

**GUÍA PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA
MADERA**



ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. METODOLOGÍA	5
2.1. Materiales y Equipos	5
2.2. Corte de probetas.....	6
2.3. Lijado, etiquetado y escaneado de probetas en verde.....	8
2.4. Medición y pesado de probetas en verde	9
2.5. Secado de probetas	11
2.6. Medición y pesado de probetas en seco o anhidro	11
2.7. Medición y pesado de probetas al ambiente o en equilibrio	11
2.8. Lijado, etiquetado y escaneado de probetas en seco	11
2.9. Propiedades físicas de la madera.....	12
2.9.1. Rodaja.....	12
2.9.2. Densidad	12
2.9.3. Contenido de humedad	13
2.9.4. Contracción de la madera	13
2.10. Propiedades organolépticas de la madera	13
2.10.1. Sabor.....	13
2.10.2. Olor.....	14
2.10.3. Color	14
2.10.4. Textura.....	14
2.10.5. Brillo.....	15
2.10.6. Veteado o figura.....	15
2.10.7. Grano	15
2.11. Propiedades mecánicas de la madera	16
3. BIBLIOGRAFÍA.....	18

1. INTRODUCCIÓN

La madera posee una estructura muy heterogénea, es un material poroso e higroscópico (Muñoz-Acosta y Moreno-Pérez, 2013). Las propiedades y características de las maderas dependen de varios factores como: especie, edad del árbol, ambientes de crecimiento como el terreno y el clima, entre otros. Como en todo material, las propiedades que definen su función y uso son diversas (FAO, 2010).

Entre las propiedades físicas de la madera se pueden mencionar las siguientes:

Densidad: La norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 1162:2013 menciona que la densidad es la relación que existe entre la masa y el volumen de una pieza de madera, a un determinado contenido de humedad. De la misma forma clasifican cuatro tipos de densidad:

- **Densidad básica:** Es la relación entre el peso de la madera en estado anhidro y su volumen en estado verde (Contenido de Humedad (CH) mínimo del 30 %).
- **Densidad verde:** Es la relación entre la masa y el volumen de la madera en estado verde o saturado (CH mayor al 30 %).
- **Densidad seca o anhidra:** Es la relación entre la masa y el volumen de la madera en estado seco total (CH de 0 %).
- **Densidad seca al aire o en equilibrio:** Relación que existe entre el peso y el volumen de la madera en estado seco al aire, con un contenido de humedad de alrededor al 12 %.

Contenido de humedad: La humedad de la madera es proporcional al peso (Muñoz-Acosta y Moreno-Pérez, 2013) mientras más pesada sea la madera, más humedad contiene. El contenido de humedad (CH) es la cantidad de agua que tiene la madera en su estructura (Cruz de León, 2005). Esta agua puede estar presente en tres formas, una formando parte de las células de la constitución leñosa, otra está impregnando la materia leñosa, y por último puede estar presente dentro del sistema vascular del árbol (Pedroso y Álvarez, 2018). Fernández-Golfin y Conde (2007), mencionan que las maderas se pueden clasificar según el grado de humedad en:

- **Madera verde:** la cual tiene un contenido en agua del 30 al 33 %, en estas condiciones no puede ser utilizada ya que al secarse se agrieta y se encoge.
- **Madera oreada o semiseca:** es la que ha perdido una parte de su agua, pero que no ha sufrido aún contracciones ni cambio de sus propiedades mecánicas.
- **Madera comercial:** es la que tiene un contenido en humedad menor al 20 %.
- **Madera seca:** es la madera que su grado de humedad está en equilibrio con la humedad relativa del aire.

- **Madera desecada:** tiene una humedad menor al 12 %.
- **Madera anhidra:** presenta un grado de humedad alrededor del 3 %.

