

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS  
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA  
MADERA DE RALEO DE *Guazuma crinita*  
(BOLAINA BLANCA) DE TRES EDADES**

Presentado por:

**Catherine Maritza Sueros Herrera**

TRABAJO ACADÉMICO PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO FORESTAL

---

Lima - Perú  
2017

## 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. CATHERINE MARITZA SUEROS HERRERA, intitulado “ ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE RALEO DE GUAZUMA CRINITA (BOLAINA BLANCA) DE TRES EDADES ”.

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, 18 de julio de 2017

.....  
Mg. Sc.  
Presidente

.....  
Mg. Sc.  
Miembro

.....  
Mg. Sc.  
Miembro

.....  
Mg. Sc.  
Asesor

## *DEDICATORIA*

*A Dios, a mi esposo e hija y mis padres*

*“Pon en manos del Señor todas tus obras,  
y tus proyectos se cumplirán” (Prov.16.3)*

## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar a Dios, por darme la fortaleza, sabiduría y perseverancia para culminar este gran logro.*

*A mi esposo Malcon, mi amado y gran compañero de vida, por todo su amor incondicional, confianza y motivación constante en todo este tiempo.*

*A mi adorada hija Illariy, por ser mi mayor bendición, mi gran motivación de superación y comprenderme en los momentos que no pude estar con ella durante esta etapa.*

*A mis padres, Ángel y Maritza, por brindarme todo su amor, esfuerzo y apoyo incondicional; y por enseñarme desde pequeña a luchar para alcanzar mis metas.*

*A mi patrocinador el Mg. Sc. Moisés Acevedo por su dedicación y gran asesoramiento otorgado.*

*A la empresa Reforestadora Amazónica S.A.C por la oportunidad brindada para realizar esta investigación.*

*A los miembros del Jurado el Mg. Sc Manuel Chavesta, Mg. Sc. José Carlos Cano y el Mg.Sc. Miguel Meléndez por todo su tiempo y recomendaciones sugeridas para este trabajo.*

*A mi amigo el Ing. Rolando Montenegro por toda su confianza, apoyo incondicional en el asesoramiento estadístico y recomendaciones para esta investigación.*

*A mis compañeros Juan Carlos Aguilar, Julio Robles y Lesly Urbina por compartir su tiempo y toda su información sin restricciones para realizar este trabajo.*

*A mi amigo el Ing. Fernando Paz por sus consejos y apoyo incondicional.*

*Y a todos mis familiares y amigos que me apoyaron durante esta etapa.*

## *RESUMEN*

En la presente investigación se realizó un análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera de raleo de la especie *Guazuma crinita* de cuatro, cinco y seis años proveniente de plantaciones ubicadas en la provincia de Puerto Inca, departamento Huánuco con la finalidad de contribuir el conocimiento tecnológico de esta especie para fines silviculturales.

La metodología empleada fue sistematizar y analizar datos de ensayos mecánicos provenientes de investigaciones anteriores. Se estableció un diseño factorial para verificar la influencia de la edad y nivel de corte en las propiedades mecánicas de la madera de raleo de esta especie, mediante los estadísticos descriptivos (media, coeficiente de variación, valores mínimos y máximos) y utilizando las pruebas estadísticas MANOVA y ANOVA se obtuvieron los resultados correspondientes.

Es así que los resultados nos muestran que las propiedades mecánicas de la madera de raleo varían con la edad y nivel de corte. Asimismo, la edad ejerce mayor influencia en las propiedades mecánicas de flexión estática (ELP y MOR), compresión paralela (ELP y MOE) y compresión perpendicular (ELP). El comportamiento mecánico de la madera de raleo para las tres edades presenta una tendencia creciente desde los 4 a 5 años y decrece hacia la edad de 6 años, este comportamiento anómalo puede ser efecto de la condiciones de sitio y la posible presencia de madera de tensión en la madera de raleo de 6 años.

# ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>I. Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>II. Revisión de Literatura</b> .....	<b>3</b>
1. <b>Características de la especie</b> .....	<b>3</b>
1.1. Taxonomía.....	3
1.2. Distribución y hábitat: .....	3
1.3. Descripción del árbol.....	4
1.4. Aspectos silviculturales.....	5
1.5. Descripción de la madera .....	6
1.5.1. Anatomía .....	6
1.5.2. Propiedades Físico-mecánicas .....	7
1.5.3. Usos.....	9
2. <b>Propiedades Mecánicas</b> .....	<b>10</b>
3. <b>Clasificación de la madera según propiedades mecánicas</b> .....	<b>12</b>
4. <b>Variabilidad de la madera</b> .....	<b>16</b>
4.1. Variabilidad de la madera dentro del árbol .....	17
4.2. Variabilidad entre los árboles de una misma especie .....	18
5. <b>Efecto de la anatomía de la madera en las propiedades mecánicas</b> .....	<b>19</b>
6. <b>Efecto de la madera de tensión en las propiedades mecánicas</b> .....	<b>20</b>
7. <b>Efecto de la madera juvenil en las propiedades mecánicas</b> .....	<b>22</b>
8. <b>Efecto del raleo en las propiedades mecánicas de la madera</b> .....	<b>23</b>
<b>III. Materiales y Métodos</b> .....	<b>24</b>
1. <b>Materiales y Equipos</b> .....	<b>24</b>
1.1. Materiales .....	24
1.2. Equipos .....	24
2. <b>Métodología</b> .....	<b>24</b>
2.1. Área de Estudio .....	24
2.2. Recolección de datos.....	25
2.3. Procesamiento de datos y análisis de resultados .....	26
<b>IV. Resultados y discusión</b> .....	<b>28</b>
4.1. Información General .....	28
4.1.1. Características de las plantaciones.....	28
4.1.2. Selección y Colección de Árboles .....	30
4.1.3. Obtención de Probetas: .....	31
4.1.4. Métodos para determinar las propiedades mecánicas.....	32
4.2. <b>Propiedades Mecánicas</b> .....	<b>32</b>
4.2.1. Flexión Estática.....	33
4.2.2. Compresión Paralela .....	41
4.2.3. Compresión perpendicular, Cizallamiento y Dureza .....	48
4.3. Variabilidad de las propiedades mecánicas .....	55
4.4. Influencia de la edad y nivel de corte: .....	59
2.4. Clasificación de la resistencia madera de raleo de la especie .....	61
2.5. Aptitud de Uso.....	61
<b>IV. Conclusiones</b> .....	<b>64</b>
<b>V. Recomendaciones</b> .....	<b>65</b>

<b>VI.</b>	<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>66</b>
<b>VII.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>79</b>

## Índice de tablas

	Página
Tabla 1:	Características microscópicas de la madera de Guazuma crinita .....6
Tabla 2:	Propiedades físicas de la madera de bolaina blanca .....7
Tabla 3:	Valores promedios de las propiedades mecánicas de madera de bolaina blanca proveniente de bosque naturales y plantaciones .....8
Tabla 4:	Clasificación de maderas peruanas según sus propiedades mecánicas..... 12
Tabla 5:	Clasificación para maderas mexicanas según propiedades mecánicas en condición verde ..... 13
Tabla 6:	Clasificación para maderas mexicanas según propiedades mecánicas en condición seca al aire (CH=12 %) ..... 15
Tabla 7:	Investigaciones utilizadas para el análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera de raleo provenientes de plantaciones de bolaina blanca de tres edades..... 25
Tabla 8:	Característica de la plantación de bolaina blanca ..... 29
Tabla 9:	Dimensiones promedios de las trozas seleccionadas para la determinación de las propiedades mecánicas..... 30
Tabla 10:	Dimensiones de viguetas y probetas utilizadas para la determinación de las propiedades mecánicas ..... 31
Tabla 11:	Ensayos de propiedades mecánicas según NTP ..... 32
Tabla 12:	Valores promedios del peso específico y contenido de humedad para las propiedades mecánicas ..... 33
Tabla 13:	Estadística descriptiva de los esfuerzos de flexión estática para la madera de raleo de bolaina blanca del nivel basal según edad ..... 35
Tabla 14:	Estadísticos descriptivos de los esfuerzos de flexión estática para la madera de raleo de bolaina blanca del nivel medio según edad ..... 36
Tabla 15:	Estadísticos descriptivos de la compresión paralela para la madera de raleo de Bolaina blanca del nivel basal según edad ..... 42
Tabla 16:	Estadísticos descriptivos de la compresión paralela para la madera de raleo de Bolaina blanca del nivel medio según edad ..... 43
Tabla 17:	Estadísticos descriptivos de la compresión perpendicular y cizallamiento para la madera de raleo de Bolaina blanca del nivel basal según edad ..... 49
Tabla 18:	Estadísticos descriptivos de la dureza para la madera de raleo de Bolaina blanca del nivel basal según edad ..... 50
Tabla 19:	Coefficientes de Variación (%) según edad y nivel de corte y su comparación con los valores de Forest Product Laboratory (FPL) ..... 56



Tabla 20:	Valores Promedios de las propiedades mecánicas de la madera de raleo de Bolaina blanca .....	57
Tabla 21:	Análisis multivariado y univariado de Varianzas para flexión estática y compresión paralela según edad y nivel de corte .....	60
Tabla 22:	Análisis de Varianzas para compresión perpendicular y dureza según edad .....	60
Tabla 23:	Comparación de las propiedades mecánicas de <i>Guazuma crinita</i> proveniente de plantaciones de Puerto Inca y el bosque natural de Tingo María.....	62

## Índice de figuras

	Página
Figura 1: Esfuerzo al límite proporcional (ELP) en flexión estática para la madera de raleo de Bolaina blanca según edad y nivel de corte.....	37
Figura 2: Módulo de Rotura (MOR) en flexión estática para la madera de raleo de Bolaina blanca según edad y nivel de corte .....	38
	39
Figura 3: Módulo de Elasticidad (MOE) en flexión estática para la Madera de raleo de Bolaina blanca según edad y nivel de corte .....	39
Figura 4: Valores promedios de los esfuerzos de flexión estática para la madera de raleo de bolaina blanca según edad y nivel de corte .....	40
Figura 5: Esfuerzo al límite proporcional (ELP) en compresión paralela para la madera de raleo de Bolaina blanca según edad y nivel de corte.....	44
	45
Figura 6: Resistencia Máxima (RM) de la compresión paralela para la Madera de raleo de Bolaina blanca según edad y nivel de corte .....	45
Figura 7: Módulo de elasticidad (MOE) en compresión paralela para la madera de raleo de Bolaina blanca según edad y nivel de corte.....	46
Figura 8: Valores promedios de los esfuerzos de compresión paralela para la madera de raleo de bolaina blanca según edad y nivel de corte .....	47
Figura 9: Esfuerzo al límite proporcional (ELP) en compresión perpendicular para la Madera de raleo de Bolaina blanca según edad.....	51
Figura 10: Resistencia al Cizallamiento para la madera de raleo de Bolaina blanca según la edad .....	52
Figura 11: Dureza de lados para la madera de raleo de Bolaina Blanca según edad .....	53
Figura 12: Dureza de extremos para la madera de raleo de Bolaina Blanca según edad.....	54
Figura 13: Valores promedios de las propiedades mecánicas de la madera de raleo de Bolaina blanca según edad .....	58
Figura 14: Comparación de las propiedades mecánicas de <i>Guazuma crinita</i> proveniente de plantaciones de Puerto Inca y el bosque natural de Tingo María.....	63

## *Índice de anexos*

	Página
ANEXO 1.....	79
CANTIDAD DE PROBETAS PARA LOS ENSAYOS MECÁNICOS DE LAS MADERA DE RALEO DE BOLAINA BLANCA DE TRES EDADES DIFERENTES .	79
ANEXO 2 ANÁLISIS DE SUPUESTOS .....	80
ANEXO 3 .....	83
CONTRASTES MULTIVARIADOS PARA FLEXIÓN ESTÁTICA .....	83
ANEXO 4 .....	84
CONTRASTES MULTIVARIADOS PARA COMPRESIÓN PARALELA .....	84
ANEXO 5 .....	85
PRUEBA DE LOS EFECTOS INTERSUJETOS PARA FLEXIÓN ESTÁTICA.....	85
ANEXO 6 .....	86
PRUEBA DE LOS EFECTOS INTERSUJETOS PARA COMPRESIÓN PARALELA.....	86
ANEXO 7 .....	87
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA COMPRESIÓN PERPENDICULAR, CIZALLAMIENTO Y DUREZA.....	87

## I. INTRODUCCIÓN

La *Guazuma crinita* (bolaina blanca) es una especie maderable de rápido crecimiento proveniente de los bosques secundarios y purmas, que por su aptitud de uso, características tecnológicas, buena trabajabilidad y bajo costo; en los últimos años es considerada como una fuente importante de ingresos en el mercado nacional (Putzel *et al.* 2013). La demanda nacional de esta especie en el 2015, según MINAGRI, alcanzó un volumen de madera rolliza de 56 119,05 m<sup>3</sup> y de 3 118,06 m<sup>3</sup> para madera aserrada.

La demanda creciente de la madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*), ha incentivado el establecimiento de plantaciones forestales de esta especie, ya que por su rápido crecimiento permite a la industria obtener ingresos a corto plazo. Considerándose un caso de manejo forestal con mucho potencial de ser sostenible, que incluye la producción, procesamiento y comercialización (Putzel *et al.* 2013).

Frente a la escasa información tecnológica sobre madera de raleo de esta especie y la necesidad de su comercialización, la presente investigación tiene la finalidad de comparar el comportamiento de las propiedades mecánicas de la madera de raleo comercial de *Guazuma crinita* “bolaina blanca” de tres edades proveniente de Puerto Inca, departamento de Huánuco; con el fin de contribuir al conocimiento tecnológico de esta especie para fines silviculturales.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 1. CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE

#### 1.1. TAXONOMÍA

Familia: STERCULIACEAE

Nombre Científico: *Guazuma crinita* Mart.

Nombres Comunes: “Bolaina blanca”

#### 1.2. DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT:

Reynel *et al.*, (2003) señala que la distribución de esta especie es muy amplia en el Neotrópico desde Centroamérica a la región amazónica, hasta el sur de Brasil y Bolivia, mayormente hasta los 1500 msnm. En el Perú, se encuentra principalmente en la Amazonía, en los departamentos de Amazonas, Cajamarca, Huánuco, Junín, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín y Ucayali (Silva., 2005).

La bolaina blanca se encuentra en las zonas ecológicas de bosque húmedo premontano (bh-PM) y bosque muy húmedo subtropical (bmh-ST). El rango ecológico donde se desarrolla se caracteriza por una precipitación anual de 1500 a 3500 milímetro y temperatura media anual de 26 ° C (Encarnación, 1983; Vidaurre, 1992; Reynel *et al.*, 2003).

Es una especie heliófita, característica de la vegetación secundaria temprana, muy exigente en luz, de rápido crecimiento y alto poder de regeneración. Se le encuentra en bosques secundarios y a orillas de los ríos, a veces formando bosques naturales homogéneos (IIAP, 2009). También en zonas con alteración antropogénica, ocasionado por la agricultura o caminos; e incluso ámbitos con una estación seca marcada (Reynel *et al.* 2003).

Reynel et al. (2003) y Silva (2005) señalan que esta especie suele presentarse en suelos limosos, franco - arenosos y arenosos, en su mayoría de poca fertilidad; y además, en terrenos con pedregosidad de hasta 25 por ciento. No tolera el anegamiento, en particular cuando es plántula. Domínguez (1991) e INIA (1996), coinciden en que esta especie crece fácilmente en zonas planas y onduladas con pendientes suaves; mientras que Silva (2005), hace mención de encontrar individuos de esta especie en pendientes de hasta 30°. Crece en manchales, asociada con especies pioneras como *Schizolobiurn sp.*, *Croton sp.*, *Cecropia sp.*, entre otras (IIAP, 2009).

### **1.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁRBOL**

Reynel *et al.*, (2003) señala que la bolaina blanca es un árbol de 25 a 80 cm de diámetro y de 15 a 30 metros de altura total, con fuste recto y cilíndrico con pequeñas aletas basales, copa globosa irregular y ramificación monopodial con ramas distribuidas horizontalmente en el primer tercio. Corteza externa lisa a ligeramente agrietada de 0,30 – 0,50 cm de grosor, color marrón oxida rápidamente a marrón, se desprende en tiras al jalarse y con exudación de mucílago incoloro (Reynel *et al.*, 2003; Silva, 2005). Hojas simples, alternas y dísticas, presenta rama terminal circular claro a grisáceo. Corteza interna reticulada y fibrosa, color amarillento con sabor agridulce, con pubescencia ferruginosa hacia las partes apicales. Fruto tipo cápsula globosa de unos 4-8 mm de diámetro y cubierto de finos pelos largos, con flores pequeñas de 8 a 12 mm de longitud de color rosado.

La floración de esta especie se inicia frecuentemente durante la estación seca, entre los meses de julio y septiembre; mientras que la fructificación entre los meses de octubre y diciembre. La dispersión de los frutos es efectuada por el viento, lo cual favorece el establecimiento de su regeneración natural. Los frutos son secos y dehiscentes, la semilla varía de 1 a 2 mm de longitud y 1mm de diámetro. Por cada kilo de semilla contiene en promedio 860 000 semillas, no requiere de ningún tratamiento previo (IIAP, 2009). Mientras que CATIE, citado por Reynel *et al.* (2003), sugiere tratar las semillas frescas con tratamientos pregerminativos para elevar el porcentaje germinativo de la especie a valores mayores al 70 – 80 por ciento.

#### 1.4. ASPECTOS SILVICULTURALES

Reynel *et al.* (2003), señala que la bolaina blanca presenta un crecimiento rápido y su supervivencia en plantación suele ser alta; sin embargo, puede presentar un crecimiento lento si la cantidad de luz es limitada (Revilla; 2015).

Gonzales (2003) indica que esta especie en plantaciones con densidades de 400 árboles por hectárea durante los seis primeros años presenta una tasa de crecimiento promedio de 4,2 cm/año para DAP y 3,6 m para la altura total, adicionalmente el mismo autor estimó una tasa de crecimiento promedio para altura comercial de 2,7cm/año.

