

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**“CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE LA
MADERA DE TECA *Tectona grandis* L.f.
PROVENIENTE DE UNA PLANTACIÓN EN
CHANCHAMAYO-PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL**

ROMINA ROSSANA ALVAREZ LOZANO

Lima - Perú

2019

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por la ex-alumna de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. ROMINA ROSSANA ALVAREZ LOZANO, intitulado “CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE LA MADERA DE TECA *Tectona grandis* L.f. PROVENIENTE DE UNA PLANTACIÓN EN CHANCHAMAYO-PERÚ”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia, queda en condición de ser considerada APTA y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 16 de Julio de 2019

.....
Mg. Sc. Florencio Trujillo Cuellar
Presidente

.....
Mg. Sc. Miguel Meléndez Cárdenas
Miembro

.....
Mg. Sc. Manuel Chavesta Custodio
Miembro

.....
Mg. Sc. Moisés Acevedo Mallque
Asesor

.....
Mg. Sc. Carlos Chuquicaja Segura
Coasesor

DEDICATORIA

A Don Victor Alvarez Cabrera, por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo y superación.

Mi cariño y respeto para usted siempre papacito Beto.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento

A mi patrocinador el Ing. Moisés Acevedo por su apoyo y guía en la realización de la tesis.

A mi co-patrocinador el Ing. Carlos Chuquicaja por sus consejos, su orientación y por haberme dado la oportunidad de desarrollar este tema de investigación.

A Dafne, compañera forestal, por su apoyo y ayuda durante la parte experimental, por acompañarme en las largas horas de laboratorio.

A mis padres, Cecilia y Tony, gracias a su esfuerzo, cariño y apoyo incondicional para poder seguir adelante y realizar esta investigación.

A mi hermana Silvana, pues gracias a ella escogí la carrera de Ingeniería Forestal.

A Candy, Pepita, Lady y Milo por ser mi mejor compañía y estar siempre a mi lado brindándome su cariño durante las largas amanecidas.

Al Ing. Tomás Samaniego por brindarme su ayuda y orientación durante el desarrollo de la parte estadística, gracias por la paciencia y el tiempo.

Finalmente, a todas aquellas personas que me apoyaron a lo largo de este proceso, que siempre tuvieron palabras de aliento y me animaron a seguir cuando más lo necesitaba y, que de una u otra manera permitieron que culminara esta investigación.

RESUMEN

En Perú hay un creciente interés por la madera de teca, considerada una de las más valiosas a nivel mundial debido a sus excelentes características y propiedades; encontrándose las plantaciones de *Tectona grandis* con fines comerciales en su etapa experimental, pues los estudios sobre su madera son escasos. En ese contexto, el objetivo del presente estudio es caracterizar la madera de *Tectona grandis* en base a sus propiedades físico-mecánicas para proponer sus aptitudes de uso. Se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de árboles de *Tectona grandis* de una plantación de 32 años en Chanchamayo – Perú. Las probetas y los ensayos se realizaron en base a lo estipulado en la norma American Society for Testing and Materials ASTM (2004). Se obtuvo estadísticos descriptivos: medias, desviación estándar, rangos y coeficiente de variación, así como la prueba t-student para determinar si existía diferencia significativa entre orientación radial y tangencial en Cizallamiento, Clivaje, Tenacidad y Tensión. Mediante un análisis de regresión lineal simple se relacionó la densidad básica y peso específico con la dureza (lados y extremos) y compresión perpendicular. La madera de teca se clasificó como una especie de densidad media y de buena estabilidad dimensional. Asimismo, los resultados obtenidos en propiedades mecánicas permiten clasificarla como una especie de resistencia mecánica media. Se comparó los resultados del estudio con los obtenidos para teca en otras localidades observándose que los valores de propiedades físicas se encuentran dentro del promedio mientras que los de propiedades mecánicas son menores. Además, el análisis de regresión mostró que las propiedades físicas densidad básica y peso específico son buenos indicadores para estimar la dureza lateral. Finalmente, a partir de las características físico-mecánicas y de la comparación con teca de otras localidades con usos conocidos, los usos que se proponen para la especie son construcción de embarcaciones, madera de construcción, carpintería de obra, pisos, muebles y gabinetes, obras exteriores, ebanistería, artesanía.

Palabras clave: Propiedades físico-mecánicas, teca, *Tectona grandis*, Chanchamayo, plantación.

ABSTRACT

In Peru there is a growing interest in teak wood, considered one of the most valuable worldwide due to its excellent characteristics and properties; *Tectona grandis* plantations being found for commercial purposes in their experimental stage, since studies on their wood are scarce. In this context, the objective of the present study is to characterize *Tectona grandis* wood based on its physical-mechanical properties to propose its use aptitudes. The physical and mechanical properties of *Tectona grandis* trees from a 32-year-old plantation in Chanchamayo - Perú were evaluated. The specimens and tests were performed based on the provisions of the American Society for Testing and Materials ASTM (2004). Descriptive statistics were obtained: means, standard deviation, ranges and coefficient of variation as well as the t-student test to determine if there was a significant difference between radial and tangential orientation in Shear, Cleavage, Toughness and Tension. Using a simple linear regression analysis, the basic density and specific gravity were related to hardness (sides and ends) and perpendicular compression. Teak wood was classified as a kind of medium density and good dimensional stability. Likewise, the results obtained in mechanical properties allow it to be classified as a kind of medium mechanical resistance. The results of the study were compared with those obtained for teak in other locations, observing that the values of physical properties are within the average while those of mechanical properties are lower. In addition, the regression analysis showed that the basic density and specific gravity physical properties are good indicators for estimating lateral hardness. Finally, based on the physical-mechanical characteristics and the comparison with teak of other locations with known uses, the proposed uses for the species are shipbuilding, lumber, construction carpentry, floors, furniture and cabinets, exterior works, joinery, crafts.

Key words: Physical-mechanical properties, teak, *Tectona grandis*, Chanchamayo, plantation.

ÍNDICE GENERAL

Página

I.	Introducción.....	1
II.	Revisión de Literatura	1
1.	Características de la especie.....	1
1.1.	Taxonomía.....	1
1.2.	Distribución geográfica	1
1.3.	Ecología.....	1
1.4.	Descripción dendrológica	3
1.5.	Características de la madera.....	5
1.5.1.	Anatomía de la madera	5
1.5.2.	Propiedades físicas	6
1.5.3.	Propiedades mecánicas	8
1.5.4.	Secado	9
1.5.5.	Durabilidad y Preservación	9
1.5.6.	Trabajabilidad	10
1.5.7.	Usos.....	10
2.	Propiedades físicas y mecánicas de las maderas	11
3.	Variabilidad de la madera	14
3.1.	Variabilidad de la madera entre árboles de una misma especie	16
III.	Materiales y Métodos.....	17
1.	Lugar de ejecución.....	17
2.	Materiales.....	17
2.1.	Especie	17
2.2.	Equipos y accesorios	17
2.2.1.	Fase de campo.....	17
2.2.2.	Fase de laboratorio	18
3.	Metodología.....	18
3.1.	Descripción de la zona de estudio	18
3.2.	Selección y colección de muestras	19
3.3.	Procesamiento de trozas y Preparación de probetas.....	20
3.4.	Determinación de propiedades físicas y mecánicas.....	22
3.5.	Procesamiento de datos.....	23
IV.	Resultados y Discusión.....	24
1.	Propiedades Físicas	24
2.	Propiedades Mecánicas.....	27
3.	Análisis de Regresión	33
4.	Aptitudes de Uso	34
V.	Conclusiones	38
VI.	Recomendaciones.....	39

VII. Referencias bibliográficas	41
VIII. Anexos	46

Índice de tablas

Página

Tabla 1. Valores medios para densidad básica de <i>Tectona grandis</i> según edad y procedencia	7
Tabla 2. Propiedades físicas de la madera de <i>Tectona grandis</i>	8
Tabla 3. Propiedades mecánicas de la madera de <i>Tectona grandis</i> en condición seca al aire (CH=12%)	9
Tabla 4. Rangos de clasificación de la madera según sus propiedades físicas.....	11
Tabla 5. Clasificación de las maderas según la relación de contracción tangencial y radial (T/R) (Estabilidad de dimensiones).....	12
Tabla 6. Clasificación de propiedades mecánicas de maderas mexicanas (libre de defectos) en condición secada al aire (CH=12%)	14
Tabla 7. Características dasométricas de los árboles de <i>Tectona grandis</i> seleccionados para el estudio	20
Tabla 8. Número total de probetas por árbol utilizadas para los ensayos físicos y mecánicos.....	21
Tabla 9. Valores promedios de las propiedades físicas de la madera de <i>Tectona grandis</i>	25
Tabla 10. Valores promedios de las propiedades mecánicas de la madera de <i>Tectona grandis</i> (CH = 12%).....	28
Tabla 11. Prueba de medias entre orientación radial y tangencial en cuatro propiedades mecánicas de <i>Tectona grandis</i>	28
Tabla 12. Clasificación de las propiedades mecánicas de la especie <i>Tectona grandis</i> proveniente de una plantación de 32 años	29
Tabla 13. Coeficiente de determinación, coeficiente de correlación y Ecuación de regresión lineal entre dos propiedades físicas y dos propiedades mecánicas	34
Tabla 14. Aptitudes de uso de especies con características similares.....	36
Tabla 15. Aptitudes de uso propuestos en otros estudios para plantaciones de <i>Tectona grandis</i> en Latinoamérica.....	36

Índice de figuras

	Página
Figura 1. Muestra botánica de <i>Tectona grandis</i> L.f.	4
Figura 2. Ubicación de la plantación de teca en el Fundo "La Génova"	19
Figura 3. Distribución de cortes en cuarterones para obtención de probetas	21
Figura 4. Probetas dimensionadas y codificadas.....	22
Figura 5. Comparación de resultados promedios de densidad básica para madera de <i>Tectona grandis</i> de distintas edades	26
Figura 6. Comparación de los valores promedio de Contracción Total para madera de <i>Tectona grandis</i> en Perú, Ecuador, Bolivia, Venezuela y Brasil.....	26
Figura 7. Comparación de los valores promedios de propiedades mecánicas para la especie en estudio y de otras procedencias	32
Figura 8. Densidad básica de <i>Tectona grandis</i> y dos especies de similares características y usos conocidos.....	35
Figura 9. Contracción radial total, contracción tangencial total, contracción volumétrica total y T/R de <i>Tectona grandis</i> y dos especies de características similares y usos conocidos.....	35

Índice de anexos

	Página
Anexo 1 Constancia de Identificación de la especie	46
Anexo 2 Valores promedios de propiedades físicas y mecánicas para teca	47
Anexo 3 Análisis de varianza para orientación radial y tangencial de propiedades mecánicas.	48
Anexo 4 Análisis de regresión lineal dureza lados vs densidad básica.....	49
Anexo 5 Análisis de regresión lineal dureza extremos vs densidad básica.....	50
Anexo 6 Análisis de regresión lineal compresión perpendicular vs densidad básica	51
Anexo 7 Análisis de regresión lineal dureza lados vs peso específico	52
Anexo 8 Análisis de regresión lineal dureza extremos vs peso específico	53
Anexo 9 Análisis de regresión lineal compresión perpendicular vs peso específico	54
Anexo 10 Verificación de los valores de las propiedades mecánicas en relación al porcentaje de humedad.....	55
Anexo 11 Coeficientes de variación promedio para algunas propiedades de madera clara	56
Anexo 12 Fotografías de las probetas utilizadas durante los ensayos	57

I. INTRODUCCIÓN

La teca (*Tectona grandis* L.f.) es una especie forestal perteneciente a la familia Lamiaceae, endémica de Asia (la mayoría de India peninsular, gran parte de Myanmar y partes de Laos y Tailandia) muy conocida y solicitada en el mercado internacional debido a sus buenas características físicas y mecánicas (Weaver, 2000). Su uso se ha difundido a nivel mundial por ser una especie de madera dura de rápido crecimiento que se adapta fácilmente a diversos paisajes, así como por tener un buen rendimiento en diferentes sistemas productivos. La madera de teca tiene excelentes propiedades de resistencia, trabajabilidad, durabilidad y calidad estética siendo utilizada principalmente en carpintería, producción de muebles finos y especialmente en la construcción de navíos y muelles por su resistencia al agua (FAO, 2010). La madera de *T. grandis* de los bosques naturales de Myanmar, la India y Tailandia tiene excelente reputación en los mercados internacionales y atrae precios de hasta \$ 2000/ m³ para la madera en trozas (OIMT, 2004) lo que generó un mayor interés en los productores de diversos países llevándolos a establecer plantaciones forestales y a realizar programas de reforestación con esta especie; siendo una de las maderas tropicales que más se planta (De Camino y Morales, 2013).

El gran interés por la calidad de la madera obtenida de bosque natural o de plantaciones forestales, ha generado la necesidad de realizar diversos estudios sobre la especie, entre ellos, las propiedades físicas y mecánicas de la madera en función a la edad y al lugar de producción. En el Perú a pesar de existir pequeñas áreas reforestadas con teca la contribución de estudios silviculturales es mínima y de investigaciones tecnológicas escasa.

Los estudios de propiedades físicas y mecánicas son fuente de información pues permiten caracterizar a la madera dependiendo del lugar del que proviene (bosque natural o plantación) y así poder estimar los mejores posibles usos. En el presente estudio se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Tectona grandis* proveniente de una plantación de 32 años en Chanchamayo – Perú.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE

1.1. TAXONOMÍA

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Lamiales

Familia: Lamiaceae

Género: Tectona

Nombre común: Teca

Nombre científico: *Tectona grandis* L.f.

(ThePlantList, 2018)

1.2. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

La teca es una especie originaria de Birmania, península de la India, al oeste de Tailandia e Indonesia. También se le ha encontrado al sur del Ecuador, en Java y en algunas pequeñas islas del Archipiélago Indonesio.

Bhat y Ma, citado por Llavé (2008) indican que la teca se cultiva en plantaciones en por lo menos 36 países tropicales, cubriendo una extensión aproximada de 5.7 millones de ha. Aproximadamente el 92% de la superficie de plantaciones de teca en el mundo se encuentra en el trópico de Asia, lo cual comprende alrededor del 43% en la India y un 31% en Indonesia, mientras el 4,5% se sitúa en la región tropical de África, principalmente en Cota d'Ivoire y Nigeria, y alrededor del 3% se halla en América del Sur y Central, especialmente en Costa Rica, Trinidad y Tobago y Brasil.

1.3. ECOLOGÍA

Debido a su dispersión geográfica y a la gran variedad de ambientes donde ocurre naturalmente, la teca se adapta a diversos ambientes. Chaves y Fonseca (1991), indican que, en el área de centro américa, la teca inicia la floración entre los cinco y ocho años, es a partir de esta fecha que empieza su producción de semillas la cual generalmente presenta latencia,

por lo que requiere de tratamientos de escarificación. Requiere de climas con una estación seca bien definida (3 a 5 meses), con temperaturas medias anuales entre 22 y 28°C, una precipitación media anual de 1250 a 2500 mm y altitudes entre los 0 y 1000 msnm.