Contracción: Las variaciones de humedad relativa del ambiente, causan que la madera presente cambios en sus dimensiones, algunas veces se hincha o se contrae dependiendo de la ganancia o pérdida de humedad, y se los expresa en porcentaje del cambio dimensional respecto a la dimensión original (Cartuche, 2022). Además, la madera no solamente se ve expuesta a una disminución o incremento de su volumen (o en sus dimensiones), sino que también llega a presentar distorsiones en su forma (Fierro y Asintimba, 2019), en este sentido se clasifican las siguientes categorías:

- **Contracción longitudinal**
- **Contracción tangencial**
- **Contracción radial**
- **Contracción volumétrica**
- **Relación tangencial-radial**

Las propiedades organolépticas de la madera, son las que se pueden percibir por la vista, el gusto, el tacto y el olfato (Gonzales, 2008), Cartuche (2022) menciona las siguientes:

- **Sabor:** Es importante dependiendo de la utilización de la madera.
- **Olor:** Las sustancias volátiles que posee la madera, permite que presente un olor característico.
- **Color:** Es de importancia decorativa, presentando una gama de tonalidades desde casi blanco hasta el negro, lo que está directamente relacionado con la gran diversidad de especies arbóreas existentes.
- **Textura:** Es la impresión visual producida por las dimensiones, distribución y porcentaje de los elementos estructurales en la madera.
- **Brillo:** Es la capacidad que tiene la madera para reflejar la luz.
- **Peso:** Está relacionado por el contenido de humedad y resistencia mecánica de la madera. Por lo general mientras más pesada sea la madera es más resistentes.
- **Veteado o figura:** Figura que se observa en los cortes longitudinales y que producen los diferentes matices de la madera en los anillos.
- **Grano:** Se refiere a la disposición y dirección de los elementos que forman la madera en relación al eje del árbol.

2. METODOLOGÍA

Para la obtención de las propiedades físicas de la madera de especies forestales tropicales, nuestro laboratorio ha desarrollado un protocolo con los siguientes pasos:

- Corte de probetas
- Lijado, etiquetado y escaneado de probetas en verde
- Medición y pesado de probetas en verde
- Secado de probetas
- Medición y pesado de probetas en seco o anhidro
- Medición y pesado de probetas al ambiente o en equilibrio
- Lijado, etiquetado y escaneado de probetas en seco
- Propiedades físicas de la madera
- Propiedades organolépticas de la madera
- Propiedades mecánicas de la madera

2.1. Materiales y Equipos

2.1.1. Equipos

- Motosierra
- Sierra de mesa
- Escáner
- Lijadora de palma
- Balanza de precisión
- Estufa

2.1.2. Materiales de campo

- Troza de madera

2.1.3. Materiales de laboratorio

- Calibrador
- Lijas de disco N° 60
- Lijas de agua N° 100; 120; 150; 180; 240; 360
- Marcadores punta fina
- Regla
- Martillo
- Cíncel

2.2. Corte de probetas

Para el corte de probetas fue necesario llevar la troza de madera al “Centro de la Madera” de la Universidad Nacional de Loja.

La troza se la obtiene del tronco, o de una rama vertical principal, del árbol a estudiar. Si es una troza de hasta 20 cm de diámetro, debe tener 1 metro de longitud; y si es una troza de más de 40 cm de diámetro, debe tener 0,5 m de longitud.

Se obtienen dos probetas en plano tangencial y dos probetas en plato radial, las cuatro probetas deben tener una medida de 20 cm de alto, 10 cm de largo y 5 cm de ancho (Figura 1).

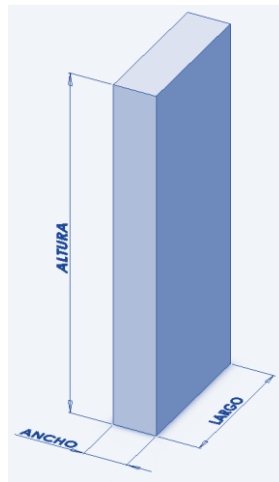


Figura 1. Dimensiones de probetas en plano tangencial y radial.

También se hace el corte de cuatro probetas pequeñas de 10 cm de alto, 5 cm de largo y 5 cm de ancho (Figura 2).

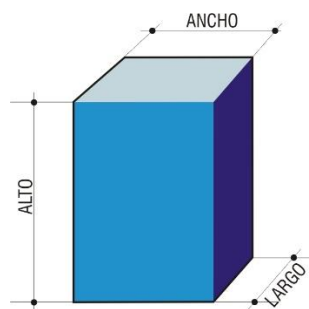


Figura 2. Dimensiones de probetas pequeñas.

