

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA DE LA MADERA CEDRO
(*Cedrela odorata* L.) PROVENIENTE DEL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA
COLOMBIA**



PEDRO CARLOS MERCADO LÁZARO

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MONTERÍA – CÓRDOBA**

2020

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA DE LA MADERA CEDRO
(*Cedrola odorata L.*) PROVENIENTE DEL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA**

PEDRO CARLOS MERCADO LÁZARO

**Trabajo de grado presentado en la modalidad de trabajo de investigación como
parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Mecánico.**

Director

LUIS ARMANDO ESPÍTIA SANJUÁN, Ph. D

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MONTERÍA – CÓRDOBA**

2020

La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del proyecto, serán responsabilidad de los autores.

Artículo 61, acuerdo N° 093 del 26 de noviembre de 2002 del consejo superior.

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA.

A Dios quien me guiado por el buen camino, brindándome fuerzas para seguir adelante y no desmayar, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis padres por su apoyo incondicional, a mi madre Georgina quien me ha dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, y me fortalece a seguir adelante.

Mi padre, Jaime Mercado a quien con su gran sabiduría ha dado todas sus fuerzas para conseguir mis objetivos y a mis hermanos Jaime Alonso, Jaime Luis, Ana por su apoyo y motivación durante todo este proceso. A mi abuela Raque que desde el primer momento me ayudo y ahora desde el cielo me brinda toda la energía necesaria para continuar a la señora Libia y a todos mis amigos que me ayudaron en este recorrido.

Pedro Carlos Mercado Lázaro

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a Dios enormemente porque en su infinito amor me ha permitido disfrutar día a día de mis padres y demás personas que me han brindado su amor y afecto sincero, a su vez, a mi madre y a mi padre por todo su amor, comprensión, dedicación y paciencia durante las diferentes etapas de mi vida como ser humano porque gracias a esto he podido alcanzar diferentes logros y superado muchos obstáculos.

A todos los docentes de la Universidad de Córdoba involucrados en mi formación integral como profesional, especialmente al Ingeniero Mecánico, Master y Doctor Luis Armando Espitia Sanjuán por los saberes impartidos y por su magnífica orientación y consejos durante el desarrollo de este proyecto. También mi especial reconocimiento y agradecimiento a nuestra alma mater, universidad de Córdoba, en la cual está representada la Facultad de ingeniería.

Pedro Carlos Mercado Lázaro

TABLA DE CONTENIDO

	PÁG.
RESUMEN-----	12
1. INTRODUCCION -----	13
2. OBJETIVOS -----	14
2.1 OBJETIVO GENERAL	14
2. 2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
3. REVISIÓN DE LA LITERATURA -----	15
3.1. MADERA.....	15
3.2. MADERA CEDRO	17
3.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA.....	18
3.4 ENSAYO DE TENSIÓN.....	25
3.5 ENSAYO DE FLEXIÓN.....	28
3.6 PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DE LA MADERA	29
4. MATERIALES Y MÉTODOS -----	32
4.1 OBTENCIÓN DE LA MADERA CEDRO	32
4.2. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA CEDRO	32
4.2.1. CONTENIDO DE HUMEDAD	33
4.2.2. DENSIDAD AL CONTENIDO DE HUMEDAD, DENSIDAD BÁSICA Y DENSIDAD ANHIDRA	33
4.3 MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA CEDRO	34
4.3.1. ENSAYOS DE TENSIÓN	35
4.3.2. ENSAYOS DE FLEXIÓN	36

4.3.3.VERIFICACIÓN ESTADÍSTICA	38
4.4 VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS REQUERIMIENTOS ESTABLECIDOS EN REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMORRESISTENTE NSR-10 TÍTULO G	41
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	42
5.1 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA CEDRO .	42
5.1.1. CONTENIDO DE HUMEDAD	42
5.1.2.DENSIDAD AL CONTENIDO DE HUMEDAD, DENSIDAD BÁSICA Y DENSIDAD ANHIDRA	43
5.2 MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA CEDRO	45
5.2.1. ENSAYOS DE TENSIÓN	45
5.2.2. ENSAYO DE FLEXIÓN	46
5.3. CORRECIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	49
5.4. VERIFICACIÓN ESTADÍSTICA	50
5.5. ESFUERZOS BÁSICOS.....	50
5.6. VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS REQUERIMIENTOS ESTABLECIDOS EN REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10 TÍTULO G.....	51
6. CONCLUSIONES -----	53
7. RECOMENDACIONES -----	54
8. BIBLIOGRAFÍA-----	55
9. ANEXOS-----	66

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coeficientes de variación máximos admisibles para las propiedades evaluadas según ASTM. -----	39
Tabla 2. Aumento promedio de las propiedades mecánicas por cada 1% de variación en el contenido de humedad. -----	40
Tabla 3. Factores de ajuste utilizados para el cálculo de esfuerzos básicos. -----	41
Tabla 4. Valores de las propiedades mecánicas obtenidas a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de tensión. -----	46
Tabla 5. Valores de las propiedades mecánicas obtenidas a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de flexión. -----	46
Tabla 6. Clasificación de diferentes tipos de madera. -----	48
Tabla 7. Clasificación de las propiedades mecánicas de Cedrela odorata L con base en las normas ASTM y los contenidos de humedad experimental. -----	49
Tabla 8. Validación estadística de los resultados de MOE y MOR acorde a la norma ASTM D -2555-78. -----	49
Tabla 9. Propiedades mecánicas de Cedrela odorata L al 12% del contenido de humedad. -----	50
Tabla 10. Clasificación de las propiedades mecánicas de Cedrela odorata L con base en las normas ASTM y los contenidos de humedad corregidos al 12%. -----	50
Tabla 11. Esfuerzos básicos para Cedrela odorata L hallados mediante distribución T-student al 12% de contenido de humedad. -----	51
Tabla 12. Clasificación de Cedrela odorata L con base en el reglamento colombiano de sismo resistente NSR-10 Título G. -----	51

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Partes del tronco.	16
Figura 2. Composición de la madera.....	16
Figura 3. Árbol de Cedro - Cedrela odorata L.	18
Figura 4. Representación esquemática de las direcciones axial, radial y tangencial de la madera.	19
Figura 5. Esquema máquina de ensayo de tensión.....	25
Figura 6. Curva de esfuerzo normal en función de la deformación unitaria obtenida a partir de los resultados de un ensayo de tensión.	26
Figura 7. Esfuerzos normales a lo largo de una sección de la viga para un material linealmente elástico.....	29
Figura 8. Ubicación en el duramen y forma de los listones tomados para la fabricación de las probetas.	32
Figura 9. Dimensiones de la probeta para ensayos de tensión.	35
Figura 10. Montaje empleado para la realización de los ensayos de tensión en la máquina universal de ensayos MTS CRITERION C45.305.....	36
Figura 11. Montaje empleado para la realización de los ensayos de flexión en la máquina universal de ensayos MTS CRITERION C45.305.....	38
Figura 12. Contenido de humedad de la madera Cedro Cedrela odorota L del departamento de Córdoba.....	42
Figura 13. Densidad del Cedrela odorota L del departamento de Córdoba.	43
Figura 14. Gráficos de esfuerzo normal en función de la deformación unitaria para la madera cedro.....	45

RESUMEN

La madera Cedro *Cedrela odorata* L. es una de las especies de base de la industria forestal nacional de maderas preciosas. Sin embargo, a nivel del departamento de Córdoba existen pocos estudios con relación a la calidad de esta madera; por tanto, existe la necesidad de buscar alternativas para conocer sus propiedades físicas y mecánicas. En el presente estudio, se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de la madera cedro proveniente del Departamento de Córdoba. Para ello, se tomó la madera procedente del departamento cumpliendo la normatividad exigida por la corporación del valle del Sinú y San Jorge (CVS), teniendo presente los requisitos de calidad y de clasificación visual para madera estructural establecido en el reglamento de sismorresistencia colombiano. Se determinó el contenido de humedad, las densidades en húmedo, básica, anhidra y a partir de ensayos de tensión y flexión se determinó el esfuerzo ultimo (UTS) módulo elástico (E), módulo de ruptura (MOR) y módulo elástico (MOE) y se verificó si la madera cumple los requisitos de la norma colombiana de sismorresistencia (NSR-10). Se encontró para la madera Cedro un contenido de humedad de 33,08 % y valores de densidades húmeda, básica y anhidra de 0,87; 0,64 y 0,69 g/cm³, respectivamente. Los resultados de los ensayos mecánicos arrojaron un UTS de 1329,2 kg/cm², Módulo Elástico de 347621,3 kg/cm² y valores de MOR y MOE de 1334,6 y 171,1 kg/cm² respectivamente. Para la norma sismorresistencia (NSR-10) el principal parámetro de caracterización de una madera es el módulo, el cual se situó en el rango establecido por la norma con un porcentaje de 93,24%. Con base en los resultados obtenidos se puede decir que la madera proveniente del departamento de Córdoba presenta propiedades físicas y mecánicas suficientes para ser utilizada en la industria nacional y en estructuras sismo resistentes.

Palabras clave: *Cedrela odorata* L, Densidad Básica, Anhidra, Húmeda, Esfuerzo Último, Módulo Elástico, Módulo de Rotura.

1. INTRODUCCION

A nivel nacional se han establecido cultivos forestales debido a las condiciones edafoclimáticas que se presentan en todo el territorio. El Departamento de Córdoba no ha sido la excepción en incursionar en la siembra de especies forestales como Teca, Melina, Acacia y Cedro, dado que tiene las condiciones ambientales exigidas por estos cultivos. En Colombia, según un estudio de zonificación por aptitud forestal, realizado por la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF), de los 114 millones de hectáreas de extensión del país, aproximadamente 17 millones de hectáreas tienen potencial para el desarrollo de proyectos forestales, de las cuales, sólo están siendo utilizadas en plantaciones forestales comerciales 350.000 ha, es decir, actualmente sólo se está usando el 2,06 % del potencial forestal del país (PROEXPORT, 2012).

Por otra parte, (Rincón, 2009) y (MADR, 2005) manifestaron que Córdoba es un Departamento agrícola que cuenta con 897,086.72 ha con la aptitud forestal, de los aproximadamente 25 millones de hectáreas susceptibles de ser aprovechadas en la reforestación. Una de las alternativas es la utilización del Cedro *Cedrela odorata* L debido al impacto económico que tiene esta madera en la industria forestal. No obstante, conocer los valores de las propiedades físicas y mecánicas de la madera es una información importante para el diseño estructural en madera (Bsasterra, et al, 2006). Sin embargo, las investigaciones y datos acerca de las propiedades físicas y mecánicas de la madera son poco tenidas en cuenta por parte de los constructores, esto se debe a que los conocimientos de las técnicas empleadas al trabajar con este material, los adquieren empíricamente (Keenan, J., & Tejada, M., 1987).

En el departamento de Córdoba a pesar de existir muchos cultivos forestales no existen estudios que soporten la calidad de la madera que se produce en la región, es decir, que no están cualificadas las maderas para su uso estructural a partir de sus propiedades físicas y mecánicas, y en particular el Cedro *Cedrela odorata* L no es la excepción. Por lo anterior, en este trabajo se caracterizaron algunas propiedades físicas y mecánicas de la madera *Cedrela odorata* L producidas en el departamento de Córdoba Colombia.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la madera Cedro *Cedrela odorata* L proveniente del Departamento de Córdoba - Colombia.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 2.2.1. Determinar el contenido de humedad, y las densidades al contenido de humedad, básica y anhidra de la madera de cedro proveniente del Departamento de Córdoba a través de las normas ASTM D143, ASTM D4442 y ASTM D2395.
- 2.2.2. Determinar propiedades mecánicas de la madera mediante ensayos de tensión y flexión acorde a las normas ASTM D143 y ASTM D2555.
- 2.2.3. Verificar si los resultados obtenidos cumplen los requerimientos establecidos en Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Título G.

3. REVISIÓN DE LA LITERATURA

3.1. MADERA

La madera es un material natural, flexible, resistente y de elasticidad variable que se encuentra en los troncos de los árboles, está formada de un conjunto de tejidos y por la aglomeración de células de forma y longitud muy variables dependiendo de la función que desempeñen. Sin embargo, para generar madera, las plantas han de tener crecimiento secundario, es decir, que el crecimiento en diámetro se hace independiente al crecimiento longitudinal creciendo año tras año mediante un sistema de capas concéntricas y circulares. El uso de la madera se remonta a las primeras civilizaciones, ya que fue el primer material de construcción de que dispuso el hombre. Es el material de construcción más ligero, resistente y fácil de trabajar, y como es un recurso renovable de gran disponibilidad en la naturaleza, se hace mucho mayor su aprovechamiento. En general, la madera se puede clasificar basada en el tipo, tamaño, número y localización de características que pueden disminuir su resistencia, durabilidad y utilidad. Según (Fernández, 1992) la madera puede ser clasificada en madera estructural, madera comercial y madera de elaboración.

Madera Estructural: Requiere un proceso de análisis y diseño estructural. Se clasifica atendiendo a sus propiedades mecánicas y uso de las piezas aserradas.

Madera Comercial: Se clasifica en diferentes grupos teniendo en cuenta solamente su apariencia y características físicas, sin importar sus propiedades mecánicas. Se utilizan en trabajos generales de construcción.

Madera de Elaboración: Se usa en la carpintería y ebanistería para hacer puertas, marcos y otras piezas.

La madera se obtiene del tronco del árbol y es la parte sólida localizada debajo de la corteza, su grosor aumenta cada año en forma de anillo concéntrico. Según la (CAM, 2009), las partes que conforman el tronco son las siguientes:

Médula: Parte central del tronco constituido por tejido flojo y poroso. De ella parten radios medulares hacia la periferia. Es el área más pálida de unos pocos milímetros de espesor.