Se adapta a gran variedad de suelos, pero prefiere los franco-arenosos o arcillosos, profundos, fértiles, bien drenados y con pH neutro o ácidos. Entre los factores limitantes más importantes para la especie se consideran los suelos poco profundos, compactados o arcillosos, con bajo contenido de calcio o magnesio, con pendiente, mal drenaje y altitudes mayores a 1000 msnm.

Es una especie muy resistente a plagas y enfermedades. Por su importancia se han realizado múltiples estudios de mejoramiento genético, para identificar el germoplasma ideal para cada zona de interés, principalmente en Asia.

1.4. DESCRIPCIÓN DENDROLÓGICA

Chaves y Fonseca (1991) señalan que la teca es un árbol de grandes dimensiones, deciduo, que puede alcanzar más de 50 m de altura y 2 m de diámetro en su lugar de origen. En Costa Rica alcanza alturas superiores a los 35 m en los mejores sitios.

Asimismo, mencionan que presenta un fuste recto, con corteza áspera y fisurada de 1.2 mm de espesor, de color café claro que desfolia en placas grandes y delgadas. Los árboles generalmente presentan dominancia apical, que se pierde con la madurez o cuando florece a temprana edad, originando una copa más amplia con ramas numerosas.

Las hojas son simples, opuestas, de 11 a 85 cm de largo y de 6 a 50 cm de ancho, con pecíolos gruesos (Figura 1). Inflorescencia en panículas terminales de 40 cm hasta 1m de largo. Flores de cáliz campanulado, color amarillo verdoso, de borde dentado, los pétalos se juntan formando un tubo corto, 5 o 6 estambres insertados debajo del tubo de la corola, anteras amarillas, ovadas y oblongas. Estilo blanco amarillento, más o menos pubescente con pelos ramificados, estigma blanco amarillento bífido, ovario ovado o cónico, densamente pubescente, con cuatro celdas.

El fruto es subgloboso, más o menos tetragono, aplanado; exocarpo delgado, algo carnoso cuando fresco y tomentoso; endocarpo grueso, óseo, corrugado con cuatro celdas que encierran generalmente 1 o 2 semillas de 5 mm de largo.

La producción de semillas fértiles se presenta entre los 15 y los 20 años, sin embargo, en algunos casos se da una floración temprana entre 5 y 8 años. La floración se da en los meses de junio a setiembre y la producción de frutos al inicio del verano, de febrero a abril.

Presenta una raíz pivotante gruesa y larga que puede resistir o desaparecer, pero forma numerosa y fuerte raíces laterales. Las raíces son sensibles a la deficiencia de oxígeno, de ahí que se encuentran a poca profundidad (primeros 30 cm) creciendo en suelos bien drenados. En los primeros 30 cm de suelo se encuentra el 65 a 80% de la biomasa radical fina, mientras que la producción anual de biomasa radical fina es de 5420 kg/ha.



Figura 1. Muestra botánica de *Tectona grandis* L.f.

Fuente: Tropicos.org - Missouri Botanical Garden. Missouri USA

1.5. CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA

1.5.1. ANATOMÍA DE LA MADERA

Moya *et al.* (2010), Chavesta y Condori (2005) y Oliveira citado por Zuñiga (2012) en sus respectivos estudios, coinciden en mencionar las siguientes características anatómicas para la madera de *Tectona grandis*:

a. Organolépticas

Color: Marcada diferencia entre albura y duramen. La albura es de color amarillo cremoso y el duramen puede ser café dorado, café oscuro o verdoso.

Olor: No característico

Sabor: Amargo

Lustre o brillo: Alto

Grano: Recto

Textura: Fina

Veteado: Muy marcado. Arcos superpuestos bien definidos y líneas verticales

b. Macroscópicas y Microscópicas

Porosidad: Circular o semicircular, poros ovalados o en algunos casos redondos, grandes y numerosos en el leño inicial y pequeños y escasos en el leño tardío visibles con lupa. Se presentan poros múltiples radiales en grupos de 2 a 3.

Parénquima: Bandas terminales de tipo marginal y paratraqueal vasicéntrico escaso, sólo visible con aumento 10X. Gran presencia de sílice.

Radios: Medianos y relativamente escasos.

Vasos: Ligeramente visibles a simple vista, tamaño medio. Tilosis taponando vasos.

Fibras: Libriformes, punteaduras aeroladas de tamaño muy pequeño. Longitud promedio de 1,04 mm, diámetro de lumen promedio de 0,017 mm, diámetro promedio de fibra de 0,026 mm y espesor de pared celular de 0,005 mm.

1.5.2. PROPIEDADES FÍSICAS

Blanco *et al.* (2014) en su estudio de propiedades físicas y mecánicas de *Tectona grandis* de una plantación experimental de 13 años en Brasil determinó para densidad básica un valor promedio de 0,54 g/cm³, clasificándola como una madera de densidad básica media. Asimismo, indica que las características de la madera joven plantada en Brasil se asemejan a las de maderas de teca provenientes de otros lugares y que, propiedades como la densidad básica están relacionadas a la edad por lo que se debe esperar un incremento con la madurez de la madera.

Rivero y Moya (2006) en su estudio de propiedades físicas y mecánicas en una plantación experimental de ocho años en Bolivia, determinaron un valor de 0,50 g/cm³ para densidad básica con lo que clasificaron la madera como moderadamente pesada. Los valores obtenidos para las contracciones la clasifican como moderadamente estable, con una contracción volumétrica total muy baja. Asimismo, mencionan que debido a la edad de la plantación se espera un incremento en la densidad, así como la disminución de las contracciones.

Arosteguí y Bustamante (2016) obtuvieron un valor promedio de 0,53 g/cm³ para densidad básica en una plantación de 12 años en Ecuador. Indican que la teca es una madera de resistencia intermedia y que el valor obtenido comparado con los de otros estudios en Latinoamérica es parecido pudiendo atribuírsele al clima de la región.

Moya y Ledezma (2003) concluyen que la densidad de la madera está más relacionado a la edad de los árboles que al manejo silvicultural, sitio o región, especialmente en las plantaciones juveniles.

En la Tabla 1 se presenta datos de Densidad básica de la madera de teca a distintas edades y de distintas procedencias referidas a las fuentes de información mencionadas.

Tabla 1. Valores medios para densidad básica de *Tectona grandis* según edad y procedencia

Procedencia	Edad (años)	Densidad básica (g/cm³)
Bolivia ¹	8	0,50
Costa Rica ²	10	0,54
Ecuador ³	12	0,53
Colombia ⁴	13	0,55
Brasil ⁵	15	0,54
Venezuela ⁶	20	0,55
Brasil ⁷	31	0,55
Timor Oriental ⁸	50 a 70	0,61

Tomado de: ¹Rivero y Moya (2006), ²Moya y Arce (2003), ³Arosteguí y Bustamante (2016), ⁴Betancur et al. (2000), ⁵Motta (2011), ⁶Valero et al. (2005), ⁷Lima et al. (2009), ⁸Miranda et al. (2010)

Crespo *et al.* (2008) menciona que la teca es una especie de densidad media, con contracción volumétrica total muy baja y de una relación Tangencial/Radial (T/R) alta o inestable.

Motta (2011) en su estudio de propiedades tecnológicas en una plantación de 15 años en Brasil encontró para la madera de teca una densidad que varía entre media a moderadamente pesada, estabilidad dimensional mediana con bajos valores de contracción volumétrica y señaló que estos resultados podrían estar relacionados al espesor de la pared de la fibra.

Bonduelle *et al.* (2015) resaltan que el factor anisotrópico tomado de forma aislada no caracteriza la madera desde el punto de vista de la estabilidad dimensional y que con esto se refuerza la idea de que las maderas con factor anisotrópico alto y factor de contracción bajo pueden ser estables dimensionalmente.

En la Tabla 2 se detallan los resultados respecto a propiedades físicas de teca obtenidos por los autores mencionados.

Tabla 2. Propiedades físicas de la madera de *Tectona grandis*

Propiedades físicas	Unidades	Bolivia ¹ (8 años)	Colombia ² (13 años)	Brasil ³ (15 años)	Venezuela ⁴ (20 años)
Contenido de Humedad	%	106,68	92,67	-	-
Densidad al 12% CH	g/cm ³	0,58	0,60	-	0,63
Densidad Básica	g/cm ³	0,50	0,55	0,54	0,55
Radial		2,57	2,06	2,06	2,49
Tangencial		5,33	3,92	4,09	3,38
Contracción total	%				
Longitudinal		0,27	0,54	0,29	0,32
Volumétrica		8,01	5,85	6,33	6,18
Relación T/R		2,12	2,01	2,02	1,45

Tomado de ¹Rivero y Moya (2006), ²Betancur et al. (2000), ³Motta (2011), ⁴Valero et al. (2005)

1.5.3. PROPIEDADES MECÁNICAS

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos por algunos autores en sus respectivos estudios de propiedades físico-mecánicas para la madera de teca de plantaciones de distintas edades y procedencias, a un contenido de humedad de 12%.

Castro y Raigosa (2000) mencionan en su estudio que la madera de teca tiene altos valores para resistencia mecánica a pesar de ser madera joven. Asimismo, relacionan los valores obtenidos en las pruebas mecánicas con las características morfométricas de las fibras por lo que, según sus resultados el esfuerzo al límite proporcional en una plantación de mayor edad y longitud de fibra será mayor ya que, una fibra más larga, densa y entrecruzada permitirá una mayor resistencia en tensión. Así también, la presencia de fibras cortas y gruesas sumadas a una menor cantidad de poros permite un menor desplazamiento entre estas en sentido perpendicular a una determinada presión como la que se ejerce en la prueba de dureza lateral y compresión perpendicular lo que se refleja en menores valores de resistencia.

Betancur *et al.* (2000) colocan a la teca dentro del rango de maderas de mediana resistencia mecánica, e indican en base a sus resultados que existe evidencia de una estrecha relación entre el valor del peso específico y las propiedades mecánicas, siendo un valor relevante

para su estudio. Sugieren que la dureza de la madera es afectada por la edad del árbol y consecuentemente por la densidad de la madera, considerando que trabajaron con madera joven.

Tabla 3. Propiedades mecánicas de la madera de *Tectona grandis* en condición seca al aire (CH=12%)

Propiedades Mecánicas		Unidades	Venezuela ¹ (20 años)	Brasil ² (15 años)	Colombia ³ (13 años)	Bolivia ⁴ (8 años)
Flexión Estática	ELP		741,16	-	670,00	-
	MOR	kg/cm ²	1025,06	1007,00	905,40	963,60
	MOE		97,76	96,50	104,38	-
Compresión Paralela	ELP		441,14	-	367,69	-
	MOR	kg/cm ²	532,81	553,00	444,17	460,59
	MOE		450,02	-	-	-
Compresión Perpendicular	ELP	kg/cm ²	113,26	-	86,31	70,92
Dureza	Lados			488,50	526,64	415,16
	Extremos	kg/cm ²	618,58	512,00	558,87	357,60
Cizallamiento		kg/cm ²	106,93	125,00	102,00	123,90

Tomado de ¹Valero et al. (2005), ²Motta (2011), ³Betancur et al. (2000), ⁴Rivero y Moya (2006)

1.5.4. SECADO

Según Moya et al. (2010) la teca se clasifica como una especie de secado rápido y con pocos defectos de secado. Una vez seca al aire la madera aserrada presenta alguna incidencia de defectos, principalmente en la madera de árboles jóvenes o de las partes altas de los árboles. El secado al horno es rápido y uniforme, pudiendo darse la aparición de algunos defectos. En ambos casos, se puede dar la aparición de grietas o rajaduras asociadas a la presencia de médula o nudos. En algunos casos puede presentarse alabeo, el cual puede verse influenciado por el programa de secado o el patrón de corte en las tablas.

1.5.5. DURABILIDAD Y PRESERVACIÓN

Chaves y Fonseca (1991) señalan que la teca es considerada como muy resistente al ataque de hongos e insectos, los daños registrados en bosques naturales, plantación o madera en uso, han sido de poca importancia. No obstante, la madera joven no dura más de cinco años

si está en contacto con el suelo, la albura es susceptible al ataque de hongos mientras que el duramen de árboles jóvenes presenta durabilidad natural moderada.

Moya et al. (2010) mencionan que la madera de teca preservada, utilizando el método de inmersión-difusión con sales de boro, es penetrada totalmente en los diferentes espesores de tabla en tiempos adecuados según sea el espesor. La madera preservada con este método es recomendable para uso en interiores, sin exposición al agua. La penetración del preservante es nula en el duramen de esta especie; aunque en algunas ocasiones, es posible la penetración parcial debido a la presencia de porciones del leño temprano con poros grandes y abundantes; en la albura se logra una penetración total.

1.5.6. TRABAJABILIDAD

Betancur *et al.* (2000) señalan que la madera de teca es de fácil trabajabilidad, presentando un buen acabado, sin embargo, consideran recomendable la aplicación de carburo de tungsteno a las cuchillas empleadas, con el fin de maximizar el tiempo, el rendimiento y la calidad del proceso.

1.5.7. USOS

Chavesta y Condori (2005) y Moya *et al.* (2010) coinciden en que la buena estabilidad de la madera de teca luego de su transformación, así como su durabilidad y resistencia a los ataques de hongos ha permitido su utilización en la construcción de cubierta de barcos. Asimismo, presenta muy buenas características para la carpintería, revestimientos, pisos de calidad, chapas decorativas, ebanistería y mueblería.

2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LAS MADERAS

Szücs *et al.* (2006) mencionan que, para utilizar la madera como material de construcción, algunas características físicas, como la humedad, densidad, contracción, resistencia al fuego, durabilidad natural, resistencia química, merecen ser destacadas y deben ser conocidas. Pues según Bremer (2009) estas propiedades podrían verse influenciadas por diversos factores que alteren su desempeño y resistencia.

Aróstegui (1982), indica que la densidad de la madera tiene gran influencia en las propiedades mecánicas como, por ejemplo, la resistencia a la flexión, dureza y otras. Para efectuar un análisis y evaluación se debe lograr cierto grado de comparación de los resultados, formando grupo de maderas de propiedades y uso, en la Tabla 4 se muestra los rangos de clasificación de la madera dados por el autor según sus propiedades físicas. La clasificación de las maderas en base a sus propiedades físicas y mecánicas permite orientar los usos más convenientes, de acuerdo a los requisitos mínimos que una madera debe reunir para un uso determinado.

Tabla 4. Rangos de clasificación de la madera según sus propiedades físicas

Propiedades	Unidades	Clasificación				
		Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Densidad básica	g/cm ³	< 0,3	0,3-0,4	0,41-0,6	0,61-0,75	> 0,75
Contracción volumétrica	%	< 7	7-10	10,1-13	13,1-15	> 15

Fuente: Aróstegui, 1982

Aróstegui y Sato (1970) mencionan que la estabilidad de la madera se puede observar mediante la relación entre la contracción radial y tangencial, este índice de estabilidad cuando más cercano a 1 es significa que la madera es más estable y tiene buen comportamiento al secado (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de las maderas según la relación de contracción tangencial y radial (T/R) (Estabilidad de dimensiones)

Relación Contracción T/R	Clasificación según su Estabilidad de Dimensiones
< 1,50	Muy estable
1,50 – 2,00	Estable
2,00 – 2,50	Moderadamente estable
2,50 – 3,00	Inestable
> 3,00	Muy inestable

Fuente: Aróstegui y Sato, 1970

Por otro lado, Arroyo (1983) afirma que el peso específico de la madera depende de tres factores:

- 1) Tamaño de las células.
- 2) Espesor de las paredes celulares.
- 3) Interrelación entre el número de células de diferentes tipos en término de tamaño y espesor de paredes celulares.