Y se cortan dos rodajas o discos de madera de 5 cm de ancho y una rodaja de 1 cm de ancho (Figura 3).

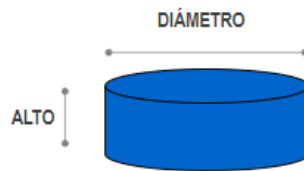


Figura 3. Dimensiones de rodajas.

Para mejorar la visualización y tener un espacio limpio y regular donde dibujar, primero se debe lijar al menos un extremo de la troza. Luego se identifica la médula, a partir de ahí, se trazan los radios, esto sirve de guía para poder trazar las probetas. En las probetas radiales se prioriza que tengan médula, las probetas tangenciales son perpendiculares a los radios y las probetas pequeñas se las traza en un lugar donde no se impida el corte de las otras probetas (Figura 4).



Figura 4. Trazo de las probetas.

Para realizar los cortes de las probetas se utiliza una sierra de mesa, y para los cortes de las rodajas una motosierra (Figura 5), es importante recalcar que esto se lo debe realizar con personal especialista en aserrado para evitar accidentes.



Figura 5. Corte de las probetas de madera.

2.3. Lijado, etiquetado y escaneado de probetas en verde

Una vez obtenidas las cuatro probetas grandes (20x10x5) y las cuatro probetas pequeñas (10x5x5), se procede a lijarlas a cada una con una lija de disco N° 60 (Figura 6). Luego de lijar todas las probetas, se procede a enumerar cada una de sus caras y lados (Figura 7), esto con el fin de evitar confusiones al momento de medirlas y posteriormente poder compararlas con las mediciones en seco y en equilibrio.



Figura 6. Lijado de las probetas en verde.

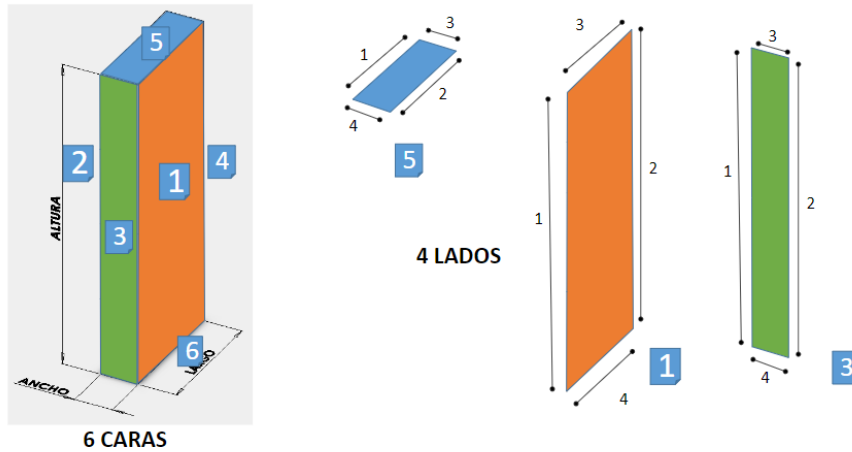


Figura 7. Etiquetado del número de caras y lados de las probetas.

Luego de enumerar sus caras y lados, se debe etiquetar cada probeta (Figura 8) con el siguiente código:

Sitio | GE SP | Corte | Al/Du | Nro

Donde:

Sitio: son las dos iniciales del sitio donde se recolecto la muestra

GE: son las primeras dos letras del género del individuo

SP: son las primeras dos letras de la especie del individuo

Corte: Tangencial (TA), Transversal (TR), Radial (RA)

Al/Du: si la probeta tiene Albura (Al) o Duramen (Du)