Duramen o Corazón: Es la parte interna que rodea la médula, de tonalidad oscura, constituida por células muertas y da mayor resistencia al árbol.

Albura: Madera de la sección externa del tronco, de color más claro. Es la zona más viva, saturada de sabia y sustancias orgánicas. Se transforma con el tiempo en duramen la **Figura 1.** Partes del tronco. ilustra las partes del tronco.

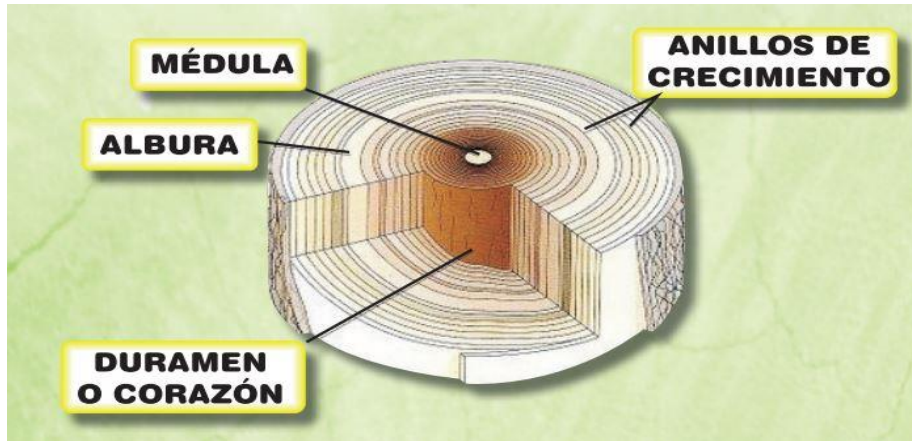


Figura 1. Partes del tronco.

Fuente: (CAM, 2009)

La madera como la mayoría de los vegetales está compuesta por numerosas células. La pared celular es fina y flexible, con el correr del tiempo se endurece, sobre todo, por acumulación de celulosa, sustancia macromolecular de los glúcidos y lignina, sustancia que le otorga la rigidez e impermeabilidad. Las fibras de celulosa forman un entramado en el cual se almacena la lignina, sólo cuando la lignina se ha depositado en la pared celular se forma la “Madera”. Desde el punto de vista de la composición química de la madera, los componentes esenciales son lignina, celulosa y productos orgánicos cuyos porcentajes se ilustra en la **Figura 2.**



Figura 2. Composición de la madera.

Fuente: (Aguilar & Guzowski, 2011).

3.2. MADERA CEDRO

El cedro - *Cedrela odorata* L. es un árbol de 20 hasta 45 m de altura, y diámetro promedio de 60 – 90 cm a la altura del pecho, es un árbol de tamaño mediano a grande que varía mucho de acuerdo con las condiciones ambientales. El follaje, normalmente es verde claro y se torna amarillento antes de su caída (SINCH, 2014).

Los árboles de gran tamaño tienen contrafuertes (engrosamiento) hasta de tres metros de alto en la base del tronco. La corteza en los árboles maduros es ampliamente fisurada con las costillas escamosas, pardo grisáceo a moreno rojiza. La corteza interna es rosada cambiando a pardo amarillenta, fibrosa y amarga. Presentan flores masculinas y femeninas que aparecen en la misma inflorescencia, las flores femeninas se abren primero, el fruto demora aproximadamente 9 a 10 meses. Las semillas son aladas y miden aproximadamente de 2 a 5 cm. El cedro se encuentra desde el norte de México hasta el norte de Argentina, se halla entre el nivel del mar y los 1200 m de forma silvestre en las selvas de tierras bajas y algunas veces en la selva andina lluviosa. Además, por lo general se encuentra sobre las cimas de las colinas sobresaliendo como arboles emergentes.

En Colombia se encuentra en Antioquia, Arauca, Atlántico, Córdoba, Bolívar Boyacá, Caquetá, Caldas, Casanare, Choco, Cesar, Cundinamarca, Guaviare, Guajira, Magdalena, Nariño, Huila, Sucre, Cauca, Quindío, Putumayo, Risaralda, San Andrés y Providencia, Meta, Santander, Tolima y Valle del Cauca. Entre los nombres comunes se encuentran Cedro, Cebollo, Cedro Amargo, Cedro Caquetá, Cedro Colorado, Cedro Caobo, Cedro Blanco, Cedro Oloroso, Cedro Rojo. Su principal uso es el comercial por su valor económico, además por su color lo hace bastante apetecido en la industria de los muebles y la artesanal. La **Figura 3** muestra un árbol de Cedro.



Figura 3.Árbol de Cedro - Cedrela odorata L.

Fuente: (SINCH, 2014)

3.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA

La madera es un material heterogéneo formado por fibras orientadas en una misma dirección, por lo que sus propiedades físicas y mecánicas no son iguales en cualquier dirección, si no que varían en función de la orientación en la que se aplique el esfuerzo. La madera es un ejemplo de anisotropía por excelencia, es decir, que sus propiedades varían según la dirección en que son examinadas. Su comportamiento, como en el caso del acero, es bueno ante situaciones que originen compresión, tracción, flexión o corte. Es un material cuya performance estructural compite en cierta medida con el acero, y deja

muy atrás los valores del hormigón (Clarín ARQ, 2014). Según (Winandy , 1994), la madera es un material anisotrópico y debido a la orientación de las fibras de la madera y de la manera en la cual un árbol aumenta en diámetro según su crecimiento, las propiedades varían a lo largo de la dirección en la que se mida con base en tres direcciones perpendiculares entre sí, definidas de la siguiente manera:

Dirección axial: De forma paralela a las fibras y, por lo tanto, al eje del árbol. Es en esta dirección donde la madera presenta mejores propiedades.

Dirección radial: De forma perpendicular a la longitudinal, corta el eje del árbol en el plano transversal.

Dirección tangencial: tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular al eje del árbol.

Las propiedades de la madera difieren en cada una de estas tres direcciones y acorde a (Winandy , 1994), las diferencias entre los ejes radiales y tangenciales son relativamente menores cuando se comparan las diferencias entre el eje radial o tangencial y el eje longitudinal. La **Figura 4** ilustra esquemáticamente estas direcciones.

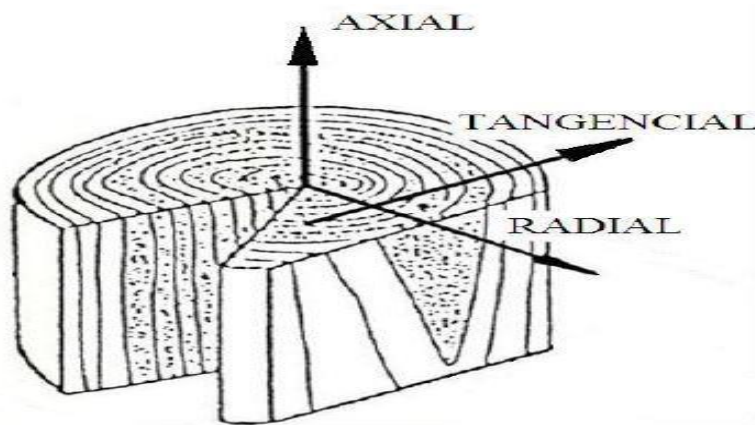


Figura 4. Representación esquemática de las direcciones axial, radial y tangencial de la madera.

Fuente: (Vignote & Martínez, 2006)

3.3.1. Propiedades físicas

En la literatura es común encontrar las siguientes propiedades físicas utilizadas para caracterizar madera: contenido de humedad, peso específico, higroscopicidad, estabilidad dimensional, contracción e hinchamiento, hendibilidad, densidad al contenido de humedad, densidad básica y densidad anhidra. Es importante conocer estas propiedades físicas porque ellas pueden influir significativamente en el desempeño y solidez de la madera usada en aplicaciones estructurales (Winandy , 1994). A continuación, se describirán brevemente algunas de estas propiedades físicas.

3.3.1.1. Contenido de humedad de la madera. La madera es un material higroscópico, entendiéndose por tal aquel que tiene la capacidad de absorber agua de la atmósfera (Acuña & Casado, 2005). Así mismo, el contenido de humedad de la madera debajo del punto de saturación de la fibra es una función relacionada con la humedad relativa y la temperatura del aire circundante, donde esta permanece constante, la madera absorbe y elimina humedad de acuerdo con el ambiente en que se encuentra. Estas variaciones de contenido de agua llevan aparejadas la variación tanto en peso como en volumen de la madera (Aguilar & Guzowski, 2011), (Simpson, 1998) afirma que es necesario aclarar que, para el caso de la madera el contenido de humedad en equilibrio (EMC) donde la madera no gana ni tampoco pierde humedad viene determinado por la humedad relativa del aire y mas no por la humedad absoluta. Finalmente, el contenido de humedad al que los lúmenes (espacios interiores) y las paredes celulares están completamente saturados con agua es el contenido máximo de humedad posible. Además, se define como el peso del agua en la madera expresada como una fracción, normalmente un porcentaje, del peso de madera secada al horno. El peso, encogimiento, fuerza, y otras propiedades dependen del contenido de humedad de la madera. En los árboles, el volumen de humedad puede ir de aproximadamente 30 % a más de 200 % del peso de sustancia de madera (Forest Products Laboratory, 1999).

3.3.1.2. Densidad. Para (Winandy , 1994), dos factores primarios afectan el peso de los productos de la madera: La densidad de la estructura básica de la madera y el contenido de humedad. Un tercer factor, minerales y sustancias extraíbles, sólo tienen un marcado efecto en un número limitado de especies (Díaz , 2005), define que la densidad es el cociente entre la masa y el volumen de la madera, la cual varía con la humedad, es decir,

cuando la humedad crece, la densidad también crece y se calcula de acuerdo a la ecuación 1.

$$D = \frac{M}{V} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

D = Densidad de la madera expresada en g/cm^3 .

M = Masa de la madera, en gramos.

V = Volumen de la madera, en cm^3 .

El (Forest Products Laboratory, 1999), indica que la densidad calculada de la madera, incluso el agua contenida en la madera es normalmente basada en las características promedio de las especies. Este valor siempre debe ser considerado una aproximación debido a la variación natural en la anatomía, contenido de humedad, y la proporción de duramen y albura existente. La densidad está determinada por la cantidad de material sólido en un volumen dado, el contenido de humedad y la cantidad de extractivos presentes en la madera. Una madera de baja densidad se caracteriza por tener fibras de paredes delgadas y una alta proporción de espacios vacíos, es decir, células con lumen amplio. Si se observa una madera que presente fibras de paredes delgadas, poros grandes y en alta proporción, radios anchos y abundante parénquima, se puede definir que se trata de una madera de baja densidad. En probetas pequeñas libres de defectos, puede esperarse que la resistencia sea directamente proporcional a la densidad, es decir, a mayor densidad mayor resistencia (resistencia a la flexión, dureza y otras. Una de densidad baja, como el palo de balsa, como material aislante y que las características más sobresalientes de la madera es su baja densidad comparada con su gran resistencia mecánica, razón por la cual la hace un elemento muy importante en las construcciones (Silva, 2008).

(Puchaicela , 2013), afirman que la densidad de la madera y su variación depende en alto grado de la altura y sección del árbol de donde se toma la muestra, he incluso está influenciada por la estructura genética del árbol. La densidad de la madera varía, a la vez, por la cantidad y clases de sustancias que contiene, por ejemplo, resinas y ligninas.

Según (Forest Products Laboratory, 1999), las bases normalmente usadas para determinar la gravedad específica son el peso seco al horno y el volumen (a) verde, (b) seco al horno, y (c) al 12% de contenido de humedad. El peso seco al horno y el volumen verde se usan a menudo en las bases de datos para caracterizar la gravedad específica de especies que están referidas a la gravedad específica básica. La densidad aparente varía no solo de unas

especies a otras, sino aún en la misma con el grado de humedad y sitio del árbol, y para hallar la densidad media de un árbol hay que sacar probetas de varios sitios (Ale, 2010).

3.3.1.3. Contracción e hinchamiento. La madera cambia de volumen según la humedad que contiene. Cuando pierde agua, se contrae o merma, siendo mínima en la dirección axial o de las fibras, donde no pasa del 0,8 % en la dirección radial. Se estima de 1 a 7,8 % en la dirección radial y de 5 a 11,5 % por ciento en la tangencial. La contracción es mayor en la albura que en el duramen, originando tensiones por desecación que agrietan y alabea la madera (Universidad Católica del Norte, C, 2012).

3.3.2. Propiedades Mecánicas

En la actualidad, se puede considerar que la madera funciona mecánicamente como un sólido elástico y macroscópicamente homogéneo que obedece a las leyes de la resistencia de materiales y que, dentro de ciertos límites de calidad y variabilidad, puede ser un material confiable para su incorporación en el proceso constructivo. Según (Sotomayor, 2002), las características mecánicas de la madera encuentran su aplicación en el diseño de estructuras. Las características mecánicas de cada madera en particular son delimitadas por las variables físicas de referencia para la especie, las condiciones ambientales y del suelo donde fueron cultivadas y las condiciones durante la determinación de la densidad, contenido de humedad y temperatura y, sobre todo, las condiciones reales de servicio de la madera. Esto implica a su vez proponer que la investigación del comportamiento mecánico de la madera debe orientarse hacia las necesidades propias de la industria. Es usual encontrar para la madera las siguientes propiedades mecánicas en la literatura

3.3.2.1. Esfuerzo último (UTS). Máximo esfuerzo soportado por un material sometido a un esfuerzo de tensión. Es el máximo valor de la curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria obtenida por un ensayo de tensión.

3.3.2.2. Módulo elástico (E). Es la constante de proporcionalidad entre el esfuerzo normal aplicado y la deformación unitaria cuando se tienen deformaciones elásticas.