Afirma también que, las fibras son particularmente importantes en la determinación del peso específico ya que sus secciones transversales pequeñas permiten el agrupamiento de ellas en un espacio reducido. Si las fibras son de paredes gruesas y lúmenes pequeños, el espacio de aire es relativamente pequeño y el peso específico tiende a ser alto. Si, por el contrario, son de paredes delgadas, lúmenes amplios, o ambas cosas, el peso específico será bajo. Madera liviana como el balsa, ilustra esta última condición, ya que presentan alta proporción de fibras de paredes delgadas y grandes lúmenes, con bajo volumen de vasos. El peso específico bajo también puede ser el resultado de un alto volumen de vasos en la madera.

Aróstegui (1982), menciona que la tenacidad o resistencia de la madera al impacto o al choque, depende de su capacidad de absorber energía y de utilizarla en su deformación. Según el autor, las maderas con baja resistencia a la rotura por golpe son consideradas quebradizas, caracterizadas por presentar planos de rotura lisos y una deformación por el golpe pequeño, mientras que las maderas tenaces presentan falla con astilladura larga. Define también la flexión estática como la resistencia que ofrece la madera a una carga que actúa sobre una viga y ésta depende de muchos factores tales como los defectos de

crecimiento (nudos, desviaciones de las fibras), densidad, contenido de humedad, entre otros. Dentro de los esfuerzos menciona el Módulo de Elasticidad (MOE) como un índice de la facilidad o dificultad que presentan las maderas para su deformación, siendo una relación inversa; es decir, a mayor MOE, menor es su deformación. Se considera una de las más importantes propiedades mecánicas para caracterizar la madera como material de construcción, es decir, en la fabricación de casas, puentes, techos, construcciones marítimas, y en todas las demás construcciones de madera. (Motta, 2011).

La compresión paralela al grano es definida como la resistencia que ofrece la madera a una fuerza que actúa en dirección paralela a las fibras y tiene importancia en la construcción, cuando la madera se usa en columnas o puntales. Así mismo, Oliveira (2011) indica que esta propiedad depende de la densidad de la madera, es por ello que maderas con densidad elevada tendrán altos valores de resistencia a la compresión habiendo también una relación con el contenido de humedad y dirección de aplicación del esfuerzo, paralelo o perpendicular a las fibras de la madera.

El cizallamiento es definido como la resistencia que ofrece la madera a la acción de dos fuerzas paralelas, pero en dirección opuesta. Esto ocurre de manera frecuente, en el caso de unión de dos vigas. En referencia a la dureza es entendida como la resistencia de un cuerpo a la penetración de otro cuerpo, su importancia es especial cuando la madera se usa para pisos (Aróstegui, 1982) así como para usos estructurales cuando van a sufrir intervención con herramientas cortantes o que necesitan ser perforadas o clavadas. (Oliveira, 2007)

Panshin y De Zeeuw (1980), sostienen que el peso específico y el contenido de humedad afectan las propiedades mecánicas de la madera. El primero considerado como el mejor índice para predecir las propiedades de resistencia, siendo estos valores variables según composición y organización celular de las diferentes maderas.

Arroyo (1983), manifiesta que la efectividad de una madera para resistir ante diversas fuerzas no sólo depende de la cantidad de sustancia encontrada en la pared celular, sino de las proporciones en la que se encuentran dichos componentes en una pieza dada y la cantidad de extractivos presentes en los lúmenes de las células. Por otro lado, el contenido de humedad influye en la resistencia y elasticidad de la madera por debajo del punto de saturación de las fibras de manera inversa. Vignote *et al.* (1996), comprobaron que cuando el contenido de humedad de la madera aumenta en 1%, la resistencia disminuye entre 1,5%

a 2%. Además, afirman que la madera presenta en su dirección longitudinal mayor resistencia que en dirección transversal.

Dávalos y Bárcenas (1999) realizaron una clasificación de las propiedades mecánicas más importantes de las maderas mexicanas en condición seca (CH=12%) la cual permite hacer comparaciones directas entre las especies que, permiten facilitar la recomendación de usos potenciales (Tabla 6).

Tabla 6. Clasificación de propiedades mecánicas de maderas mexicanas (libre de defectos) en condición secada al aire (CH=12%)

	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
FLEXION					
Módulo de Ruptura (kg/cm ²)	< 550	551-800	801-1000	1001-1300	> 1300
Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)(*1000)	< 75	76-105	106-125	126-150	> 150
COMPRESION					
PARALELA (E.Máx.)(kg/cm ²)	< 325	326-450	451-530	531-650	> 650
PERP. (E.Lím.Prop.)(kg/cm ²)	< 35	36-65	66-85	86-125	> 25
CORTANTE					
Esf. Máx. (kg/cm ²)	< 50	51-90	91-120	121-165	> 165
DUREZA					
Lateral (kg/cm ²)	< 150	151-350	351-550	551-900	> 900
Extremos (kg/cm ²)	< 160	161-400	401-625	626-1050	> 1050

Fuente: Dávalos y Bárcenas, 1999

3. VARIABILIDAD DE LA MADERA

Arroyo (1983) menciona que la variabilidad de la madera entre especies diferentes como resultado de sus diferencias en estructuras anatómicas y propiedades físicas asociadas, es suficientemente evidente para ser aceptada, sin embargo, la variabilidad dentro de una especie es más sutil y por tal motivo menos fácil de descubrir. Asimismo, menciona que así como hay características que son comunes a todas las maderas, tales como la estructura celular, la composición química de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina), la anisotropía, la higroscopicidad y la susceptibilidad al ataque de diversos agentes biológicos y no biológicos; existen también casi infinitas variaciones y combinaciones de propiedades entre las diferentes especies, las mismas que ofrecen una singular oportunidad para

comparar las exigencias de un uso en particular con las propiedades de las maderas, a fin de seleccionar la especie adecuada mediante la mejor combinación de características. Dentro de este contexto, el autor explica que las variaciones más distinguibles entre las maderas son aquellas relacionadas con su aspecto (color, textura, figura), las cuales tienen su origen en los patrones celulares producidos por diferentes combinaciones como tipo, tamaño, disposición u orientación de las células, así como por las diversas sustancias extrañas presentes en el duramen. La variabilidad puede ser considerable también con respecto a sus propiedades físicas, mecánicas y químicas, tales como peso, dureza, propiedades de resistencia, cambios dimensionales, penetrabilidad, trabajabilidad, acabado, encolado, durabilidad y reacción a ciertos productos químicos, entre otros.

Panshin y De Zeeuw (1980) opinan que es difícil atribuir la variabilidad de las características de la madera a un solo factor de los muchos que afectan el crecimiento de un árbol o incluso a la combinación de varios de ellos, debido a la interacción de otros elementos influyentes. Arroyo (1983) señala que estas diferencias pueden tener su origen en diferentes factores, los cuales pueden resumirse de la siguiente manera:

- La cantidad de sustancia de pared celular presente en una muestra, la cual es cuantificada mediante el peso específico o densidad de la madera.
- La cantidad de agua presente en la pared celular, que afecta profundamente el comportamiento físico de la madera, no solo porque la adición de agua a la pared celular cambia su densidad y dimensiones, sino también por su efecto sobre la plasticidad y transferencia de energía dentro de la pieza de madera.
- La proporción de los componentes primarios en la pared celular y la cantidad y naturaleza de las sustancias extrañas, que es responsable de las propiedades especiales de algunas maderas, así como de las desviaciones o variabilidades que presenta la madera en su comportamiento cuantitativo.

El arreglo y orientación de los materiales en los diferentes tejidos, así como el tipo, tamaño, proporción y arreglo de las células que forman el tejido maderable, son factores responsables de la anisotropía de la madera.

3.1. VARIABILIDAD DE LA MADERA ENTRE ÁRBOLES DE UNA MISMA ESPECIE

Arroyo (1983) indica que las variaciones existentes entre los árboles de una misma especie resultan de las condiciones de crecimiento y aquellas resultantes del factor genético. Las condiciones de crecimiento referidas por este autor en particular son los tratamientos silviculturales (distancia de siembra y posteriores aclareos, así como la estimulación mediante el suministro de nutrientes y agua) y la ubicación geográfica sumada a los efectos climáticos como temperatura y precipitación (calidad de sitio).

Panshin y De Zeeuw (1980) señalan que es difícil atribuir la variabilidad de las características de la madera a un solo factor o incluso a una combinación de factores que afecten el crecimiento del árbol. Asimismo, mencionan que las características normales de la madera pueden ser modificadas como resultado de condiciones de crecimiento de largo plazo existentes en diferentes lugares, incluso en áreas pequeñas. Las diferencias también pueden ser causadas por características inherentes transmitidas de los progenitores. Las condiciones de crecimiento como la competencia por el sitio o la fertilidad del suelo pueden causar mayores diferencias en la magnitud y patrones de la variabilidad en las propiedades de la madera de árboles de la misma especie creciendo en el mismo sitio. Por ejemplo, aquellos árboles que son dominantes pueden mostrar un patrón de variabilidad en la madera y los individuos vecinos de la misma especie que están suprimidos pueden tener diferentes características.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El estudio se realizó en el Laboratorio de Ensayos Tecnológicos de la Madera del Departamento Académico de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

2. MATERIALES

2.1. ESPECIE

Las muestras colectadas corresponden a la especie teca, y provienen de una plantación de 32 años del Fundo “La Génova” entre los distritos de San Ramón y La Merced, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín.

La identificación de la especie se realizó en el Laboratorio de Anatomía de la madera de la Universidad Nacional Agraria La Molina, como se muestra en la constancia de identificación anatómica (Anexo 1), en el cual se determinó que la especie en estudio corresponde a *Tectona grandis* L.f., familia Lamiaceae.

2.2. EQUIPOS Y ACCESORIOS

2.2.1. FASE DE CAMPO

- Libreta de campo

- Motosierra

- Plumones

- Lapiceros

2.2.2. FASE DE LABORATORIO

- Máquinas de carpintería
- Prensa universal y accesorios “Tinius Olsen” de capacidad 60 000 lb
- Probadora de tenacidad “Baldwin” de capacidad 652.6 lb/pulg
- Hornos eléctricos “Mettler” de 103 ± 2 °C
- Vernier digital “Mitutoyo” de precisión 0,01 mm
- Balanza digital “Adam” precisión 0,01 g
- Desecadores de laboratorio con silicagel
- Lápiz de cera
- Vaso de precipitado
- Punzón
- Soporte universal
- Formatos de ensayos

3. METODOLOGÍA

3.1. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La plantación se encuentra ubicada en el Fundo La Génova propiedad de la Universidad Nacional Agraria La Molina. El fundo está ubicado en la provincia de Chanchamayo entre los distritos de San Ramón y La Merced, al lado opuesto del Río Chanchamayo, aproximadamente entre las coordenadas UTM 8 771,500 – 8 774,500 N y 459,500 – 463,500 W con un área de 350 has aproximadamente, cuyos límites son (Llave, 2008):

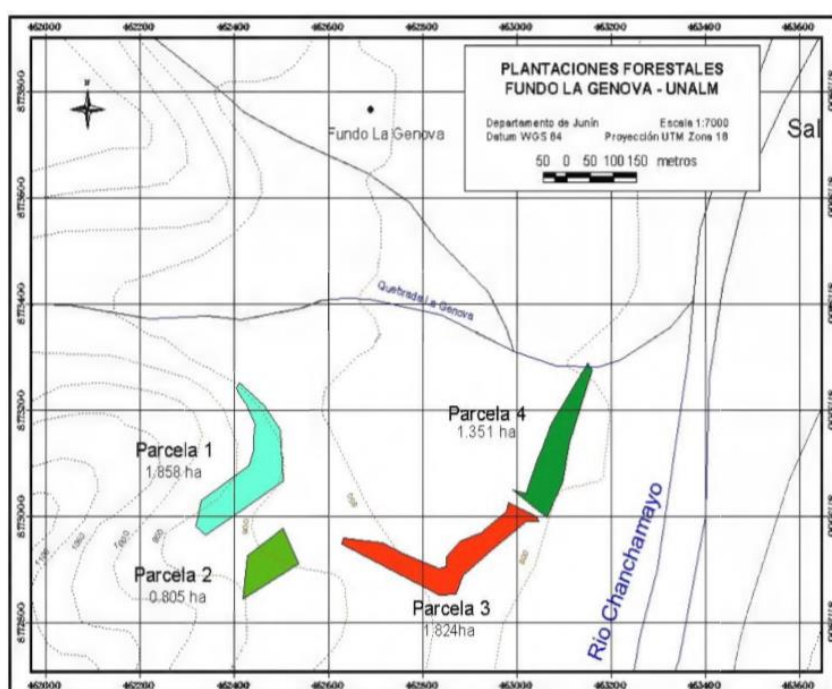
Al Norte: Fundo La Francia y Fundo Santa Rosa

Al Sur: Fundo Ex Chalaca y Fundo Bretaña

Al Este: Fundo La Victoria

Al Oeste: Río Chanchamayo

Bulnes *et al.* (2007) indica que la plantación tiene un área aproximada de 5.84ha distribuida en cuatro unidades en zonas de laderas a una plantación de cítricos. Sólo ha recibido un raleo selectivo y sistemático el cual tuvo una intensidad del 50% de individuos inicialmente establecidos (considerándose a los muertos como parte de la población). Dicha intervención se realizó en el año 2007, entre los meses de febrero y marzo. Como se observa en la Figura 2, la plantación está divide en 4 parcelas, para el presente estudio los individuos evaluados se obtuvieron de la parcela 1.



Fuente: Bulnes *et al.* 2007

Figura 2. Ubicación de la plantación de teca en el Fundo "La Génova"

3.2. SELECCIÓN Y COLECCIÓN DE MUESTRAS

Los árboles del estudio fueron seleccionados tomando como guía lo estipulado en la norma American Society for Testing and Materials ASTM (2004), Designation: D 5536 – 94 (Reapproved 2004) Standard Test Methods for Sampling Forest Trees.

La selección de los individuos se realizó de manera aleatoria considerando el estado fitosanitario así como un dap promedio de 30cm. En la Tabla 7 se muestran las características de los árboles.

Tabla 7. Características dasométricas de los árboles de *Tectona grandis* seleccionados para el estudio

N° de árbol	DAP (cm)	HC (m)
1	28,50	10.00
2	34,40	11.50
3	25,25	9.75
4	29,50	9.80
5	29,25	9.60

*DAP=Diámetro a la altura del pecho

*HC=Altura comercial

Fuente. Elaboración propia

3.3. PROCESAMIENTO DE TROZAS Y PREPARACIÓN DE PROBETAS

Luego de seleccionados los individuos, se procedió a la obtención de trozas de 1.3m de longitud correspondientes a la parte basal. Se seleccionaron y codificaron las trozas basales para su transformación en cuartones y posterior utilización para la obtención de probetas. La transformación de las trozas a cuartones se realizó en San Ramón.

Los cuartones se enviaron a la Universidad Nacional Agraria La Molina para la obtención de probetas basándose en lo estipulado en la Norma American Society for Testing and Materials, US – ASTM D143 – 14 Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber.