Villachica *et al.*, (1993) encontraron para sistemas agroforestales establecidos en suelos ácidos y degradados del Valle de Chanchamayo y para los 5 primeros años de plantación, tasas de crecimiento de 4 cm/año para el DAP y de 2,94 m/año para la altura total. Por su parte, Baldoceda *et al.*, (1991) afirman haber obtenido, para plantaciones en fajas de 30 m de ancho situadas en suelos gleysoles, un incremento promedio de 3,26 cm de DAP y 4,06 m de altura.

En cuanto a los rendimientos, para una plantación con densidad de 400 árboles/ha con una edad de 6 años y sin realizar recalce se obtiene 118,32 m<sup>3</sup>/ha y a los 9 años realizando recalce se logra un rendimiento de 347,17 m<sup>3</sup>/ha (Gonzales, 2003).

Mientras que para un sistema agroforestal con una densidad de 555 árboles/ha y una edad de corta de 7 años, se considera posible obtener un rendimiento de 128,76 m<sup>3</sup>/ha (Toledo, 1999). Por su parte, Baldoceda *et al.*, (1991) menciona que para plantaciones en fajas de 30 m y una edad de corta de 8 años se puede obtener un rendimiento máximo de 115,6 m<sup>3</sup>/ha .

IIAP (2009) señala que esta especie presenta capacidad de rebrote luego de la tala, el cual permite su manejo para repoblar el área de aprovechamiento. La misma institución señala que hasta el momento no se reportan plagas de consideración; aunque puede sufrir ataque de grillos que despuntan la yema principal, la misma que conduce a la bifurcación del tallo.

## 1.5. DESCRIPCIÓN DE LA MADERA

### 1.5.1. ANATOMÍA

Acevedo y Kikata (1994) señalan que la madera de bolaina blanca proveniente de un bosque natural en condición seca al aire, no muestra diferencia entre la albura y duramen, siendo ambos blancos cremosos. Presenta anillos de crecimiento, diferenciado por bandas oscuras de forma regular, con veteado de arcos superpuestos ligeramente definidos y jaspeados, grano recto, textura y brillo medio. En la Tabla 1, se muestran las características microscópicas de la bolaina blanca señaladas por los mismos autores.

Tangoa citado por Ugarte *et al* (2002) señala que los defectos originados por la constitución anatómica de la especie se pueden encontrar medula incluida, duramen quebradizo, bandas anchas de parénquima, grano inclinado y entrecruzado y nudos sanos, huecos y arracimados.

**Tabla 1: Características microscópicas de la madera de Guazuma crinita**

<b>DESCRIPCIÓN ANATÓMICA MICROSCÓPICA</b>	
<b>Porosidad</b>	Porosidad difusa. Poros visibles a simple vista, solitarios de forma oval y múltiples radiales de 2 – 4; con 2 a 7 poros/mm <sup>2</sup> .
<b>Vasos</b>	Los vasos muestran diámetros tangenciales entre los 167 – 171 µm y longitudes que varía entre 269 - 499 µm
<b>Parénquima Axial</b>	Parénquima ligeramente visible apotraqueal difuso en agregado y paratraqueal vasicéntrico, no estratificadas con presencia de células cristalíferas septadas
<b>Parénquima radial</b>	Radios heterogéneos tipo III, multiseriado no estratificado, con altura de 638 a 680 µm, con inclusiones de gomas en células procumbentes y tipo baldosas
<b>Fibras</b>	Las fibras son libriformes, no estratificadas, su diámetro total es de 18 µm, el grosor de pared celular 3 µm y longitud entre 484 – 830 µm

Fuente: Acevedo y Kikata (1994)



## 1.5.2. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS

De acuerdo con la clasificación propuesta por Aróstegui (1982) la madera de bolaina pertenece al grupo de maderas de densidad y contracción volumétrica bajas; y en cuanto a su relación T/R es considerada como una madera de buena estabilidad. En la Tabla 2, se presenta los valores promedios de las propiedades físicas de la bolaina blanca.

**Tabla 2: Propiedades físicas de la madera de bolaina blanca**

<i>Propiedad</i>	<i>Valores</i>	<i>Fuente</i>
<i>Densidad básica</i>	0,41g/cm <sup>3</sup>	<i>Acevedo y Kikata (1994)</i>
<i>Contracción tangencial total</i>	5,50%	<i>Aróstegui y Sato (1970)</i>
<i>Contracción radial total</i>	3,50%	<i>Aróstegui y Sato (1970)</i>
<i>Coefficiente T/R</i>	1,60	<i>Aróstegui y Sato (1970)</i>

En la Tabla 3, se indican los valores promedios de las propiedades mecánicas de la madera de bolaina blanca proveniente de bosques naturales de Tingo María en condiciones de humedad promedio de 13 por ciento (Aróstegui y Sato, 1970) y de madera de raleo provenientes de plantaciones de Puerto Inca de cuatro, cinco y seis años.

**Tabla 3: Valores promedios de las propiedades mecánicas de madera de bolaina blanca proveniente de bosque naturales y plantaciones**

<i>Propiedades Físico-Mecánicas</i>		<i>Unidades</i>	<i>Bosque</i>	<i>Plantación</i>		
			<i>Natural (A)</i>	<i>4 años (B)</i>	<i>5 años (C)</i>	<i>6 años (D)</i>
<i>Contenido de humedad</i>		%	13,0	13,8	13,8	13,0
<i>Flexión estática</i>	<i>Esfuerzo al límite Proporcional (ELP)</i>	<i>kg/cm<sup>2</sup></i>	318,3	333,4	305,3	163,1
	<i>Módulo de Ruptura (MOR)</i>	<i>kg/cm<sup>2</sup></i>	507,8	486,6	458,7	393,4
	<i>Módulo de Elasticidad (MOE)</i>	<i>t/cm<sup>2</sup></i>	97, 8	69,2	66,2	63,3
<i>Compresión paralela</i>	<i>Esfuerzo al límite Proporcional (ELP)</i>	<i>kg/cm<sup>2</sup></i>	270,6	190,9	154,9	153,9
	<i>Resistencia Máxima (RM)</i>	<i>kg/cm<sup>2</sup></i>	375,7	234,9	225,2	232,3
	<i>Módulo de Elasticidad (MOE)</i>	<i>kg/cm<sup>2</sup></i>	121,8	92,9	89,2	77,6
<i>Compresión perpendicular</i>	<i>Esfuerzo al límite Proporcional (ELP)</i>	<i>kg/cm<sup>2</sup></i>	50,9	23,6	26,1	22,4
<i>Dureza</i>	<i>Lados</i>	<i>kg/cm<sup>2</sup></i>	440,1	139,3	304,2	311,5
	<i>Extremos</i>	<i>kg/cm<sup>2</sup></i>	303,4	222,7	500,0	568,9
<i>Cizallamiento</i>		<i>kg/cm<sup>2</sup></i>	50,6	43,9	39,9	51,9

*Fuente: (A) Aróstegui y Sato (1970) ;(B) Urbina (2016) ;(C) Robles (2017); (D) Aguilar (2017)*

### 1.5.3. USOS

Egoavil y Chávez (1991) señalan que se puede obtener diferentes productos de esta especie según los diámetros de las trozas extraídas. Si tienen diámetros delgados se puede obtener madera para la fabricación de cajonería y marco de esterillas, por el contrario si tienen diámetros gruesos se puede obtener listones y madera traslapada para revestimiento de paredes. Por otro lado ensayos de resistencias demuestran buen comportamiento como material estructural empleándolo para vigas y columnas cortas Valdivia y Sotelo (1993).

OIMT (1996) menciona que la madera de bolaina puede ser utilizada para la fabricación de triplay y puertas sólidas. Por otra parte, este último producto según el IIAP (2009) puede ser mejorado mediante la aplicación de tecnologías industriales tipo tablero de listones (blockboard), los cuales requieren que tengan un adecuado proceso de secado y calidad en el cepillado, así como en la aplicación de pegamentos industriales tipo PVC (acetato de polivinilo).

Otros productos que se pueden obtener según Baldoceca *et al.* (1991) son madera laminada, juguetes, palos de fósforo, paletas de chupete, paletas médicas y mangos para sellos de jebe. Adicionalmente la madera de bolaina presenta gran aptitud papelera y puede ser usada como materia prima para la fabricación de pulpa y papel (Egoavil y Chávez, 1991).

Por otro lado, Urbina (2016) señala que la madera de raleo de bolaina blanca proveniente de una plantación de cuatro años, puede ser utilizada para cajonería liviana, artesanías, juguetes y tableros de partículas. Mientras que para la madera de raleo de cinco años según Robles (2017) se puede obtener también tutores, postes para cercos, listones para marcos y revestimiento de interiores.

## 2. PROPIEDADES MECÁNICAS

Aróstegui (1982) define las propiedades mecánicas de la madera como la expresión de su comportamiento bajo la aplicación de fuerzas y cargas, que dependerá del tipo de fuerza aplicada y de las diferencias básicas en la organización estructural de la madera, así como también de las proporciones en que se encuentran los componentes de la pared celular y la cantidad de extractivos depositados en los lúmenes de las células.

Rivera y Lenton citado por López (2006) señalan que la pared de las fibras, fundamentalmente la pared secundaria y en ella la capa  $S_2$ , es de gran interés en la determinación de la resistencia de la madera. La capa  $S_2$  es la más gruesa y sus microfibrillas se orientan en forma paralela al eje longitudinal, ofreciendo la máxima resistencia para ciertos tipos de esfuerzos.

Vignote y Martínez (2006) afirman que la madera tiene en dirección longitudinal mayor resistencia que en dirección transversal, y señalan que el contenido de humedad influye en la resistencia de la madera. Así pues, cuando la madera aumenta uno por ciento su porcentaje de humedad, la resistencia disminuye entre el 1,5 y el 2 por ciento.

Arroyo (1983) también señala que la mayoría de las propiedades de resistencia y elasticidad de la madera varían en forma inversa con el contenido de humedad por debajo del punto de saturación de fibras y por encima de éste las propiedades de resistencia son constantes, es decir, que no se afectan por las fluctuaciones del contenido de humedad. Además de los factores mencionados, el mismo autor señala que el comportamiento mecánico depende también de la temperatura, presencia de nudos e inclinación del grano.

Por otra parte, el mismo autor señala que existen tres tipos de esfuerzos primarios que pueden actuar sobre un cuerpo, produciendo un cambio en su forma y tamaño, conocida con el nombre de deformación. Si ocurre una reducción dimensional o volumétrica, ocurre un esfuerzo compresivo; luego si aumenta la dimensión o volumen del cuerpo, se desarrolla un esfuerzo de tracción y por último si la fuerza se desplaza porción del cuerpo sobre la otra en dirección paralela al plano de contacto; ocurre esfuerzo de cizallamiento o cortante.

Asimismo existe la combinación de los tres esfuerzos produciendo el efecto de flexión o pandeo.

Según Aróstegui (1982) la flexión estática es la resistencia que ofrece la madera a una carga que actúa sobre una viga. Los valores numéricos promedios sirven de base para obtener los valores de diseño de vigas. Esta resistencia de la madera depende de varios factores tales como los defectos de crecimiento (nudos, desviaciones de fibras), densidad, contenido de humedad, temperatura y duración de la carga.

Dentro de los esfuerzos en flexión estática, el mismo autor señala 3 índices: el esfuerzo al límite proporcional (ELP) que indica que la carga aplicada es proporcional a la deformación; el módulo de elasticidad (MOE) que es un índice de la facilidad o dificultad que tiene las maderas para su deformación señalando que mientras la madera presente mayor MOE, menor será su deformación. Por último el módulo de rotura (MOR) que es el esfuerzo en el cual se produce la falla.

En cuanto a la compresión paralela al grano, Aróstegui (1982) afirma que su conocimiento es importante cuando la madera va a ser utilizada para puntales y columnas. Siendo uno de los índices más importante para esta propiedad la resistencia máxima (RM). Asimismo, el esfuerzo al límite proporcional (ELP) en compresión perpendicular es tomada en cuenta cuando la madera va a ser utilizada para transmitir una carga, tal como ocurre con los durmientes.

Con respecto al cizallamiento, el mismo autor lo define como la resistencia que presenta la madera a la acción de dos fuerzas paralelas, pero en direcciones opuestas, señalando que es importante como por ejemplo para la unión de varias piezas en construcciones.

Vargas citado por Ángeles *et al* (2005) define la dureza como la resistencia que opone la madera a la abrasión, desgaste, penetración y la compresión que en ella se ejerce. Para Arroyo (1983) la determinación de esta propiedad permite obtener un índice de la mayor o menor facilidad que puede tener una madera para el aserrado y trabajabilidad.

### 3. CLASIFICACIÓN DE LA MADERA SEGÚN PROPIEDADES MECÁNICAS

Aróstegui (1982) presenta una clasificación para maderas peruanas en condición verde, que clasifica a la madera de bolaina blanca proveniente de bosque natural como una madera de baja resistencia. (Véase Tabla 4)

En las Tablas 5 y 6, se muestran la clasificación propuesta por Dávalos y Bárcenas citado por Pantigoso (2009) para maderas mexicanas en condición verde y seca al aire (CH= 12 por ciento) respectivamente.

**Tabla 4: Clasificación de maderas peruanas según sus propiedades mecánicas**

<i>Flexión Estática</i>		<i>Compresión Paralela</i>	<i>Compresión Perpendicular</i>	<i>Cizallamiento</i>	<i>Dureza</i>		<i>Clasificación</i>
<i>MOR</i>	<i>MOE</i>	<i>RM</i>	<i>ELP</i>	<i>CZ</i>	<i>Extremos</i>	<i>Lados</i>	
<i>(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>(t/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	
< 290	< 55	< 160	< 15	< 45	< 150	< 130	Muy bajo
291 – 500	56 - 80	161-250	16-35	46-65	151 - 300	131-275	Bajo
501– 650	81 – 100	251-310	36-50	66-85	301 – 430	276-400	Medio
651- 900	101 – 125	311-400	51-85	86-110	431-650	401-620	Alto
> 900	> 125	> 400	> 85	> 110	> 650	> 620	Muy alto

*Fuente: Aróstegui (1982)*

**Tabla 5: Clasificación para maderas mexicanas según propiedades mecánicas en condición verde**

<b>Grupo</b>	<b>Flexión Estática (MOR) Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Compresión Paralela (RM) Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Compresión Perpendicular (ELP) Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Dureza (lados) Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Cizallamiento Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Clasificación</b>
<b>I</b>	<300	<120	<10	<100	<30	Muy baja
<b>II</b>	300 -500	120-240	10-40	100-300	30-60	Baja
<b>III</b>	501-800	241-360	41-70	301-600	61-90	Media
<b>IV</b>	801-1000	361-480	71-100	601-900	91-120	Alta
<b>V</b>	>1000	>480	>100	>900	>120	Muy Alta

*Fuente: Dávalos y Bárcenas citado por Pantigoso (2009)*

**Tabla 6: Clasificación para maderas mexicanas según propiedades mecánicas en condición seca al aire (CH=12 %)**

<i>Flexión Estática</i>	<i>Compresión Paralela</i>		<i>Compresión Perpendicular</i>	<i>Cizallamiento</i>	<i>Dureza</i>		<i>Clasificación</i>
	<i>MOR</i>	<i>MOE</i>	<i>RM</i>		<i>ELP</i>	<i>Extremos</i>	
<i>(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>(t/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	
< 550	< 75	< 325	< 35	< 50	< 150	< 160	Muy bajo
551 - 800	76 - 105	325 - 450	36 - 65	51 - 90	151 - 350	161 - 400	Bajo
800 - 1000	106 - 125	451 - 530	66 - 85	91 - 120	351 - 550	401 - 625	Medio
1000 - 1300	126 - 150	531 - 650	86 - 125	121 - 165	551 - 900	625 - 1050	Alto
> 1300	> 150	> 650	> 125	> 165	> 900	> 1050	Muy alto

*Fuente: Dávalos y Bárcenas citado Pantigoso (2009)*



#### 4. VARIABILIDAD DE LA MADERA

Panshin y De Zeeuw (1980), manifiestan que la madera producida por árboles de la misma especie es considerada de manera equívoca como idéntica en todas sus propiedades físicas y mecánicas. Añaden incluso que diferentes piezas de madera son similares sólo dentro de amplios límites; y resaltan la importancia de comprender la variabilidad de la madera para proponer su aptitud de uso.

Los mismos autores han podido establecer que la variabilidad de la madera está relacionada con ciertas características inherentes tales como; cambios en la actividad fisiológica del cambium en relación a la edad, asociados con la variación dentro de árboles de la misma especie; la herencia genética que influye en la forma y crecimiento de los árboles siendo la causa básica para la variación entre ellos. Adicionalmente, Tusset y Duran (1979) mencionan otros factores como los climáticos, edafológicos y condiciones silviculturales a los que denomina externos, los cuales afectan la disponibilidad de agua y nutrientes para el cambium. Este tipo de influencia afecta tanto la variación dentro y entre árboles.

Arroyo (1983) señala otros factores importante como la velocidad de crecimiento, densidad, apariencia y orientación del grano como indicativos fácilmente reconocibles de la variabilidad en las características de la madera; por otro lado, como factores menos evidentes de esta variabilidad están los tipos y organización de las células dentro de los anillos de crecimiento, composición y cantidades de extractivos, orientación de las microfibrillas en las paredes celulares, o el espesor y la estructura de la pared celular siendo estas las que van a provocar diferencias en las propiedades mecánicas, estabilidad dimensional o la durabilidad.

#### **4.1. VARIABILIDAD DE LA MADERA DENTRO DEL ÁRBOL**

Quintana *et al* (2011) indica que la posición de los materiales en el tallo (altura y distancia desde la médula) ejerce influencia sobre las características anatómicas de la madera, las cuales a su vez permiten hacer inferencias respecto al resto de sus propiedades.