3.3.2.3. Módulo de rigidez (G). Es una constante elástica que caracteriza el cambio de forma que experimenta un material elástico cuando se aplican esfuerzos cortantes.

3.3.2.4. Resistencia a la flexión o módulo de ruptura (MOR). Esfuerzo máximo soportado por un material sometido a flexión.

3.3.2.5. Módulo elástico en flexión (MOE). Módulo elástico de un material calculado a partir de un ensayo a flexión.

3.3.2.6. Dureza (H). Oposición de un material a ser penetrado o rayado.

3.3.2.7. Resistencia al límite elástico (EPL). Esfuerzo máximo soportado por un material antes de tener deformaciones permanentes.

3.3.2.8. Resistencia al cortante (τ). Esfuerzo máximo soportado cuando se aplica una fuerza paralela al área.

Igualmente, para la madera es común encontrar valores de resistencia a tensión, a compresión, a flexión y cortante de forma paralela y perpendicular a la dirección de las fibras, como se muestra a continuación:

3.3.2.9. Resistencia a tensión. La tracción es el esfuerzo a que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo por lo general en sentido longitudinal. La madera, posee una elevada resistencia a la tracción paralela a las fibras, motivada por la elevada resistencia que las cadenas de celulosa presentan ante esta solicitud mecánica. Por otro parte, su resistencia a la tracción perpendiculares es muy baja, del orden de 30 a 70 veces inferior. Esta falta de resistencia transversal es debido a la orientación marcada longitudinal de la estructura de la madera; es decir, conforme la estructura transversal de una especie sea más marcada, esta tendrá una mayor resistencia a la tracción transversal. Se suele afirmar que la resistencia a la tracción viene muy afectada por la calidad de la madera pero que no es sensible a la humedad, de ahí que no suelen considerarse factores correctores (Diez, et al, 2000).

Resistencia a compresión. Es la capacidad de la madera para resistir fuerzas externas que tienden a acortar las fibras. Esta resistencia se puede dar en dos direcciones: en forma paralela a las fibras o perpendicular a ellas. La rotura de la madera solicitada a compresión no resulta clara ya que lo que se produce en la práctica es un aplastamiento de las fibras, en la parte superior; este hecho se pone de manifiesto en el ensayo a flexión de probetas libres de defectos en el que puede observarse que el fallo se suele producir por aplastamiento de las fibras en la zona comprimida. La resistencia a compresión viene muy

afectada por el contenido de humedad de la madera, pero la calidad de la madera la afecta menos que en tracción (Diez, et al, 2000).

3.3.2.10. Resistencia a la flexión. Es la capacidad de la madera para resistir cargas que tienden a doblarla, cuando se aplican en direcciones perpendiculares a las fibras. Si una viga es cargada, en ella se presentan esfuerzos de tensión, compresión y cizalladura. La medida de estos esfuerzos cuando la viga falla, se llama módulo de ruptura (MOR), este refleja la máxima capacidad de carga en flexión de un elemento y es proporcional al momento máximo soportado, aunque es un criterio aceptado de resistencia solo es válido el cálculo en la zona elástica. La influencia de la humedad es menos acusada que en compresión, presentando, como es lógico, un comportamiento intermedio entre tracción y compresión (Diez, et al, 2000).

3.3.3.11. Resistencia al cortante. Capacidad de la madera para resistir la acción de fuerzas paralelas y opuestas que tienden a producir deslizamientos de unas fibras con relación a otras. Es debido a cargas en dirección perpendicular a las fibras. Estas pueden generar otras de tipo tangencial como consecuencia de la deformación de la madera.

La manifestación del cortante puede tener tres formas distintas:

- ✓ Cortante puro: Las fibras son cortadas transversalmente por la acción del esfuerzo que se genera en dirección perpendicular a las fibras. El fallo se produce por aplastamiento y posterior rotura de las fibras. Este tipo de roturas es extraordinariamente raro en estructuras reales.
- ✓ Deslizamiento: Producido por tensiones de tipo tangencial, generadas por la acción del cortante y provocadas por la deformación de las piezas de madera solicitadas a flexión. La rotura se produce por deslizamiento de unas piezas sobre las otras en dirección longitudinal. La resistencia en este caso viene fuertemente afectada por la existencia previa de separaciones en la estructura.
- ✓ Rodadura: Similar al anterior, pero en dirección transversal, produciéndose la rodadura de unas fibras sobre las otras. Este tipo de rodadura se produce en casos contados, tales como el encuentro de alas y almas de perfiles de doble T o en tableros contrachapados. Su resistencia es del orden de 20% al 30% de la resistencia por desplazamiento.

La orientación de las fibras que componen la madera origina la anisotropía de su estructura, por lo que a la hora de definir sus propiedades mecánicas hay que distinguir

siempre entre la dirección perpendicular y la dirección paralela a la fibra. Las mediciones de las propiedades mecánicas se realizan a partir de ensayos mecánicos. A continuación, se describen los ensayos mecánicos que se utilizaron en este trabajo para determinar propiedades Mecánicas.

3.4. ENSAYO DE TENSIÓN

Para la realización de este ensayo se emplea una máquina de ensayos como la que se representa esquemáticamente en la **Figura 5**.

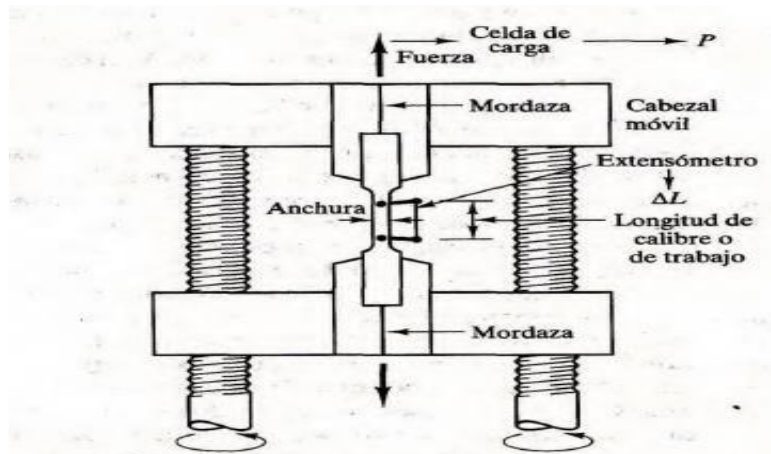


Figura 5. Esquema máquina de ensayo de tensión.

Fuente: (Mangonon, 2001)

Para realizar el ensayo, se coloca cuidadosamente la probeta de medidas estandarizadas en la máquina de ensayos y se aplica una fuerza conocida que aumenta desde cero hasta un valor que produzca la falla de la probeta. El alargamiento del material causado por la aplicación de la fuerza se mide con un dispositivo llamado extensómetro. Este ensayo se termina cuando la probeta se rompe (Askeland, 1998). A partir de los resultados, se construye una gráfica de esfuerzo normal en función de la deformación unitaria como la que se muestra en la **Figura 6**.

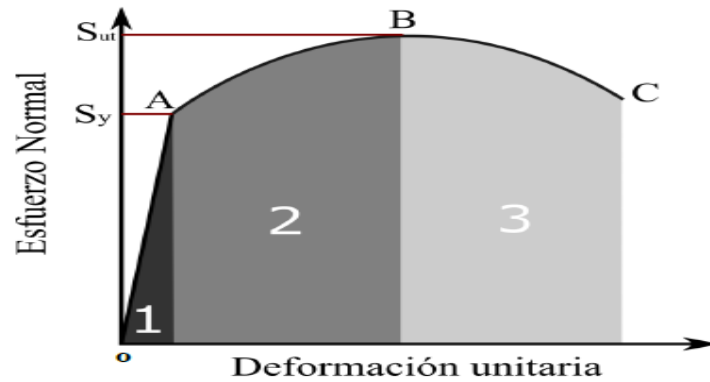


Figura 6. Curva de esfuerzo normal en función de la deformación unitaria obtenida a partir de los resultados de un ensayo de tensión.

Fuente: (Groover, 2007)

Los valores del esfuerzo normal y de la deformación unitaria se calculan a partir de las de acuerdo a la ecuación 2 y 3.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{DF-DO}{DO} \quad (3)$$

Donde:

σ : Esfuerzo normal en Pa

F: Fuerza aplicada en N

A: área de la sección transversal de la probeta en m^2

DF: Longitud de la probeta para cada valor de F en mm

DO: Longitud inicial de la probeta en mm

ε : Deformación unitaria - adimensional.

Las propiedades que entrega un ensayo de tensión son las siguientes:

Esfuerzo de fluencia: Es el Esfuerzo máximo por debajo del cual el material se comporta de manera elástica, es decir, que la deformación unitaria que resulta por la aplicación de la carga desaparece cuando se retira la carga (William F. Smith, 2006), (Shackelford, 2005), (Rilley, Sturges, & Morris, 2001). Punto A.

Esfuerzo último: Esfuerzo más alto que soporta el material antes de experimentar fractura cuando se le somete a una carga axial de tracción. Este Esfuerzo recibe el nombre de Esfuerzo Último Sut (Rilley, Sturges, & Morris, 2001). Punto B.

Módulo de elasticidad: Es la relación de linealidad entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria con constante de proporcionalidad igual a la pendiente de la recta. Este valor de pendiente corresponde al Módulo Elástico también conocido como Módulo de Young (E) y da una medida de la rigidez del material, esto es, la resistencia que opone a ser deformado elásticamente (Guemes Gordon & Martin Piris, 2012). Recta OA.

Resiliencia: Es la energía que el material absorbe cuando se deforma al aplicarle una carga o la energía que libera cuando se le retira dicha carga ((Askeland, 1998) (Callister Jr., 1995). Corresponde al área debajo de la línea OA del diagrama Esfuerzo Normal vs Deformación Unitaria.

Tenacidad: Es la energía total absorbida por el material hasta su fractura cuando se somete a deformación por una carga aplicada gradualmente (Shackelford, 2005). Área debajo de la línea OC del diagrama Esfuerzo Normal vs Deformación Unitaria.

Ductilidad: Esta es una medida del grado de Deformación Plástica que puede ser soportada hasta la fractura. La Ductilidad puede expresarse cuantitativamente como alargamiento relativo porcentual < porcentaje de elongación >, o bien mediante el porcentaje de reducción de área como se muestra en las Ecuaciones 4 y 5.

$$\text{Porcentaje de elongación} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad (4)$$

Donde l_f es la longitud calibrada de la probeta después de la fractura y l_0 la longitud de la probeta antes de ser ensayada.

$$\text{Porcentaje de reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad (5)$$

Donde, A_0 corresponde al área transversal de la sección reducida sin ningún tipo de carga y A_f al área transversal de la sección reducida en el punto de fractura.

3.5. ENSAYO DE FLEXIÓN

Las dos ecuaciones básicas para una viga simple elásticamente tensionada por la flexión son determinadas de acuerdo a la ecuación 6 y 7.

$$\frac{M}{I} = \frac{E}{R} \quad (6)$$

$$\frac{M}{I} = \frac{\sigma}{Y} \quad (7)$$

Donde M es el momento de flexión aplicado, I es el segundo momento de área de la sección de la viga sobre el plano neutro, E es el módulo de elasticidad del material de Young, R es el radio de curvatura de la viga doblada, y σ es el esfuerzo de tracción o compresión en un plano distante y del plano neutro. Para una sección circular uniforme de la viga es de acuerdo a la ecuación 8.

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (8)$$

donde d es el diámetro de la sección.

Para una sección uniforme y rectangular de la viga es a través de la ecuación 9.

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (9)$$

donde b es el ancho del viga y h es la altura de la viga.

La flexión se produce en la dirección de la profundidad, es decir, (h) y (y) se miden en la misma dirección. La tensión y el esfuerzo varían linealmente con el espesor y a través de la sección, con el plano neutro ($y = 0$) representando el nivel cero. El material en el exterior o por encima del plano neutro de la viga doblado se tensiona, mientras que en el interior o debajo del plano neutro se estresa en la compresión. Por lo tanto, la tensión elástica ε en una viga de doblado a un radio de curvatura R varía linealmente con la distancia y del plano neutro a través del espesor de la viga. Como se ve en la **Figura 7**.

Los dos tipos principales de pruebas para la flexión son las de tres y cuatro puntos.

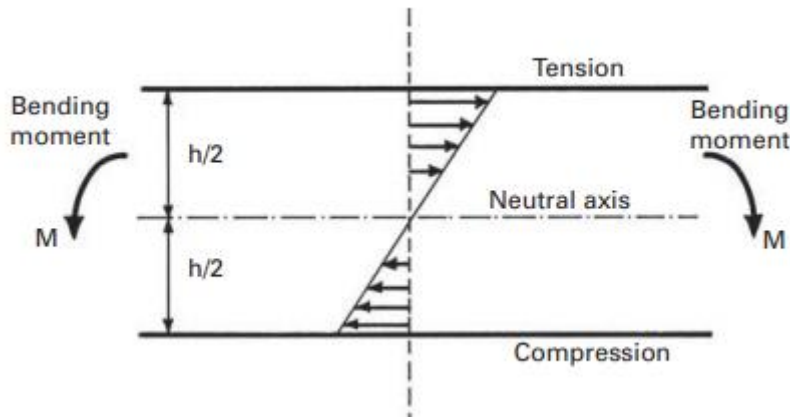


Figura 7. Esfuerzos normales a lo largo de una sección de la viga para un material linealmente elástico.

Fuente: (Meyers & Chawla , 2008)

En el ensayo de flexión de tres puntos, la carga se aplica en el punto central de la viga, y el momento de flexión M aumenta desde los dos extremos hasta un máximo en el punto central. En este caso, Usando la ecuación 6, podemos obtener la tensión máxima en la capa más externa ($y = h/2$) de acuerdo a la ecuación 10.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (10)$$

Donde

P = Es la carga a la fractura.

