la muestra AU, todas calificadas dentro del Grupo A de la Norma Ecuatoriana de la construcción con un valor mínimo de 14.5



MPa. Estos resultados indican que la madera de Seique muestra propiedades mecánicas favorables para su uso como material estructural, lo que representa una valiosa oportunidad para aplicarla en proyectos de construcción con responsabilidad y sostenibilidad.

- En los ensayos de compresión paralela a la fibra se logró determinar que ningún valor de módulo de elasticidad de las muestras estudiadas alcanzaba los valores mínimos para entrar en algún grupo estructural de la NEC. Con respecto al criterio de esfuerzos admisibles se encontró que la muestra T2 es la única que entra en Grupo A con un valor de 15.93 MPa superando el valor mínimo de 14.5 MPa. La muestra AR y T1 con valores de 13.31 MPa y 13.07 MPa se clasifican como parte del grupo B que tiene un mínimo de 11 MPa y por último la muestra AU con un valor 10.49 se clasifica como parte del grupo C que presenta un mínimo de 8 MPa.
- Los ensayos de Flexión estática arrojaron diferentes valores de módulo de elasticidad para las muestras, con la muestra T2 siendo la única clasificada en el grupo B con un valor de 10,723 MPa, cumpliendo con el criterio mínimo de 7.5 MPa establecidos para este criterio según la normativa ecuatoriana. Por otro lado, los esfuerzos admisibles clasificaron las muestras T2, AR y T1 en el grupo A con valores de 30.23 MPa, 23.25 MPa y 22.87 MPa, respectivamente, cumpliendo con el requisito mínimo de 21 MPa. Por último, la muestra AU fue clasificada en el grupo B con un valor de 18.11 MPa, superando el valor mínimo de 15 MPa según la NEC. Estos resultados demuestran la viabilidad de utilizar la madera de Seique en diferentes aplicaciones estructurales considerando sus propiedades mecánicas.
- Los ensayos de Flexión estática reflejo valores de modulo de elasticidad de 10 723 MPa para la muestra T2 siendo esta la única muestra clasificada bajo este criterio, ubicándose en el grupo B que especifica un valor mínimo de 7.5 MPa. Los valores de esfuerzos admisibles en cambio resultaron clasificar a las muestras T2, AR y T1 con valores de 30.23 MPa, 23.25 MPa y 22.87 MPa respectivamente en el Grupo A que especifica un mínimo de 21 MPa, y por último la muestra AU con un valor de 18.11 clasificándose como parte del grupo B según la NEC que especifica un valor mínimo de 15 MPa

- En conclusión, se ha logrado crear una tabla resumen que incluye todas las propiedades mecánicas estudiadas de las 4 muestras de madera de Seique provenientes del cantón Tena, provincia de Napo. Esta tabla se presenta como una guía de diseño que permitirá a ingenieros, arquitectos y diseñadores utilizar la madera de Seique de manera adecuada en proyectos estructurales. Además, al actualizar la base de datos con información específica sobre esta especie maderable en el Ecuador, se contribuye a ampliar el conocimiento y disponibilidad de información valiosa para el sector de la construcción y el diseño en el país. La investigación ha permitido obtener datos precisos y relevantes sobre las propiedades mecánicas de esta madera, lo que resulta de gran importancia para su uso sostenible y responsable en futuros proyectos.
- Al analizar los valores de densidad seca al aire y su relación con las resistencias de las muestras de Seique, se observó una tendencia clara en la muestra T2, que presenta la mayor densidad seca al aire de  $0.68 \text{ g/cm}^3$  y también la mayor resistencia. Por otro lado, las muestras AR y T1, a pesar de tener valores similares de resistencia, no muestran una relación directa con su densidad seca al aire. Sin embargo, los resultados de la muestra AU también reflejan una relación, siendo la muestra con la menor resistencia y densidad seca al aire, con un valor de  $0.51 \text{ g/cm}^3$ . Estos hallazgos sugieren que, en general, existe una conexión entre la densidad seca al aire y la resistencia de la madera de Seique, y la muestra T2 y AU representan los extremos en esta relación.