Herrera citado por Vega (2011), señala que la variación dentro de un árbol se da en los siguientes aspectos: dimensiones de las células, variaciones de densidad, en la composición química, en las propiedades físicas, en los anillos de crecimiento o entre la madera juvenil y adulta. Por otro lado, esta variabilidad está totalmente relacionada a los cambios de envejecimiento del cambium, y las alteraciones producidas a las condiciones ambientales expuestas del árbol. (Panshin y De Zeeuw, 1980)

Por otro lado, Arroyo (1983) menciona que la variabilidad de los elementos fibrosos y del peso específico de la madera son características de mayor importancia como índices de las propiedades mecánicas. Considera que este tipo de variabilidad es ocasionado por una serie de elementos interrelacionados en la estructura de la madera que puede ser dividido en madera juvenil y madera adulta. Relacionó una serie de curvas de longitud de fibras, peso específico, propiedades mecánicas y contenido celulosa, con la posición respecto a la médula a cualquier altura del árbol, donde todas siguieron un mismo patrón cuando se descartaron los factores ambientales.

Zobel y Van Buijtenen (1989) resumen que en el árbol existen algunos patrones de variación que son de gran importancia. El primero son las diferencias que se presentan dentro de un mismo anillo de crecimiento. El segundo se refiere a los cambios que ocurren a medida que avanzamos desde la médula hacia la corteza y el tercero es el asociado a las diferencias que se producen a diferentes niveles de altura.

Fachin citado por Jost (2006) señala que se presenta una variación de las propiedades mecánicas en relación con la altura del árbol. Así pues, la compresión perpendicular, el cizallamiento y la dureza aumentan con la altura, mientras que la compresión paralela y la flexión estática por el contrario disminuyen.

Por otro lado, Patiño (2002) en una investigación de las propiedades mecánicas de la *Simauroba amara* concluye que el factor nivel de corte influye sobre un mayor número de propiedades al incrementarse la edad del árbol.

#### **4.2. VARIABILIDAD ENTRE LOS ÁRBOLES DE UNA MISMA ESPECIE**

Panshin y De Zeeuw (1980) señalan que la variabilidad entre árboles de una misma especie puede ser mayor o menor que dentro de ellas mismas.

Arroyo (1983) menciona que la variabilidad entre árboles de una misma especie resulta de las variaciones del cambium producidos por la edad y modificadas por los cambios en condiciones de crecimiento. Asimismo, aquella variabilidad resultante de factores genéticos la posible entre árboles aún dentro de casi idénticas condiciones de sitio.

El mismo autor indica que las condiciones de crecimiento hacen referencia a los tratamientos silviculturales y condiciones de sitio (factores geográficos y climáticos) y que pueden producir efectos considerables en las características de la madera.

Con respecto a los tratamientos silviculturales, Arroyo (1983), señala que la manipulación del espaciamiento entre árboles (distanciamiento de siembra y posterior aclareo) y la estimulación mediante el suministro de nutrientes y agua, son los factores que tienen mayor efecto sobre algunas propiedades mecánicas.

En cuanto a la condición de sitio, el mismo autor menciona que este factor puede producir grandes modificaciones en las características de la madera, entre árboles y dentro de los árboles de la misma especie. Como por ejemplo, en una investigación realizada por Riesco et al (2006) para la madera de *Quercus robur L.* de la zona de Galicia concluyeron que las características ambientales más influyentes en el peso específico fueron el relieve y la localización geográfica.

Kokutse citado por Rodriguez et al (2014) afirma que la calidad de sitio donde se desarrolla la planta juega un papel importante en la formación de duramen, en el módulo de elasticidad y contenido de humedad de la madera. Asimismo, Bhat y Priya (2004) indican que las variaciones de las propiedades mecánicas de una madera de rápido o lento crecimiento pueden deberse a la procedencia, y sugieren que la región geográfica influye en el grosor de la pared celular y las propiedades físico-mecánicas.

Según la investigación realizada por Rodriguez et al (2014) para las plantaciones comerciales de “teca” de tres edades diferentes (9,15 y 21 años) y distintos lugares, concluyeron que la edad y procedencia influenciaron en la densidad y las propiedades mecánicas de la madera (flexión estática, compresión longitudinal, cizallamiento y dureza), sin observarse una tendencia lineal que permita establecer un modelo de interrelación.

## **5. EFECTO DE LA ANATOMÍA DE LA MADERA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS**

Kollman, Panshin y de Zeeuw citados por Dávalos *et al* (2005) señalan que las propiedades de la madera son el reflejo de su estructura interna. Así pues, las diferencias en las propiedades mecánicas pueden obedecer a razones menos evidentes, tales como tipo y organización de las células dentro de los anillos de crecimiento, composición y cantidades de extractivos, orientación de las microfibrillas en las paredes celulares, o el espesor y la estructura de la pared secundaria (Arroyo, 1983).

Asimismo, Haygreen y Bowyer (1982) indican que las propiedades físicas y mecánicas están determinadas por tres características fundamentales, la porosidad o proporción de los espacios vacíos, que puede estimarse midiendo la densidad; la organización de la estructura celular, que influye en los diferentes tipos de células en función de las especies, y el contenido de humedad.

Espinoza y León (1993) indican que una de las características anatómicas con mayor influencia en el comportamiento de la madera es el grosor de las paredes de las fibras. Asimismo manifiestan que las propiedades mecánicas son el resultado de la interacción de varias características estructurales y anatómicas. Por ejemplo, observaron que en aquellas especies donde la pared de las fibras es más gruesa presentan mejores respuestas, y en cuanto a su longitud, ejerce un papel importante cuando se aplican esfuerzos en dirección paralela al grano; mientras las que presentan altas cantidades de tejido parenquimático, radios anchos y altos, tienden a desarrollar propiedades de menor resistencia.

Por otro lado, Ángeles *et al* (2005) en estudio realizado para maderas de angiospermas mexicanas concluye que la abundancia de las fibras afecta a la resistencia a la flexión y compresión, y esta última puede ser afectada en mayor escala por la abundancia, talla y disposición de los radios. Mientras que, para la dureza es afectada por el volumen de vasos y parénquima presentes en la madera.

## **6. EFECTO DE LA MADERA DE TENSIÓN EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS**

Jacob citado por Chaves y Serrano (2004) define a las tensiones de crecimiento como las fuerzas encontradas en los tallos en condición verde, sin considerar las tensiones debidas al peso de la copa del árbol, ni la tensión de la savia. Tienen su origen en el crecimiento de las células que produce el cambium y que durante su proceso de envejecimiento tienden a expandirse transversalmente y a contraerse longitudinalmente lo que, al ser impedido por las células formadas en años anteriores, genera un conjunto de tensiones (Touza, 2001).

Chaves y Serrano (2004) mencionan que la presencia de tensiones de crecimiento en el árbol ayuda a reorientar los tallos y ramas. Es así que ejemplifican, que cuando se presenta una zona de madera de reacción, usualmente la misma presenta altos niveles de tensiones de crecimientos longitudinales, lo que permite que los árboles inclinados procuren la posición vertical. Esto es afirmado por Touza (2001) que señala tensiones de crecimiento son un indicador de la existencia de madera de reacción cuyas características anatómicas presentan importantes variaciones respecto a las de la madera normal.

Panshin y De Zeeuw (1980) define la madera de reacción como un tejido xilemático que se produce en los tallos inclinados y en los lados superiores e inferiores de las ramas. Además, Arroyo (1983) añade la presencia de médula excéntrica en trozas de este tipo de madera debido a un mayor crecimiento en uno de sus lados. La madera de reacción se encuentra presente en coníferas y latifoliadas, denominándose madera de compresión y de tensión respectivamente (Haygreen y Bowyer, 1982).

Este tipo de madera en latifoliadas, generalmente se forma en la parte superior de los tallos inclinados, donde la zona de crecimiento es más rápida; y muy pocos en la parte inferior, ambos casos como respuesta natural del árbol a enderezar su tallo. Asimismo, existen algunos casos donde se distribuye irregularmente alrededor de la sección transversal (Panshin y De Zeeuw, 1980). Entre otras modificaciones, Hughes citado por Touza (2001) señala que las fibras que forman madera de tensión suelen reducir el número de capas presentes en la pared celular secundaria y añadir una nueva capa “gelatinosa” no lignificada denominada “capa G”. Lo que puede generar como por ejemplo, unos coeficientes de hinchazón en sentido longitudinal y transversal anormalmente elevados que limitan su procesado (Boyd citado por Touza, 2001).

En las especies tropicales hay evidencia de que este tipo de madera también se puede formar en árboles que no están inclinados, como un medio para orientar la copa para obtener luz suficiente en el bosque denso (Arroyo, 1983).

Este mismo autor, indica que la madera de tensión es más densa que la madera normal; y los elementos estructurales (viga, columnas, etc.) que la contienen presentan mayor tendencia a presentar defectos en el secado como torceduras y colapso. La madera de tensión en relación a las propiedades mecánicas presenta valores inferiores en compresión paralela al grano, compresión perpendicular, módulo de ruptura, cizallamiento y módulos de elasticidad en flexión estática (Arroyo, 1983).

## 7. EFECTO DE LA MADERA JUVENIL EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Rendle citado por Arroyo (1993) define a la madera juvenil como “el xilema secundario formado en los primeros años de vida del árbol caracterizado anatómicamente por un incremento progresivo en sus dimensiones y cambios correspondientes de forma, estructura y disposición de las células en los sucesivos incrementos de crecimiento”.

Panshin y De Zeeuw (1980) sostienen que la madera juvenil y madura deben considerarse como dos poblaciones en el mismo árbol. La madera madura posee características que son consideradas normales para las especies, mientras que la madera juvenil tiene características estructurales y físicas inferiores a las de la madera madura del mismo árbol. Por regla general la baja calidad de la madera juvenil es más marcada en coníferas que en latifoliadas.

Algunas de las características de la madera juvenil, en comparación con la madera adulta son: longitud de la fibra más corta, diámetro de la célula menor, espesor de la pared celular más delgada, proporciones de fibras mayores, proporciones de los vasos más bajos, contenido de holocelulosa mayor y el ángulo de fibrillas mayor, siendo este último considerado por varios autores el que presenta mayor influencia en las propiedades de la madera. (Langum *et al.*, 2009).

La madera juvenil es particularmente importante en las maderas blandas de crecimiento rápido y puede comprender la mayor parte del volumen de los aclareos, y aún más en plantaciones de rotaciones cortas. Tecnólogos de la madera señalan que este tipo de madera es poco requerida por su baja densidad, pues presenta valores bajos de resistencia, demanda mayor control de distorsión y muestra acabados pobres (Pearson y Gilmore, citado por Cown, 1992).

A la actualidad se han realizado diversos ensayos en madera juvenil, como el caso de la *Tectona grandis* (teca), que presentaron un MOE y MOR de 85 y 82 por ciento, respectivamente, del valor de la madera madura (Bhat *et al.* 2001). Otras investigaciones realizadas en *Abies alba* (abeto) mostraron una disminución en el MOE y MOR con el aumento de altura en el árbol y con mayor porcentaje global de madera juvenil (Langum *et al.* 2009).

## 8. EFECTO DEL RALEO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA

Hawley y Smith (1972), sostienen que el raleo representa la manera fundamental por la que el forestal puede controlar la calidad y la cantidad de la madera producida por un árbol. Es una actividad que se realiza en los primeros años de vida de la plantación, que permite mejorar las condiciones de crecimiento de los árboles remanentes en el desarrollo de sus raíces y copas, lo que favorece su crecimiento en diámetro y la posibilidad de alcanzar rápidamente un tamaño comercial (Galloway citado por López, 2012).

Sin embargo, Haygreen y Browyer (1982), indican que hay que tomar preocupación en la intensidad de raleo a realizar, pues este ocasiona crecimientos rápidos que permiten el aumento en la proporción de la madera juvenil y madera de reacción, presentando variación en la densidad y por consiguiente en sus propiedades mecánicas.

En particular para el caso de coníferas, Laserre citado por Cueto et al (2013) observaron que para densidades de plantación de 833 árboles/ha, los valores de MOE fueron menores que para densidades de 2500 árboles/ha para *Pinus radiata* de 11 años. Por el contrario, para *Eucaliptus grandis* según Cueto et al (2013) no se observaron diferencias significativas en los valores de MOE y MOR al realizar diferentes intensidades de raleo.



### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **1. MATERIALES Y EQUIPOS**

##### **1.1. MATERIALES**

- Datos de las propiedades mecánicas obtenidas de los estudios realizados a la madera de raleo comercial de plantaciones de *Guazuma crinita Mart.* (bolaina blanca) de cuatro, cinco y seis años.

##### **1.2. EQUIPOS**

- Computadora portátil Marca ASUS, modelo X550L

#### **2. MÉTODOLOGÍA**

##### **2.1. ÁREA DE ESTUDIO**

Los datos registrados de las propiedades mecánicas de madera de raleo comercial de bolaina blanca, se obtuvieron de estudios realizados en plantaciones forestales de edades diferentes (cuatro, cinco y seis años) pertenecientes a la empresa RAMSA S.A.C y ubicadas en el sector Maquizapallo, con una extensión de 287,63 ha, en la provincia de Puerto Inca, departamento de Huánuco. El sector presenta temperaturas medias y anuales que están comprendida entre los 22° C y los 25 °C; teniendo como temperatura máxima y mínima en promedio de 33° C y 11°C respectivamente. La humedad relativa promedio de 84% y precipitación anual promedio de 2300 mm.

El área se ubica en la zona ecológica de bosque húmedo tropical, entre los 250-2230 msnm, presentando un relieve de montañas, colinas altas y bajas.

## 2.2. RECOLECCIÓN DE DATOS

Se recolectó datos de ensayos mecánicos provenientes de la base de datos del 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) obtenida de tres investigaciones anteriores, donde se evaluaron las propiedades mecánicas de la madera de raleo proveniente de las plantaciones de bolaina blanca de diferentes edades (cuatro, cinco y seis años).

Asimismo, se recopiló información general acerca de las características de las plantaciones, selección y colección de muestras, obtención de probetas y los métodos utilizados para la determinación de las propiedades mecánicas. A continuación en la Tabla 7 se muestra la procedencia de los datos utilizados para el presente estudio:

**Tabla 7: Investigaciones utilizadas para el análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera de raleo provenientes de plantaciones de bolaina blanca de tres edades.**

<i>Proyecto de Investigación</i>	<i>Año</i>	<i>Autor</i>
"Propiedades mecánicas en madera de raleo procedente de plantaciones de cuatro años de <i>Guazuma crinita Martius</i> (Bolaina Blanca)-Huánuco"	2016	Urbina Ramos, Lesly
"Propiedades mecánicas de la madera de <i>Guazuma crinita</i> proveniente de un raleo comercial de plantaciones de 5 años en Puerto Inca-Perú"	2017	Robles Zaga, Julio César
"Propiedades mecánicas de madera de raleo de 6 años provenientes de plantaciones de <i>Guazuma crinita</i> en Puerto Inca-Huánuco"	2017	Aguilar Ruiz, Juan Carlos

*Fuente: Elaboración propia*

### **2.3. PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Para realizar dicho procesamiento se empleó el software Microsoft Excel para Windows y respecto al análisis estadístico de los resultados, se utilizó el SPSS 22.0 y el software libre R para Windows.

Se realizó una sistematización de los datos debido a que se utilizaron resultados de investigaciones con diseños y cantidad de probetas diferentes. Se ordenó con la finalidad de obtener una base de datos adecuada para un modelo comparativo. Por tal motivo, se determinó evaluar las propiedades mecánicas de flexión estática y compresión paralela a nivel basal y medio, por contar con muestra suficiente de datos. Sin embargo, para la compresión perpendicular, cizallamiento y dureza solo se consideró el nivel basal.

Por otro lado, se efectuó un análisis básico de los datos antes de la ejecución del análisis propiamente dicho; empleando cuadros y gráficos, así como la obtención de medidas estadísticas descriptivas: medias, límites de intervalos de confianza (95%), mediana, desviación estándar, coeficiente de variabilidad, valores mínimos y máximos para cada una de las propiedades mecánicas según edad de plantación y nivel de corte.

Para realizar las pruebas estadísticas correspondientes, se analizaron tres edades (cuatro, cinco y seis años) y dos niveles de corte (basal y medio); considerando a las edades como un factor A y a los niveles de corte como un factor B, configurando un diseño factorial en DCA de  $3A \times 2B$  y teniendo en cuenta los árboles como repeticiones. Se realizó un análisis de varianza multivariado (MANOVA) para los ensayos mecánicos de flexión estática y compresión paralela, debido a las correlaciones de las variables respuestas. Así mismo, para la validación de la prueba estadística, se cumplió con los supuestos de normalidad multivariada (prueba de Shapiro-wilk) e igualdad de varianzas-covarianzas (Prueba de box); y la correlación de variables respuesta mediante la prueba de esfericidad de Bartlett.

De otro lado, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para los ensayos mecánicos de compresión perpendicular, dureza y cizallamiento para determinar si existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las propiedades de la madera por factor. En caso de significancia, se utilizará la prueba de Tukey para la comparación de medias por nivel.

Igualmente, se realizó la validación para la prueba estadística ANOVA, utilizando la prueba de Shapiro-Wilk para verificar la normalidad del error y las pruebas de Bartlett Test y NCV Test para la homogeneidad de varianzas. No obstante, en caso de que no se cumplieran con los supuestos del modelo se rectificó transformando la variable respuesta (propiedad mecánica) mediante la prueba Box-Cox para realizar el análisis estadístico respectivo.