L = La distancia entre los dos puntos de apoyo.

b = Es el ancho de la probeta

h = Altura de la probeta

3.6. PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DE LA MADERA

Adicional a las propiedades físicas y mecánicas, también es importante caracterizar a la madera desde el punto de vista organoléptico. Estas características externas de la madera, que son importantes en su diferenciación e identificación, pueden ser percibidas mediante la vista, el olfato, el tacto y el gusto. A continuación, se describen estas propiedades (Puertas et al, 2013):

3.6.1. Color. El color de la madera se considera en la determinación de las características organolépticas como un carácter secundario, para identificación, debido a que este varía dentro de una especie y a veces dentro de un mismo tronco (INEN, 1983 citado por Ganzhi, 2006). Según (Chavesta (2006) citado por Bravo & Bravo, 2009), el color se debe principalmente a los extractivos que se encuentran en el interior de las células leñosas y es lo que primero que se percibe en la madera.

3.6.2. Olor. (Baraña, et al, 2008), Indica que el olor se percibe cuando la madera se está cortando, cepillando o lijando. En cambio, para (Ganzhi, 2006), el olor de la madera sana en la mayoría de los casos no existe o es demasiado débil para ser detectado por el hombre. El olor puede ser muy útil en la identificación de las especies maderables. Hay maderas que no presentan un olor determinado y hay otras que presentan olores específicos. El olor producido por los productos de impregnación es más pronunciado en la madera verde que en estado secado, y como factor de caracterización es de mucho cuidado, pues es difícil de definirle; y a su vez es más pronunciado en el duramen que en la albura y en las superficies recién cortadas. El aroma puede ser temporal o muy duradero. La exposición prolongada al aire o al agua y el secado en cámaras, amortigua o hace desaparecer este olor (CAM, 2009).

3.6.3. Sabor. Es ocasionado por la presencia de sustancias (extractivas) en la madera. En algunos casos pueden limitar la utilización de algunos tipos de madera para ciertos usos (García, et al, 2003). Para (INEN, 1983 citado por Ganzhi, 2006), el sabor está estrechamente vinculado al olor; es decir, el sabor tiene una cierta importancia es el caso del envasado de productos alimenticios que al estar en contacto con este tipo de maderas pueden adquirir gustos agradables o desagradables, pues se supone que las mismas sustancias son responsables de ambos.

3.6.4. Grano. Se denomina grano a la dirección que tienen los distintos elementos anatómicos con referencia al eje del tronco, tomando en cuenta la dirección de los elementos anatómicos. Se clasifican en diferentes tipos de grano como:

- ✓ Grano recto: los elementos anatómicos se sitúan paralelos al eje del árbol.
- ✓ Grano inclinado: los elementos anatómicos forman un ángulo respecto al eje del árbol.
- ✓ Grano entrecruzado: los elementos anatómicos se disponen de forma cruzada con dirección al eje del árbol.

- ✓ Grano irregular: los elementos anatómicos se disponen de forma irregular, típico en ramificación es de troncos y nudos (Campos, Madera, 2007).

3.6.5. Brillo. El brillo es la capacidad de reflejar la luz, que poseen ciertas especies (Messer, 2007); depende parcialmente del ángulo de incidencia de la luz y del tipo de células expuesto en dicha superficie (CAM, 2009). Una causa importante de la presencia o ausencia de lustre es la naturaleza de las infiltraciones presentes en el duramen. Sustancias aceitosas o cerosas en el duramen generalmente reducen el brillo (Chavesta, 2006). El brillo o lustre también es causado por el cambio de dirección de las fibras por ciertas sustancias incrustadas y se clasifica como: Intenso, medio y opaco (INEN, 1983 citado por Ganzhi, 2006).

3.6.6. Textura. La textura está determinada por la sección transversal de la madera y tiene importancia en el acabado de la madera. La textura se expresa en términos de textura fina, media y gruesa (INEN, 1983 citado por Ganzhi, 2006), está proporcionada por el tamaño de los poros y cantidad proporcional de células presentes en una pieza de madera.

3.6.7. Veteado. Son dibujos o figuras originados según los planos de corte, la figura que presenta la madera está influenciada, principalmente, por el contraste entre leño temprano y leño tardío. El veteado puede ser en bandas paralelas, en arcos superpuestos en sección radial y no acentuado o suave (CAM, 2009). Es el dibujo que presentan las maderas en el corte longitudinal. Se expresa como veteado pronunciado, mediano y bajo (INEN, 2013). Según (Chavesta, 2006) señala que se origina debido a la disposición de los elementos constitutivos del leño, especialmente los anillos de crecimiento, dirección del grano y/o distribución del color, radios leñosos y parénquima, así como también por el tamaño y la abundancia de ellos.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. OBTENCIÓN DE LA MADERA CEDRO

En este estudio se utilizó madera Cedro cultivada en el Departamento de Córdoba acorde a la normatividad existente de la Corporación de Valle del Sinú y San Jorge – CVS. La madera fue escogida con base en los requisitos de calidad y de clasificación visual por defectos para madera estructural establecidos en el capítulo G.1.3.2 y G.1.3.3 del reglamento colombiano sismo resistente (NSR-10), por tanto; estaba libre de nudos, poros y otros defectos. Toda la madera utilizada se tomó del duramen (parte interior) del tronco realizando el corte de manera tangencial a los anillos de crecimiento. Es importante resaltar que todas las probetas producidas para los ensayos físicos y mecánicos tuvieron los anillos de crecimiento paralelos a las dos caras opuestas y no poseían nudos. La **Figura 8**, ilustra la ubicación en el duramen y la forma de los listones que se tomaron para la fabricación de las probetas. El anexo A detalla el procedimiento de obtención.

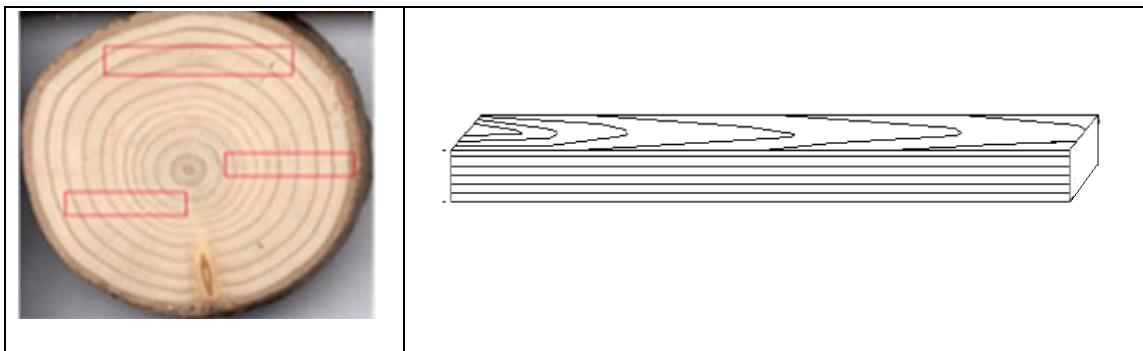


Figura 8. Ubicación en el duramen y forma de los listones tomados para la fabricación de las probetas.

Fuente: (Autor)

4.2. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA CEDRO

Las propiedades físicas de la madera Cedro medidas en este trabajo se realizaron en el laboratorio de suelos y aguas de la Universidad de Córdoba, localizado en Montería con las coordenadas geográficas de 8° 48'' latitud N y 75° 52'' longitud W con respecto al

meridiano de Greenwich a una altura de 13 m.s.n.m (Palencia et al, 2006). A continuación, se describen los procedimientos empleados para determinar el contenido de humedad y las densidades al contenido de humedad, básica y anhidra.

4.2.1. CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad en la madera se realizó acorde al método de secado en horno método primario establecido en la norma ASTM D4442. Se cortaron cinco probetas de sección transversal cuadrada de 25,4 mm de lado por 101,6 mm de longitud. Estas dimensiones se verificaron con un calibrador Vernier con resolución de 5 mm del laboratorio de materiales y procesos del Programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Córdoba. Las probetas se secaron en una estufa marca Binder Fd 240® a una temperatura de 103°C por tres horas, transcurrido este tiempo; se llevaron a un desecador por 40 minutos y posteriormente se pesaron una balanza digital marca Precisa® con resolución de 0,01g y capacidad de 220g. El porcentaje de humedad (CV) se determinó a partir de la siguiente ecuación 11.

$$CV = \frac{(A - B)}{B} * 100\% \quad (11)$$

Dónde:

A = Masa original de la probeta (*g*)

B = Masa seca al horno de la probeta (*g*)

El valor reportado del contenido de humedad es el promedio de cinco mediciones realizadas bajo las mismas condiciones.

4.2.2. DENSIDAD AL CONTENIDO DE HUMEDAD, DENSIDAD BÁSICA Y DENSIDAD ANHIDRA

La densidad de la madera se determinó en tres estados diferentes, esto es, densidad al contenido de humedad (densidad normal), densidad básica y densidad anhidra según lo establecido en la norma ASTM D2395 a través del método de prueba A - volumen por medida que aplica a cualquier tamaño y contenido de humedad de la probeta. Se utilizaron probetas de sección transversal cuadrada de 25,4 mm de lado por 122 mm de longitud y

las mediciones de masa y volumen en cada caso se realizaron con un calibrador Vernier con resolución de 5 mm y balanza digital marca Precisa® con resolución de 0,01g y capacidad de 220g. La densidad al contenido de humedad (densidad normal), ecuación 12, densidad básica ecuación 13, y densidad anhidra ecuación 14 se calcularon a partir de las siguientes ecuaciones.

$$\rho_H = \frac{m_H}{V_H} \quad (12)$$

$$\rho_b = \frac{m_0}{V_{\text{máx}}} \quad (13)$$

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \quad (14)$$

Donde

m_H = Masa inicial (g)

H = Contenido de humedad determinado por medidor de humedad (%)

m_0 = Masa del espécimen secado al horno (g)

V_H = Volumen de muestra con contenido de humedad H, (g/mm^3)

V_0 = Volumen de muestra secado al horno (g/mm^3)

V_{max} = Volumen verde de la muestra (g/mm^3)

Los valores reportados para las diferentes densidades son el promedio de cinco mediciones realizadas bajo las mismas condiciones.

4.3. MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA CEDRO

Las propiedades mecánicas de la madera fueron medidas a partir de ensayos de tensión y flexión acorde a la norma ASTM D 143 en una máquina universal de ensayos marca MTS Criterion C45.305® con capacidad máxima de 300 kN. A continuación, se describe el procedimiento utilizado para determinar las propiedades mecánicas evaluadas en este estudio.

4.3.1. ENSAYOS DE TENSIÓN

La **Figura 9**, muestra esquemáticamente las dimensiones de la probeta utilizada en los ensayos de tensión.

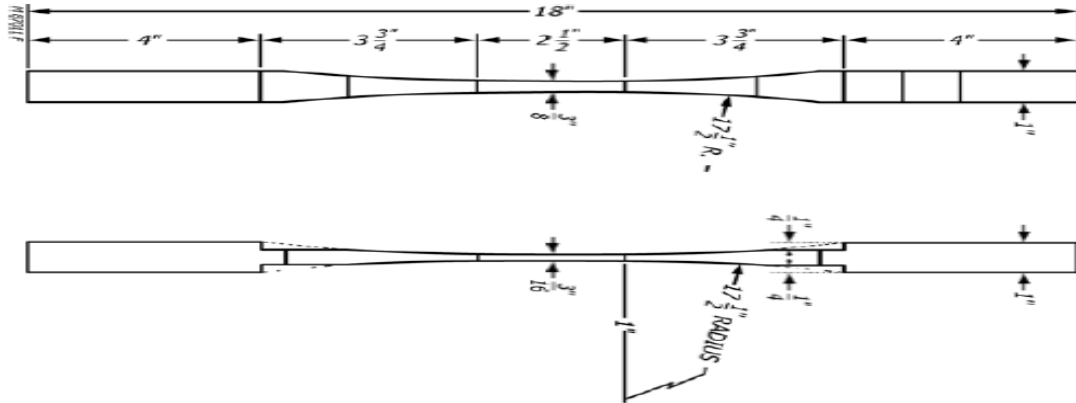


Figura 9. Dimensiones de la probeta para ensayos de tensión.

Fuente: Norma (ASTM D 143).

Los ensayos de tensión se realizaron aumentando la fuerza desde cero hasta la fractura de la probeta empleando una velocidad de desplazamiento de las mordazas de 2,5 mm/min y un extensómetro de contacto encargado de medir el alargamiento de las probetas durante el ensayo. Es importante informar que la fuerza fue aplicada de forma paralela a la dirección de las fibras de la madera. A partir de los datos entregados por la máquina, se realizaron gráficas del esfuerzo normal aplicado en función de la deformación unitaria y utilizando las siguientes ecuaciones se calcularon las siguientes propiedades mecánicas: Esfuerzo último (UTS), de acuerdo la ecuación 15.

$$\sigma = \frac{p}{A} \quad (15)$$

σ = Esfuerzo normal promedio en cualquier punto del área de la sección transversal.
 P = Fuerza normal interna resultante, que actúa a través del centroide del área de la sección transversal.
 A = Área de la sección transversal de la barra, donde se determina σ .

Módulo Elástico (E): a través de la ecuación 16.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (16)$$

E = Módulo de elasticidad.

σ = Esfuerzo normal promedio en cualquier punto del área de la sección transversal.

ϵ = Deformación unitaria.

Los valores reportados para cada propiedad son el promedio de ocho ensayos realizados bajo las mismas condiciones. La **Figura 10**, muestra el montaje realizado para los ensayos.