Nro: número de la probeta

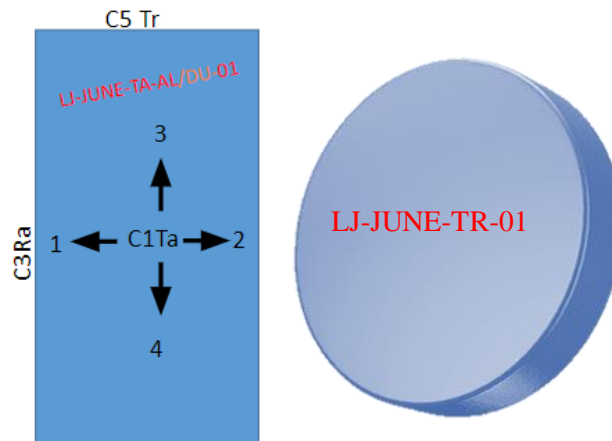


Figura 8. Etiquetado de las probetas y rodajas

Ya etiquetadas todas las probetas, con un escáner y el software (Nombre del software) se las procede a escanear, esto para tener la evidencia de como es la madera en estado verde (Figura 9), lo mismo se hace con las rodajas.

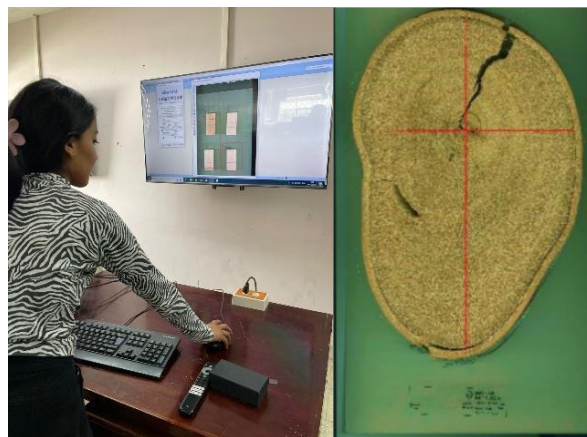


Figura 9. Escaneo de probetas.

2.4. Medición y pesaje de probetas en verde



La mediación y pesaje de las probetas es necesario para para calcular las propiedades físicas de la madera como densidad, contracción y contenido de humedad. Para la medición se ocupa una regla o un calibrador para mayor precisión, es importante mencionar que todas las probetas se deben medir con un solo tipo de instrumento (Figura 10). Los valores de las mediciones se los coloca en una matriz, la cual facilita la obtención de los valores promedios, el área y el volumen de cada probeta (Tabla 1).

Figura 10. Medición de las probetas de madera.

Tabla 1. Matriz de datos para probetas de madera

Nro. de probeta:		Código:				Corte:	
Dimensiones (cm):							
Peso (gramos):							
Cara	Lado	L1	L2	L3	L4	Área (cm²)	Volumen (cm³)
C1							
C2							
C3							
C4							
C5							
C6							
<i>Prom. Alto</i>							
<i>Prom. Largo</i>							

También se realiza la medición de cada componente de las rodajas: medula, albura, duramen, corteza, y diámetro total. Se coloca cada medida en una matriz para el cálculo de los valores promedios (Tabla 2).

Tabla 2. Matriz de proporciones de rodajas de madera

Nro. 01	Código:		
Altura (cm):	Unidad de medida:	Corte:	
Parámetro	Longitud mayor	Longitud menor	Long. Promedio
Médula			
Albura			
Duramen			
Corteza			
Diámetro total			

El pesaje de las probetas se las realiza con la ayuda de una balanza de precisión, la cual permite tener valores más exactos (Figura 11), los valores obtenidos se los coloca en la parte de la matriz que dice peso (Tabla 1).



Figura 11. Pesaje de las probetas de madera.

2.5. Secado de probetas

Luego de tener todas las mediciones y pesos de las probetas y rodajas en verde, se las coloca en una estufa a 105 °C (Figura 12), al día siguiente se comprueba que no se estén quemando, si en tal caso las probetas se están quemando se debe disminuir la temperatura. El objetivo de este procedimiento es que disminuyan el mayor peso posible, por ello cada día se pesan todas las probetas y se vuelve a colocarlas en la estufa por otro día, y así hasta que el peso de las probetas sea constante, por lo general suele ser necesario tenerlas en la estufa por tres días.