Los cuartones se dividieron en 5 secciones codificadas con las letras A, B, C, D y E en dos niveles (ejm. A1, A2) y se obtuvieron viguetas de las cuales posteriormente se obtuvieron las probetas para los ensayos físicos y mecánicos.



Figura 3. Distribución de cortes en cuarterones para obtención de probetas

El número de probetas obtenidos por árbol y utilizados para cada uno de los ensayos se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8. Número total de probetas por árbol utilizadas para los ensayos físicos y mecánicos.

ENSAYO	N° DE ARBOL					TOTAL
	1	2	3	4	5	
Propiedades físicas	10	10	10	10	10	50
Cizallamiento	7	12	12	6	6	43
Clivaje	5	9	9	6	4	33
Compresión paralela	23	10	16	11	7	67
Flexión estática	8	9	7	17	7	48
Tenacidad	20	22	24	29	13	108
Tensión perpendicular	6	14	12	6	8	46
Compresión perpendicular	6	9	6	6	4	31
Dureza	6	9	6	6	4	31
TOTAL	91	104	102	97	63	457

Fuente: Elaboración propia



Figura 4. Probetas dimensionadas y codificadas

3.4. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

El acondicionamiento de las probetas a un Contenido de Humedad de 12% y, los posteriores ensayos de propiedades físicas y mecánicas, se llevó a cabo en el Laboratorio de Ensayos Tecnológicos de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina.

Los ensayos de propiedades físicas y mecánicas de los árboles seleccionados se realizaron de acuerdo a la Norma ASTM D143 – 14.

Los ensayos de propiedades físicas realizados fueron:

- Contenido de Humedad
- Densidad Básica
- Contracción total radial, Contracción total tangencial, Contracción total longitudinal, Contracción total volumétrica así como la relación T/R

Los ensayos de propiedades mecánicas realizados fueron:

- Ensayo de Flexión estática
- Ensayo de Compresión paralela

- Ensayo de Compresión perpendicular
- Ensayo de Dureza
- Ensayo de Cizallamiento
- Ensayo de Tenacidad
- Ensayo de Tensión perpendicular
- Ensayo de Clivaje

3.5. PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos obtenidos se ordenaron y procesaron con el software Microsoft Excel para Windows. Asimismo, para el análisis estadístico de los resultados se utilizó el software estadístico R.

Se realizó un análisis básico previo al análisis estadístico, se obtuvieron cuadros y gráficos para cada uno de los ensayos realizados así como, la obtención de los estadísticos descriptivos media, rangos y coeficiente de variación. Posteriormente, los datos obtenidos en propiedades mecánicas se ajustaron al 12% para poder clasificarla según los criterios de Dávalos y Bárcenas así como, para su comparación con otras fuentes de investigación.

Se utilizó la prueba t-student para los ensayos de Cizallamiento, Clivaje, Tensión perpendicular y Tenacidad en los promedios obtenidos por árbol para determinar si los valores radiales y tangenciales eran estadísticamente iguales o diferentes.

Asimismo, se realizó un análisis de regresión simple para estimar la influencia de la densidad básica y el peso específico en las resistencias mecánicas teniendo como variables independientes a la densidad básica y al peso específico y variables dependientes la dureza y la compresión perpendicular.

Finalmente, la propuesta de los posibles usos se realizó comparando con especies de similar densidad básica y con aptitudes de uso propuestas por otros autores para la especie en estudio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. PROPIEDADES FÍSICAS

Los resultados de las propiedades físicas se presentan en la Tabla 9 que incluyen los valores promedios, coeficientes de variación, desviación estándar y rangos de las propiedades estudiadas.

El valor promedio para densidad básica encontrado de $0,56\text{g/cm}^3$ está dentro del rango obtenido para ésta propiedad por autores como Motta (2011), Blanco *et al.* (2014), Valero *et al.* (2005) y Rivera y Moya (2006) en sus respectivos estudios con la madera de teca de otras procedencias y edades. En la Figura 5 se muestra los resultados de los diferentes estudios y se observa que existe un incremento del valor de la densidad básica con respecto a la edad de las plantaciones tal como lo sugieren Moya y Ledezma (2003) y Govaere *et al.* (2003) en sus respectivos estudios para plantaciones de teca.

En la Tabla 9 se presentan los valores promedios obtenidos para la contracción radial total, contracción tangencial total, contracción longitudinal total, contracción volumétrica total y relación de anisotropía (T/R) los cuales son semejantes a los obtenidos por Motta (2011), Rivero y Moya (2006), Valero *et al.* (2005) y Betancur *et al.* (2000) para sus respectivos estudios en plantaciones de teca. La Figura 6 muestra la semejanza existente entre los resultados obtenidos en Chanchamayo, Perú con los resultados obtenidos en Brasil, Bolivia, Venezuela y Ecuador lo que permite corroborar una de las principales características de la especie que es su estabilidad dimensional. Asimismo, vemos que a pesar de la diferencia de edades y procedencia de la madera los valores se mantienen dentro del mismo rango.

En relación con el valor promedio de 1,92 para la relación T/R y la clasificación de Aróstegui y Sato (1970) la madera de teca se clasifica como estable por lo que, se puede asumir que la especie en estudio presenta una buena estabilidad dimensional y por ello sería poco probable el desarrollo de defectos de secado como por ejemplo agrietamientos o deformaciones.

Tabla 9. Valores promedios de las propiedades físicas de la madera de *Tectona grandis*

Propiedades Físicas	Unidades	Promedio Total	Rango		Desviación Estándar	CV%
			Mínimo	Máximo		
CH	%	82,21	50,64	97,51	9,10	11,07
Densidad Básica	g/cm ³	0,56	0,49	0,68	0,04	7,18
Peso específico al 12%	g/cm ³	0,57	0,50	0,71	0,04	7,13
Contracción Radial		2,11	1,45	3,41	0,43	20,63
Contracción Tangencial		3,88	2,89	4,84	0,48	12,29
Total Longitudinal	%	0,27	0,11	0,52	0,07	24,59
Volumétrica		6,16	5,02	7,74	0,63	10,29
Relación (T/R)		1,92	0,96	2,92	0,43	22,62

En la Tabla 9 se observa que los resultados obtenidos para coeficientes de variación de las contracciones totales tangencial y volumétrica se encuentran dentro de lo esperado para la madera normal (Wood Handbook, 2010). En el caso de la contracción radial el coeficiente supera el valor promedio. Según Rivero y Moya, (2006) esto podría estar asociado a su posición dentro de la troza a nivel transversal o al proceso de secado artificial debido a su gran influencia en las propiedades físicas de la madera. Castro y Raigosa (2000) mencionan que en general, a mayores valores en las contracciones, habrá una mayor tendencia a que se presenten problemas durante el secado.

Rivero y Moya (2006) mencionan que a pesar de existir un incremento de la densidad básica respecto a la edad, las contracciones totales de la madera no se ven afectadas de la misma manera por el contrario, disminuye su valor. Comparando las figuras 5 y 6 se reflejaría lo mencionado por estos autores pues a pesar de que la densidad básica va incrementando respecto a la edad, los valores de contracción total se mantienen o van disminuyendo por lo que se debe considerar que son otros factores los que influyen en estas propiedades. Moya y Ledezma (2003) sugieren que estas variaciones pueden verse influenciadas por el distanciamiento de la plantación o la intensidad de los raleos.

Finalmente, de acuerdo a la clasificación descrita por Aróstegui (1982) y a los valores obtenidos, según su densidad básica promedio la madera de la especie *Tectona grandis* se clasifica como media mientras que según su contracción volumétrica promedio de 6,16% como muy baja.

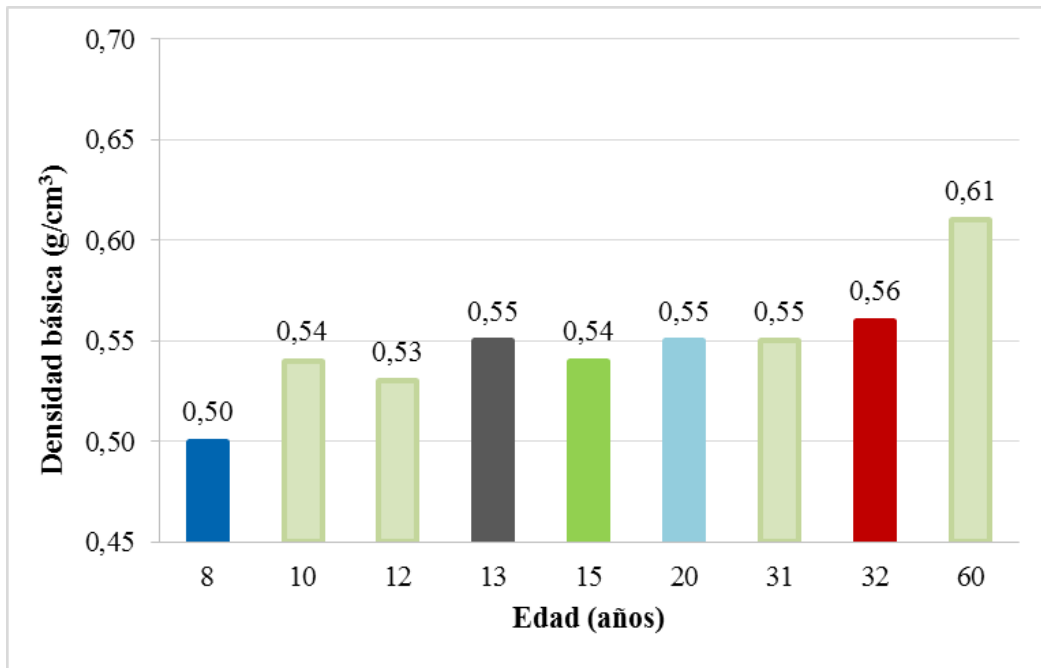


Figura 5. Comparación de resultados promedios de densidad básica para madera de *Tectona grandis* de distintas edades

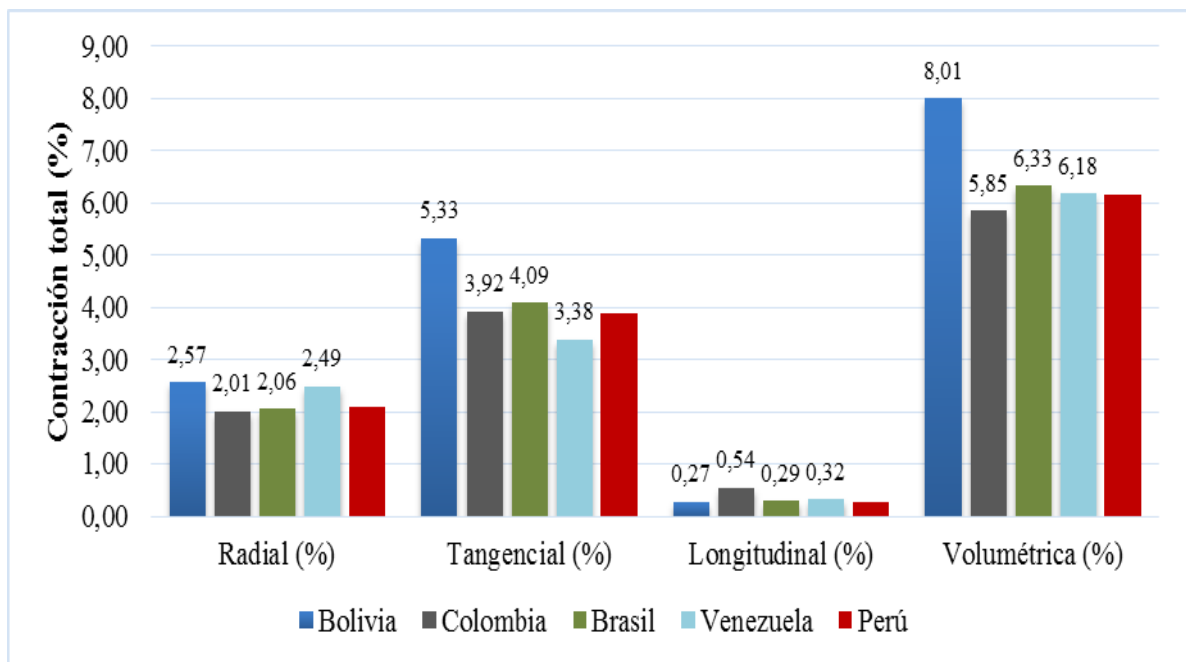


Figura 6. Comparación de los valores promedio de Contracción Total para madera de *Tectona grandis* en Perú, Ecuador, Bolivia, Venezuela y Brasil

2. PROPIEDADES MECÁNICAS

Los valores obtenidos para las propiedades mecánicas se presentan en la Tabla 10, en este se detallan los promedios, desviación estándar, coeficiente de variabilidad y los rangos. Se realizó un ajuste al 12% de contenido de humedad en los valores obtenidos para poder realizar la comparación con los resultados propuestos por otros autores para la especie en estudio. Se observa que la variabilidad obtenida en general se encuentra por debajo de los valores propuestos para las maderas en general (Wood Handbook, 2010) a excepción del valor para tensión en orientación tangencial el cual es mucho más alto que el valor propuesto para esta propiedad, el cual podría deberse al porcentaje de albura presente en las probetas ensayadas.

En la Tabla 11 se detallan los resultados obtenidos en la prueba t-student aplicada a las propiedades mecánicas Clivaje, Tensión, Cizallamiento y Tenacidad para determinar si existe diferencia significativa entre la orientación radial y tangencial. Como consecuencia de los resultados, se determinó para cizallamiento y tenacidad que los valores de orientación radial y los valores de orientación tangencial son estadísticamente iguales por lo que se trabajaron como si pertenecieran al mismo grupo muestral. En el caso de clivaje y tensión, ya que existe diferencia significativa, se trabajaron los valores tangenciales y radiales de manera independiente, siendo mayores los valores tangenciales respecto a los radiales. Esta diferencia entre el sentido radial y tangencial además de la anisotropía de la madera puede explicarse por la disposición de los elementos anatómicos en cada sentido. Del mismo modo, se aplicó la prueba t-student para la dureza de lados radial y tangencial resultando no significativo por lo que estos valores se promediaron obteniendo un solo valor para lados.

En la Tabla 12 se presentan los resultados promedios obtenidos para las propiedades mecánicas Flexión estática (MOR, MOE), Compresión paralela (RM), Compresión perpendicular (ELP), Dureza (extremos y lados) y Cizallamiento de la madera de *Tectona grandis*, la cual se clasificó según los criterios de Dávalos y Bárcenas (1999) como una madera de resistencia mecánica media.