## **IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. INFORMACIÓN GENERAL**

De la recopilación de información sobre las investigaciones de las propiedades mecánicas de la madera de raleo de las plantaciones de bolaina blanca de cuatro, cinco y seis años se describe lo siguiente:

#### **4.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS PLANTACIONES**

Con respecto, a la procedencia de la madera de raleo de bolaina blanca en la Tabla 8 se describe las características principales de las plantaciones utilizadas para el presente estudio:

**Tabla 8: Característica de la plantación de bolaina blanca**

<b>Características</b>	<b>INFORMACIÓN DE LA PLANTACIÓN</b>		
	<b>4 años (A)</b>	<b>5 años(B)</b>	<b>6 años(C)</b>
<b>Fecha de la plantación</b>	Año 2009	Año 2008	Año 2007
<b>Área</b>	24,04 ha	24,04 ha	24,04 ha
<b>Tipo de plantación</b>	A campo abierto, distanciamiento de 3 m x 3 m		
<b>Topografía y suelo</b>	Colina baja, altitud entre los 80 - 150 m y pendientes entre 4 - 8 %.El suelo presenta valores de pH de 6,50 a 5,0 en los primeros 60 cm.	Colina baja, altitud entre los 80 - 150 m y pendientes entre 4 - 8 %.El suelo presenta valores de pH de 6,50 a 5,0 en los primeros 60 cm.	Colina alta, altitud de 150 a 300 metros, pendientes 15-25%. El suelo presenta valores de pH de 5 a 6.5 en los primeros 60 cm.
<b>Calidad</b>	ALTA	ALTA	MEDIA
<b>Mantenimiento</b>	Segundo raleo, según requerimiento de la plantación .Control general de maleza de 2 a 3 veces por año según requerimiento de la plantación		
<b>DAP promedio</b>	11,6	13,0	14,2
<b>Altura comercial</b>	9,5	13,8	14,8
<b>Altura total</b>	12,8	17,0	17,0
<b>DAP promedio</b>	11,6	13,0	14,2
<b>Altura comercial</b>	9,5	13,8	14,8
<b>Altura total</b>	12,8	17,0	17,0

Fuente: (A) Urbina (2016); (B) Robles (2017); (C) Aguilar (2017)

#### 4.1.2. SELECCIÓN Y COLECCIÓN DE ÁRBOLES

La selección y colección de muestras provenientes de madera de raleo de las plantaciones de tres edades destinada para los ensayos fueron realizados según 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, donde se considera 5 árboles como mínimo de muestra.

La identificación y selección de árboles para el raleo, se realizaron según información de crecimiento, estado sanitario y calidad de fuste brindada por el área de evaluación y monitoreo de plantaciones. En la Tabla 9, se aprecia las características de los diámetros promedios de las trozas seleccionadas para la realización de los ensayos de las propiedades mecánicas, esto dependió de la altura de los árboles y características de calidad de fuste. Asimismo para el presente estudio se consideró el nivel basal y medio por ser los más representativos de los datos evaluados.

**Tabla 9: Dimensiones promedios de las trozas seleccionadas para la determinación de las propiedades mecánicas**

<i>Edad de la Plantación</i>	<i>Troza</i>	<i>Longitud (m)</i>	<i>Diámetros promedio (cm)</i>	
			<i>Mayor</i>	<i>Menor</i>
<b>4 años (A)</b>	Basal	3,2	13,4	11,7
		2,5	12,0	10,2
<b>5 años (B)</b>	Media	2,5	10,7	8,9
	Basal	3,2	13,7	11,9
<b>6 años (C)</b>	Media	2,5	11,9	10,0
	Basal	3,5	14,9	13,2
	Media	3,0	13,4	12,4

*Fuente: (A) Urbina (2016); (B) Robles (2017); (C) Aguilar (2017)*

#### 4.1.3. OBTENCIÓN DE PROBETAS:

Las trozas obtenidas de los árboles raleados fueron convertidas en viguetas de diferentes dimensiones, las cuales se utilizaron en la preparación de probetas para los ensayos mecánicos. La codificación de las probetas fueron según número de árbol, nivel de corte (basal, medio) y número de troza. En la Tabla 10, se indica las dimensiones de las viguetas y probetas utilizadas. En el anexo 1 se muestra la cantidad de probetas para cada ensayo.

**Tabla 10: Dimensiones de viguetas y probetas utilizadas para la determinación de las propiedades mecánicas**

<i>Dimensión inicial</i>		<i>Dimensión final</i>		<i>Ensayo mecánico</i>
<i>Vigueta</i>		<i>Probeta</i>		
<i>cm</i>	<i>"</i>	<i>cm</i>	<i>"</i>	
7,0 x 7,0	2½ x 2½	5,0 x 5,0	2 x 2	Compresión perpendicular
				Dureza
				Cizallamiento
3,5 x 3,5	1¼ x 1¼	2,5 x 2,5	1 x 1	Flexión Estática
				Compresión paralela
				Tenacidad

*Fuente: Elaboración propia*



#### 4.1.4. MÉTODOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Se recopiló la información procedente de los ensayos de propiedades mecánicas (flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular, dureza y cizallamiento) realizados según Normas Técnica Peruana, las cuales se muestran en el siguiente cuadro:

**Tabla 11: Ensayos de propiedades mecánicas según NTP**

<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>	<b>NORMA</b>
Método de ensayo de flexión estática	NTP 251.017.2014
Método de determinación de compresión paralela al grano	NTP 251.014.2014
Método de determinación de compresión perpendicular al grano	NTP 251.016.2015
Método de determinación de cizallamiento paralelo al grano	NTP 251.013.2015
Método de determinación de dureza	NTP 251.015.2014

*Fuente: Elaboración propia*

## 4.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

Los resultados para el presente estudio de las propiedades mecánicas de la madera de raleo de la especie bolaina blanca procedentes de tres edades (cuatro, cinco y seis años) y niveles de corte (basal y medio) se evaluaron en base a su condición seca al aire. En la Tabla 12, se presenta los resultados de los valores promedios del contenido de humedad y peso específico en que se realizaron los ensayos mecánicos.

En las Tablas 13,14, 15,16, 17 y 18 se presentan los valores estadísticos descriptivos que incluyen el promedio, valores máximos y mínimos, desviación estándar, coeficiente de variación y los intervalos de confianza al 95 por ciento, para las diferentes propiedades mecánicas de acuerdo a su edad y nivel de corte.

En la Tabla 21 y 22, se muestra la significancia tanto del factor edad como el factor nivel para cada una de las propiedades mecánicas, así como la ocurrencia de la interacción entre ambos factores.

**Tabla 12: Valores promedios del peso específico y contenido de humedad para las propiedades mecánicas**

<b>Propiedades Mecánicas</b>	<b>Nivel de corte</b>	<b>4 años</b>		<b>5 años</b>		<b>6 años</b>	
		<b>Peso Específico</b>	<b>CH%</b>	<b>Peso Específico</b>	<b>CH%</b>	<b>Peso Específico</b>	<b>CH%</b>
<b>Flexión estática</b>	<b>1</b>	0,38	13,7	0,30	14,0	0,35	11,3
	<b>2</b>	0,31	13,4	0,30	13,7	0,30	11,2
<b>C. Paralela</b>	<b>1</b>	0,38	13,5	0,30	14,1	0,35	12,1
	<b>2</b>	0,33	13,0	0,30	13,6	0,32	12,0
<b>C. Perpendicular</b>	<b>1</b>	0,30	14,7	0,34	13,0	----	13,7
<b>Dureza</b>	<b>1</b>	0,3	14,5	0,30	14,1	0,32	12,7

*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.2.1. FLEXIÓN ESTÁTICA**

Con relación a los valores promedios del ELP, MOR y MOE para las tres edades según los niveles de corte; el nivel basal presenta los mayores promedios en comparación al nivel medio (véase Tabla 13 y 14). Esto es debido que existe una variabilidad de las propiedades de la madera a diferentes alturas del árbol (Zobel, 1989) y que la resistencia a la flexión estática disminuye con las mismas (Fachin citado por Jost ,2006). Asimismo, se puede observar de manera gráfica esta diferencia entre los niveles en las Figuras 1,2 y 3.

Por otro lado, se observa que los valores promedios para la flexión estática varían con respecto a la edad. Esto es afirmado por Arroyo (1983) que menciona que la variabilidad de las propiedades de la madera entre árboles de una misma especie se debe a las condiciones de crecimiento por efecto de la edad. Asimismo, Rodríguez *et al* (2014) en su estudio para la *Tectona grandis* (teca) que esta variabilidad de la madera es causada por la edad y lugar de procedencia.

Cada esfuerzo presenta distinto comportamiento, se observa que los valores de ELP en el nivel basal y medio presentan diferencias marcadas con la edad, visto que la plantación de cuatro años presenta valores mayores en comparación al resto (334,3 kg/cm<sup>2</sup> y 234,1kg/cm<sup>2</sup> respectivamente). Por el contrario, para el MOR se presenta valores similares a nivel basal para las tres edades en comparación a los valores del nivel medio en donde se observa incremento significativo para la plantación de cinco años (412,4 kg/cm<sup>2</sup>), es decir la madera a esa edad soporta la mayor carga a la rotura.

Con respecto al MOE, este esfuerzo presenta valores promedios similares para las tres edades tanto en nivel basal y como nivel medio.

En la Figura 4, se observa los valores promedios para los esfuerzos para la flexión estática que presenta una disminución de la resistencia con la edad (ELP y MOR). Es posible que, como lo mencionan Arroyo (1983) y Bhat y Priya (2004), esta diferencia sea causada la condición de sitio (calidad de sitio y fisiografía). Considerando que, las plantaciones de cuatro y cinco años presenta la misma fisiografía y calidad de sitio (colina baja y calidad alta) en comparación a la colina alta y calidad de sitio medio que presenta la plantación de seis años.

Es probable también que la madera de raleo de la edad de seis años presente mayor proporción de madera de tensión por presentar valores promedios bajos en flexión estática.

**Tabla 13: Estadística descriptiva de los esfuerzos de flexión estática para la madera de raleo de bolaina blanca del nivel basal según edad**

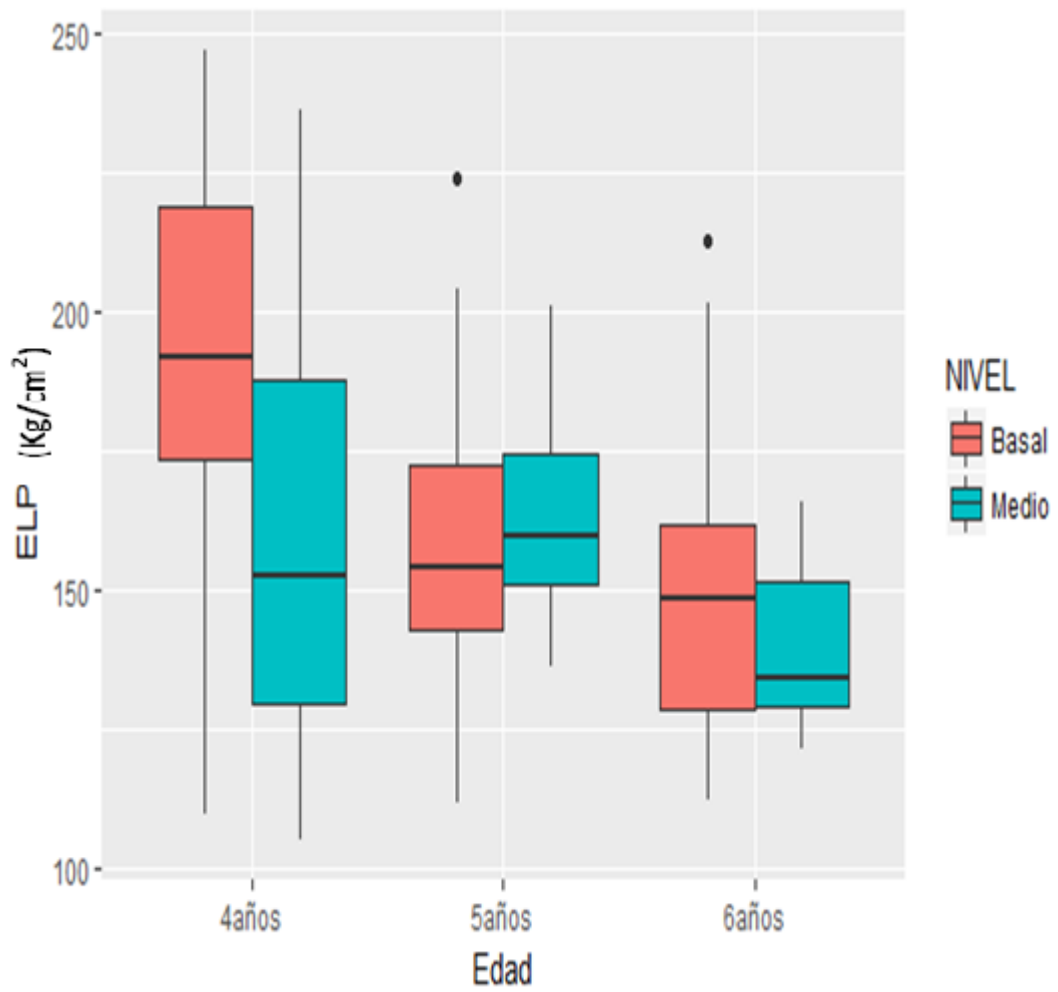
<b>Nivel Basal</b>		<b>Flexión Estática (kg/cm<sup>2</sup>)</b>								
		<b>Esfuerzo al Límite Proporcional (ELP)</b>			<b>Módulo de Rotura (MOR)</b>			<b>Módulo de Elasticidad (MOE)x103</b>		
<b>Edad</b>		<b>4 años</b>	<b>5 años</b>	<b>6 años</b>	<b>4 años</b>	<b>5 años</b>	<b>6 años</b>	<b>4 años</b>	<b>5 años</b>	<b>6 años</b>
<b>Media</b>		334,3	313,9	216,4	489,1	456,1	449,8	69,4	65,3	66,6
<b>Máximo</b>		389,4	394,5	286,6	591,2	566,3	633,0	81,9	80,6	110,2
<b>Mínimo</b>		291,3	241,4	159,4	409,3	289,8	237,6	58,0	43,7	42,4
<b>Desviación estándar</b>		27,6	36,1	37,4	46,9	71,0	102,1	6,3	9,4	15,8
<b>Coefficiente de variación (%)</b>		8,3	11,5	17,3	9,6	15,6	22,7	9,0	14,5	23,8
<b>95% de intervalo confianza</b>	<b>Lím inf.</b>	322,6	298,7	200,6	469,2	426,1	406,7	66,8	61,4	59,9
	<b>Lím sup.</b>	345,9	329,2	232,2	508,9	486,1	492,1	72,1	69,3	73,3

Fuente: Elaboración propia

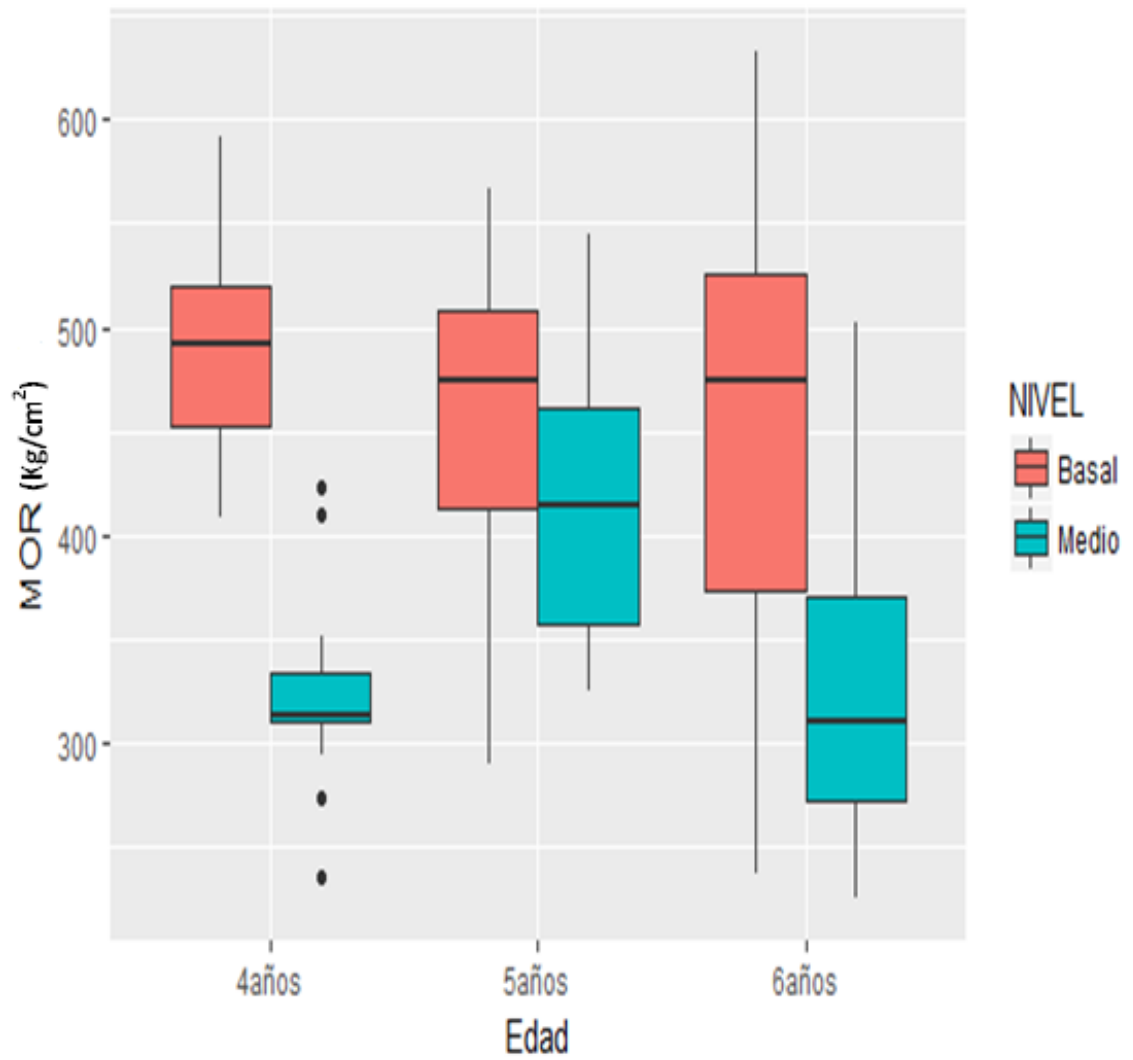
**Tabla 14: Estadísticos descriptivos de los esfuerzos de flexión estática para la madera de raleo de bolaina blanca del nivel medio según edad**