Figura 12. Secado de las probetas en la estufa.

2.6. Medición y pesado de probetas en seco o anhidro

Una vez secas totalmente las probetas (es decir que su peso disminuyó lo máximo posible), se vuelven a medir y pesar cada una de ellas (siguiendo la misma metodología del punto 2.4), y los datos se los coloca en otra matriz como la de la Tabla 1, especificando que son probetas secas.

2.7. Medición y pesado de probetas al ambiente o en equilibrio

Para obtener el peso en equilibrio, luego de ser medidas y pesadas las probetas en seco, se las deja reposar en un lugar fresco, esto con el fin de que absorban la humedad del ambiente. Igual que el secado, las probetas deben ser pesadas cada día, pero en esta ocasión hasta que su peso deje de aumentar y sea constante. Con el peso constante de las probetas se procede a medir y pesar cada una de ellas (siguiendo la misma metodología del punto 2.4) y se llena una matriz similar a la de la Tabla 1, especificando que son probetas en equilibrio.

2.8. Lijado, etiquetado y escaneado de probetas en seco

Las ocho probetas en equilibrio son lijadas a mano con lijas de agua de número 100, 150, 240, 360 y 600, procurando dejarlas uniformes y no disminuir demasiado sus medidas originales. Luego de eso son nuevamente enumerados sus lados y caras, y etiquetadas con el código

correspondiente, tal y como se lo realizó anteriormente (punto 2.3). Así mismo, se las volvió a escanear para tener evidencia de las probetas en equilibrio.

En cuanto a las rodajas secas, estas son lijadas con una lijadora de palma con las lijas número 100, 150, 240, 360, 500, 800, 1000, 1500, 2000 y 2500, con el fin de obtener rodajas lo más pulidas posibles y poder identificar sus características y propiedades físicas.

2.9. Propiedades físicas de la madera

Ya realizadas las mediciones y pesajes de las probetas en los tres estados (verde, seco, equilibrio), se procede a realizar los cálculos de las propiedades físicas.

2.9.1. Rodaja

En la rodaja se identifican las siguientes características:

- a. Anillos de crecimiento
 - Presentes: Visibles / poco visibles
 - Ausentes
- b. Transición de duramen a albura
 - No Cambia
 - Cambia gradualmente
 - Cambia abruptamente
- c. Color: determinarlo con la tabla de Munsell
 - Albura | Código y el nombre
 - Duramen | Código y el nombre



Figura 13. Tipos de anillos de crecimiento



Figura 14. Transición de duramen a albura

2.9.2. Densidad

Para el cálculo de las densidades se ocupan los pesos y mediciones de las probetas, y las siguientes fórmulas:

- a. $Densidad\ verde\ (g/cm^3) = \frac{Peso\ verde}{Volumen\ verde}$
- b. $Densidad\ anhidra\ (g/cm^3) = \frac{Peso\ seco}{Volumen\ seco}$
- c. $Densidad\ equilibrio\ (g/cm^3) = \frac{Peso\ en\ equilibrio}{Volumen\ en\ equilibrio}$
- d. $Densidad\ básica\ (g/cm^3) = \frac{Peso\ seco}{Volumen\ verde}$

Para la clasificación e interpretación de la densidad se usa la designada por el Acuerdo de Cartagena (Tabla 3).

Tabla 3. Rangos para categorización de densidad.

Categoría	Rango (densidad – g/cm ³)
Maderas livianas	< 0,40
Maderas medianas	0,41 – 0,70
Maderas pesadas	> 0,71

2.9.3. Contenido de humedad

Para el cálculo del contenido de humedad se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de humedad \%} = \frac{\text{Peso verde} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