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda encarecidamente a los profesionales y diseñadores de estructuras de madera que apliquen los factores de reducción adecuados para asegurar la seguridad y confiabilidad de sus proyectos. Estos factores tienen en cuenta la variabilidad natural de las propiedades de la madera y garantizan que la estructura no esté sometida a esfuerzos superiores a su capacidad de resistencia. Al seguir esta práctica, se evita el riesgo de fallas prematuras y se asegura la durabilidad y estabilidad de las construcciones de madera. Asimismo, es fundamental adherirse a las normativas y guías de diseño establecidas para asegurar la calidad y el desempeño óptimo de las estructuras.
- Es altamente recomendable considerar meticulosamente todos los parámetros de medición y ensayos indicados en la norma seleccionada para los ensayos de madera. La precisión y abundancia de datos de las muestras sometidas a ensayo permiten obtener conclusiones más claras sobre su comportamiento mecánico y sus propiedades físicas. Al contar con una información detallada y completa, se logra un análisis más profundo y confiable de las características de la madera, lo que resulta fundamental para tomar decisiones adecuadas en el diseño y uso de este material en aplicaciones estructurales y constructivas.
- Se recomienda establecer tiempos de secado adecuados para cada tipo de madera que se clasifique como material estructural. Para ello, se deben considerar factores como la especie de madera, su grosor, el contenido inicial de humedad y las condiciones ambientales locales. Se sugiere utilizar métodos de secado natural al aire siempre que sea posible, y realizar mediciones periódicas del contenido de humedad en las muestras de madera hasta alcanzar un nivel constante. Consultar guías técnicas y realizar pruebas piloto ayudará a obtener resultados precisos y confiables. Un secado adecuado asegurará que la madera alcance su humedad de equilibrio óptima, evitando deformaciones no deseadas y garantizando su resistencia y durabilidad en construcciones estructurales.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] PREDESUR, «Estudio tecnológico de propiedades y usos de 64 especies maderables del sur ecuatoriano», *Subcomisión ecuatoriana*. Quito, EC, 1979.
- [2] U.S. Forest Service, *Wood Handbook - Wood as an Engineering Material*. Wisconsin, EE.UU, 1999. Accedido: 14 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en:  
[https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpWHWEM00F/cid:kt0052LHZ2/viewerType:khtml/?item\\_id=3205303&page=32&include\\_synonyms=no&view=collapsed&zoom=1&q=cedrelinga%20cateniformis](https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpWHWEM00F/cid:kt0052LHZ2/viewerType:khtml/?item_id=3205303&page=32&include_synonyms=no&view=collapsed&zoom=1&q=cedrelinga%20cateniformis)
- [3] U.S. Department of Agriculture, *Wood Handbook - Wood as an Engineering Material (Centennial Edition)*. Wisconsin, EE.UU, 2010. Accedido: 14 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en:  
<https://app.knovel.com/kn/resources/kt011KPTS4/kpWHWEM014/itable/itable?b-toc-cid=kpWHWEM014&b-toc-title=Wood+Handbook+-+Wood+as+an+Engineering+Material+%28Centennial+Edition%29&b-toc-url-slug=table-5-5a-mechanical&columns=10101010%2C1%2C2%2C3%2C4%2C5%2C6%2C7%2C8%2C9%2C10&q=Cedrelinga+cateniformis>
- [4] S. Quintana, A. Cabudivo, y J. Espíritu, «Propiedades físico-mecánicas de las maderas de Simarouba amara (Aubl.) y Cedrelinga cateniformis (Ducke) de plantaciones de diferentes edades, San Juan Bautista, Loreto, Perú», *Conocimiento Amazónico*, vol. 2, n.º 2, 2011, Accedido: 14 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unapiquitos.edu.pe/ojs-2.4.8-5/index.php/Conocimientoamazonico/article/view/36>
- [5] L. Yoza, E. Baradit, y M. Acevedo, «CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE ESPECIES, PINO (*Pinus patula*) Y TORNILLO (*Cedrelinga cateniformis*) PROVENIENTES DEL PERÚ UTILIZANDO TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS», *Anales Científicos*, vol. 76, n.º 1, p. 12, jul. 2015, doi: 10.21704/ac.v76i1.758.
- [6] J. Bacalla, «CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LAS ESPECIES MADERABLES *Cedrelinga cateniformis* e *Inga sp*», UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS, Peru, 2017. Accedido: 14 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/1209/JAMES%20BACALLA%20CHAVEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [7] R. Forestal Venezolana y A. Lxii, «MÓDULO DE ELASTICIDAD DE CEDRELINGA CATENIFORMIS D. DE PLANTACIONES EMPLEANDO TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS MODULUS OF ELASTICITY OF CEDRELINGA CATENIFORMIS D. FROM PLANTATIONS USING NON-DESTRUCTIVE TECHNIQUES», 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.inia.gob.pehttp://www.lamolina.edu.pe>