<b>Nivel Medio</b>	<b>Flexión Estática (kg/cm<sup>2</sup>)</b>									
	<b>Esfuerzo al Límite Proporcional (ELP)</b>			<b>Módulo de Rotura (MOR)</b>			<b>Módulo de Elasticidad (MOE)x1000</b>			
<b>Edad</b>	<b>4 años</b>	<b>5 años</b>	<b>6 años</b>	<b>4 años</b>	<b>5 años</b>	<b>6 años</b>	<b>4 años</b>	<b>5 años</b>	<b>6 años</b>	
<b>Media</b>	234,1	280,1	153,7	324,6	412,4	329,3	50,6	63,4	59,8	
<b>Máximo</b>	282,3	343,7	213,4	423,2	514,2	502,3	61,9	82,3	80,0	
<b>Mínimo</b>	154,2	233,3	92,7	236,0	325,2	225,2	31,9	48,4	41,9	
<b>Desviación estándar</b>	33,5	28,2	40,3	46,5	61,2	74,2	7,0	9,4	9,9	
<b>Coeficiente de variación (%)</b>	14,3	10,1	26,2	14,3	14,8	22,5	13,9	14,8	16,6	
<b>95% de intervalo confianza</b>	<b>Lím inf.</b>	215,5	268,2	135,4	298,8	386,6	295,6	46,6	59,4	55,2
	<b>Lím sup.</b>	252,6	292,0	172,1	350,4	438,3	363,1	54,5	67,4	64,3

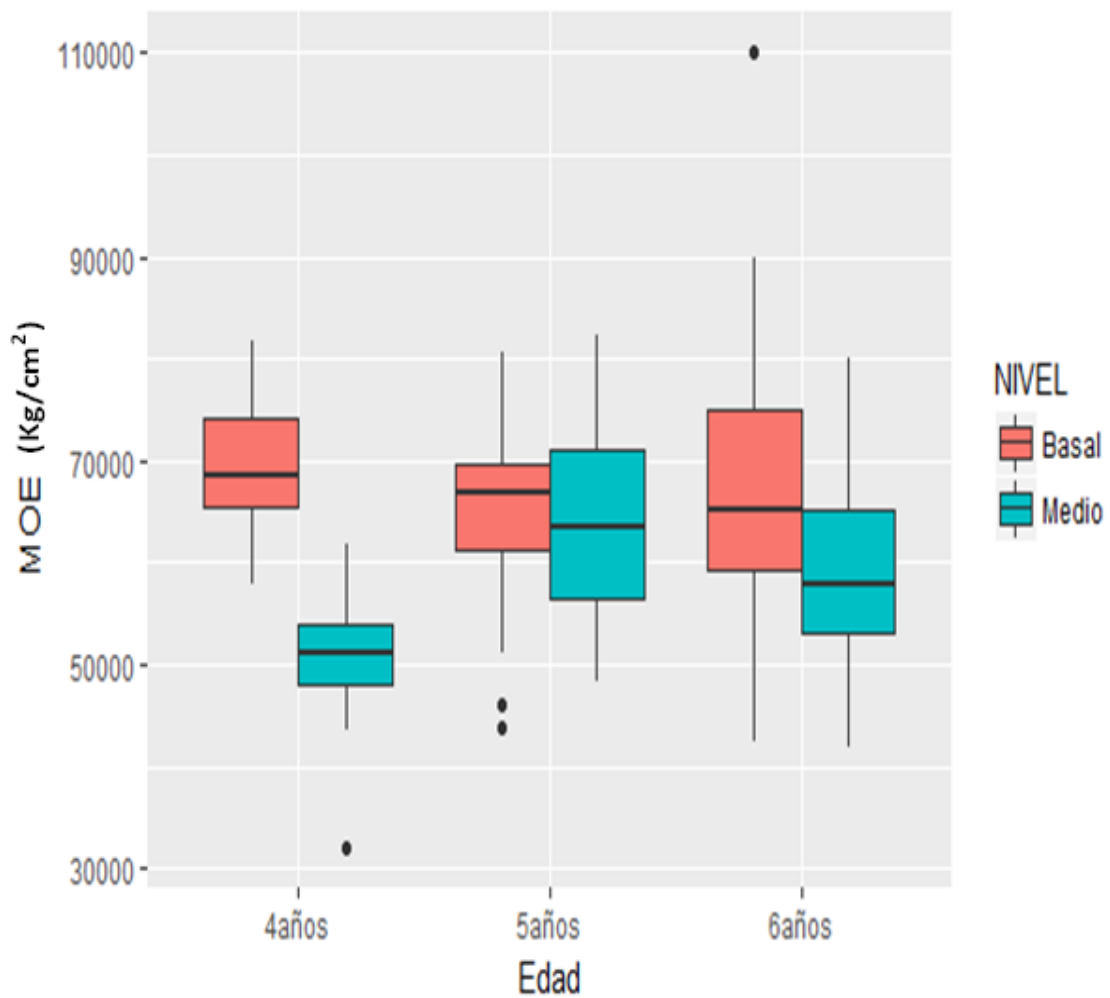
Fuente: Elaboración propia



**Figura 1:** Esfuerzo al límite proporcional (ELP) en flexión estática para la madera de raleo de Bolaina blanca según edad y nivel de corte



**Figura 2:** Módulo de Rotura (MOR) en flexión estática para la madera de raleo de Bolaina blanca según edad y nivel de corte



**Figura 3: Módulo de Elasticidad (MOE) en flexión estática para la Madera de raleo de Bolaina blanca según edad y nivel de corte**



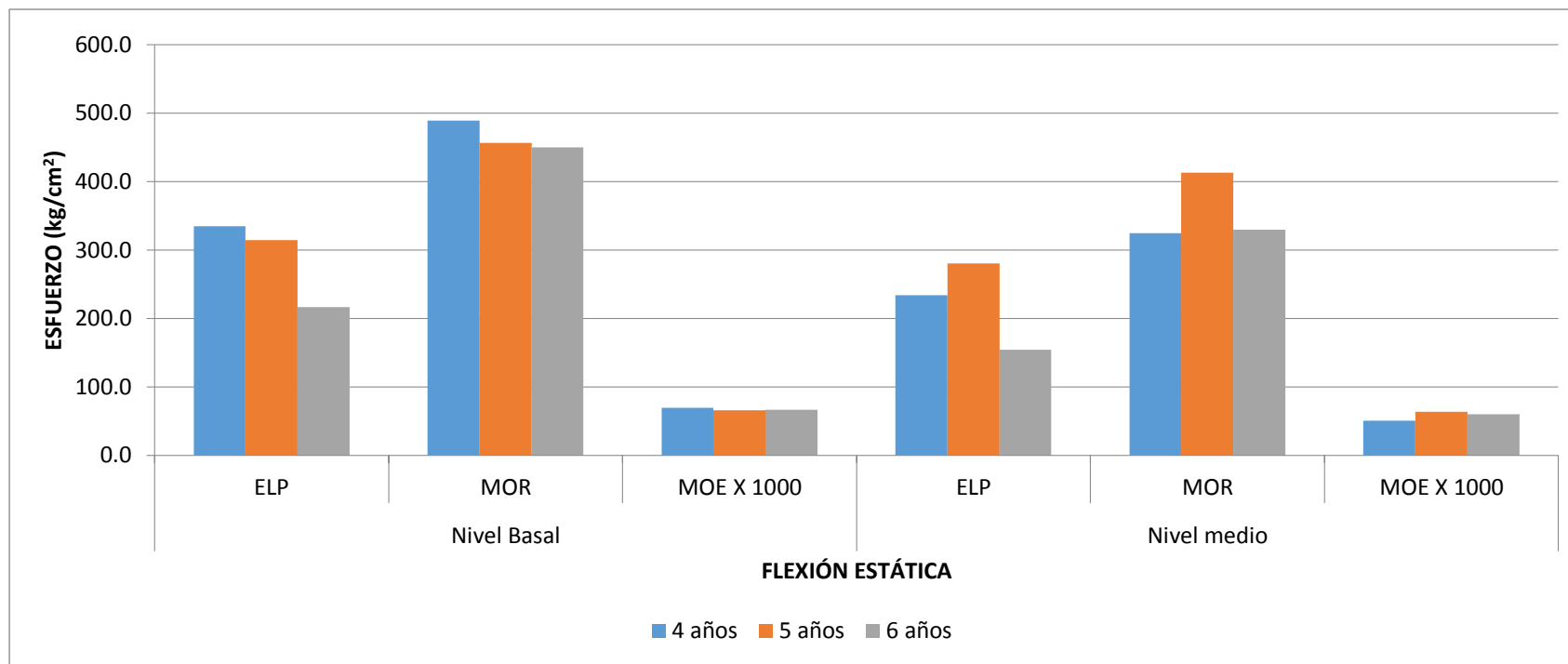


Figura 4: Valores promedios de los esfuerzos de flexión estática para la madera de raleo de bolaina blanca según edad y nivel de corte

#### 4.2.2. COMPRESIÓN PARALELA

En las Tablas 15 y 16, se observan que los valores medios de la compresión paralela del nivel basal son mayores que el nivel medio para ELP y RM. Esto es afirmado por Patiño (2002) quien concluye que el factor nivel de corte influye sobre un mayor número de propiedades al incrementarse la edad del árbol. Estas diferencias se pueden observar en las Figuras 5,6y 7 que muestra que el comportamiento de los esfuerzos para compresión paralela de la madera de raleo disminuyen a la edad de seis años, esto causado por la posible presencia de madera de tensión que genera baja resistencia en compresión paralela (Arroyo 1983).

Con respecto al ELP este observa una diferencia marcada entre los valores promedios según la edad, presentando para la plantación de cuatro años los promedios más alto para nivel basal y medio (19,0 kg/cm<sup>2</sup> y 157,5 kg/cm<sup>2</sup>) en comparación a la plantación de seis años que se da los promedios más bajos para el nivel basal y medio (148,8 kg/cm<sup>2</sup> y 140,6 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente). Por otro lado, el valor más bajo para el MOE se da en el nivel basal para la plantación de seis años (69,2 kg/cm<sup>2</sup>). Por el contrario, para el RM se muestra valores promedios similares para las tres edades (ver Figura 8).

**Tabla 15: Estadísticos descriptivos de la compresión paralela para la madera de raleo de Bolaina blanca del nivel basal según edad**

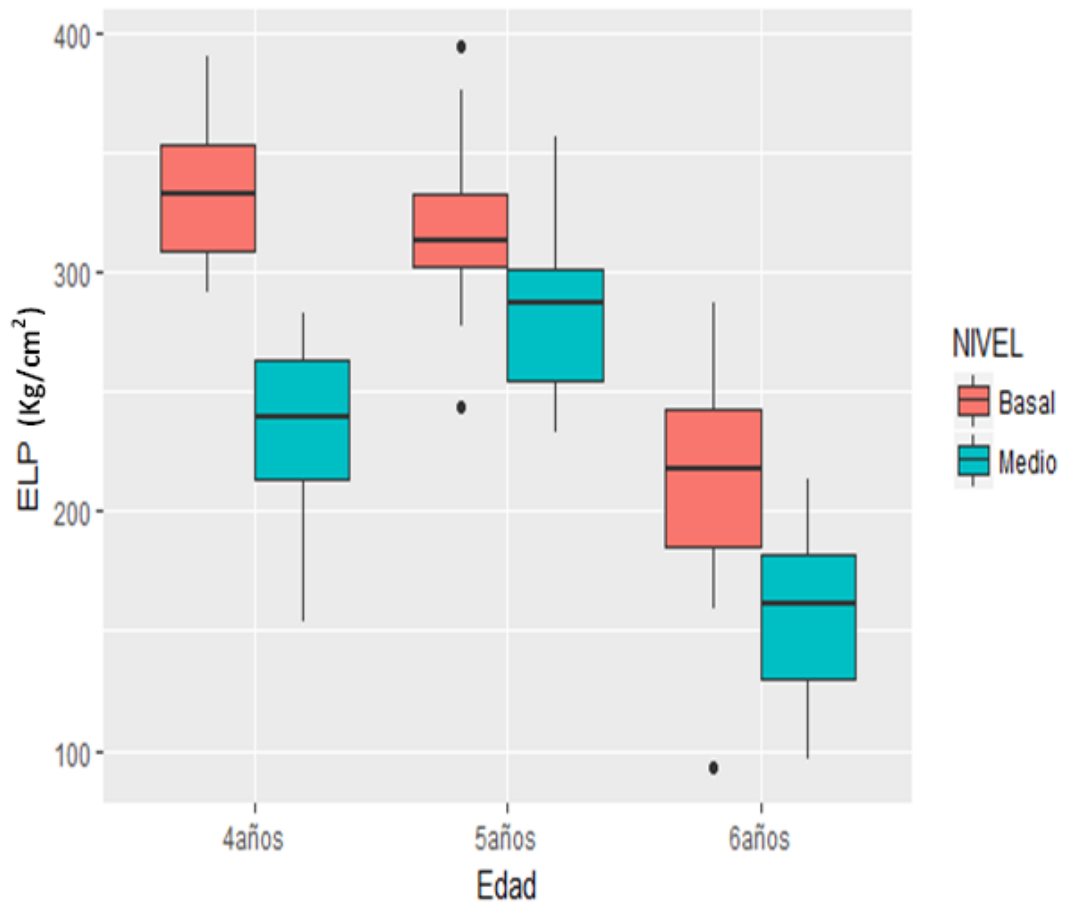
<b>Nivel Basal</b>		<b>Compresión paralela (kg/cm<sup>2</sup>)</b>								
		<b>Esfuerzo al Límite Proporcional (ELP)</b>			<b>Resistencia Máxima (RM)</b>			<b>Módulo de Elasticidad (MOE)x1000</b>		
<b>Edad</b>		<b>4 años</b>	<b>5 años</b>	<b>6 años</b>	<b>4 años</b>	<b>5 años</b>	<b>6 años</b>	<b>4 años</b>	<b>5 años</b>	<b>6 años</b>
<b>Media</b>		191,0	158,6	148,8	232,1	230,9	224,1	93,8	91,9	69,2
<b>Máximo</b>		246,9	224,1	212,6	297,5	286,2	289,8	124,1	154,3	102,8
<b>Mínimo</b>		109,6	111,5	112,1	168,9	163,7	178,0	72,7	50,5	48,0
<b>Desviación estándar</b>		33,1	25,9	27,7	31,5	34,3	26,6	15,2	27,1	15,8
<b>Coefficiente de variación (%)</b>		17,3	16,3	18,6	13,6	14,9	11,9	16,2	29,6	22,8
<b>95% de intervalo confianza</b>	<b>Lím inf.</b>	177,0	147,6	137,1	218,8	216,4	212,9	87,4	80,4	62,6
	<b>Lím sup.</b>	205,0	169,4	160,5	245,4	245,4	235,4	100,3	103,3	75,9

*Fuente: Elaboración propia*

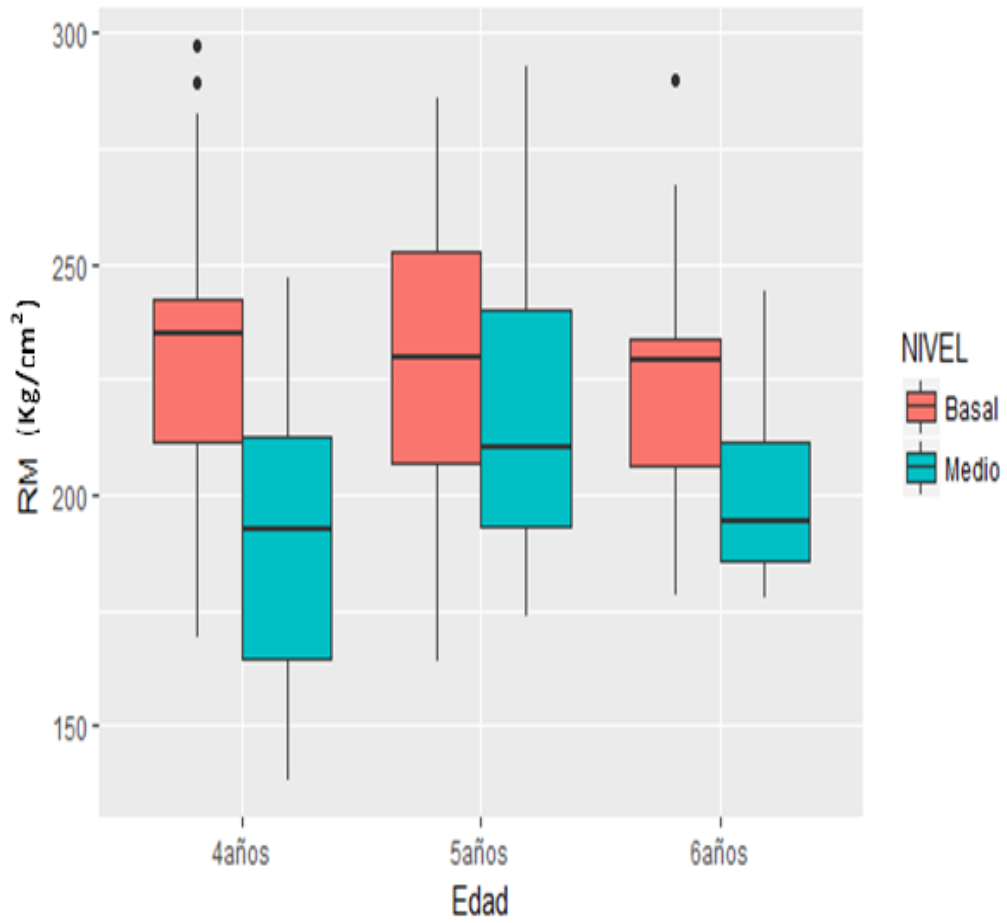
**Tabla 16: Estadísticos descriptivos de la compresión paralela para la madera de raleo de Bolaina blanca del nivel medio según edad**