Tabla 10. Valores promedios de las propiedades mecánicas de la madera de *Tectona grandis* (CH = 12%)

Propiedades Mecánicas		Unidades	Media	Desviación Estándar	CV%	Rango	
						Mínimo	Máximo
Flexión Estática	ELP	kg/cm ²	555,4	53,8	9,7	460,4	727,2
	MOR		952,2	91,3	9,6	702,7	1106,4
	MOE (x1000)		115,6	12,8	11,1	93,0	154,5
Compresión Paralela	ELP	kg/cm ²	313,5	72,7	23,2	145,1	469,1
	RM		458,5	55,0	12,0	299,3	540,2
	MOE (x1000)		120,9	28,2	23,3	65,1	264,1
Compresión Perpendicular	ELP	kg/cm ²	65,1	8,7	13,4	50,7	82,9
Dureza	Extremos	kg/cm ²	492,3	37,7	7,7	397,2	565,4
	Lados		523,7	47,3	9,0	431,0	596,6
Tensión perpendicular	Radial	kg/cm ²	34,4	7,3	21,1	19,2	46,0
	Tangencial		41,5	11,8	28,3	16,6	61,6
Clivaje	Radial	kg/cm	70,0	9,6	13,7	56,1	88,3
	Tangencial		79,5	15,5	19,5	53,2	111,5
Cizallamiento		kg/cm ²	107,8	21,0	19,5	31,9	142,4
Tenacidad		kg-m	2,1	0,5	24,3	0,6	3,6

Tabla 11. Prueba de medias entre orientación radial y tangencial en cuatro propiedades mecánicas de *Tectona grandis*

Propiedad Mecánica	p-valor	Sig. (<0.05)
Clivaje	0.0379	*
Tensión perpendicular	0.0138	*
Cizallamiento	0.5998	N.S.
Tenacidad	0.4048	N.S.
Dureza	0,1548	N.S.

(*) = Significativo

N.S. = No Significativo

Tabla 12. Clasificación de las propiedades mecánicas de la especie *Tectona grandis* proveniente de una plantación de 32 años

Propiedades Mecánicas		Media (kg/cm ²)	Criterios de clasificación
			Dávalos y Bárcenas (1999)
Flexión Estática	MOR	952,2	Medio
	MOE (x1000)	115,6	Medio
Compresión Paralela	RM	458,5	Medio
Compresión Perpendicular	ELP	65,1	Bajo
Dureza	Extremos	492,3	Medio
	Lados	523,7	Medio
Cizallamiento		107,8	Medio

El valor promedio obtenido para MOR en Flexión estática fue de 952,2 kg/cm² y al compararlo con los resultados obtenidos por otros autores (Figura 7) se observa que es el más bajo y que a pesar de la diferencia de edades entre plantaciones estudiadas, este valor se encuentra más cercano al obtenido por Rivero y Moya (2006) quienes obtuvieron un valor de 963,60 kg/cm² de MOR para una plantación de ocho años en Bolivia y más alejado del obtenido por Valero *et al.* (2005) quienes para una plantación de 20 años en Venezuela tuvieron un valor de 1025,06 kg/cm² para MOR. Caso contrario, el valor obtenido para MOE fue de 115 600 kg/cm², siendo el más elevado al compararlo con los resultados obtenidos por los otros autores. Asimismo, se debe considerar que ésta es una de las pruebas más importantes para la determinación de los esfuerzos de diseño en elementos estructurales pues en base al módulo de elasticidad se puede medir deflexiones y con el módulo de ruptura se puede determinar la capacidad que tiene una viga para soportar cargas de lenta aplicación durante cortos periodos de tiempo (Castro y Raigosa, 2000). En base a los resultados obtenidos para MOR y MOE se puede decir que la madera de teca de 32 años estudiada es menos resistente y más rígida que las de otra procedencia.

En relación a la compresión paralela, el valor promedio obtenido en resistencia máxima (RM) es de 458,5kg/cm² el cual se encuentra dentro del promedio respecto a los valores encontrados por otros autores para teca. Como se puede observar en la Figura 7, al igual que para el caso del MOR en flexión estática, el valor obtenido es mucho más cercano a los

resultados de plantaciones de menor edad como la estudiada por Betancur *et al.* (2000) quienes obtuvieron un valor de 458,10 kg/cm² para una plantación de 13 años en Colombia.

Respecto al ensayo de compresión perpendicular, en la Tabla 10 se observa que el valor promedio obtenido de 65,1 kg/cm² para el ELP es relativamente bajo en comparación a los valores promedios obtenidos por Valero *et al.* (2005) para una plantación de 20 años en Venezuela, Betancur *et al.* (2000) para una plantación de 13 años en Colombia y Rivero y Moya (2006) para una plantación de ocho años en Bolivia, los cuales fueron 113,26kg/cm², 75,02kg/cm² y 70,92kg/cm² respectivamente.

Oliveira (2007) menciona que un incremento en la densidad de la madera generaría un incremento de la resistencia al cizallamiento, sin embargo, Govaere *et al.* (2003) sugieren en base a lo obtenido en su estudio que el cizallamiento dependería principalmente del sentido en que el esfuerzo se aplica en relación a los anillos de crecimiento. Moreschi citado por Motta (2011) señala que la ruptura ocurre en el plano tangencial o radial. Según el autor, mientras que en el plano tangencial hay una gran influencia de la diferencia entre los leños inicial y tardío, en el plano radial hay gran influencia de los rayos de la madera. Además de los factores citados, la resistencia al cizallamiento es inversamente proporcional al contenido de humedad, pero es menor que el observado para las resistencias a la flexión y a la compresión.

El valor obtenido para el cizallamiento es de 107,8 kg/cm² el cual como se observa en la Figura 7 se encuentra dentro del rango comparado con lo obtenido en los otros estudios. Considerando los valores de densidad básica de cada uno de los estudios, 0,55 g/cm³ en Venezuela, 0,54 g/cm³ en Brasil, 0,55 g/cm³ en Colombia y 0,50 g/cm³ en Bolivia y los valores de cizallamiento correspondientes se descartaría lo mencionado por Oliveira (2007) ya que, la madera de Brasil y Bolivia que son las de menor densidad presentan los mayores valores en cizallamiento (125,00 kg/cm² y 123,90 kg/cm² respectivamente). Se puede considerar entonces que para el caso de cizallamiento el valor se puede ver influenciado por la orientación de las muestras, así como lo menciona Govaere *et al.* (2003).

Se determinó un valor medio de 523,7 kg para dureza de lados y 492,3 kg para dureza de extremos. Estos valores son ligeramente mayores a los encontrados para la plantación de teca de ocho años de Bolivia de 415,2 kg y 357,6 kg respectivamente (Rivero y Moya, 2006). Valores cercanos a los encontrados para la madera de 32 años fueron encontrados por

Betancur *et al.* (2000) para árboles de teca de 13 años, 600 kg en dureza de lados y 587 en dureza de extremos. Blanco *et al.* (2014) sugieren que la dureza de la madera está afectada por la edad del árbol y consecuentemente por la densidad de la madera en árboles jóvenes sin embargo, al comparar el valor obtenido con los de otros autores se observa que las plantaciones de menor edad tienen un mayor valor para dureza. Esta diferencia de valores según Castro y Raigosa (2000) lo explican considerando la morfología de las fibras o a la cantidad de poros.

Según Pérez y Kanninen (2005) varios estudios con la especie teca han demostrado que existe similitud entre los resultados obtenidos para propiedades mecánicas de madera juvenil (21 años) con los obtenidos para madera madura (65 años) por lo que el periodo de rotación para esta especie de rápido crecimiento puede reducirse sin afectar la resistencia de la madera, esto se ve reflejado en la similitud entre los resultados obtenidos en el estudio y los hallados por otros autores que se muestran en la Figura 7. Se debe considerar entonces que las variaciones podrían deberse a otros factores como la composición y organización celular de la madera, la aplicación de tratamientos silviculturales o a las características del lugar de procedencia como suelo, agua disponible o clima. Sin embargo, se debe considerar también lo mencionado por Bhat citado por Castro y Raigosa (2000) quien en sus investigaciones sobre propiedades de la madera de teca de crecimiento rápido indica que el riego y los raleos tienen poca influencia en la resistencia de la madera.

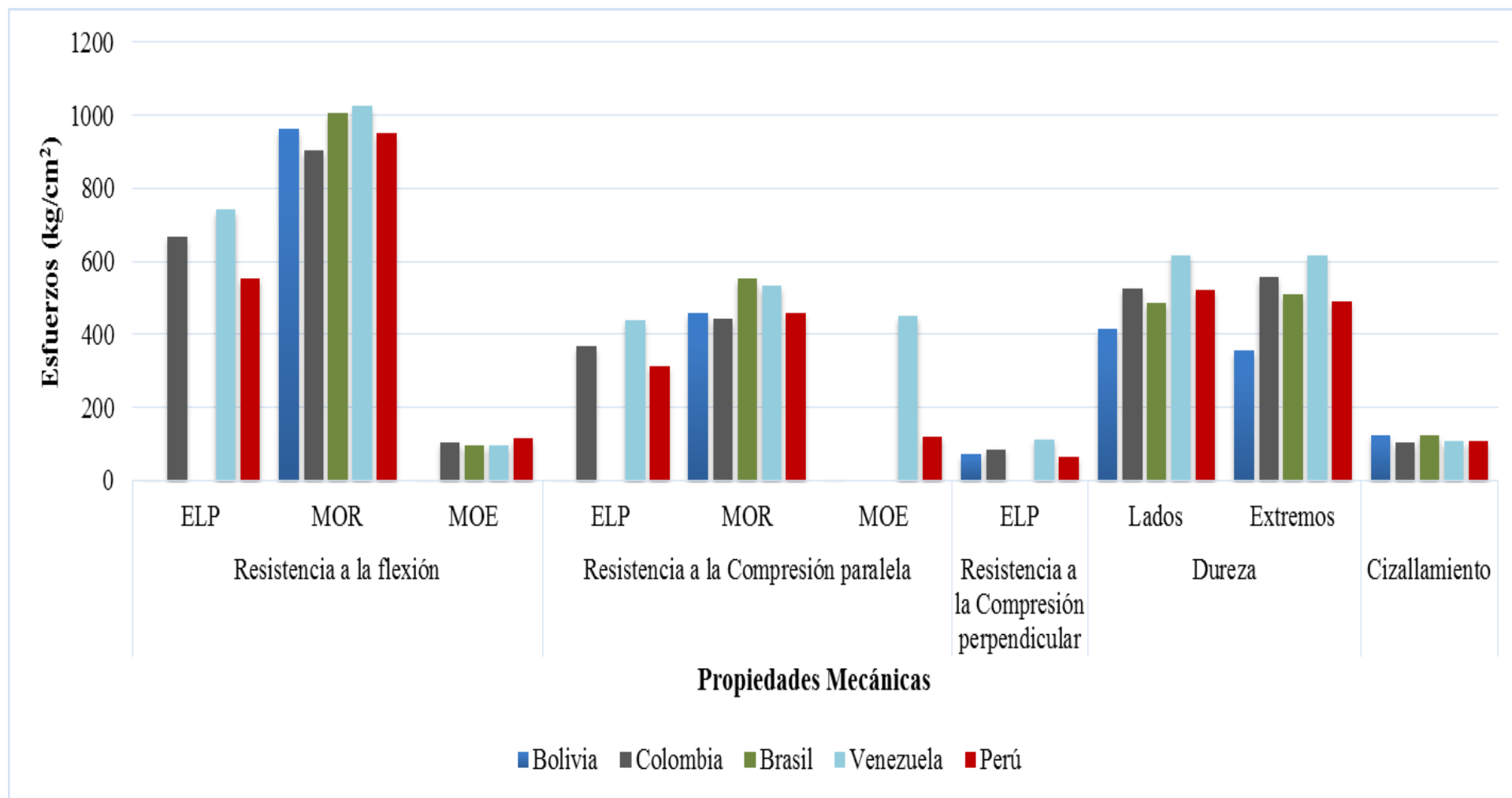


Figura 7. Comparación de los valores promedio de propiedades mecánicas para la especie en estudio y de otras procedencias

3. ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Los resultados del análisis de regresión lineal simple entre las propiedades físicas (densidad básica y peso específico seco al aire) y las propiedades mecánicas (dureza y compresión perpendicular) se presentan en la Tabla 13.

Se puede observar que los resultados obtenidos entre la variable compresión perpendicular y las variables densidad básica y peso específico seco al aire son muy bajos por lo que se puede decir que no existe correlación. Por otro lado, para el caso de la variable dureza de extremos se observa que existe correlación con la variable densidad básica pero, no existiría significancia ya que sólo explica el 42,8% del valor de la dureza. Lo mismo ocurre entre dureza de extremos y peso específico seco al aire ya que, esta propiedad física sólo explica un 49,2% del valor obtenido.

En general, se observa que, los valores obtenidos son bajos a excepción de los coeficientes de determinación entre las variables densidad básica y peso específico seco al aire y la dureza de lados los cuales al ser cercanos a 0.7 indican que existe correlación y que es significativa. Estos resultados obtenidos coinciden con los realizados por Zhang citado por Castro y Raigosa (2000), quien en su estudio encontró que el peso específico es un buen indicador para estas propiedades.

Finalmente, se puede decir que mediante la aplicación de ecuaciones lineales las variables independientes densidad básica y peso específico son buenos estimadores de la dureza de la madera.

Tabla 13. Coeficiente de determinación, coeficiente de correlación y Ecuación de regresión lineal entre dos propiedades físicas y dos propiedades mecánicas

Propiedades mecánicas (variable dependiente)	Variable independiente	Coeficiente de determinación (r ²)	Coeficiente de correlación (r)	Ecuación lineal
Dureza				
Extremos	DB	0.4283	0.654	Y= 71.70 + 740.69DB
	G	0.4924	0.701	Y= 19.99+ 809.83G
Lados	DB	0.6626	0.814	Y= -132.04+ 1155.45DB
	G	0.6299	0.794	Y= -145.90+ 1148.68G
Compresión perpendicular				
ELP	DB	0.1001	0.316	Y= 18.21+ 82.44DB
	G	0.0786	0.280	Y= 21.58+ 74.48G

DB = Densidad Básica

G = Peso específico seco al aire (12%)

4. APTITUDES DE USO

Con el fin de determinar las aptitudes de uso de la especie *Tectona grandis* L.f., se comparó los valores obtenidos para propiedades físicas y mecánicas con los obtenidos por Aróstegui (1982) para otras especies forestales de similares características y usos conocidos, tales como: *Cariniana domestica* y *Copaifera officinalis* los cuales se presentan en las Figuras 8 y 9.

Asimismo, se comparó los resultados obtenidos para propiedades físicas y mecánicas de la especie en Perú con los obtenidos para teca por Valero et al. (2005) en Venezuela y Betancur et al. (2000) en Colombia. En las Tablas 14 y 15 se detallan las aptitudes de uso de las especies comparativas y los usos propuestos para teca en esas otras investigaciones respectivamente.