Figura 10. Montaje empleado para la realización de los ensayos de tensión en la máquina universal de ensayos MTS Criterion C45.305. ®

Fuente:(Autor)

4.3.2. ENSAYOS DE FLEXIÓN

En los ensayos de flexión se utilizaron probetas con sección cuadrada de 25 mm y 41 mm de largo. Posteriormente, en una de las caras longitudinales se trazó una línea correspondiente al eje neutro junto con otras líneas horizontales y verticales con el objetivo de observar cualitativamente el doblado de la probeta durante el ensayo. La probeta se colocó en el soporte de la máquina empleando una distancia entre apoyos de

360 mm y se aplicó en el centro de la probeta una fuerza que aumentó desde cero hasta su fractura empleando una velocidad de desplazamiento de las mordazas de 1,3 mm/min. Esta fuerza fue aplicada de forma perpendicular con respecto a la dirección de las fibras. El desplazamiento del plano medio (d) durante el ensayo se midió utilizando un comparador de caratulas. Los datos de fuerza y desplazamiento empleados en los cálculos fueron tomados a partir de grabaciones en tiempo real de ambas variables, es decir, registrando el respectivo valor de fuerza para cada milímetro registrado por el comparador de caratula. A partir de los datos obtenidos se calcularon las propiedades MOR ecuación 17 y MOE ecuación 18 como se muestra a continuación:

$$\text{MOR} = \frac{3FL}{2wh^2} \quad (17)$$

Donde:

F = Es la carga a la fractura N.

L = La distancia entre los dos puntos de apoyo m.

W= Es el ancho de la probeta m

h = Altura de la probeta m

$$\text{MOE} = \frac{L^3F}{4wh^3 \delta} \quad (18)$$

Donde:

L = La distancia entre los dos puntos de apoyo m.

F = Es la carga la carga aplicada N.

W= Es el ancho de la probeta m

h = Altura de la probeta m

δ = Deflexion unitaria adimensional

Los valores reportados para cada propiedad son el promedio de ocho ensayos realizados bajo las mismas condiciones. La **Figura 11** muestra el montaje empleado para la realización de los ensayos de flexión.



Figura 11. Montaje empleado para la realización de los ensayos de flexión en la máquina universal de ensayos MTS Criterion C45.305. ®

Fuente:(Autor)

Finalmente, los resultados de la caracterización física y mecánica fueron comparados con resultados reportados en la literatura por otros autores a nivel nacional e internacional referentes al cedro y a otros tipos de madera.

4.3.3. VERIFICACIÓN ESTADÍSTICA

Se verificó si los valores del esfuerzo máximo del MOR y del MOE son estadísticamente válidos a partir de la comparación directa de los valores mínimos probables (V_p) con los valores máximos admisibles de la norma ASTM D2555 presentados en la **Tabla 1**. Cuando el valor del coeficiente de variación calculado es menor al tabulado en la muestra entonces, es estadísticamente válida.

Tabla 1. Valores máximos admisibles para las propiedades evaluadas según ASTM D2555.

ENSAYO	MÓDULO O ESFUERZO	COEFICIENTE DE VARIACION
		(%)
FLEXIÓN	Módulo de rotura o esfuerzo máximo	16
	Módulo de elasticidad	22

Fuente: Norma ASTM D 2555

El procedimiento para hallar los valores mínimos probables (V_p) fue el siguiente:

Para cada ensayo se calcularon los parámetros estadísticos máximo, mínimo, media aritmética, desviación estándar y coeficiente de asimetría a los diferentes módulos y esfuerzos calculados. A partir de la desviación y la media aritmética se calculó el coeficiente de variación, como se indica en la ecuación 19.

$$CV = \frac{SX}{X} \quad (19)$$

Donde:

Cv = Coeficiente de variación.

SX = Desviación estándar.

X = Media aritmética.

Después de calcular (V_a) se hallaron los valores mínimos probables (V_p), de acuerdo con (Klinger, 1994), en los ensayos de flexión estática, tensión paralela. La determinación de los V_p se hizo siguiendo los criterios de distribución de la tabla *T-Student*, como se indica en la ecuación 20.

$$V_p = X - \frac{Sx * t}{\sqrt{n - 1}} \quad (20)$$

Donde:

X = Media aritmética del esfuerzo.

Sx = Desviación estándar con respecto a la media.

t = Valor obtenido de la tabla de distribución de *t-Student*, con $n-1$ grados de libertad y 95% de probabilidad.

n = número de datos.

Adicionalmente, con los valores de esfuerzo máximo de MOR y MOE en función del contenido de humedad se verificó si era bajo, medio o alto acorde a la norma ASTM D 2555. Posteriormente, puesto que los ensayos de flexión se realizaron con un contenido de humedad en la madera de 33,08 % y la norma ASTM D4442 recomienda realizar una corrección en el valor de las propiedades mecánicas cuando el contenido de humedad es mayor al 30%, se encontraron los valores de estas propiedades para un contenido de humedad del 12 % acorde a la norma y se verificó nuevamente su clasificación. Las correcciones a las propiedades mecánicas se realizaron a partir de la siguiente ecuación 21, tomadas de (Klinger, 1994).

$$V_a = V_i + \frac{(CH_i - 12\%) * (\% a) * (V_i)}{100} \quad (21)$$

Donde:

V_a = Valor de la propiedad ajustado a un contenido de humedad del 12 %.

CH_i = Contenido de humedad de la madera al momento de las pruebas.

V_i = Valor hallado en laboratorio para la propiedad.

$\%a$ = Porcentaje de aumento por cada 1% de CH. Este valor se tomó con base a los datos presentados en la **Tabla 2** para cada 1 % de variación en el contenido de humedad.

Tabla 2. Aumento promedio de las propiedades mecánicas por cada 1% de variación en el contenido de humedad.

ENSAYO	MÓDULO O ESFUERZO	CORRECCIÓN (%)
FLEXIÓN ESTÁTICA	MOE	2
	MOR	3

Fuente: Lastra (1984)

(Triana et al, 2008) y (Zárate & Gutiérrez, 2012) recomiendan que cuando el contenido de humedad de las probetas sea diferente al 12%, se debe aplicar factores de corrección por cada unidad porcentual y se debe realizar un procedimiento para encontrar las propiedades reales para el valor de 12 % de humedad. El procedimiento utiliza el cálculo de esfuerzo básicos definidos como la aplicación de fuerzas a un elemento, en la cual esta no debe exceder su carga máxima de esfuerzo, para que se mantenga en un nivel de seguridad.

Para calcular los esfuerzos básicos se tomaron los valores mínimos probables (V_p) previamente calculados y se dividieron por los factores que se relacionan en la **Tabla 3** en función del MOR y del MOE:

Tabla 3. Factores de ajuste utilizados para el cálculo de esfuerzos básicos.

ESFUERZO O MÓDULO	FACTOR DE AJUSTE
Módulo de elasticidad a flexión	1,61
Esfuerzo de rotura a flexión	3,39

Fuente: (Triana et al, 2008)

4.4 VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS REQUERIMIENTOS ESTABLECIDOS EN REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMORRESISTENTE NSR-10 TÍTULO G

La verificación del cumplimiento de los requisitos de calidad para madera estructural establecidos en el reglamento colombiano sismorresistente NSR-10 Título G, se realizó a partir del principal parámetro de agrupación establecido por lo norma esto es, el módulo de elasticidad (MOE).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA CEDRO

5.1.1. CONTENIDO DE HUMEDAD

La **Figura 12** muestra los valores encontrados para el contenido de humedad.

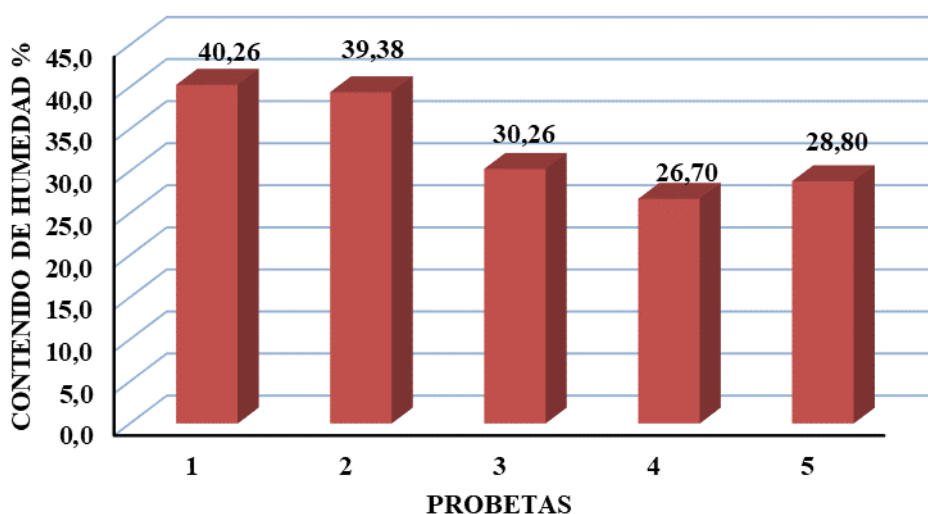


Figura 12. Contenido de humedad de la madera Cedro Cedrela odorota L del departamento de Córdoba.

El contenido de humedad de la madera cedro en promedio fue de 33,08 % ver (Anexo B). Al contrastar este resultado con la literatura, se encontró que (Ccayanchira & Reyes, 2019) reportaron valores de 61,05 % para esta especie, y argumentan que el contenido de humedad está sujeto a las condiciones edafoclimáticas donde se desarrolla y al manejo agronómico que se suministra al cultivo, puesto que es una especie muy exigente en algunos nutrientes como el nitrógeno, fósforo y calcio que en determinado momento caracterizan la madera. Igualmente, (Gimenez, A. et al, 2005), manifestaron que las condiciones edafoclimáticas de la zona, lugar o país son un indicador directo en la variación de las propiedades anatómicas, influyendo así a las propiedades físicas y mecánicas, encontrando diferencias entre individuos de la misma especie. Por ende, para lograr una adecuada tasa de crecimiento y desarrollo de la planta se deben suministrar los

nutrimentos necesarios según la fertilidad del lugar y los requerimientos de la especie. Las limitaciones nutrimentales y climáticas siempre determinan el crecimiento potencial de los cultivos (Espinosa et al, 2017). Según (Fox et al, 2007) en las especies de pinos del sur de Estados Unidos, los nutrientes más limitantes para el crecimiento en la etapa de cierre de copas fueron el N y el P, debido a que en este momento es cuando ocurre una demanda alta de nutrientes por parte del árbol. Igualmente, una de las condiciones que más influye en el desarrollo y crecimiento de las plantas forestales y en la calidad de la madera es el tipo de suelo donde se establece el cultivo producto de las condiciones de suelo y ambientales (Patiño, 1997), afirman que *Cedrela odorata* L es una especie maderable que se puede encontrar desde el norte de México, hasta el norte de Argentina, ya que tolera un rango variable de condiciones climáticas, pero es más común en zonas con una época seca bien marcada y altitudes que van desde el nivel del mar hasta 1200 m.

5.1.2. DENSIDAD AL CONTENIDO DE HUMEDAD, DENSIDAD BÁSICA Y DENSIDAD ANHIDRA

La **Figura 13**, muestra los valores encontrados para la densidad al contenido de humedad, la densidad básica y la densidad anhidra.

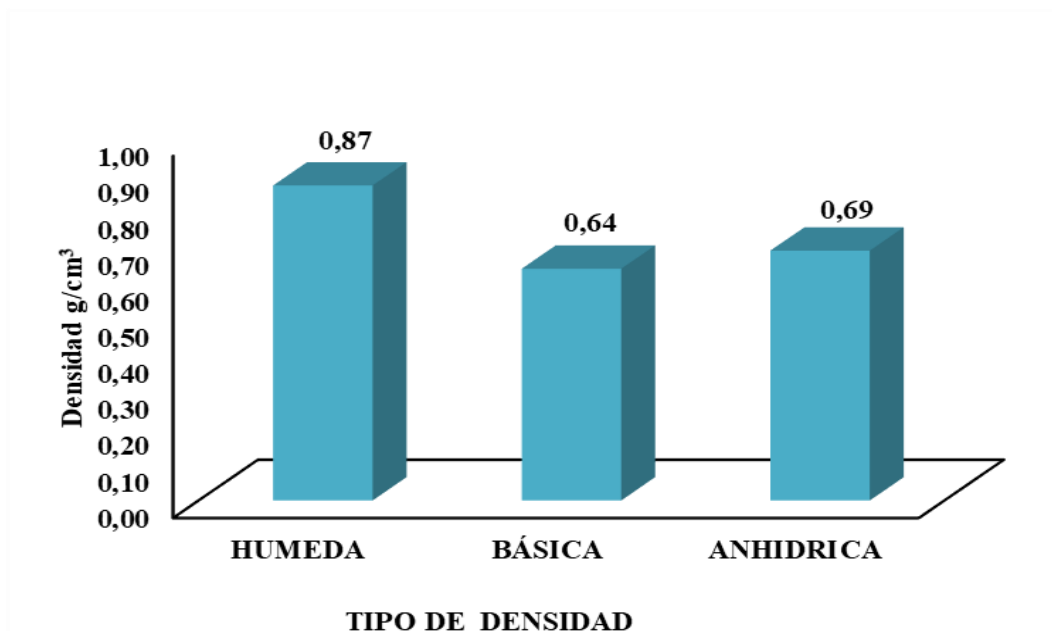


Figura 13. Densidad del *Cedrela odorata* L del departamento de Córdoba

Acorde a los resultados, la densidad básica en promedio fue de $0,64 \text{ g/cm}^3$, la densidad al contenido de humedad de $0,87 \text{ g/cm}^3$ y densidad anhidra $0,69 \text{ g/cm}^3$. Según (Sotomayor & Ramírez, 2013), la clasificación de la madera *Cedrela odorata* L con base en la densidad básica corresponde a una madera de densidad media puesto que se encuentra en el rango medio esta entre $0,516$ a $0,692 \text{ g/cm}^3$. Igualmente, acorde a (Vignote & Martínez, 2006), se puede considerar como una madera semipesada puesto que la densidad básica es igual o mayor a $0,61 \text{ g/cm}^3$.