- [8] K. Ocaña, «DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS DE LAS ESPECIES *Cedrelinga cateniformis* (chuncho), *Minquartia guianensis* (guayacán pechiche), EN LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO», ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Ecuador, 2018. Accedido: 14 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10364>
- [9] L. S. Z. R. Soares *et al.*, «Influence of moisture content on physical and mechanical properties of *Cedrelinga cateniformis* wood», *Bioresources*, vol. 16, n.º 4, pp. 6758-6765, ago. 2021, doi: 10.15376/biores.16.4.6758-6765.
- [10] B. Baldeon, «Propiedades mecánicas y aptitud de uso de la madera *Cedrelinga cateniformis* (tornillo) con 15 años de edad proveniente de un sistema agroforestal con *Theobroma cacao*», UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONIA, Yarinacocha, Perú, 2022. Accedido: 14 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: [http://51.222.120.98/bitstream/unia/318/1/T084\\_42949963\\_T.pdf](http://51.222.120.98/bitstream/unia/318/1/T084_42949963_T.pdf)
- [11] U. Pascual, *Construcción de estructuras de madera / Pascual Urbán Brotóns*. San Vicente (Alicante): Editorial Club Universitario, 2012.
- [12] J. C. Barahona, D. R. Robalino, E. Cabezas, y E. S. Castañeda, «Determination of Physical and Mechanical Properties of Three-layer Boards of Teak (*Tectona grandis*), Seike (*Cedrelinga cateniformis*) and Mascarey (*Hieronima alchorneoides*), Company PISMADE S.A., Riobamba Canton, Chimborazo Province», *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, ago. 2021, doi: 10.18502/esPOCH.v1i4.9502.
- [13] Fernando. Sánchez Rodríguez y H. Y. Ramírez Ibargollín, *Construcciones de madera*. Editorial Félix Varela, 2005.
- [14] M. d. D. U. y. Vivienda, «ESTRUCTURAS DE MADERA». Quito, 2014.
- [15] M. Romero y D. Velasteguí, «Descripción de las Cadenas Productivas de Madera en el Ecuador», Ecuador, 2011. Accedido: 4 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: [http://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/2604/Technical/Publicaci%C3%B3n%20-%20cadena%20productiva%202015%20apr%202011.pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2604/Technical/Publicaci%C3%B3n%20-%20cadena%20productiva%202015%20apr%202011.pdf)
- [16] Darmono, F. Ma'arif, S. Widodo, y S. Pamungkas, «Analysis of Mechanical Properties of Timber Materials», *J Phys Conf Ser*, vol. 1387, n.º 1, p. 012093, nov. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1387/1/012093.
- [17] Acuerdo de Cartagena, *Manual de diseño para maderas del grupo andino*. Lima: CAHVAJAL S.A, 1984.
- [18] Ecuador Forestal, «Ficha técnica No.4 SEIQUE», Ecuador.
- [19] Universidad Nacional de la Plata, *Introducción a las estructuras de madera . Esfuerzos y Solicitaciones*. Buenos Aires: UNLDP, 2022.

- [20] H. Parker, *Diseño simplificado de estructuras de madera*, 1.<sup>a</sup> ed., vol. 1. Buenos Aires: Editorial Limusa-Wiley, 1972.

## ANEXOS

**URL de ubicación de puntos de recolección de muestras (cedrelinga catenaeformis)**

<b>DATOS DE GEORREFERENCIACIÓN</b>	
<b>Vínculos de ubicación en Google Maps</b>	
<b>CENTROS DE COMERCIALIZACIÓN</b>	
<b>CODIGO DE MUESTRA</b>	<b>URL</b>
T1 “Aserradero SORIA”	<a href="https://goo.gl/maps/9kfcsCSafDsSwq7SA">https://goo.gl/maps/9kfcsCSafDsSwq7SA</a>
T2 “Aserradero “Maderas y construcciones”	<a href="https://goo.gl/maps/RJeujyKR6VR8n3bE9">https://goo.gl/maps/RJeujyKR6VR8n3bE9</a>
AR Aserradero SN	<a href="https://goo.gl/maps/h2kH1Ush9iXAboPw9">https://goo.gl/maps/h2kH1Ush9iXAboPw9</a>
AU Aserradero Sr. Héctor Mejía	<a href="https://goo.gl/maps/r4xW6H2fKwG2tvGc7">https://goo.gl/maps/r4xW6H2fKwG2tvGc7</a>

**Media anual del CHE de la madera en localidades del Ecuador**

<b>Localidad</b>	<b>Temperatura media anual °C</b>	<b>Humedad relativa promedio anual</b>	<b>Humedad de equilibrio de la madera (media anual)</b>
Tena	23.1	89.2	21.4
Ambato	14.1	76	15.9

**Fotografía de fallas más comunes en probetas sometidas a tracción paralela**



**Izquierda: Falla tipo (c)**  
tensión cortante

**Medio: Falla tipo (b)**  
Combinados de tensión y corte

**Derecha: Falla tipo (a)**  
Tensión cortes limpios



**Fotografía de fallas más comunes en probetas sometidas a compresión paralela**



**Fotografía de fallas más comunes en probetas sometidas a compresión paralela**  
(vista lateral)



(vista inferior)