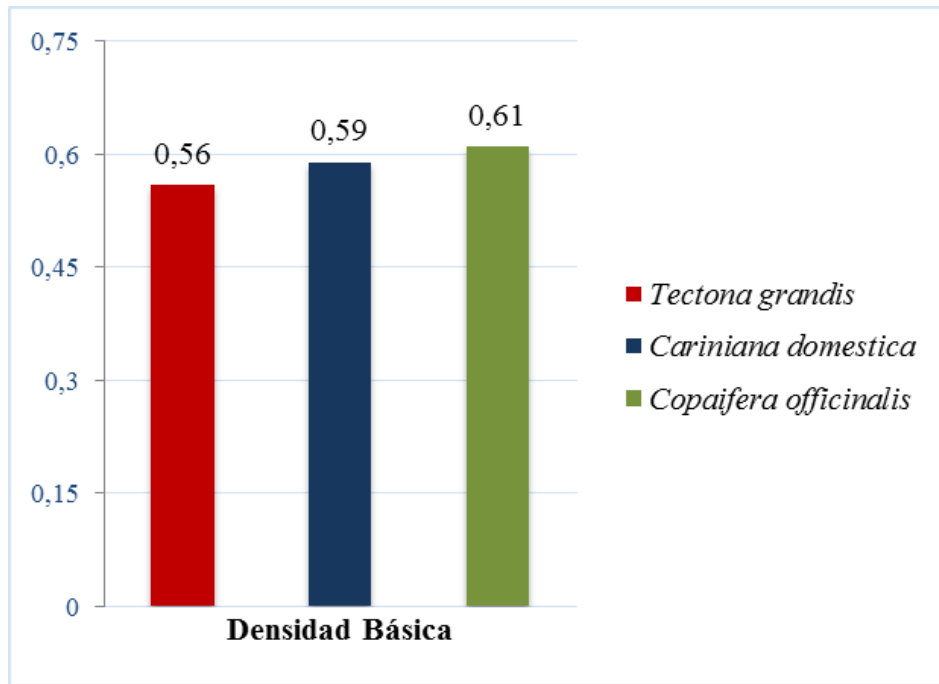


Figura 8. Densidad básica de *Tectona grandis* y dos especies de similares características y usos conocidos.

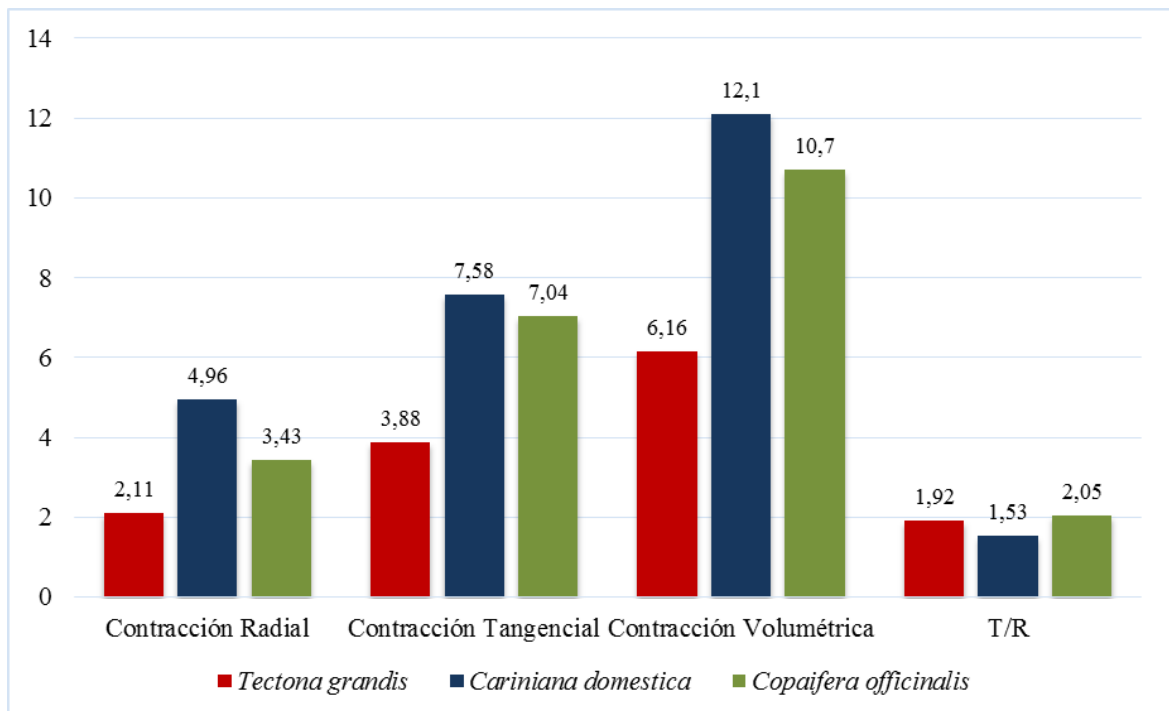


Figura 9. Contracción radial total, contracción tangencial total, contracción volumétrica total y T/R de *Tectona grandis* y dos especies de características similares y usos conocidos

Tabla 14. Aptitudes de uso de especies con características similares

Especie	Densidad Básica	Construcción de viviendas										
		Estructuras	Carpintería de obra	Parquet	Encofrados	Mueblería	Ebanistería	Laminados	Mangos de herramientas	Carrocerías	Durmientes	Cajonería pesada
Cachimbo ¹	0,59	x	x	x					x		x	x
Copaiba ¹	0,61	x	x	x	x		x	x		x		
Teca	0,56	x	x	x		x	x		x			x

Tomado de: ¹Aróstegui (1982)

Tabla 15. Aptitudes de uso propuestos en otros estudios para plantaciones de *Tectona grandis* en Latinoamérica

País	Edad (años)	Densidad básica (g/cm ³)	USOS												
			Construcción embarcaciones	Madera de construcción	Pisos	Mueblería	Ebanistería	Carpintería de obras	Artesanías	Chapas y contrachapados	Pilotes marinos	Herramientas	Obras exteriores	Instrumentos musicales	Juguete
Venezuela ¹	20	0,55	x	x	x	x	x	x	x		x				
Colombia ²	13	0,55	x	x	x		x			x	x		x	x	x
Perú	32	0,56	x	x	x	x	x	x	x				x		

Tomado de: Valero et al. (2005) y ²Betancur et al. (2000)

Finalmente, considerando los resultados obtenidos y luego de haber comparado con especies de similares características, así como con teca de otras investigaciones y sus usos conocidos, se proponen para la madera de teca proveniente de la plantación de 32 años los siguientes usos: Construcción de embarcaciones, madera de construcción, carpintería de obra, pisos, muebles y gabinetes, obras exteriores, ebanistería, artesanía.

V. CONCLUSIONES

- Los valores obtenidos en las propiedades físicas y mecánicas clasifican a la teca como una especie de buena estabilidad dimensional y de resistencia mecánica media.
- La densidad básica y peso específico seco al aire son buenos indicadores para estimar la dureza lateral de la madera.
- Las aptitudes de uso de la madera en estudio propuestas son construcción de embarcaciones, madera de construcción, carpintería de obra, pisos, muebles y gabinetes, obras exteriores, ebanistería, artesanía.

VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar la variabilidad de la madera en todo el fuste comercial para demostrar si existe diferencia significativa a nivel longitudinal.
- Realizar estudios anatómicos y químicos para disponer de mayor información que expliquen su comportamiento en las diferentes propiedades físico-mecánicas.
- Realizar pruebas de secado, preservado y trabajabilidad que permitan corroborar las aptitudes de uso propuestas.
- Realizar evaluaciones tomando en consideración las condiciones de sitio como suelo, fisiografía y clima para caracterizar su influencia en la calidad de la madera.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aróstegui, A. y Sato, A. 1970. Estudio de las propiedades físico-mecánicas de 16 especies maderables del país. *Revista Forestal del Perú*. 4(1-2):1-13.
- Aróstegui, A. 1982. Recopilación y Análisis de Estudios Tecnológicos de Maderas Peruanas. Lima, PE, PNUD/FAO/PER/71/511. 57 p. (Documento de trabajo N° 2).
- Arosteguí, M. y Bustamante, L. 2016. Propiedades Físico-Mecánicas de la teca (*Tectona grandis*) de la región litoral del Ecuador. Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.
- Arroyo, J. 1983. Propiedades Físico-Mecánicas de la Madera, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 186p.
- ASTM Designation: D143 – 14. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber (Reapproved 2014).
- Betancur, C., Herrera, J., Mejia, L. 2000. Estudio de las propiedades físicas y mecánicas, trabajabilidad y secado de la teca (*Tectona grandis* L. f.) de Puerto Libertador (Córdoba). *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía de Medellín* 56(1):913-939.
- Bhat, K. y Ma, H. 2004. Teak growers unite. ITTO Tropical Forest Update 14/1. Disponible en: <http://www.itto.int/partner/id=6670000> Acceso en: 12 de marzo 2018.
- Blanco-Flórez, J., Fernando-Trugilho, P., Tarcisio-Lima, J., Gherardi-Hein, P.R. y Moreira Da Silva, J.R. 2014. Caracterización de la madera joven de *Tectona grandis* L. f. plantada en Brasil. *Madera y Bosques* 20(1):11-20.
- Bremer, C. F. Histórico das construções de madeira. En: Rodrigues, B. P.; Fiedler, N. C.; Braz, R. L. Tópicos em ciências florestais. n. 1. Alegre: CCAUFES. p. 11 – 21, 2009.

- Bonduelle, G.; Iwakiri, S.; Trianoski, R.; Prata, J.; Rocha, V. 2015. Análise da massa específica e da retratibilidade da madeira de *Tectona grandis* nos sentidos axial e radial do tronco. Floresta, Curitiba, PR, v.45, n.4, p. 671-680.
- Bulnes, F. et al. 2007. Informe de la evaluación forestal de la plantación de "Teca" (*Tectona grandis*) en el fundo la Génova. Junín. Perú. 16 p.
- Castro, F. y Raigosa, J. 2000. Crecimiento y propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis*) de 17 años de edad en San Joaquín de Abangares, Costa Rica. Agronomía Costarricense 24(2): 07-23, 2000.
- Chavesta, M. y Condori, C. 2005. Maderas Peruanas y Exóticas, Características Tecnológicas y Usos de 10 Especies Forestales. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Industrias Forestales. 62 p.
- Chaves, E. y Fonseca, W. 1991. Teca: *Tectona grandis* L.f., especie de árbol de uso múltiple en América Central. Proyecto Cultivo de árboles de Uso múltiple (Madeleña) CATIE-ROCAP. Serie técnica, Informe técnico 179. 47 p.
- Crespo, R.; Jiménez, E.; Suatunce, P.; Law, G. y Sánchez, C. 2008. Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis* L.F.) de Quevedo y Balzar. Quevedo. Los Ríos. Ecuador.
- Dávalos, R.; Bárcenas, G. 1999. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición seca. Instituto de Ecología, A.C. Xialapa, México. Madera y Bosques, vol.5, núm.1. p. 61 – 69.
- De Camino, R.; Morales, J.P. 2013. Capítulo 3: La teca en América Latina. In de Camino, R.; Morales, J.P. eds. 2013. Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades. Costa Rica, CATIE, FAO. p. 392. (Serie Técnica, Informe técnico no. 397).
- Feitosa, S. 2013. Propriedades da madeira de *Tectona grandis* (L.f.), visando a sua utilização para peças preservadas. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciencia Florestal. Viçosa. Misan Gerais. Brasil. 78p.

- Govaere, G.; Carpio, I.; Cruz, L. 2003 Descripción anatómica, durabilidad y propiedades físicas y mecánicas de *Tectona grandis*. Laboratorio de Productos Forestales, Universidad de Costa Rica.
- Guariguata, M.; Arce, J.; Ammour, T.; Capella, J. 2017. Las plantaciones forestales en Perú: Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro. Documento Ocasional 169. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Haygreen, J. y Bowyer, J. 1982. Forest Products and Wood Science. An Introduction. Iowa State University Press. USA. 495 p.
- Lláve, A. 2008. Factor de conversión en aserrío para trozas provenientes de una plantación de "Teca" (*Tectona grandis*) en Chanchamayo- Junín. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. UNALM. Lima, Perú. 74 p.
- Mendiola, A.; Aguirre, C.; Dávila, J.; Fernández, M.; Vittor, P. 2016. Estructuración económica y financiera de un instrumento de participación en negocios forestales: el caso de la teca en la región San Martín. Universidad ESAN. Lima, Perú. 192p. (Serie Gerencia para el Desarrollo; 58)
- Miranda, I.; Souza, V.; Pereira, H. 2011. Wood properties of teak (*Tectona grandis*) from a mature unmanaged stand in East Timor. Journal of Wood Science, Tokyo, v. 57, n. 1, p. 171-178, Jan.
- Motta, J. 2011. Propriedades Tecnológicas da madeira de *Tectona grandis* L.f. proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.
- Moya, R. y Ledezma, V. 2003. Efecto del espaciamiento en plantación sobre dos propiedades físicas de madera de teca a lo largo del fuste. Madera y Bosques 9(2), 2003: 15-27
- Moya, R.; Muñoz, F.; Berrocal, A. 2010. Teca: *Tectona grandis* L.f. Verbenaceae. Ficha técnica 7. In Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. R. Moya R., et al. (en línea). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 7(18-19): 117-131. Editorial Corporación Garro y Moya, (ISBN: 978-9968-9643-3-3). Disponible en www.tec.ac.cr/revistaforestal
- OIMT (Organización Internacional de las Maderas Tropicales). 2004. Actualidad Forestal Tropical In: Boletín de la OIMT. Volumen 12. Número 3. 4 p.

- Oliveira, J. Propriedades físicas e mecânicas da madeira. En: OLIVEIRA, J.; FIEDLER, N.; NOGUEIRA, M. (Eds.). 2007. Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora,.p. 129 - 163.
- Oliveira, B. 2011. Dendrocronologia e análise da variação radial da densidade do lenho de árvores de *Tectona grandis* L. f., do município de Cáceres, MT. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) Instituto de Florestas Curso de Pós - Graduação em Ciências Ambientais e Florestais. Seropédica, RJ. Brasil. 80 p.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Estudio FAO. Montes Núm. 163. Roma, Italia. 346 p
- Pashin, A. y De Zeeuw, C. 1980. Textbook of Wood Technology. Mc Graw-Hill Book Company. 4 th. Ed. New York, United State of America. 688 p.
- Pérez, L. y Kanninen, M. 2003. Heartwood, sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. *Silva Fennica* 37(1): 45-54.
- Rivero, J. y Moya, R. 2006. Propiedades físico-mecánicas de la madera de *Tectona grandis* Linn. F. (teca), proveniente de una plantación de ocho años de edad en Cochabamba, Bolivia. *Kurú: Revista Forestal (Costa Rica)* 3(9).
- Szücs, C., Figueiredo, R., Do Valle, A., Dias, P. 2006. Estruturas de madeira. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 186p.
- Telles, A.; Najera, J.; Alanis, E.; Aguirre, O.; Jiménez, J.; Gómez, M.; Muñoz, H. 2017. Propiedades físico-mecánicas de la madera *Tectona grandis* L.f. de una plantación comercial en el estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* Vol. 8 (40): 37-56.
- THE PLANT LIST. 2018. *Tectona grandis* L.f. Recuperado de: <http://www.theplantlist.org/tpl1.1/record/kew-202018>
- U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 1970. Basic Information on Wood as a Material of Construction with Data for Its Use in Design and Specification. Agriculture Handbook No.72.