<b>Nivel Medio</b>		<b>Compresión paralela (kg/cm<sup>2</sup>)</b>								
		<b>Esfuerzo al Límite Proporcional (ELP)</b>			<b>Resistencia Máxima (RM)</b>			<b>Módulo de Elasticidad (MOE)x1000</b>		
<b>Edad</b>		<b>4 años</b>	<b>5 años</b>	<b>6 años</b>	<b>4 años</b>	<b>5 años</b>	<b>6 años</b>	<b>4 años</b>	<b>5 años</b>	<b>6 años</b>
<b>Media</b>		157,5	163,1	140,6	188,8	218,3	201,7	80,6	80,3	72,8
<b>Máximo</b>		235,8	200,7	165,5	247,0	292,7	244,3	142,5	146,3	112,8
<b>Mínimo</b>		104,9	136,0	121,6	137,9	173,4	177,7	54,1	55,0	49,3
<b>Desviación estándar</b>		37,3	20,4	15,9	31,6	33,7	22,6	18,4	22,6	19,1
<b>Coefficiente de variación (%)</b>		23,7	12,5	11,3	16,7	15,5	11,2	22,9	28,2	26,2
<b>95% de intervalo confianza</b>	<b>Lím inf.</b>	141,0	154,3	129,2	174,7	203,8	185,5	72,4	70,5	59,2
	<b>Lím sup.</b>	174,0	171,9	151,9	202,8	232,9	217,8	88,7	90,1	86,5

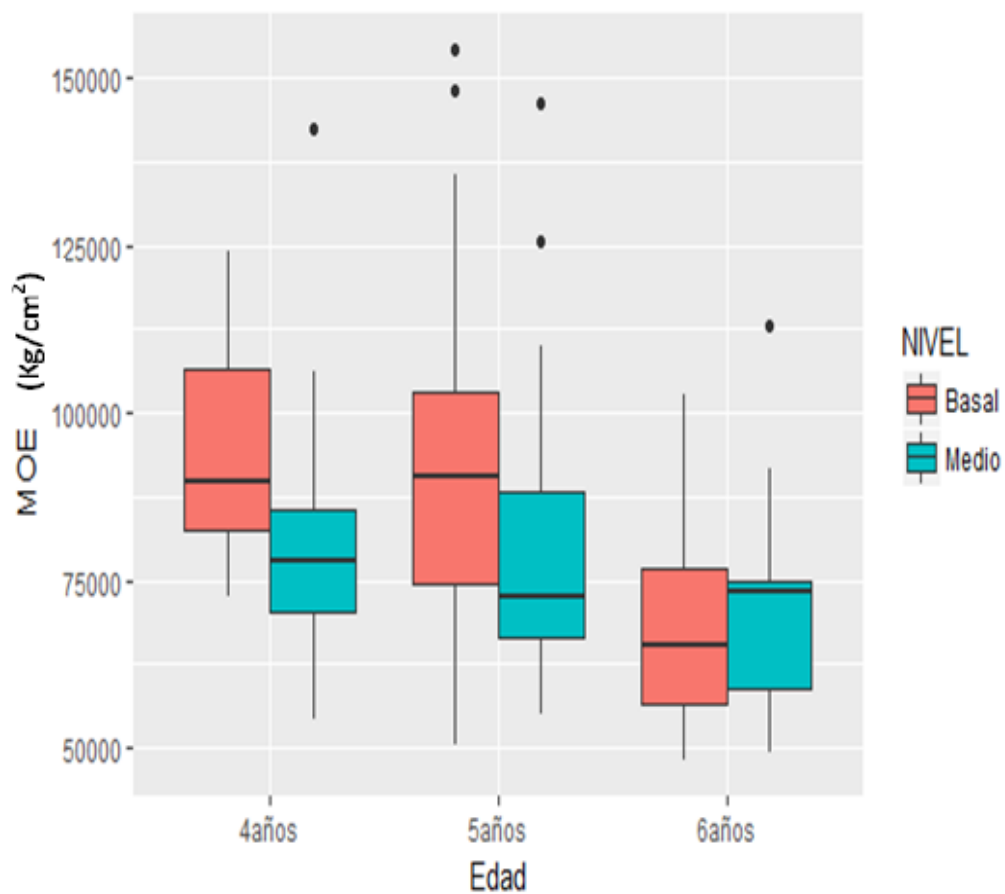
Fuente: Elaboración propia



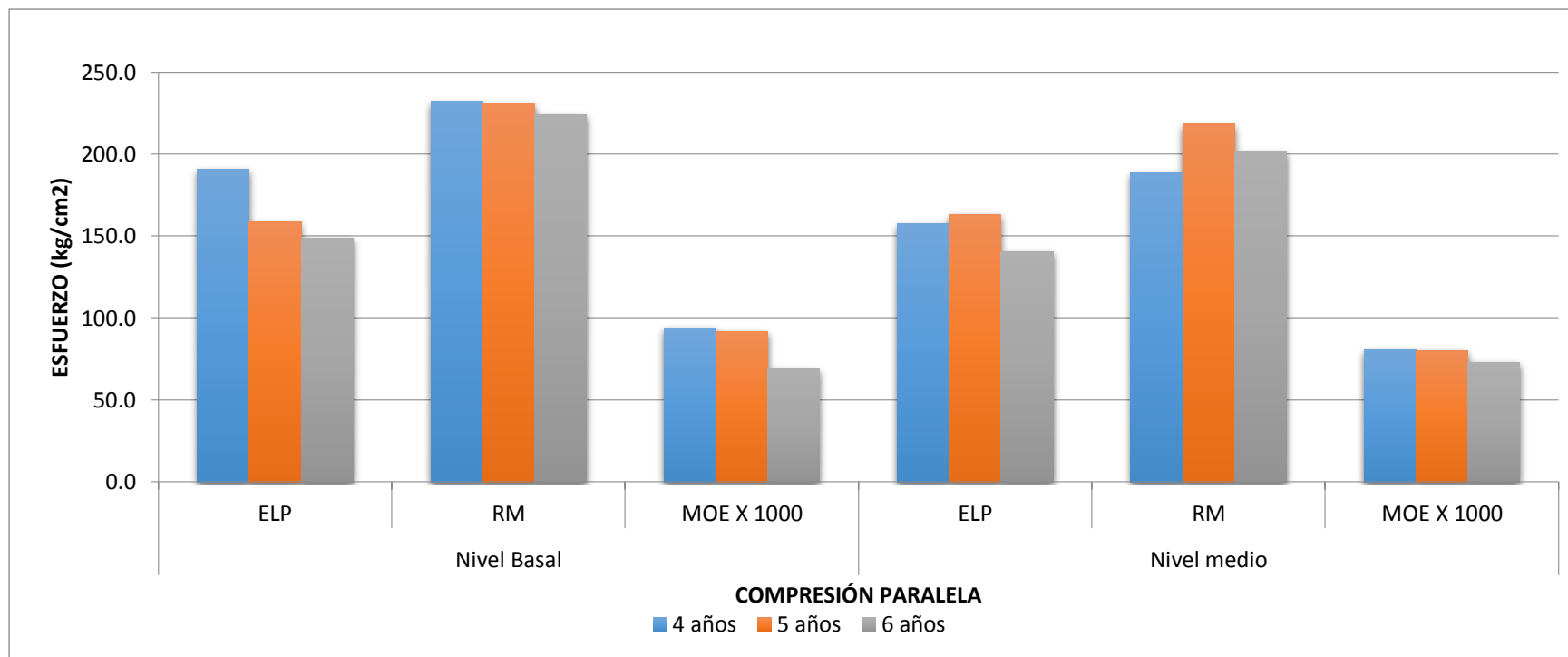
**Figura 5:** Esfuerzo al límite proporcional (ELP) en compresión paralela para la madera de raleo de Bolaina blanca según edad y nivel de corte



**Figura 6:** Resistencia Máxima (RM) de la compresión paralela para la Madera de raleo de Bolina blanca según edad y nivel de corte



**Figura 7: Módulo de elasticidad (MOE) en compresión paralela para la madera de raleo de Bolaina blanca según edad y nivel de corte**



**Figura 8: Valores promedios de los esfuerzos de compresión paralela para la madera de raleo de bolaina blanca según edad y nivel de corte**



#### **4.2.3. COMPRESIÓN PERPENDICULAR, CIZALLAMIENTO Y DUREZA**

Cabe resaltar que para estas propiedades se compararon sólo a nivel basal, visto que no contenían muestra suficiente a nivel medio. Se muestran en las Tablas 17 y 18, que la plantación de cinco años de edad muestra los mayores promedios para estas propiedades.

Asimismo, en las figuras 9,10, 11 y 12 se observa el comportamiento de estas propiedades de la madera de raleo de bolaina blanca disminuye a la edad de seis años. Esto es por la posible presencia de madera de tensión que puede causar baja resistencia en estas propiedades (Arroyo 1983).

**Tabla 17: Estadísticos descriptivos de la compresión perpendicular y cizallamiento para la madera de raleo de Bolaina blanca del nivel basal según edad**

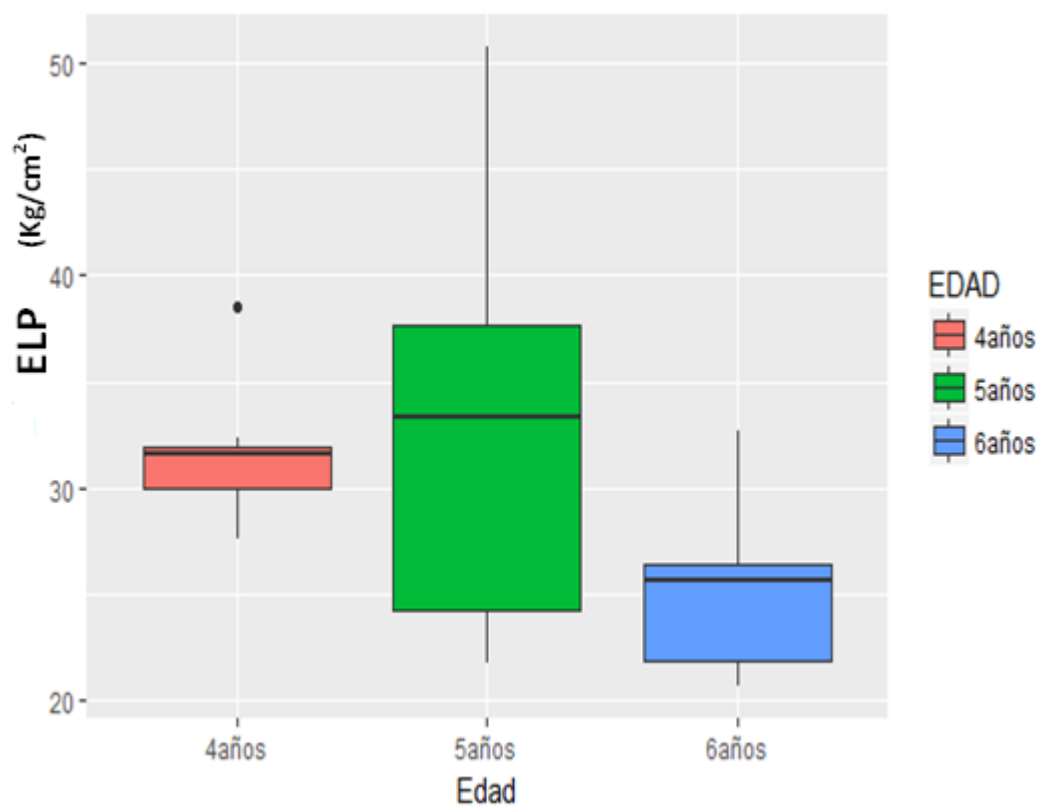
<i>Nivel Basal</i>		<i>Compresión perpendicular (kg/cm<sup>2</sup>)</i>			<i>Cizallamiento (kg/cm<sup>2</sup>)</i>		
		<i>Esfuerzo al Límite Proporcional (ELP)</i>					
<i>Edad</i>		<i>4 años</i>	<i>5 años</i>	<i>6 años</i>	<i>4 años</i>	<i>5 años</i>	<i>6 años</i>
<i>Media</i>		31,6	33,6	27,7	53,6	58,5	56,8
<i>Máximo</i>		38,5	50,8	32,7	74,9	76,0	94,6
<i>Mínimo</i>		27,6	21,8	20,6	40,8	27,9	41,2
<i>Desviación estándar</i>		3,2	10,7	3,4	10,8	18,4	15,2
<i>Coefficiente de variación (%)</i>		10,3	31,9	12,2	20,1	31,4	26,8
<i>95% de intervalo confianza</i>	<i>Lím inf.</i>	28,8	24,6	22,7	47,1	46,1	47,6
	<i>Lím sup.</i>	34,3	42,6	26,7	60,1	70,8	66,0

*Fuente: Elaboración propia*

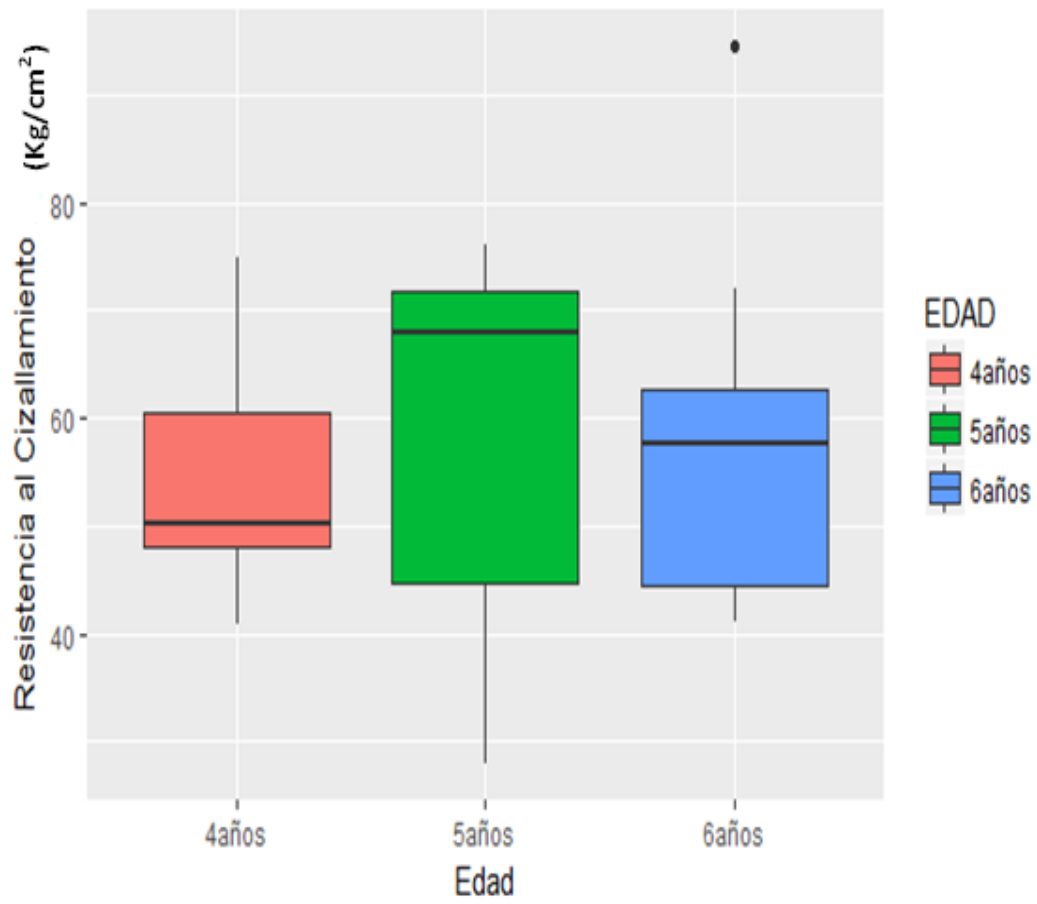
**Tabla 18: Estadísticos descriptivos de la dureza para la madera de raleo de Bolaina blanca del nivel basal según edad**

<b>Nivel Basal</b>		<b>Dureza (kg/cm<sup>2</sup>)</b>					
		<b>Lados</b>			<b>Extremos</b>		
<b>Edad</b>		<b>4 años</b>	<b>5 años</b>	<b>6 años</b>	<b>4 años</b>	<b>5 años</b>	<b>6 años</b>
<b>Media</b>		169,5	185,9	149,4	264,3	293,4	277,9
<b>Máximo</b>		265,6	290,3	196,5	353,8	376,5	335,7
<b>Mínimo</b>		115,8	105,5	110,9	174,6	210,9	175,8
<b>Desviación estándar</b>		48,5	62,6	27,9	67,9	61,3	47,9
<b>Coefficiente de variación (%)</b>		28,6	33,7	18,7	25,7	20,9	17,2
<b>95% de intervalo confianza</b>	<b>Lím inf.</b>	136,9	143,9	131,7	218,7	252,2	247,5
	<b>Lím sup.</b>	202,1	228,0	167,1	309,9	334,6	308,4