Al comparar estos resultados de densidad con los reportados en la literatura se encontraron valores por encima y por debajo (Gutiérrez et al, 2012) reportaron diferencias significativas en los valores de densidad básica en función de la localidad al igual que entre árboles de las mismas localidades, El valor promedio de la densidad básica de la madera de todos los individuos (peso anhidro/volumen verde) fue de $0,34 \text{ g/cm}^3$, con valores mínimos y máximos de $0,27$ y $0,44 \text{ g/cm}^3$ y un coeficiente de variación de $11,66 \%$, la (MAE & FAO, 2014) reportaron una densidad básica de $0,33 \text{ g/cm}^3$, una densidad anhidra de $0,36 \text{ g/cm}^3$ y densidad en verde de $0,64 \text{ g/cm}^3$. Así mismo (Yeboah et al, 2014), obtuvieron valores de densidad básica de $0,32$ a $0,35 \text{ g/cm}^3$, (Segura, 2019) obtuvo valores de densidad básica de $0,60 \text{ g/cm}^3$ y densidad anhidra de $0,35 \text{ g/cm}^3$, igualmente, (Ccayanchira & Reyes, 2019), reportaron $0,39 \text{ g/cm}^3$ y $0,46 \text{ g/cm}^3$ de densidad básica y densidad anhidra respectivamente.

Uno de los factores que influye en la densidad de la madera es la edad. De acuerdo (Oliveira & Silva, 2003) los árboles jóvenes presentan elementos anatómicos diferentes cuando se compara con respecto a la madera que proviene de árboles adultos. En cambio, en la etapa de madurez existe mayor cantidad de materia foto sintetizada destinada a la síntesis de la pared celular, lo que se traduce en un incremento de la densidad de la madera (Moglia & López, 2001). A su vez, esta propiedad puede variar ampliamente dentro de un árbol, desde la médula hacia el exterior o axialmente desde la base del tronco hacia el ápice (Zobel & Talbert, 1988).

5.2 MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA CEDRO

5.2.1. ENSAYOS DE TENSIÓN

La **Figura 14**, muestra los gráficos de esfuerzo normal en función unitaria construidos a partir de los resultados de los ensayos de tensión, resaltando que se reportan seis de los ocho ensayos realizados puesto que dos presentaron falla por fuera de la región de medición del extensómetro. La **Tabla 4** muestra los valores de las propiedades mecánicas obtenidas a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de tensión. muestra los valores de las propiedades mecánicas calculadas y los valores ajustados con el factor de corrección al 3 % por cada grado de variación en contenido de humedad acorde al requerimiento establecido en la norma (ICONTEC, 2007) primera actualización de Icontec.

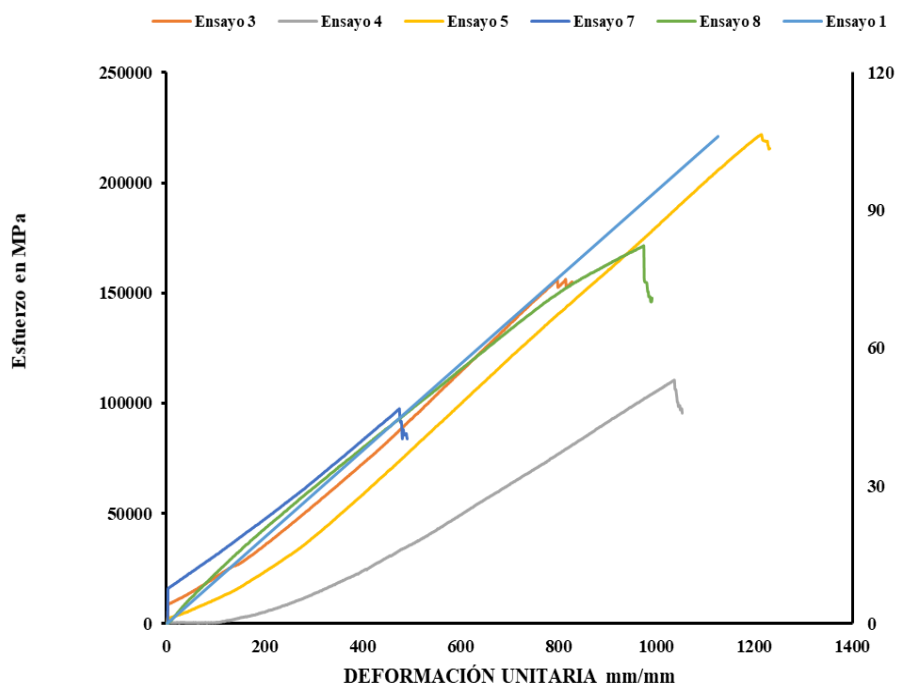


Figura 14. Gráficos de esfuerzo normal en función de la deformación unitaria para la madera cedro.

Tabla 4. Valores de las propiedades mecánicas obtenidas a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de tensión.

ENSAYO	FUERZA	UTS	PROMEDIO UTS	UTS CORREGIDO AL 12% DE HUMEDAD	MOE	PROMEDIO MOE	MOE CORREGIDO AL 12% DE HUMEDAD
	N	----- kg/cm ² -----					
1	4454,1	995,6	814,2	1329,2	225096,8	212951,1	347621,3
3	3376,6	754,8			221100,9		
4	2380,7	532,2			149225,2		
5	4793,4	1071,5			254342,5		
7	3151,5	704,5			197787,9		
8	3698,6	826,8			230152,9		

Después de hallar los esfuerzos de tensión al 33,08% de contenido de humedad los cuales se reportaron en la **Tabla 4** y realizar las respectivas correcciones del contenido de humedad del 12% se encontró UTS de 1329,2 kg/cm² y el módulo elástico de 347621,3 kg/cm², se comparó con los obtenidos por (Zárate & Gutiérrez, 2012), para el cedro y el eucalipto quienes obtuvieron un UTS 360,24 kg/cm² y 67400,40 kg/cm² y 1075,53 kg/cm² y 145389,40 kg/cm² respectivamente, se puede concluir que los hallados en este estudio fueron superiores, demostrando que la capacidad de resistencia de la madera de cedro sometida a cargas de tensión resiste grandes esfuerzos.

5.2.2. ENSAYO DE FLEXIÓN

La **Tabla 5** muestra los valores de las propiedades mecánicas calculadas.

Tabla 5. Valores de las propiedades mecánicas obtenidas a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de flexión.

ENSAYO	FUERZA	MOR	PROMEDIO RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (MOR)	MOR COREGIDO AL 12% DE HUMEDAD	MÓDULO DE FLEXION MOE	PROMEDIO MÓDULO DE FLEXIÓN (MOE)	MOE CORREGIDO AL 12% DE HUMEDAD
	N	----- kg/cm ² -----					
1	2465,7	828,2	817,5	1334,6	154564,5	120347,7	171,1
2	2636,5	885,6			121518,3		
3	2681,7	900,8			122695,5		
4	2070,8	695,6			115499,5		
5	2314,9	777,6			87460,5		

De acuerdo con los resultados de los ensayos de flexión, se observa que la madera cedro tuvo un módulo de flexión de MOE de 11806,1 MPa y módulo de resistencia a la flexión MOR 80,2 MPa.

Tomando como referencia la normas ASTM, (Lastra, 1986) y (Triana et al, 2008) los esfuerzos evaluados en este ensayo se observan en la **Tabla 7**. En el caso del MOE fue de 11806,1MPa clasificándolo como mediano. (Zárate & Gutiérrez, 2012) estudiando diferentes especies encontró que el cedro tenía un MOE de 4509,88 MPa en promedio. (Rodríguez et al, 2015) halló en promedio del módulo de elasticidad a flexión fue de 11232 MPa, clasificado como bajo de acuerdo con (Prospect, 1997) para la madera de mezquite. Otros estudios proporcionan MOE de 6000 MPa para madera de *P. alba* (Vignote, 1999) 11370 MPa, para *P. laevigata* (Carrillo et al, 2011). Por su parte (Sotomayor & Villaseñor, 2006) realizaron ensayos no destructivos en *Prosopis sp.* y obtuvieron un promedio de 7040 MPa; (Sirmah et al, 2008) registran 15200 MPa para *P. juliflora*.

Para el MOR fue 80,2 MPa y se clasificó como bajo. (Zárate & Gutiérrez, 2012) estudiando diferentes especies encontró que el cedro tenía un MOR de 30,39 MPa. (Rodríguez et al, 2015) determinó que la madera de mezquite fue de 117 MPa, y la clasifica como media, conforme a Prospect (1997). (Vignote, 1999) consigna 63,4 MPa para *P. alba*, clasificándolo como pequeño; (Carrillo et al, 2011) documentan resistencias promedio de 173 MPa para *P. laevigata*. (Sotomayor & Villaseñor, 2006) mediante ensayos no destructivos para *P. juliflora* citan promedios 94 MPa. (Sirmah et al, 2008) indican valores de 124,1 y 113,7 MPa para *P. juliflora*,

El valor de esfuerzo máximo encontrado en este trabajo fue mayor al valor de 54,77 MPa reportados por (Triana et al, 2008) en la madera *Brosimum rubescens* Taub quien afirmó que la madera con este valor se clasifica como una madera altamente rígida y apta para soportar grandes esfuerzos cuando está sometida a flexión.

Así mismo, (Roussy et al, 2013) en flexión estática obtuvo una MOR de 97,22 MPa y un MOE de 7287 MPa en la madera *Citharexylum montevidense* (Spreng.), valor considerado bajo por los autores y por tanto, limita su empleo en la fabricación de mangos de herramientas o de elementos deportivos como palos de hockey. Por otra parte, (Bhat & Priya, 2004) hallaron valores de MOR de 92 MPa para maderas de 21 años, de teca procedentes de Koni, India. Asimismo, (Bhat & Thulasidas, 2012) registran 110 MPa

para maderas de 35 años del distrito Ernakulam, Kerala, India; zona húmeda con una precipitación media anual de 2500 a 3500 mm al año, lo que repercute en la disminución de la mayoría de las propiedades mecánicas, ya que tienen gran cantidad de tejido parenquimático y menor proporción de fibras, a pesar de la edad de la madera. Cabe anotar, que las condiciones edafoclimáticas del anterior estudio son diferentes a las que se presenta en nuestra investigación, por lo tanto, la calidad de la madera de cedro esta influenciadas por estos factores.

En la **Tabla 6** se resumen las investigaciones realizadas por los diferentes autores sobre las propiedades mecánicas de las maderas estudiadas.

Tabla 6. Clasificación de diferentes tipos de madera.

AUTOR	AÑO	MADERA	MOR(MPa)	MOE(MPa)	CLASIFICACIÓN	
					MOR	MOE
Zárate & Gutiérrez,	2012	Cedro	30,39	4509,88	-----	-----
Rodriguez et al,	2015	Mezquite	117	11232	Media	Bajo
Vignote,	1999	P. alba	63,4	6000	Pequeño	-----
Carrillo et al,	2011	P. laevigata	173	11370	-----	-----
Sotomayor & Villaseñor,	2006	Prosopis sp.	94	7040	-----	-----
Sirmah et al,	2008	P. juliflora.	124,1 – 113,7	15200	-----	-----
Roussy et al,	2013	Citharexylum montevidense (Spreng.)	97,22	7282	-----	Bajo
Bhat & Priya,	2004	Teca	92	8436	-----	-----
Bhat & Thulasidas,	2012	-----	110	9102	-----	-----

El conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera proporciona los datos básicos requeridos por la ingeniería en el cálculo y diseño para la construcción y otros usos.

(Rodriguez et al, 2015) dice que los valores de resistencia mecánica son de suma importancia para aplicaciones tanto en la construcción como en la elaboración de productos sujetos a esfuerzos mecánicos, pues su dimensionamiento estará en función de la resistencia y deformación de la madera, a su vez, los valores de resistencia estática tienen una gran importancia en las aplicaciones de la madera en la construcción, especialmente en el dimensionado de las diferentes piezas según su resistencia y deformación (Fujiwara et al, 1991) explica también que existe una relación entre densidad y resistencia mecánica en la madera, pues el comportamiento de la densidad está afectado por el grosor de las paredes de las fibras y la proporción de este tipo de tejidos respecto al volumen leñoso total. Conociendo esto y al ser las fibras el principal constituyente del tejido leñoso es de esperar una influencia fuerte sobre las propiedades de la madera. Según

(Hegde et al, 2014), expone que la evaluación de las propiedades ayuda a tomar decisiones sobre diferentes objetivos de uso de la madera en la industria.

Por su parte, (Kokutse et al, 2004) afirman que la calidad de sitio donde se desarrolla la planta juega un papel importante en la formación de duramen, en el módulo de elasticidad y contenido de humedad de la madera (Bhat et al, 2005), registran que la madera de lugares húmedos es de color pálido y con baja cantidad de extraíbles, lo que pudiera repercutir en una menor resistencia al ataque de hongos.

Tabla 7. Clasificación de las propiedades mecánicas de *Cedrela odorata* L con base en las normas ASTM y los contenidos de humedad experimental.

PROPIEDAD	VARIABLE	CONTENIDO DE HUMEDAD AI	CLASIFICACIÓN CON RESPECTO A QUIEN
	kg/cm ²	33,08%	ASTM
FLEXIÓN ESTÁTICA PLANO TANGENCIAL	MOR	817,5	BAJO
	MOE	120,3	MEDIANO

La **Tabla 8** muestra el rango de valores para realizar la validación estadística de las propiedades mecánicas del MOR Y MOE a partir de los resultados obtenidos experimentalmente.