2.9.4. Contracción de la madera

El cálculo de la contracción de la madera ocupa las dimensiones de las probetas, es decir las mediciones de alto y largo, además es necesario también contar con los volúmenes de cada probeta. Se utiliza las siguientes fórmulas, donde la dimensión longitudinal es el alto y la dimensión radial o tangencial es el largo:

$$a. \text{ Contracción longitudinal} = \frac{\text{dimensión longitudinal verde} - \text{dimensión longitudinal seca}}{\text{dimensión longitudinal verde}} \times 100$$

$$b. \text{ Contracción tangencial} = \frac{\text{dimensión tangencial verde} - \text{dimensión tangencial seca}}{\text{dimensión tangencial verde}} \times 100$$

$$c. \text{ Contracción radial} = \frac{\text{dimensión radial verde} - \text{dimensión radial seca}}{\text{dimensión radial verde}} \times 100$$

$$d. \text{ Contracción volumétrica} = \frac{\text{volumen verde} - \text{volumen seco}}{\text{volumen verde}} \times 100$$

$$e. \text{ Contracción tangencial} - \text{radial} = \frac{\text{contracción tangencial}}{\text{contracción radial}} \times 100$$

2.10. Propiedades organolépticas de la madera

Se identifican siete propiedades organolépticas de la madera, en las probetas tanto en estado verde como en estado seco.

2.10.1. Sabor

La madera puede contar con sabores dulces, amargos, ácidos, astringentes o en algunos casos el sabor es ausente. Si es algún sabor característico, se debe especificar.

2.10.2. Olor

Para determinar el olor de las probetas, se usa las siguientes clasificaciones: aromático, desagradable, ausente y si es de un olor característico se debe especificar.

2.10.3. Color

El color de las probetas se lo determina con la tabla de Munsell, con ayuda de la aplicación *Soil Análisis Pro* (Figura 15), se establece el color en verde y el color en seco de las probetas, ya que por lo general suele cambiar levemente; de igual manera, si la madera presenta un cambio abrupto de la albura y el duramen, se debe determinar el color de ambos.

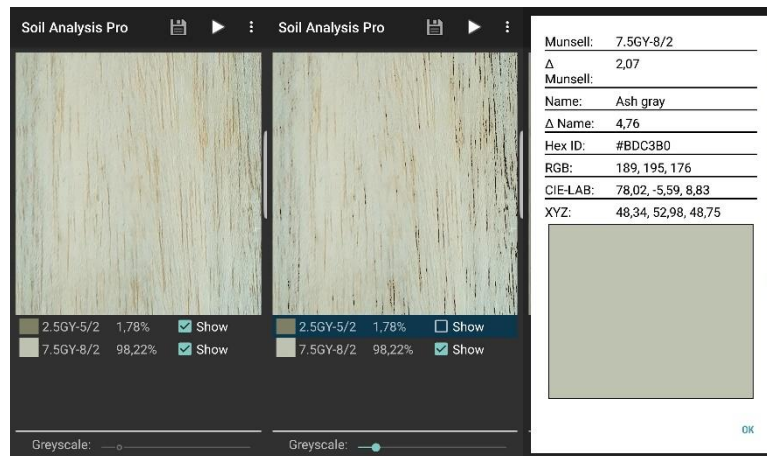


Figura 15. Aplicación Soil Análisis Pro, para determinar el color de la madera.

2.10.4. Textura

En las probetas se determina la textura cuando están en verde, en seco y en equilibrio. La textura de la madera se la clasifica en fina, media y gruesa (Figura 16.)



Figura 16. Clases de textura de la madera.

2.10.5. Brillo

El brillo de las probetas se los clasifica en: brillo alto, brillo medio, brillo bajo y en algunos casos que las probetas son opacas se las catalogo en sin brillo.

2.10.6. Veteado o figura

El veteado de la madera es muy variable, por eso es importante determinar el tipo de veteado que tienen las probetas. Puede ser veteado en forma de arcos superpuestos en “U” o en “V”, jaspeado, líneas o bandas paralelas, satinado, y ausente (Figura 17).



Figura 17. Clases de veteado de la madera.

2.10.7. Grano

Para poder determinar el tipo de grano que tiene la madera, primero se escoge una probeta pequeña (10x5x5), en esta probeta se identifica los radios y se traza una línea perpendicular, luego se coloca un cincel sobre la línea dibujada y con un martillo se golpea el cincel hasta que la probeta se parta o divida (Figura 18).



Figura 18. Identificación del tipo de grano de la madera.