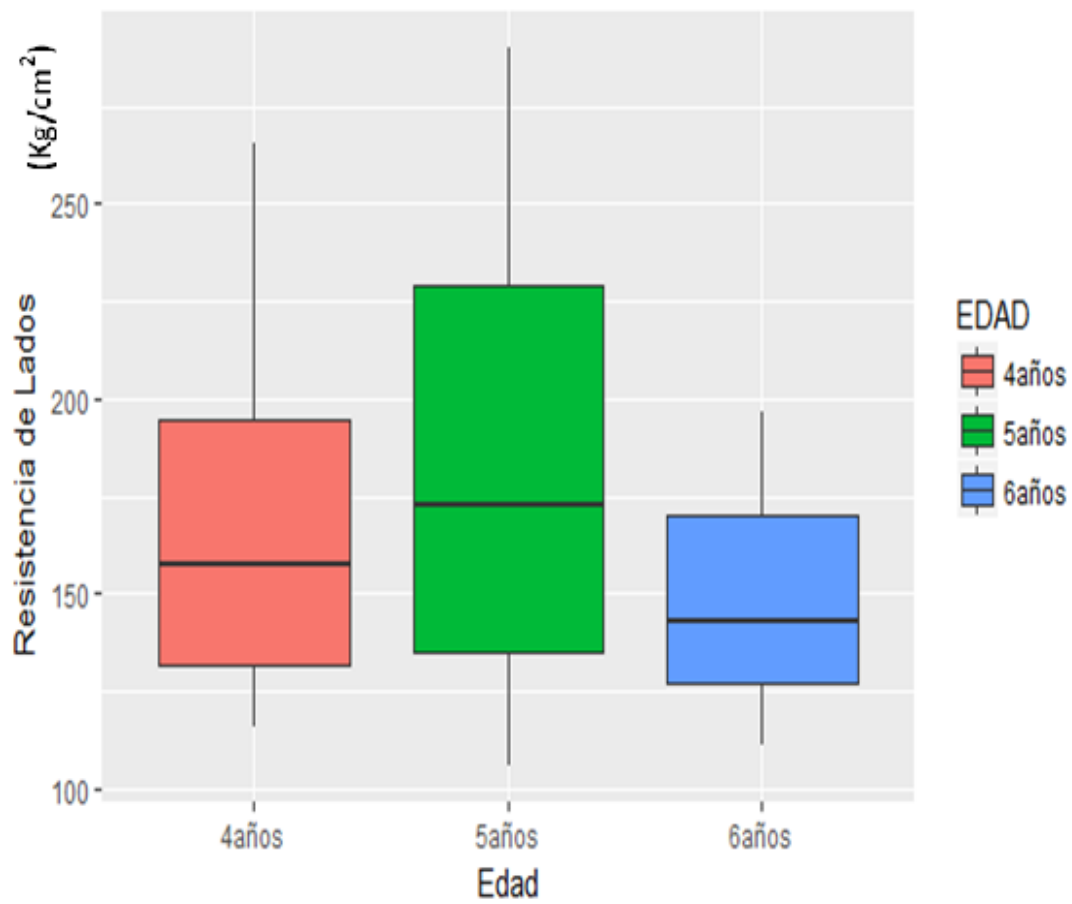
*Fuente: Elaboración propia*



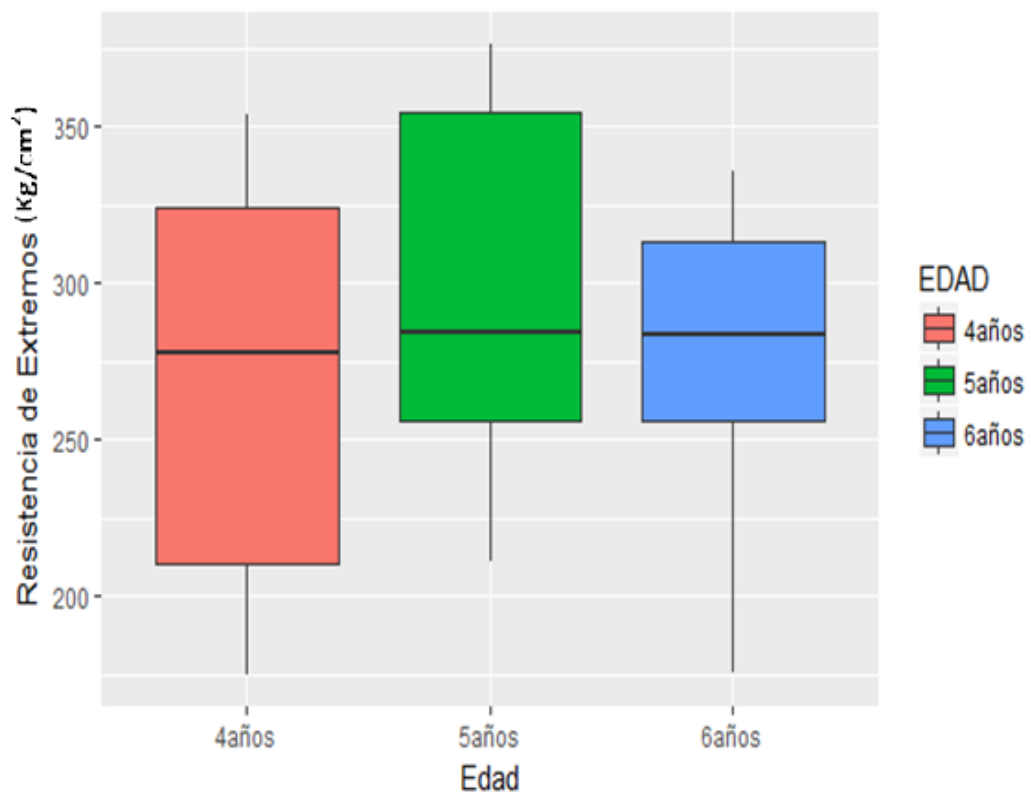
**Figura 9:** Esfuerzo al límite proporcional (ELP) en compresión perpendicular para la Madera de raleo de Bolaina blanca según edad



**Figura 10: Resistencia al Cizallamiento para la madera de raleo de Bolaina blanca según la edad**



**Figura 11: Dureza de lados para la madera de raleo de Bolaina Blanca según edad**



**Figura 12: Dureza de extremos para la madera de raleo de Bolaina Blanca según edad**

### **4.3. VARIABILIDAD DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS**

La variabilidad depende fundamentalmente de la homogeneidad del material y del tamaño de muestra estudiado. Asimismo, Patiño (2002) menciona que si las muestras provienen de árboles en constante cambio interno, la cantidad de factores que están involucrados con la edad y el número de árboles pueden motivar anomalías con respecto al coeficiente de variabilidad.

En la Tabla 19 se indica los coeficientes de variabilidad totales según edad y nivel de corte y en comparación con los valores permisibles propuestos por Forest Product Laboratory (1974). Se observa que las propiedades mecánicas para la edad de cuatro años en comparación a los valores permisibles propuestos, la resistencia a la flexión estática y compresión paralela se encuentran por debajo del límite permisible. Sin embargo para las propiedades de cizallamiento y dureza (lados y extremos) los valores mostrados superan el límite permisible.

Por otro lado, las propiedades mecánicas correspondientes a la edad de cinco años en comparación a los valores permisibles propuestos, la resistencia a la flexión estática (ELP y MOE) se encuentran por debajo de los valores permisibles y solo el MOR se aproxima al límite permisible señalados por Forest Product Laboratory (1974). Asimismo, para la compresión paralela, el ELP y la RM están por debajo del límite permisible en cambio los valores para el MOE se aproxima a dicho límite. Por el contrario, la compresión perpendicular, cizallamiento y dureza superan valores límites permisibles.

Con respecto a las propiedades mecánicas a la edad de seis años, el coeficiente de variación del MOR para la flexión estática, cizallamiento y dureza (lados) supera los límites permisibles, mientras que para la compresión paralela y perpendicular se encuentra por debajo del límite permisible.



En la Tabla 20, se muestra los valores promedios de las propiedades mecánicas de la madera de raleo de tres edades. Se observa que la edad de seis años presenta baja resistencia mecánica en comparación a las demás edades, siendo las posibles causas las condiciones de sitio (fisiografía y calidad de sitio) y presencia de madera de tensión.

**Tabla 19: Coeficientes de Variación (%) según edad y nivel de corte y su comparación con los valores de Forest Product Laboratory (FPL)**

<i>Propiedades Mecánicas</i>		<i>Nivel basal</i>			<i>Nivel medio</i>			<i>Coefficiente de variación según FPL</i>
		<i>4 años</i>	<i>5 años</i>	<i>6 años</i>	<i>4 años</i>	<i>5 años</i>	<i>6 años</i>	
<i>Flexión Estática</i>	<i>ELP</i>	8,3	11,5	17,3	14,3	10,1	26,2	22
	<i>MOR</i>	9,6	15,6	22,7	14,3	14,8	22,5	16
	<i>MOE</i>	9,0	14,5	23,8	13,9	14,8	16,6	22
<i>Compresión Paralela</i>	<i>ELP</i>	17,3	16,3	18,6	23,7	12,5	11,3	24
	<i>RM</i>	13,6	14,9	11,9	16,7	15,5	11,2	18
	<i>MOE</i>	16,2	29,6	22,8	22,9	28,2	26,2	29
<i>Compresión Perpendicular</i>	<i>ELP</i>	10,3	31,9	12,2	---	----	----	28
<i>Cizallamiento</i>		20,1	31,4	26,8	----	----	----	14
<i>Dureza</i>	<i>Lados</i>	28,6	33,7	18,7	----	----	----	17
	<i>Extremos</i>	25,7	20,9	17,2	----	----	----	20

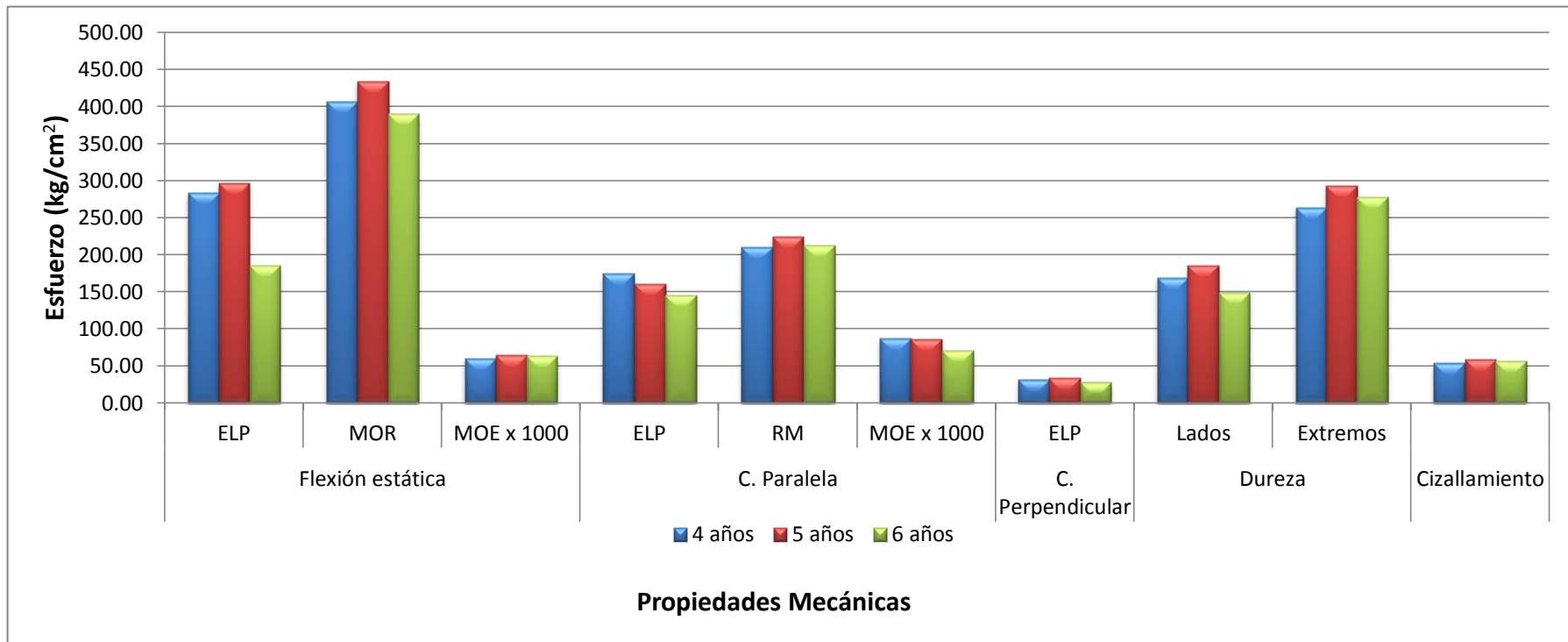
*Fuente: Elaboración propia*

En la Tabla 20, se indican los valores promedios para flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular, cizallamiento y dureza para la madera de raleo de bolaina blanca de tres edades, en ellos se observa valores de baja resistencia con la plantación de seis años (véase Figura 13). Esto es posible por influencia de la diferencia de condiciones de sitio y presencia de madera de tensión (Arroyo, 1983).

**Tabla 20: Valores Promedios de las propiedades mecánicas de la madera de raleo de Bolaina blanca**

<b>Propiedades mecánicas</b>		<b>Unidades</b>	<b>Edad de Plantación</b>		
			<b>4 años</b>	<b>5 años</b>	<b>6 años</b>
<b>Flexión estática</b>	<b>ELP</b>	kg/cm <sup>2</sup>	284,2	297,0	185,1
	<b>MOR</b>	kg/cm <sup>2</sup>	406,8	434,3	389,6
	<b>MOE x 1000</b>	kg/cm <sup>2</sup>	60,0	64,4	63,2
<b>Compresión Paralela</b>	<b>ELP</b>	kg/cm <sup>2</sup>	174,2	160,8	144,7
	<b>RM</b>	kg/cm <sup>2</sup>	210,4	224,6	212,9
	<b>MOE x 1000</b>	kg/cm <sup>2</sup>	87,2	86,1	71,0
<b>Compresión Perpendicular</b>	<b>ELP</b>	kg/cm <sup>2</sup>	31,6	33,6	27,7
<b>Dureza</b>	<b>Lados</b>	kg/cm <sup>2</sup>	169,5	185,9	149,4
	<b>Extremos</b>	kg/cm <sup>2</sup>	264,3	293,4	277,9
<b>Cizallamiento</b>		kg/cm <sup>2</sup>	53,6	58,5	56,8

*Fuente: Elaboración propia*



**Figura 13: Valores promedios de las propiedades mecánicas de la madera de raleo de Bolaina blanca según edad**

#### **4.4. INFLUENCIA DE LA EDAD Y NIVEL DE CORTE:**

Con respecto a análisis estadístico MANOVA mostrado en la Tabla 21, se observa que existen diferencias significativas ( $p=0.05$ ) para todas las propiedades mecánicas en cuanto a al factor edad y factor nivel de corte, así como la ocurrencia de la interacción entre ambos factores. Es decir, que las propiedades mecánicas son influenciadas por ambos factores. Para conocer que componente de la propiedad ejerce mayor influencia, se aplicó el análisis estadístico ANOVA.

Asimismo, se observa que la edad ejerce influencia significativa para las propiedades de flexión estática (ELP y MOR), compresión paralela (ELP y MOE). Por otro lado, el nivel de corte influye de manera significativa para las propiedades de flexión estática (ELP, MOR y MOE) y la compresión paralela (RM). Esta influencia puede ser atribuida a la influencia de condición de sitio.

Con relación a las propiedades de compresión perpendicular, cizallamiento y dureza que se aprecia en la Tabla 22 se muestra los resultados del análisis estadístico que reflejan a un nivel de probabilidad del 5 por ciento ( $p=0.05$ ) que la edad sólo ejerce influencia significativa sobre la propiedad de compresión perpendicular (ELP). La prueba de comparación de Tukey, muestra que entre las propiedades mecánicas de la madera de raleo de cuatro y cinco años no hay diferencia significativa, es decir ambas edades presentan propiedades mecánicas similares. Por el contrario, la madera de raleo de seis años presenta una marcada diferencia de sus propiedades mecánicas por la posible presencia de madera de tensión de las probetas ensayadas.

**Tabla 21: Análisis multivariado y univariado de Varianzas para flexión estática y compresión paralela según edad y nivel de corte**

<i>Propiedades Mecánicas</i>		<i>MANOVA</i>			<i>ANOVA</i>		
		<i>EDAD</i>	<i>NIVEL</i>	<i>EDAD*NIVEL</i>	<i>EDAD</i>	<i>NIVEL</i>	<i>EDAD*NIVEL</i>
<i>Flexión Estática</i>	<i>ELP</i>	*	*	*	*	*	*
	<i>MOR</i>	*	*	*	*	*	*
	<i>MOE</i>	*	*	*	N.S	*	*
<i>Compresión Paralela</i>	<i>ELP</i>	*	*	*	*	N.S.	N.S.
	<i>RM</i>	*	*	*	N.S	*	N.S.
	<i>MOE</i>	*	*	*	*	N.S.	N.S.

*Significativo (\*); No significativo (N.S)*

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 22: Análisis de Varianzas para compresión perpendicular y dureza según edad**

<i>PROPIEDADES MECÁNICAS</i>		<i>EDAD</i>	<i>Prueba de Tukey</i>
<i>Compresión Perpendicular</i>	<i>ELP</i>	*	4_5 6
<i>Dureza</i>	<i>Lados</i>	N.S	
	<i>Extremos</i>	N.S	
<i>Cizallamiento</i>		N.S	

*Significativo (\*); No significativo (N.S)*

*Fuente: Elaboración propia*

## **2.4. CLASIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA MADERA DE RALEO DE LA ESPECIE**

Según la clasificación para maderas en condición seca al aire de Dávalos y Bárcenas citado por Pantigoso (2009) las propiedades mecánicas de la madera de raleo de bolaina blanca de cuatro, cinco y seis años puede clasificarse como de baja resistencia para las tres edades.

En la Tabla 23 se muestra que la madera de raleo para las tres edades presenta una resistencia menor en todas las propiedades mecánicas en comparación con la resistencia mecánica de la madera proveniente de bosque natural (Ver Figura 14).

Con la relación a la baja resistencia presentada por la madera de raleo, esto puede significar como lo menciona Panshin y De Zeeuw (1980) que en la relación de madera juvenil/madera adulta hay mayor presencia de madera juvenil y por lo tanto presentar baja resistencia y calidad (Pearson y Gilmore, citado por Cown, 1992).

A nivel anatómico, es posible que la madera de raleo presenta un ángulo de fibrillas mayor el cual es considerado como uno de los factores anatómicos con mayor influencia en las propiedades de la madera (Langum *et al.*, 2009).

## **2.5. APTITUD DE USO**

Según su resistencia mecánica, la madera de raleo de bolaina blanca de cuatro, cinco y seis años puede ser utilizada para fabricación de cajonería liviana, juguetería, artesanías, listones para revestimientos de interiores, tutores, postes para cercos y tablero de partículas.