Tabla 8. Validación estadística de los resultados de MOE y MOR acorde a la norma ASTM D -2555-78.

CLASIFICACIÓN	MUY BAJO	BAJO	MEDIANO	ALTO	MUY ALTO
Flexión kg/cm ² . Módulo de rotura	400	401 - 900	901 - 1350	1351 - 1800	1801
Flexión (1000 kg/cm ²). Módulo de elasticidad	70	71 - 100	101 - 150	151 - 200	201

Fuente: Triana et al, 2008 (Modificada por el Autor).

5.3. CORRECCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Para conocer las propiedades reales de la madera se realizó una corrección del contenido de humedad del 12%, según los establecen normas internacionales y posteriormente se clasificó de acuerdo con la clasificación de la ASTM 2555-78. **Tabla 9**

Tabla 9. Clasificación de las propiedades mecánicas de *Cedrela odorota* L con base en las normas ASTM y los contenidos de humedad corregidos al 12%.

PROPIEDAD	VARIABLE	CONTENIDO DE HUMEDAD	CLASIFICACIÓN ASTM
	kg/cm ²	12%	
FLEXIÓN ESTÁTICA	MOR	1334,6	MEDIANO
	MOE	171,1	ALTO

Fuente: Autor

5.4. VERIFICACIÓN ESTADÍSTICA

Después de evaluar estadísticamente los valores de MOE y MOR se encontró que los coeficientes de variación cumplen con la norma ASTM D 2555-78, puesto que sus valores fueron inferiores a los máximos admisibles. Para el caso, el MOE fue de 14 %, siendo menor que el admisible de 22 % y para el MOR de 6,3 % y 16% respectivamente, mostrando que estadísticamente estos valores son correctos. **Tabla 10**

Tabla 10. Propiedades mecánicas de *Cedrela odorota* L al 12% del contenido de humedad.

PROPIEDAD	VARIABLE	N	MÁXIMO	MÍNIMO	MEDIA	DESVEST	C. AS	% CV	(CV)
	kg/cm ²								
FLEXIÓN ESTÁTICA	MOE	5	219,7	124,3	171,1	23,8	0,13	14,0	22
	MOR	5	1470,5	1135,5	1334,6	83,8	-0,69	6,3	16

MOE: Módulo elástico, MOR: Módulo de ruptura, N: Numero de probetas utilizadas en el ensayo Máximo: Valor máximo de la muestra, Mínimo: Valor mínimo de la muestra, Media: Valor promedio de la muestra al 12% de contenido de humedad, Desvest: Desviación estándar respecto a la media, C. AS: Coeficiente de asimetría, %CV: Coeficiente de variación de la muestra, (CV): CV máximo admitido según norma ASTM.

5.5. ESFUERZOS BÁSICOS

Como los ensayos se realizaron a un contenido mayor al 33 % se hizo la correlación para un valor 12 % acorde a la norma contenido de humedad posteriormente se calcularon los

esfuerzos básicos. Con base a los valores mínimos probables previamente calculado se terminaron los esfuerzos básicos, siendo para el MOE 85,67 y 390,99 kg/cm² para el MOR mostrando que para la madera de cedro se le pueden aplicar estos esfuerzos básicos máximos al momento de ser utilizada con base en los criterios establecidos en la norma ASTM 2555 como se muestra en la **Tabla 11**. Los esfuerzos básicos obtenidos en MOE y MOR en esta investigación son menores a los encontrados por (Triana et al, 2008) donde determino un esfuerzo básico en MOE y MOR de 123,14 y 525,84 kg/cm² respectivamente en la madera de *Brosimum rubescens* Taub.

Tabla 11. Esfuerzos básicos para *Cedrela odorata* L hallados mediante distribución T-student al 12% de contenido de humedad.

PROPIEDAD	VARIABLE	N	MEDIA	DESVEST	% CV	(CV)	V.P	E.B
	kg/cm ²							
FLEXIÓN ESTÁTICA	MOE	5	171,1	23,89	14,0	22	137,93	85,67
TANGENCIAL	MOR	5	1334,6	83,89	6,3	16	1325,44	390,99

MOE: Módulo elástico, MOR: Módulo de ruptura, N: Numero de probetas utilizadas en el ensayo Máximo: Valor máximo de la muestra, Mínimo: Valor mínimo de la muestra, Media: Valor promedio de la muestra al 12% de contenido de humedad, Desvest: Desviación estándar respecto a la media, C. AS: Coeficiente de asimetría, %CV: Coeficiente de variación de la muestra, (CV): CV máximo admitido según norma ASTM, V.P: Valores mínimos probables, E.B: Esfuerzo básico

5.6. VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS REQUERIMIENTOS ESTABLECIDOS EN REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10 TÍTULO G

La **Tabla 12** muestra la clasificación de la madera Cedro acorde al reglamento colombiano sismo resistente NSR-10 Titulo G en función del valor de MOE.

Tabla 12. Clasificación de *Cedrela odorata* L con base en el reglamento colombiano de sismo resistente NSR-10 Título G.

<i>Cedrela Odorota</i> L	MOE		GRUPO
	MPa		
	REFERENCIA	DETERMINADO	ES2
	18000	16783,9	

Se puede observar que la clasificación se encuentra en el grupo ES2 de la clasificación grupo estructural, es decir, esta madera puede ser utilizada en la conformación de elementos estructurales de construcciones como muros, columnas diafragmas, entrepisos y cubiertas. Adicionalmente debe cumplir con los requisitos establecidos en la sección G.1.3.2 requisitos de calidad para madera estructural establecidos en el reglamento sismo resistente. Según (Van der Hout, 2015) afirma que entre los posibles usos de la madera Cedro se encuentra la construcción ligera. El uso correcto de la madera demanda del conocimiento de sus características, tanto anatómicas como de sus propiedades físico-mecánicas, mediante la aplicación de estándares internacionales que permitan, con base en sus propiedades, determinar las condiciones para su utilización y procesamiento (Rodríguez et al, 2015).

De acuerdo a esta investigación se recomienda usar la madera de cedro en construcciones ligeras, techos, columnas, al igual que en realización de muebles por su gran color que refleja través de su acabado superficial y su facilidad de maquinado, siempre y cuando la madera esté libre de nudos, defectos y grietas, cumpliendo con la normatividad exigida por la NSR-10 título G.

6. CONCLUSIONES

La evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera Cedro (*Cedrela odorata* L) proveniente del Departamento de Córdoba – Colombia arrojó las siguientes conclusiones:

El contenido de humedad de la madera Cedro fue de 33,08 %. Los valores de densidad al contenido de humedad, densidad básica y densidad anhidra fueron 0,87 g/cm³, 0,64 g/cm³ y 0,69 g/cm³ respectivamente.

A partir de los ensayos de tensión se encontró un UTS de 1329,2 kg/cm² y módulo elástico de 347621,3 kg/cm².

A partir de los ensayos de flexión se encontró un MOR de 1334,6 kg/cm² y un MOE de 171,1 kg/cm². Acorde a la clasificación establecida por la norma ASTM D 2555 estos valores son clasificados en el rango mediano y alto respectivamente.

Para el contenido de humedad los coeficientes de variación cumplieron con la norma ASTM D-255-78 porque fueron menores a los permitidos.

Los esfuerzos básicos encontrados para el MOE y el MOR fueron 85,67 kg/cm² y 390,99 kg/cm² respectivamente.

7. RECOMENDACIONES

Considerar algunos aspectos como el lugar de procedencia, edad, posición de la muestra dentro del árbol. Esta información puede contribuir a los análisis de resultados debido a que las propiedades determinadas son muy susceptibles a los factores edafoclimáticos.

Realizar otros ensayos complementarios como son las pruebas de cizallamiento, compresión, dureza y torsión del *Cedrela odorata* L del departamento de Córdoba, y así ampliar el conocimiento que se tiene sobre esta madera.

Buscar diferentes cultivos forestales en el departamento de Córdoba que estén siendo manejados desde un punto agronómico y poder realizar estudios de las características físico-mecánicas de otras especies arbóreas abundantes en la región, para determinar su uso y clasificación; usando un número mayor de muestras para realizar los estudios.

8. BIBLIOGRAFÍA

- CAM. (2009). Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena Guía de Identificación de identificación de maderas aserradas del Departamento del Huila. Huila, Neiva: Litocentral Ltda.
- Moglia & López. (2001). Tendencias de variación radial del leño de *Aspidosperma quebracho blanco*. *Inv. Agr. Sist. Rec. For.* 10:69-79.
- Palencia et al. (2006). , G.; Mercado, T.; Combatt, E. Estudio agroclimático del departamento de Córdoba. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba. 126p.
- SINCH. (2014). Instituto amazónico de investigaciones científica. Fichas técnicas de especies de uso forestal y agroforestal de la amazonia colombiana, leticia, colombia.
- Acevedo & Chavesta. (1991). ,M; M. Informe sobre fichas tecnológicas de la madera y asignación a grupos tecnológicos. Lima, Perú. : Universidad Nacional Agraria La Molina. .
- Acuña & Casado. (2005). L; M. Material de apoyo del curso Tecnología de la madera (en línea). España. 35 p. Universidad de Valladolid., valladolid.
- Acuña et al. (2007). L. Barranco, I. Casado, M. (2007), 'Análisis y validación de la técnica resistográfica aplicada a la madera estructural'. 11o Congreso Español de END. Sociedad Española de Ensayos no Destructivos AEND. Gijón (España).
- Aguilar & Guzowski. (2011). Materiales y Materias Primas. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Educación - Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

- Aguilar & Moya. (2018). P. Rigg- R. Properties of wood from 7-year-old *Cedrela odorata* trees of two different populations growing in agroforestry systems with *Theobroma cacao*. *Madera y Bosques*, (Vols. vol.24, no.1, pp-1-30. 35).
- Ale. (2010). J Aplicación de la Mecánica de Materiales la Madera. Aplicación de la Mecánica de Materiales la Madera. Cordoba, Argentina.
- Arostegui. (1974). Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de Maderas Peruanas. Documento. Lima, Perú. 57 p.: de Trabajo NQ 2. Proyecto PNUD/FAO/ PER/ 81/002. .
- Arostegui. (1982). A, Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de Maderas Peruanas. Lima, Perú. 57 pp.: Documento de Trabajo NQ 2. Proyecto PNUD/FAO/ PER/ 81/002.
- Askeland. (1998). D. R. Ciencia e Ingeniería de los Materiales (Tercera ed.). International Thomson. doi:ISBN 968-7529-36-9.
- ASTM D 143. (s.f.). American Society Test of Materials. 2000. Designation: D 143 – 94 (Reapproved 2000) Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. 31 p.
- Baraño, et al. (2008). J., Penón , E., Craig, E., Cucciufio, E., & De Falco, P. Manual para la Identificación de Madera con Aumento hasta de 10X. Luján, Argentina: Universidad Nacional de Luján.
- Bergman et al. (2010). Wood Handbook. En R. Bergman, Z. Cai, C. A. Clausen, M. Dietenberger, R. H. Falk, C. R. Frihart, y otros, Wood Handbook - Wood as engineering material.

- Bhat & Priya. (2004). K. M. and P. B. Influence of provenance variation on wood properties of teak from the western Ghat region in India. *IAWA Journal* 25(3): 273-282.
- Bhat & Thulasidas . (2012). P. K. and K. M. Mechanical properties and Wood structure characteristics of 35-year old home-garden teak from wet and dry localities of Kerala, India in comparison with plantation, teak. *Journal Indian Academy Wood Science* 9(1): 23-32.
- Bhat et al. (2005). K. M., P. K. Thulasidas, E. J. M. Florence and K. Jayaraman. Wood durability of home-garden teak against brown-rot and white-rot fungi. *Trees* 19: 654-660.
- Bsasterra, et al. (2006). A., Casado, M., Acuña, L., & Pizano, O. Techniques of pseudo-Destructive testing on structural Wood by extraction of screws. *RECOPAR*, 37-59.
- Callister Jr. (1995). W. *Ciencia e ingeniería de los materiales* (Quinta ed.). Reverte. doi:ISBN 978-84-291-7253-9.
- Campos, et al. (1990). A, Cubillos, G; Morales, F; Pastane A. *Propiedades y usos de especies de maderas de corta rotacion*. Santiago de Chile: Corporacion de Fomento de la Produccion (CORFO) 87P.
- Campos, Madera. (2007). *Tecnología de los Materiales*. Lima, Perú: SE.
- Cárdenas, et al. (2011). Castaño N, Sua S, Montero M, Ruiz L, *Evaluación de la distribución potencial actual en Colombia del cedro (Cedrela odorata) y el cocobolo (Dalbergia retusa)*. Bogotá.
- Carrillo et al. (2011). Parra, A., F. Hapla, C. Mai y F. Garza-Ocañas. Durabilidad de la madera de *Prosopis laevigata* y el efecto de sus extractos en hongos que degradan la madera. *Madera y Bosques* 17(1): 7-21.