- U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2010. Wood handbook—Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison. 508p.
- Valero, S.; Reyes, E.; Garay, D. 2005. Estudio de las propiedades físico-mecánicas de la especie *Tectona grandis*, de 20 años de edad, proveniente de las plantaciones de la unidad experimental de la Reserva Forestal Ticoro, Estado Barinas. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Laboratorio Nacional de Productos. *Revista Forestal Venezolana* 49(1), 61-73.
- Vignote, S.; Molinero, I.; Gerard, J.; Diez, M. 1996. Estudio de las tensiones de crecimiento de *Eucalyptus globulus* Labill en Galicia y su relación con las características de la estación y morfológicas del propio árbol. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*. Madrid, ES. 5(1): 153 – 165.
- Weaver, P. 2000. *Tectona grandis* L.f. Teca. SO-ITF-SM-64. New Orleans, LA: U.S. Departmento de Agricultura, Servicio Forestal, Southern Forest Experiment Station. 17 p.
- Zuñiga, C. 2012. Aplicación de la dendrocronología para evaluar la influencia de la precipitación y la temperatura en el crecimiento de *Tectona grandis* L.f. procedente del Fundo Génova – Junín. Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal. UNALM. Lima, Perú. 78 p.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1 CONSTANCIA DE IDENTIFICACIÓN DE LA ESPECIE



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES: FAX: 349-2041, TEF: 349-5647 / 349-5669, Anexo. 203
APDO.456 - LA MOLINA LIMA PERU



CONSTANCIA

El que suscribe, JEFE DEL LABORATORIO DE ANATOMÍA DE LA MADERA, deja constancia que, de acuerdo con los estudios anatómicos efectuados, las muestras de madera proporcionadas por la Bach. ROMINA ROSSANA ALVAREZ LOZANO, ex alumna de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina, empleadas en su trabajo de tesis titulado: "Caracterización físico - mecánica de la madera de teca "*Tectona grandis* L. f." proveniente de una plantación en Chanchamayo - Perú"; corresponden a:

<u>Muestras</u>	<u>Nombre Común</u>	<u>Nombre Científico</u>	<u>Familia</u>
1	Teca	<i>Tectona grandis</i> L.f.	Lamiaceae
2	Teca	<i>Tectona grandis</i> L.f.	Lamiaceae
3	Teca	<i>Tectona grandis</i> L.f.	Lamiaceae
4	Teca	<i>Tectona grandis</i> L.f.]	Lamiaceae

Atentamente,

Ing. Manuel Chavesta Custodio
Lab. Anatomía de la Madera



La Molina, 18 de junio de 2019

ANEXO 2

VALORES PROMEDIOS DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS PARA TECA

Propiedades Mecánicas	Unidades (kg/cm ²)	CH (%)	Media	Desviación Estándar	CV%	Rango	
						Mínimo	Máximo
Flexión Estática	ELP	14,31	554,8	53,7	9,69	459,6	726,7
	MOR		951,3	91,4	9,61	701,9	1105,5
	MOE (x1000)		115,5	12,8	11,07	92,9	154,4
Compresión Paralela	ELP	11,98	313,5	72,7	23,20	145,2	469,3
	RM		458,5	55,1	12,01	299,1	540,3
	MOE (x1000)		120,9	28,2	23,31	65,1	264,2
Compresión Perpendicular	ELP	14,29	65,0	8,7	13,36	50,6	82,9
Dureza	Extremos	14,29	491,9	37,7	7,67	396,8	565,1
	Lados		523,4	47,3	9,03	430,8	596,4
Tensión	Radial	12,30	34,4	7,3	21,10	19,2	46,0
	Tangencial	12,30	41,5	11,8	28,31	16,6	61,6
Clivaje	Radial (kg/cm)	12,63	70,0	9,6	13,70	56,1	88,3
	Tangencial (kg/cm)	13,18	79,5	15,5	19,48	53,2	111,5
Cizallamiento		12,97	107,8	21,0	19,47	31,9	142,4
Tenacidad	(kg-m)	12,35	2,1	0,5	24,30	0,6	3,6

ANEXO 3

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ORIENTACIÓN RADIAL Y TANGENCIAL DE PROPIEDADES MECÁNICAS

Prueba t-student Clivaje radial and Clivaje tangencial

t = -2.1688, df = 31, p-value = 0.03789 alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0 95 percent confidence interval: -18.5367321 -0.5692985 sample estimates: mean in group radial mean in group tangencial 69.97123 79.52424

Prueba t-student Tensión radial and Tensión tangencial

t = -2.5651, df = 44, p-value = 0.0138 alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0 95 percent confidence interval: -12.806120 -1.536929 sample estimates: mean in group radial mean in group tangencial 34.36978 41.54130
--

Prueba t-student Cizallamiento radial and Cizallamiento tangencial

t = 0.52877, df = 41, p-value = 0.5998 alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0 95 percent confidence interval: -9.689453 16.563102 sample estimates: mean in group radial mean in group tangencial 109.2998 105.8630

Prueba t-student Tenacidad radial and Tenacidad tangencial

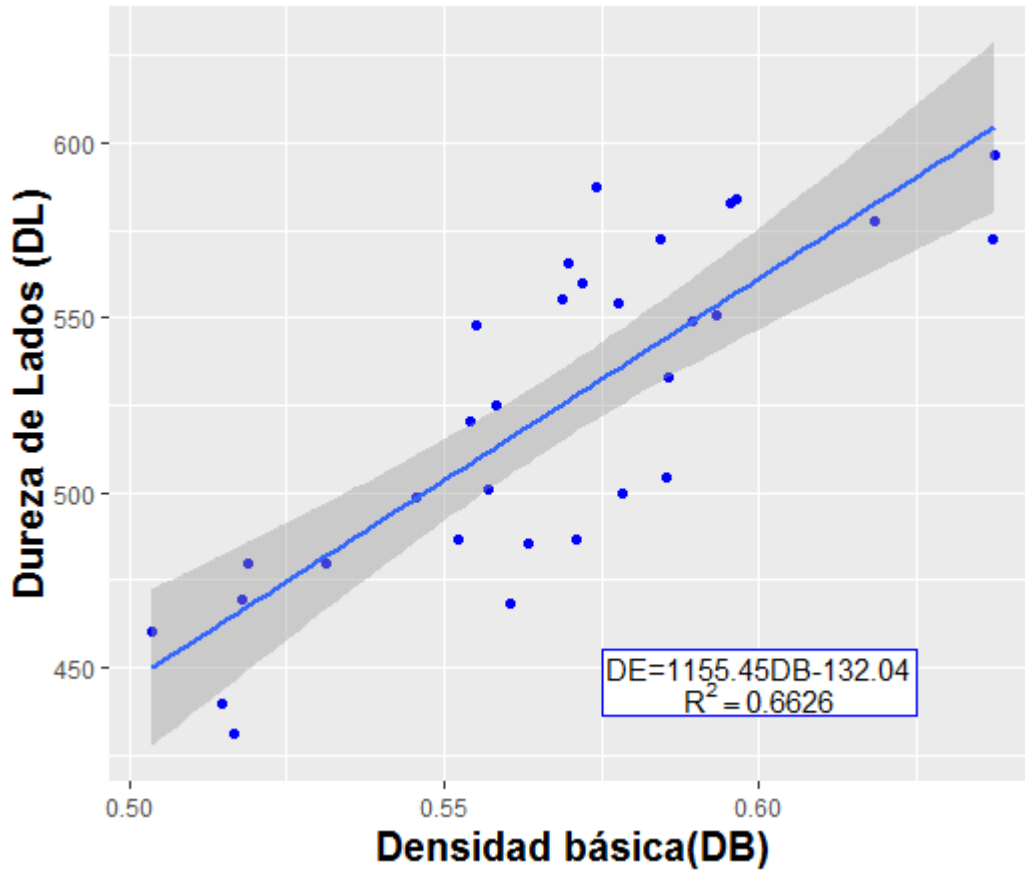
t = -0.83648, df = 106, p-value = 0.4048 alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0 95 percent confidence interval: -0.2741082 0.1114407 sample estimates: mean in group radial mean in group tangencial 2.029731 2.111065
--

Prueba t-student Dureza radial and Dureza tangencial

data: t = -1.4409, df = 60, p-value = 0.1548 alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0 95 percent confidence interval: -46.746958 7.599829 sample estimates: mean in group radial mean in group tangencial 513.6108 533.1843
--

ANEXO 4

ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL DUREZA LADOS VS DENSIDAD BÁSICA



```
lm(formula = Lad ~ DB, data = Daalt)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-47.466	-21.244	0.026	22.807	55.716

Coefficients:

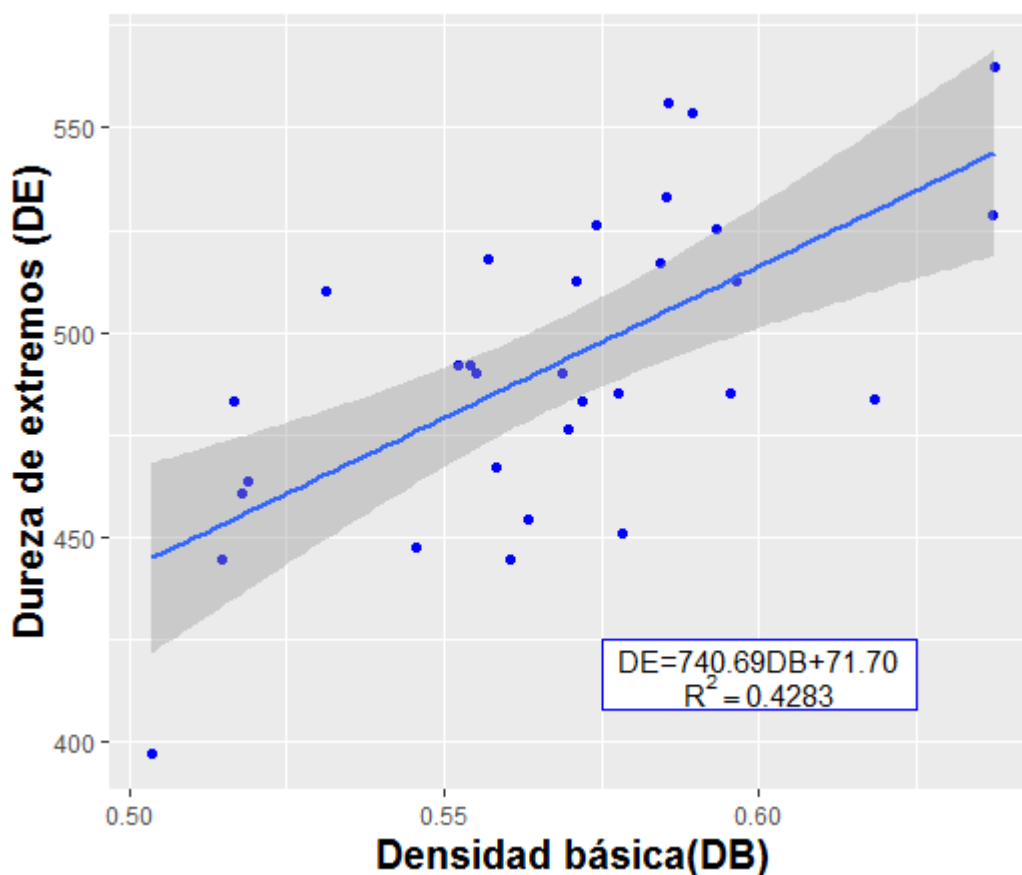
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-132.04	86.99	-1.518	0.14
DB	1155.45	153.10	7.547	2.55e-08 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 27.93 on 29 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.6626, Adjusted R-squared: 0.651
F-statistic: 56.96 on 1 and 29 DF, p-value: 2.553e-08

ANEXO 5

ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL DUREZA EXTREMOS VS DENSIDAD BÁSICA



```
lm(formula = DE ~ DB, data = Daalt)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-49.31	-17.84	5.39	19.50	50.58

Coefficients:

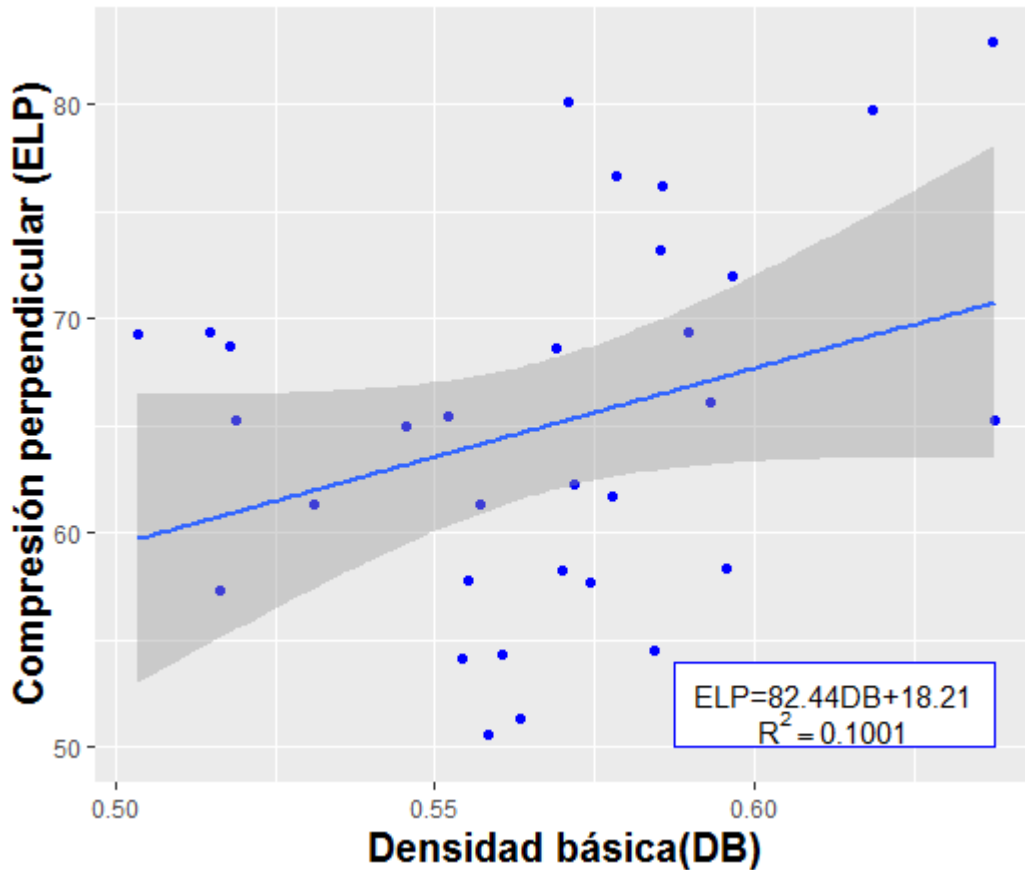
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	71.70	90.29	0.794	0.434
DB	740.69	158.91	4.661	6.5e-05 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 29 on 29 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.4283, Adjusted R-squared: 0.4086
F-statistic: 21.73 on 1 and 29 DF, p-value: 6.501e-05