El grano se clasifica en tres tipos: grano recto, grano inclinado u oblicuo, grano entrecruzado (Figura 19).



Figura 19. Clases de grano de la madera.

2.11. Propiedades mecánicas de la madera

En las propiedades mecánicas de la madera se encuentra la excentricidad, para calcularla se necesita cinta transparente, un marcador y una regla. Primero se debe colocar la cinta sobre la rodaja de madera, sobre esa cinta se dibuja una línea siguiendo un radio, de modo que los radios marcados formen una cruz u oposición. Luego a cada par de radios se les asigna una letra, por ejemplo, "A y B" y en el otro par de radios "C y D". Finalmente, se mide la longitud de cada radio marcado utilizando una regla (Figura 20).

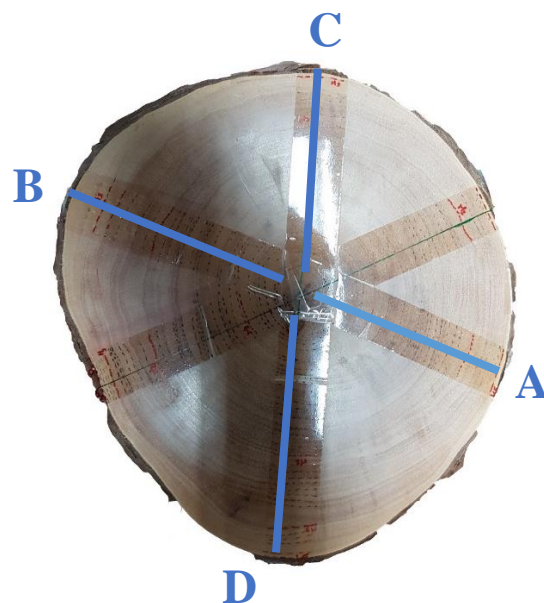


Figura 20. Identificación de radios para calcular la excentricidad de la madera.

Se utiliza la siguiente fórmula para calcular el grado de excentricidad (mediciones en centímetros), la interpretación se la observa en la Tabla 4:

$$\text{Excentricidad (EXC)} = \frac{\text{Radio mayor}}{\text{Radio menor}}$$

Tabla 4. Interpretación del grado de excentricidad

Rango	Interpretación
1,0 - 1,10	No hay madera de reacción
1,11 – 1,40	Baja
1,41 – 3,00	Media
> 3.00	Alta / muy alta

3. BIBLIOGRAFÍA

- Cartuche, K. (2022). *Caracterización de la madera de 95 especies forestales del sur de Ecuador con base a sus propiedades físicas, organolépticas y anatómicas* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio digital Universidad Nacional de Loja <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/24554>
- Cruz de León, J. (2005). Consideraciones tecnológicas en la protección de la madera. *Revista Forestal Kurú*.
- Fernández-Golfin, J., y Conde, M. (2007). *Manual técnico de secado de madera*. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho (AITIM). https://infomadera.net/uploads/publicaciones/pdf_6_ManualTécnicodeSecadodeMadera.pdf
- Fierro, P. y Asintimba, S. (2019). *Manual de laboratorio de ensayo de materiales para la construcción* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana De Quito]. Quito, Ecuador.
- Gonzales, E. (2008). *Identificación organoléptica y macroscópica de maderas comerciales* (J. Moscoso, E. Barreto, y C. Gutiérrez (eds.); 1st ed.). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/571598/02. Identificacion.pdf>
- Muñoz-Acosta, F. y Moreno-Pérez, P. A. (2013). Contracciones y propiedades físicas de *Acacia mangium* Willd., *Tectona grandis* L. f. y *Terminalia amazonia* A. Chev, maderas de plantación en Costa Rica. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 19(2), 287–303. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.06.040>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2010). Factores de manejo. <http://www.fao.org/3/x8234s/x8234s09.htm>
- Pedroso, M., y Alvarez, N. (2018). Análisis comparativo de las propiedades de la madera laminada y madera maciza utilizada en las cubiertas de la Parada de Ómnibus: Parcela 19. Varadero, Cuba. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 12(2), 22-27. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6548143.pdf+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=ec>