- Ccayanchira & Reyes. (2019). Anatomía, propiedades físico-mecánicas, químicas y potencial dendrocronológico de *Cedrela odorata* L. y *Terminalia oblonga* (Ruiz & Pav.) Centro Anapiari, Pichanaki – Junin. Huancayo – Perú.: Universidad Nacional del Centro del Perú – Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente.
- Chavesta (2006) citado por Bravo & Bravo. (2009). Manual para la identificación de maderas forestales. 1ra. Parte. Tingo María- Perú.
- Chavesta. (2006). Separata de capacitación sobre identificación de madera. Lima, Perú.:
- Clarín ARQ. (08 de 10 de 2014). Propiedades físicas de la madera. TIPS PARA ARQUITECTOS.
- Cuevas. (2003). propiedades físicas y mecánicas de la madera. material de apoyo en propiedades físicas y mecánicas. Talca Chile, Escuela de ingeniería en la industria de la madera 68p (No publicado): universidad de Talca.
- Díaz . (2005). P Evaluación de Propiedades Físicas y Mecánicas de madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes. Facultad de Ciencias Forestales. Escuela de Ingeniería en Industrias de la Madera. Universidad de Talca, Chile.
- Díaz, J, et al. (2003). Análisis de conservación y estructura celular de la madera de seis canoas monóxilas del centro sur de Chile. . Magallania: SED.
- Diez, et al. (2000). R. Conde, M. Fdez-Golfin, J. Roskopf, S. Clasificación visual de madera estructural de pino laricio (*Pinus nigra* L.) y comparación de resultados usando las normas UNE 56.544 y DIN 4074 Invest. Agr.: Sist. Recur. For. (Vols. Vol. 9 (2), pp 7.).
- Espinosa et al. (2017). Silvicultura de bosques plantados con fines productivos,. Universidad de Concepción,., pp. 397. [Consulta: 13 de enero de 2019].
- Fernández. (1992). R. Materiales estructurales en las obras civiles. Popayán, Colombia.

- Forest Products Laboratory. (1999). Wood handbook - Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison,. WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p.
- Fox et al. (2007). The development of pine plantation silviculture in the southern United States. *Journal of Forestry*, 105 (7), 337-347.
- Fujiwara et al. (1991). S. Sameshima, K. Kuroda N. Takamura, J. Anatomy and properties of Japanese hardwoods I: Variation of fibre dimensions and tissue proportions and their relation to basic density. *IAWA Bull. n.s. 12*: 419-424.
- Ganzhi. (2006). Estudio anatómico de las especies arbóreas del Bosque Nublado de la Estación Científica San Francisco. Universidad Nacional de Loja- Ecuador: Tesis de pregrado.
- García, et al. (2003). E., Guindeo, A., Peraza, C., & De palacios, P. La madera y su anatomía. España: Mundi-Prensa.
- Gatica. (2010). N. L Características Generales, Organolepticas, Macroscopicas y Estructura. Iquitos, Peru.
- Gimenez, A. et al. (2005). A. M., Moglia, J. G., Hernandez, P., & Gerez, R. Anatomía de Maderas. Santiago del Estero, Argentina.
- Gonzales. (2008). Guía de Contenidos Identificación Organoléptica y Macroscópica de Maderas Comerciales (Primera ed.). Lima, Perú.
- Groover. (2007). M. P. Fundamentos de Manufactura Moderna (Cuarta ed.). Mc Graw Hill. doi:ISBN 13-978-970-10-6240-1.
- Grupo Andino, pág 15. ((1984)). Manuel de diseño para maderas del grupo Andino. Lima, Perú.
- Guemes Gordon & Martin Piris. (2012). Ciencia de materiales para Ingenieros. Madrid: Pearson Educación. doi:ISBN 978-84-8322-719.

- Guemes Gordon, A, & Martin Piris, N. (2012). Ciencia de materiales para Ingenieros. Madrid:. Pearson Educación. doi:ISBN 978-84-8322-719.
- Gutiérrez et al. (2012). Variation and prediction of basic wood density in *Cedrela odorata* L. (R. f. sep., Ed.) fitotecnia mexicana.
- Hegde et al. (2014). H. T., Kalkoor, M. A., Jha, S. K., & Thakur, N. S. Evaluation of variation in Physical properties of wood among some tropical tree species of South India. *Indian Forester*, 140(1), 70-75.
- ICONTEC. (2007). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Requisitos de las probetas pequeñas para los ensayos físicos y mecánicos de la madera. Bogotá: ICONTEC . 9p. (NTC 301).
- INEN. (2013). Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). Madera. Terminología. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito, Pichincha, Ecuador: .
- INEN, 1983 citado por Ganzhi. (2006). Estudio anatómico de las especies arbóreas del Bosque Nublado de la Estación Científica San Francisco. Tesis de pregrado- Universidad Nacional de Loja- Ecuador. 202p.
- Informe sobre fichas tecnológicas de la madera y asignación a grupos tecnológicos. (s.f.). . Lima, Perú. 12 p.: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Karsulovic. (1982). J. Propiedades mecánicas de la madera. , Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, Departamento de Tecnología de la Madera. 101p. Santiago, Chile: Editorial Universidad de Chile.
- Keenan, J., & Tejada, M. (1987). Maderas Tropicales como Material de construcción en los países del Grupo Andino de América del Sur. Cartagena: International Development Research Centre.
- Klinger. (1994). W. Propiedades mecánicas y aplicaciones estructurales de la madera. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá.

- Kokutse et al. (2004). A. D., H. Baillères, A. Stokes and K. Kokou. Proportion and quality of heartwood in Togelese teak (*Tectona grandis* L.f.). *Forest Ecology and Management* 189: . 37-48.
- Lastra. (1984). J. A. Aspectos generales sobre la estructura anatómica, propiedades físico y mecánicassecado de la madera. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 48.
- Lastra. (1986). J. A. Compilación de las propiedades físico-mecánicas y usos posibles de 178 maderas de Colombia. Asociación Colombiana de Ingenieros. Forestales (acif)., 257.
- MADR. (2005). MADR- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2005. Características y estructuras del sector forestal-madera-muebles en Colombia, una mirada global de. su estructura y dinámica 1991- 2005. Documento de trabajo No 95. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. 63p.
- MAE & FAO. (2014). Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales. Ecuador-Quito.
- Mangonon. (2001). P. L. Ciencia de Materiales: Seleccin y Diseño (Primera ed.). . México: Pearson Educacion. doi:ISBN 970-26-0027-8.
- Messer. (2007). Comportamiento en Flexión de Vigas Laminadas que Incorporan pino oregón. . Chile: UBB.
- Meyers & Chawla . (2008). Marc Andr´e, Krishan Kumar, Mechanical Behavior of Materials. New York: ISBN-13 978-0-521-86675-0 hardback.
- Nájera et al. (2005). Z Vargas; J. Méndez y J. Graciano. Propiedades físicas y mecánicas de la madera en *Quercus laeta* Liemb. De El Salto, Durango. Ra Ximhai (Vols. vol. 1, no. 003,).

- Newell. (2010). J ,Ciencia de materiales Aplicaciones en ingeniería (Primera ed.).
México: Alfaomega. doi:ISBN 978-0-471-75365-0.
- NSR-10. (s.f.). NSR-10 b, 2. NSR (Norma sismo resistente Colombiana)-10, Título G,
Capítulo G.11.4.6. Bogotá-Colombia.
- Oliveira & Silva. (2003). Variação radial da retratibilidade e densidades básica da
madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., Revista *Árvore*, Vicososa -MG. vol.27, no. 3, ,
pp-381-385,.
- Patiño. (1997). , F. 1997. Recursos genéticos de *Swietenia* y *Cedrela* en los
neotrópicos.Propuestas para Acciones Coordinadas. Organización de las
Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma-Italia. 58.
- Pérez & Alcantera, 1983 citados por Jaramillo & Ontaneda. (1989). Estudio de las
características tecnológicas, trabajabilidad y usos de la especie forestal *Pollalesta*
karstenii, Pigüe. Tesis. Ing. For. Loja, Ecuador. Universidad Nacional de Loja.
Facultad de Ciencias Agrícolas. Escuela de Ingeniería Forestal. 142p.
- PROEXPORT. (2012). Sector Forestal en Colombia. [http://
www.inviertaencolombia.com.co/Adjuntos/Perfil_Forestal_2012. pdf](http://www.inviertaencolombia.com.co/Adjuntos/Perfil_Forestal_2012.pdf); consulta:
abril 2013.
- Prospect. (1997). The wood database. Version 2.1.Oxford Forestry Institute. Oxford,
UK. CD-Room.
- Puchaicela . (2013). T.C. Estudio de la estructura anatómica y propiedades físico
mecánicas de cinco especies maderables en bosques secundarios del cantón
Zamora. Tesis de Pregrado-Universidad Nacional de Loja-Ecuador.
- Puertas et al. (2013). P. S., Guevara , C., & Espinoza, M. Manual de Transformación de
la Madera. Lima, Perú.
- Pytel & Singer. (2008). Resistencia de materiales (Cuarta ed.). Oxford University.

- Rilley, Sturges, & Morris. (2001). W., L., & D. Mecánica de materiales (Primera ed.). México: Limusa Wiley. doi:ISBN 968-18-5942-.
- Rincón. (2009). E. 2009. El sector forestal en Córdoba: Cadena productiva forestal madera y muebles de Córdoba, Febrero de 2009 (Centro de Investigación Turipaná-Corpoica). 37p.
- Rodriguez et al. (2015). Características anatómicas, físico-mecánicas y de maquinado de la madera de mezquite (*Prosopis velutina* Wooton). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* Vol.6 (28): 156-173.
- Roussy et al. (2013). Propiedades tecnológicas de la madera de *Citharexylum montevidense* (Spreng.) Mol. “Espina de bañado”.
- Segura. (2019). propiedades de la madera de cedrela odorata de nueve y diez años en un saf con theobroma cacao, comparado con una plantación pura de diez años. turrialba, costa rica. instituto tecnológico de costa rica. escuela de ingeniería forestal.
- Shackelford. (2005). J. F. Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros Sexta ed.). Madrid: Pearson Educacion. doi:ISBN 978-84-205-4451-9.
- Silva. (2008). Determinación de las características anatómicas y propiedades físicas de la madera de la especie forestal Madero Negro (*Tabebuia billbergi*) o Guayacán. Lima- Perú: UNALM.
- Simpson. (1998). W Equilibrium moisture content of Wood in outdoor locations in the United States and Worldwide. United States Department of Agriculture USDA. Department of Agriculture: Forest Service, Forest Products Laboratory, 11 p.
- Sirmah et al. (2008). P., F. Muisu, F. Mburu, S. Dumarçay and P. Gérardin Evaluation of *Prosopis juliflora* properties as an alternative to Wood shortage. in Kenya. *Bois et Forêts des Tropiques* 298(4): 25-35.

- Sotomayor & Ramírez . (2013). Castellanos, J. R. & Pérez, M. Densidad y características higroscópicas de maderas mexicanas. Base de datos y criterios de clasificación. *Investigación e Ingeniería de la Madera*. (Vols. 9(3): 3-29.).
Obtenido de <https://www.researchgate.net/>
- Sotomayor . (2015). Castellanos, J. R. Banco FITECMA de características físico-mecánicas de maderas mexicanas. Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 69 pp.
- Sotomayor & Villaseñor. (2006). C., J. R. y J. M. Comportamiento viscoelástico de la madera de *Prosopis* sp. *Madera y Bosques* 12(2): 3-15.
- Sotomayor. (2002). Características mecánicas de la madera y su aplicación en la industria de la construcción. Vol. 4 (2):127-138.
- Tenorio & Moya. (2019). C & R ,Evaluation of wood properties of four ages of *Cedrela odorata* trees growing in agroforestry systems with *Theobroma cacao* in Costa Rica. *Agroforestry Systems*. (Vols. Vol.1, pp-1-16,).
- Triana et al. (2008). Max Alejandro Triana-Gómez, Gladis González Roso Segundo Demetrio Paspur Posso. *Revista Colombia Forestal* Vol. 11: 149-164.
- Universidad Católica del Norte, C. (2012). *Materiales de Construcción*.
<http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/Propiedades%20f%EDsicas%20m3.htm>.
- Van der Hout. (2015). P. .Resource Assessment and Forest Management Plan for the CITES-Listed Species *Cedrela odorata* (red cedar) In Guyana. Available:.
- Vignote & Martínez. (2006). ,S , I. *Tecnología de la madera*. Madrid: Mundi-Prensa. 3a. Edición.
- Vignote. (1996). *tecnología de la madera*. madrid España.

- Vignote. (1999). P., S. Algarrobo blanco. Boletín de información técnica No. 199
Asociación de Investigación Técnica de la Industrias de la Madera. 46-49.
- Willian F. Smith. (2006). , J. H. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales
(Cuarta ed.). Mc Graw Hill.
- Winandy . (1994). J Wood Properties. USDA-Forest Service, Forest Products
Laboratory. Encyclopedia of Agricultural Science. Orlando, FL: Academic
Press: 549-561. (Vol. 4). Madison, Estados Unidos .
- Yeboah et al. (2014). A. Burton, A. Storer, E. Opuni-Frimpong. Variation in wood
density and carbon content of tropical plantation tree species from Ghana. New
For, vol.45, no.1, pp-35–52,.
- Zárate & Gutiérrez. (2012). Wood species used in Boyacá characterization, according
the Colombian Earthquake-Resistant Construction's Regulations.
- Zobel & Talbert. (1988). B, J Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales.
545 p.

9. ANEXOS

ANEXO A

1. SELECCIÓN DE LA MADERA



1. CORTE DE LISTONES PARA PROBETAS



2. DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROBETAS





3. PROBETAS DIMENSIONADAS



5. ENSAYO DE TENSIÓN

A. UBICACIÓN DEL ÁREA PARA EL EXTENSÓMETRO



B. PROBETAS DIMENSIONADAS.



ANEXO B

PROBETA	MASA		CONTENIDO DE HUMEDAD
	HUMEDA	SECA	
	g		%
1	57,7786	41,1929	40,26
2	57,2503	41,0747	39,38
3	58,3846	44,8201	30,26
4	55,6008	43,8830	26,70
5	55,3263	42,9556	28,80

PROBETA	MASA		DENSIDAD		
	HUMEDA	SECA	HUMEDA	BÁSICA	ANHIDRICA
	g		g/cm ³		
1	72,4810	52,2369	0,92	0,66	0,72
2	69,6016	50,0982	0,88	0,64	0,69
3	67,2310	49,6642	0,85	0,63	0,68
4	63,7760	48,9273	0,81	0,62	0,67
5	68,9278	49,6471	0,88	0,63	0,68