ANEXO 6

ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL COMPRESIÓN PERPENDICULAR VS DENSIDAD BÁSICA



```
lm(formula = CP ~ DB, data = Daalt)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-13.6313	-6.5481	-0.6295	7.2852	14.8551

Coefficients:

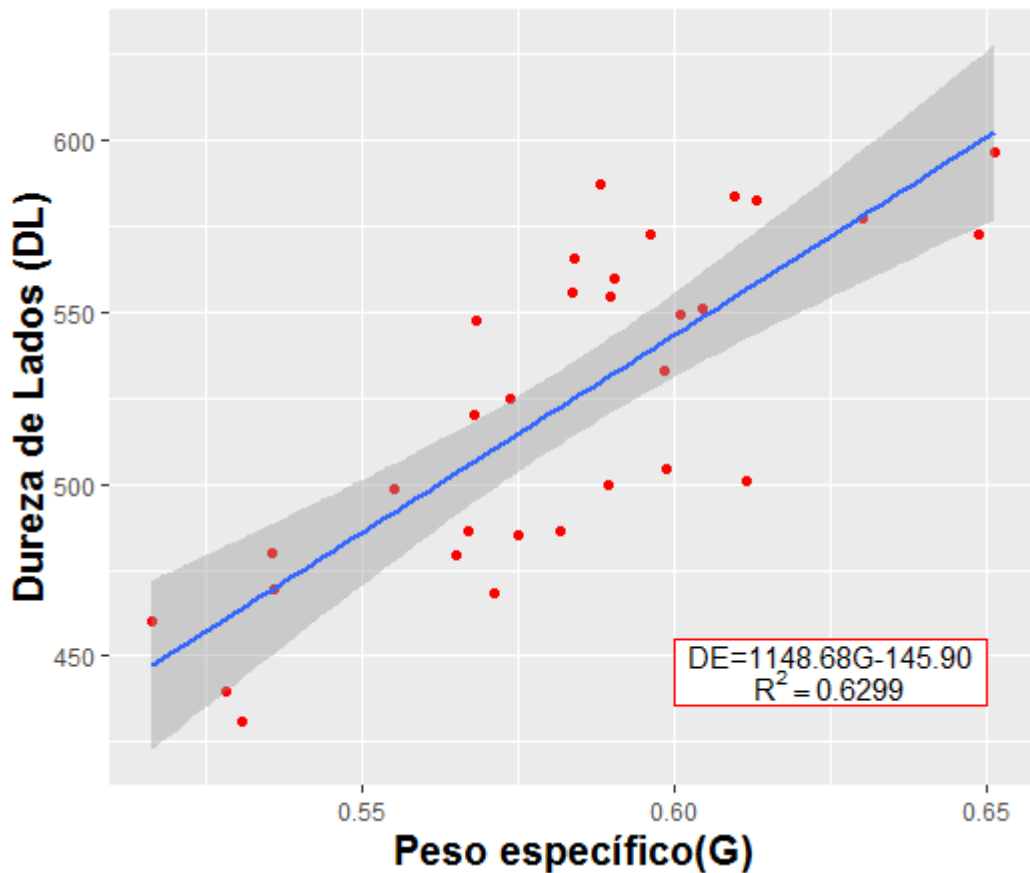
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	18.21	26.09	0.698	0.491
DB	82.44	45.91	1.796	0.083 .

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 8.377 on 29 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.1001, Adjusted R-squared: 0.06902
F-statistic: 3.224 on 1 and 29 DF, p-value: 0.08298

ANEXO 7

ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL DUREZA LADOS VS PESO ESPECÍFICO



```
lm(formula = Lad ~ G, data = Daalt)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-55.466	-25.238	2.289	23.423	57.500

Coefficients:

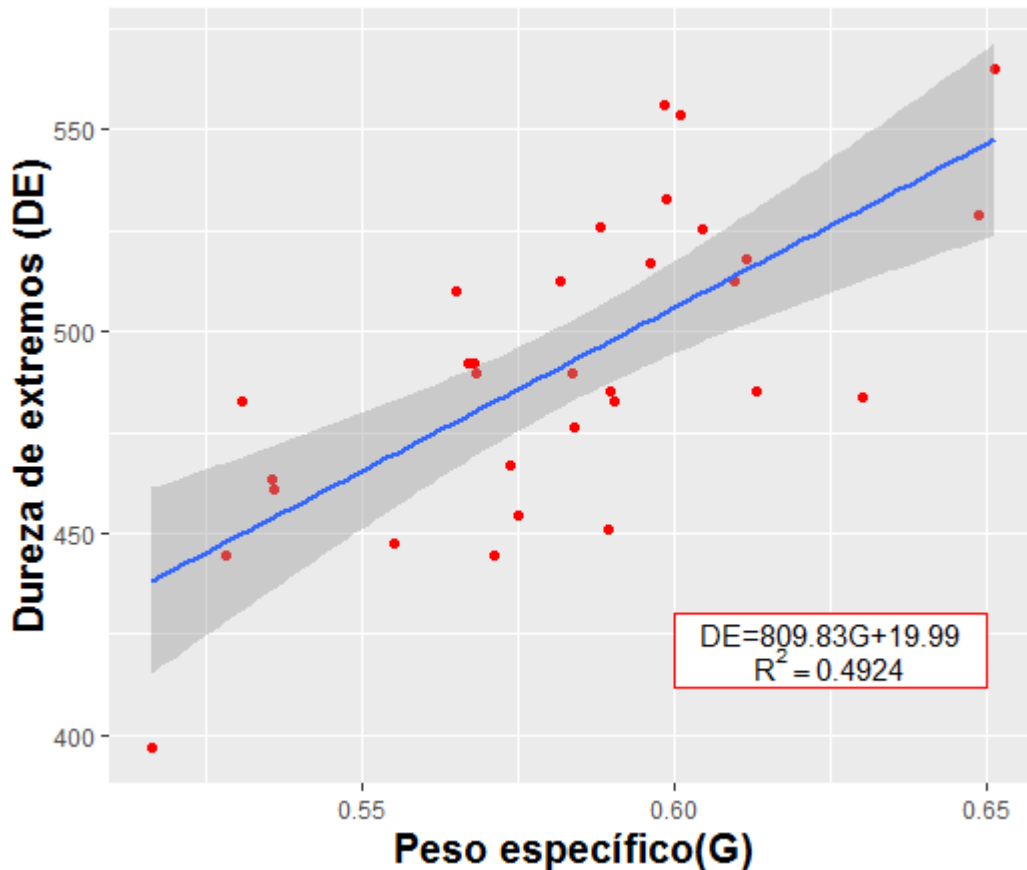
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-145.90	95.41	-1.529	0.137
G	1148.68	163.50	7.025	1e-07 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 29.26 on 29 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.6299, Adjusted R-squared: 0.6171
F-statistic: 49.36 on 1 and 29 DF, p-value: 1e-07

ANEXO 8

ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL DUREZA EXTREMOS VS PESO ESPECÍFICO



```
lm(formula = DE ~ G, data = Daalt)
```

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-46.623	-17.084	2.643	16.478	51.369

Coefficients:

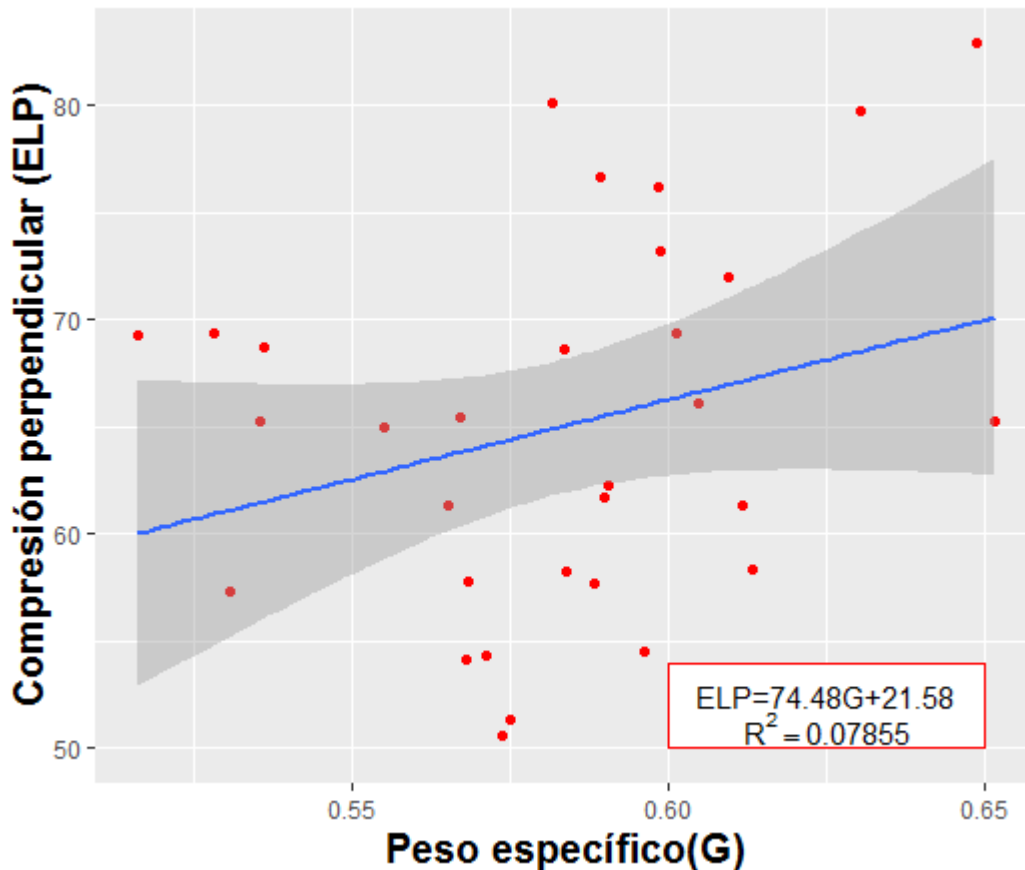
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	19.99	89.09	0.224	0.824
G	809.83	152.67	5.304	1.09e-05 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 27.32 on 29 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.4924, Adjusted R-squared: 0.4749
F-statistic: 28.14 on 1 and 29 DF, p-value: 1.088e-05

ANEXO 9

ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL COMPRESIÓN PERPENDICULAR VS PESO ESPECÍFICO



```
lm(formula = CP ~ G, data = Daalt)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-13.6955	-6.4504	-0.5207	7.1342	15.2298

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	21.58	27.64	0.781	0.441
G	74.48	47.37	1.572	0.127

Residual standard error: 8.477 on 29 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.07855, Adjusted R-squared: 0.04678
F-statistic: 2.472 on 1 and 29 DF, p-value: 0.1267

ANEXO 10

VERIFICACIÓN DE LOS VALORES DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN RELACIÓN AL PORCENTAJE DE HUMEDAD

Propiedades mecánicas	Cambio por disminución o aumento del 1% de C.H. (en %)
Flexión estática	
EFLP	5
MOR	4
MOE	2
Compresión paralela	
EFLP	5
MOR	6
MOE	2
Compresión perpendicular	5,5
Cizallamiento	3
Tracción perpendicular	1,5
Dureza	
Extremos	4
Lados	2,5
Tenacidad	0,5

*Para Clivaje se utilizó el mismo valor que en Tracción perpendicular

Fuente: Wood Handbook N° 72. Forest Products Laboratory. 84p.

ANEXO 11

COEFICIENTES DE VARIACIÓN PROMEDIO PARA ALGUNAS PROPIEDADES DE MADERA CLARA

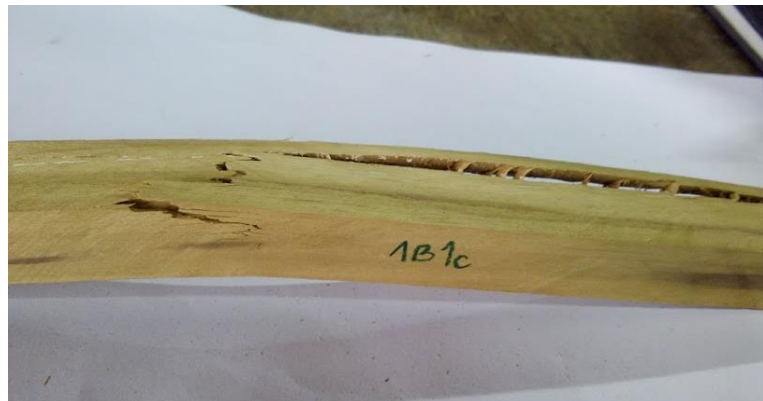
Propiedad mecánica	Coefficient of Variability (Wood Handbook, 2010) (%)	
Gravedad específica	10	
Contracción	Radial	15
	Tangencial	14
	Volumétrica	16
Flexión estática	ELP	22
	MOR	16
	MOEx1000	22
Compresión paralela	ELP	24
	RM	18
	MOEx1000	29
Compresión perpendicular	ELP	28
Dureza	Extremos	17
	Lados	20
Tensión perpendicular	Radial	25
	Tangencial	
Clivaje	Radial	
	Tangencial	
Cizallamiento	14	
Tenacidad	34	

Fuente: U.S.Forest Products Lab. Wood Handbook, 2010

ANEXO 12

FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS UTILIZADAS DURANTE LOS ENSAYOS

ENSAYO DE TENACIDAD



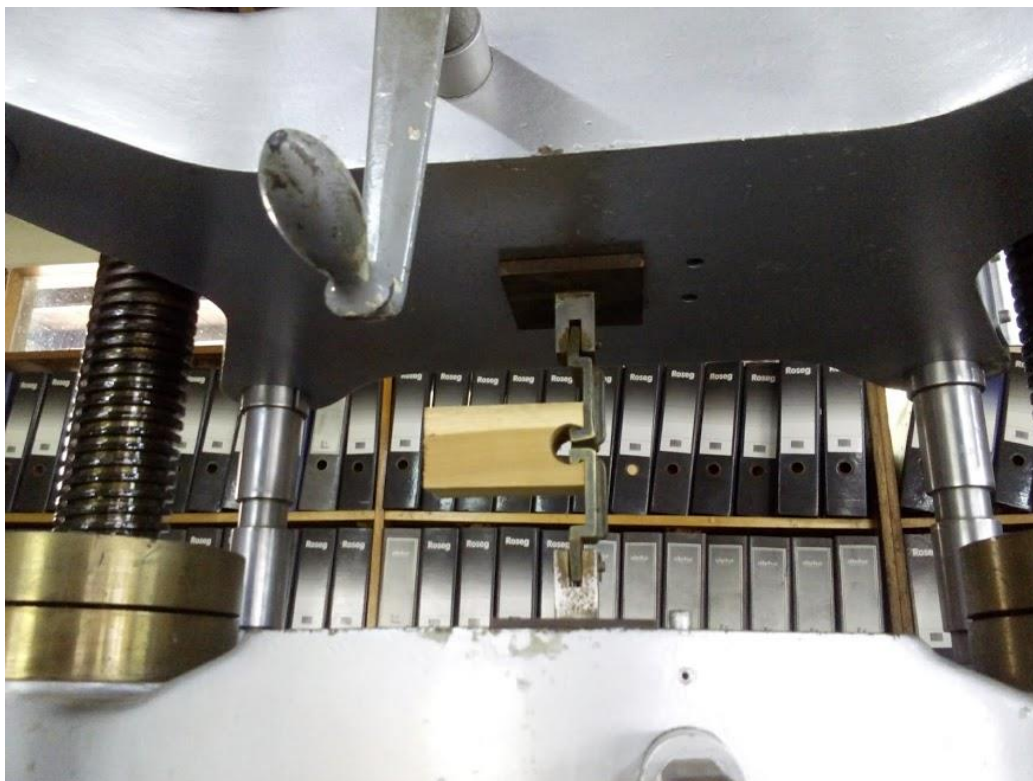
ENSAYO DE TENSIÓN



ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA



ENSAYO DE CLIVAJE



ENSAYO DE FLEXION ESTÁTICA