**Tabla 23: Comparación de las propiedades mecánicas de *Guazuma crinita* proveniente de plantaciones de Puerto Inca y el bosque natural de Tingo María**

<b>Propiedades Mecánicas</b>		<b>Unidades</b>	<b>Bosque Natural *</b>	<b>Edad de Plantación</b>		
				<b>4 años</b>	<b>5 años</b>	<b>6 años</b>
<b>Contenido de Humedad</b>		%	13,0	13,0	13,0	13,0
<b>Flexión Estática</b>	<b>ELP</b>	kg/cm <sup>2</sup>	318,3	292,6	308,8	177,7
	<b>MOR</b>	kg/cm <sup>2</sup>	507,8	416,5	448,1	377,1
	<b>MOE x 1000</b>	kg/cm <sup>2</sup>	97,8	60,7	65,4	62,2
<b>Compresión Paralela</b>	<b>ELP</b>	kg/cm <sup>2</sup>	270,6	179,4	167,2	138,9
	<b>RM</b>	kg/cm <sup>2</sup>	375,7	217,9	235,3	202,6
	<b>MOE x 1000</b>	kg/cm <sup>2</sup>	121,8	90,0	89,9	67,9
<b>Compresión Perpendicular</b>	<b>ELP</b>	kg/cm <sup>2</sup>	50,9	32,6	35,1	26,6
<b>Dureza</b>	<b>Lados</b>	kg/cm <sup>2</sup>	440,1	172,0	189,6	146,4
	<b>Extremos</b>	kg/cm <sup>2</sup>	303,4	270,6	302,8	269,0
<b>Cizallamiento</b>		kg/cm <sup>2</sup>	50,6	54,6	59,9	55,4

(\*)Aróstegui y Sato (1970)

Fuente: Elaboración propia

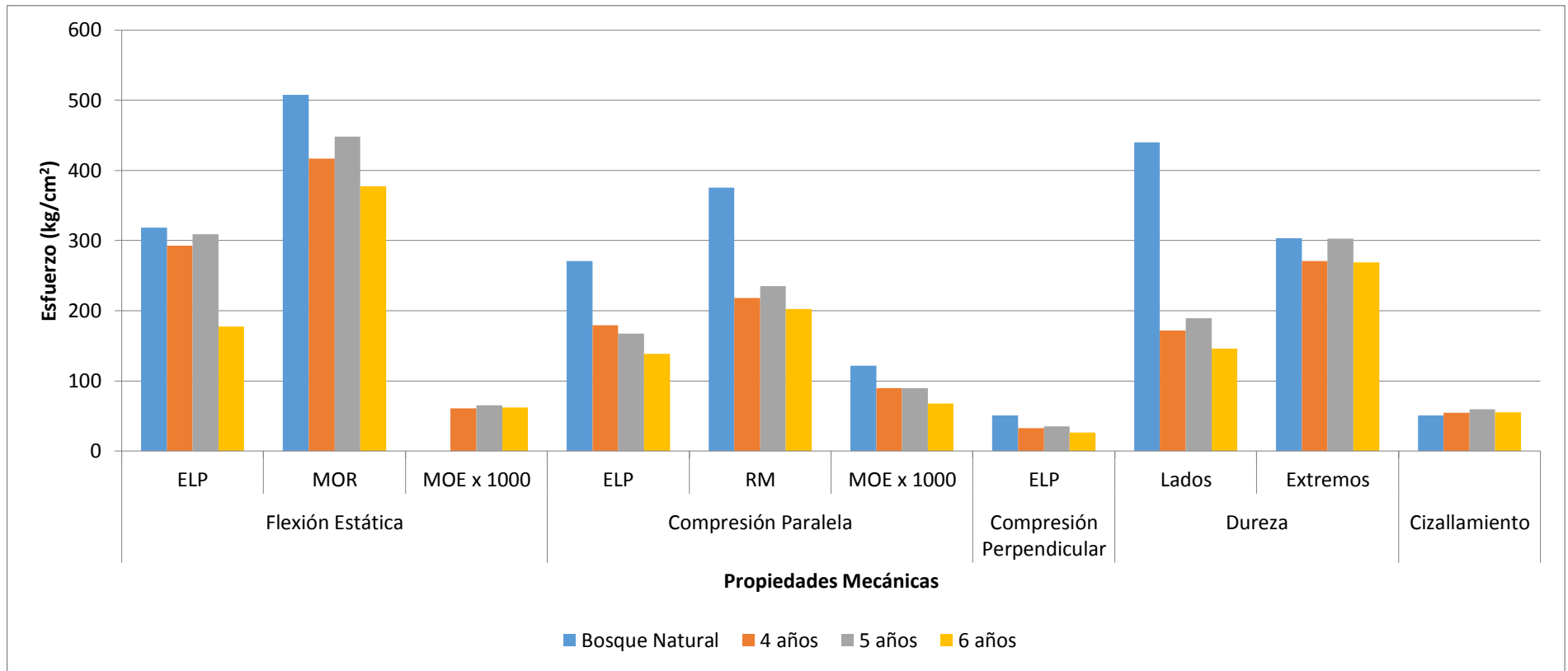


Figura 14: Comparación de las propiedades mecánicas de *Guazuma crinita* proveniente de plantaciones de Puerto Inca y el bosque natural de Tingo María



## IV. CONCLUSIONES

- 1) La madera de raleo de bolaina blanca presenta diferencias significativas entre los niveles de corte para las propiedades mecánicas de flexión estática (ELP, MOR y MOE) y compresión paralela (MOR), presentando los mayores valores a nivel basal.
- 2) La edad influye significativamente en las propiedades mecánicas de la madera de raleo de bolaina blanca para flexión estática (ELP y MOR), compresión paralela (ELP y MOE) y compresión perpendicular (ELP).
- 3) La resistencia mecánica de la madera de raleo de bolaina blanca para las tres edades presenta resistencia baja.
- 4) La madera de raleo de bolaina blanca de cinco años presenta mayor resistencia mecánica en comparación a las edades restantes.
- 5) El comportamiento de las propiedades mecánicas de la madera de raleo para el presente estudio tuvo una tendencia creciente para los cuatro y cinco años, y decreciente hacia la edad de seis años. Siendo la mejor la plantación de cinco años.

## V. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios anatómicos y densitométricos para identificar la madera juvenil y madera de tensión en la estructura de la madera de *Guazuma crinita*.
- Realizar estudios de la influencia de la condición de sitio en las propiedades mecánicas tomando en cuenta el tipo de suelo y fisiografía.
- Evaluar la intensidad de raleo y su influencia en las propiedades mecánicas de la madera de *Guazuma crinita*.
- Realizar ensayos de propiedades mecánicas no destructivos en árboles en pie de *Guazuma crinita* de diferentes edades, con la finalidad de conocer la tendencia de su comportamiento mecánico y la madurez tecnológica para poder realizar el aprovechamiento.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acevedo, M.; Kikata, Y. 1994. Atlas de maderas del Perú. Lima, PE. Publifor. pp. 93. 202 p.
2. Aguilar, J.C. 2017. Propiedades mecánicas de madera de raleo de 6 años provenientes de plantaciones de *Guazuma crinita* en Puerto Inca-Huánuco. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE. Universidad Nacional Agraria la Molina. Sin publicar.
3. Aróstegui, A. & Sato, A. 1970. Estudio de las propiedades físico-mecánicas de la madera de 16 especies forestales del Perú. Revista Forestal del Perú. v.4 (1-2):13 - 24.
4. Aróstegui, A. 1974. Estudio tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa). Características tecnológicas y usos de la madera de 145 especies del país. Ministerio de Agricultura. Lima, PE. 483 p.
5. \_\_\_\_\_. 1982. Recopilación y Análisis de Estudios Tecnológicos de Maderas Peruanas. PNUD/FAO/PER/71/511 (Documento de trabajo N°2).Lima, PE. 57 p.
6. Arroyo, J. 1983. Propiedades Físico-Mecánicas de la Madera, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 186 p.
7. ASTM (American Society for Testing and Materials). 2004. Standard practice for sampling forest trees for determination of clear wood properties, designation: D 5536– 94 (Reapproved 2004) - Secondary methods. Philadelphia, US. 9 p.

8. Bhat, K.; Priya, P.; Rugmini, P. 2001. Characterisation of juvenile Wood in “teak”. Wood Science and Technology .34(1): 517 – 532.
9. Bhat, K. M.; P. B. Priya. 2004. Influence of provenance variation on wood properties of teak from the western Ghat region in India. IAWA Journal 25(3): 273-282.
10. Baldoceca, R.; Pinedo, J.; Castillo, A.; Vidaurre, H.1991.Silvicultura de la bolaina blanca. Temas forestales N°10.INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias).Pucallpa, Perú.38p.
11. Ángeles, G.; Bárcenas, Gm.; Ortega, F. Ronzón, P. 2005. Relación estructura-propiedades de la madera de angiospermas mexicanas (en línea). Universidad y Ciencia 21(42):45--55.Consultado el 15 de Marzo 2017.Disponible en:  
<http://www.universidadyciencia.ujat.mx/sistema/documentos/volumenes/21-42-2005/1.pdf>
12. Campos, E. 2006. Variación de la densidad básica de la madera, en siete familias de *Larix decidua* Miller. Tesis Ing. Forestal. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia.
13. Cown, D. 1992. Corewood (Juvenile Wood) in *Pinus radiata* - should we be concerned? . New Zealand Journal of Forestry Science 22(1): 87-95.

14. Condori, C. 2007. Propiedades mecánicas de *Cedrelinga cateniformis Ducke* (Tornillo) proveniente de dos tipos de plantaciones y diferentes edades del Centro de Investigación Jenaro Herrera – Loreto. Tesis (Ing. forestal).Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 124 p.
  
15. Cueto,G.; O'Neill, H.; Rachid,C.; Ohta,S.; Resquin,F.2013. Influencia del raleo sobre el módulo de elasticidad y ruptura en *Eucalyptus grandis* (en línea).Consultado el 28 de marzo del 2017.Disponible en:  
[www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v17n1/v17n1a10.pdf](http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v17n1/v17n1a10.pdf)
  
16. Cuevas, E. 2003. Propiedades físicas y mecánicas de la madera. Material de apoyo en propiedades físicas y mecánica. Universidad de Talca, Escuela de Ingeniería en Industrias de Madera. 68 p.
  
17. Chaves, V.; Serrano, J. 2004. Influencia del espaciamiento de siembra y otros factores sobre el desarrollo de torceduras y grietas en madera proveniente de plantaciones de teca (*Tectona grandis L.f.*). Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) v. 1(3).12p.
  
18. Dávalos, R.; Pérez, C.; Quintanar, P.2005. Influencia de los radios en algunas propiedades físicas y mecánicas de la madera de ocho encinos (*Quercus*) de Durango, México (en línea). Madera y Bosques 2005, 11 (2 ).Consultado el 15 de Marzo 2017.Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61711204>>
  
19. De Benitez, C.; Pece, M.; De Galindez, M.2010.Análisis de Varianza en experimentos factoriales. Universidad Nacional de Santiago del Estero de Argentina. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago del Estero. Serie didáctica n° 21,47p.

20. DGFFS (Dirección General Forestal Y De Fauna Silvestre). 2016. Perú Forestal en números 2015. Ministerio de Agricultura. Lima, PE. 223 p.
21. Domínguez, G. 1991. Conozcamos nuestras especies nativas. Lima, PE. 4 p.
22. Durán, P. 2003. Evaluación de las propiedades mecánicas de la madera de *Cedrelinga cateniformis Ducke* (Tornillo) proveniente de plantaciones, con respecto a la influencia de cuatro factores de crecimiento. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 80 p.
23. Egoavil, A.; Chávez, J. 1991. Silvicultura de la bolaina blanca. Proyecto de Capacitación, Extensión y Divulgación Forestal/ COTESU (Cooperación Técnica Suiza)/ Dirección Regional Forestal de Fauna y de medio Ambiente. Pucallpa, PE. 70 p.
24. Encarnación F. 1983. Nomenclatura de las especies forestales comunes en el Perú. Proyecto PNUD/FAO/81/002. Trabajo N° 7. Lima, Perú. 149 pp
25. Espinoza De P., N. & Leon, W. 1993. Influencia de las Características Anatómicas sobre las Propiedades Mecánicas de la Madera. Revista Forestal Venezolana no 37: 21 – 38.
26. FPL (FOREST PRODUCTS LABORATORY). 1974. Wood handbook. Agriculture handbook. US. 454 p

27. Gonzales Ego –Aguirre, L. A. 2003. Evaluación técnico económica de plantaciones de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) en zonas inundables del río Aguaytía. Tesis (Ing.forestal). Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina.119 p.
28. Green, D.; Winandy, J.; Kretschmann, D. 1999. Mechanical properties of Wood. General Technical Report (GTR). Nueva York, USA.113 p.
29. Haygreen, J. Y Bowyer, J. 1982. Forest Products and Wood Science. An Introduction. Iowa State University Press. USA. 495 p.
30. Hawley, R.; Smith, D. 1972. The practice of silviculture. John Wiley & Sons, Inc Ed. Nueva York, USA. 554p.
31. Hueso G, A.; Cascant, J. 2012. Metodología y técnicas cuantitativas de investigación. Universidad Politécnica de Valencia.España.87pp.
32. Igartúa, D.; Monteoliva, S. ; Piter, J.C.2009. Estudio de algunas propiedades físicas de la madera de *Acacia melanoxylon* en Argentina. Ciencia y tecnología no 11(1): 3-18.
33. IIAP (Instituto De Investigaciones De La Amazonía Peruana) .2009.Evaluación económica de parcelas de regeneración natural y plantaciones de Bolaina Blanca, *Guazuma crinita*, en el departamento de Ucayali. Iquitos, Perú.54 pp.

34. INIA (Instituto Nacional De Innovación Agraria). 1996. Manual de identificación de especies forestales de la Subregión Andina, INIA– OIMT. PD 150/91. Lima, Perú. 489 pp.
35. Jost, F. 2006. Propiedades física y mecánicas de la *Araucaria angustifolia* proveniente de plantaciones de Oxapampa. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE Universidad Nacional Agraria La Molina. 159 p
36. JUNAC (Junta Del Acuerdo De Cartagena). 1984. Tablas de propiedades físicas y mecánicas de la madera de 20 especies del Perú. PADT REFORT. Lima, Perú. 53 p.
37. Langum, C.; Yadama, V.; Lowell E. 2009. Physical and mechanical properties of Young-growth Douglas-Fir and Western Hemlock from Western Washington. Washington State University. Forest Products Society no 59(11/12): 37-47.
38. López, J. 2006. Propiedades físico-mecánicas del Aliso, *Alnus acuminata* HBK, proveniente de Chalaco-Piura. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE Universidad Nacional Agraria La Molina. 106 p.
39. López, O. 2012. Aprovechamiento y uso de madera obtenida de entresacas de plantaciones forestales (en línea). Revista M&M no 72. Bogotá, Colombia. Consultado 12 de oct. 2015. Disponible en:  
<http://www.revista-mm.com/ediciones.php#>



40. Manzanares, K.; Velazquez, D.; Valdez, J.; Martinez, O.; Morales, F. 1991. Aptitud del material de raleo de tres especies forestales para formar aglomerados con cementos. *Revista Baracoa - Cuba* 21(1): 59 – 73.
41. MINAG (Ministerio De Agricultura). 2011. Volumen de madera aserrada y rolliza de 20 especies de mayor aprovechamiento a nivel nacional, años 2007 –2011. Lima, PE. Consultado 12 de oct. 2015. Disponible en: [http://dgffs.minag.gob.pe/pdf/estadistica\\_forestal/tendenciasforestales.pdf](http://dgffs.minag.gob.pe/pdf/estadistica_forestal/tendenciasforestales.pdf).
42. Mori, J. 2011. Influencia de la densidad de plantación en el crecimiento inicial y calidad de rodales de bolaina blanca *Guazuma crinita* Martius en tierras forestales de colinas bajas de Macuya, Padre Abad, Ucayali. Tesis (Mag. Sc.). . Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 156 p.
43. Mutizabal, A. 2008. Comportamiento de tensiones de crecimiento en tres procedencias de *Eucalyptus nitens* (Deans *et* Maiden) Maiden, región del Bío – Bío. Universidad Austral de Chile. Tesis (Ing. Forestal). Valdivia, CH. 55 p.
44. OIMT (Organización Internacional de las Maderas Tropicales); CNF (Cámara Nacional Forestal); INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales). 1996. Utilización industrial de nuevas especies forestales en el Perú. Proyecto “OIMT-CÁMARA NACIONAL FORESTAL-INRENA”. Lima, PE. 100 p.
45. Ormeño, J. 2008. Comparación de tensiones de crecimiento en plantaciones adultas de híbridos entre *Eucalyptus nitens* (Deane *et* Maiden) Maiden y *Eucalyptus globulus* Labill. Universidad Austral de Chile. Tesis (Ing. Forestal). Valdivia, CH. 49 p.

46. Otarola, E. 1996 Productividad y cuantificación económica de los productos provenientes de raleos en plantaciones forestales de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Cupressus* en Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Escuela de Postgrado. Tesis (Mag. Sc.). Turrialba, Costa Rica. 110 p.
47. Pantigoso, J. 2009. Propiedades físicas y mecánicas de la capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook ex Schumann) procedente de una plantación experimental en San Alejandro Uca Yali – Perú. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina.. 140 p
48. Pashin A.; De Zeeuw, C. 1980. Textbook of Wood Technology. Mc Graw-Hill Book Company. 4 th. Ed. New York, United State of America. 688 p.
49. Patiño, F. 2002. Propiedades físico-mecánicas de simarouba amara Aubl (marupa) proveniente de plantaciones de diferentes edades. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 46 p.
50. Pérez, V. 1983. Propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. Santiago, Chile. Corporación Nacional Forestal. 451 p.
51. Pérez, C.; Dávalos, R.; Quintanar, P. 2005. Influencia de los radios en algunas propiedades físicas y mecánicas de la madera de ocho encinos (*Quercus*) de Durango, México. *Madera y Bosques*. V 11(2).

52. Peszlen I. 1995. Gelatinous fibres in *Populus x euroamericana* clones. Recent Advance in wood anatomy 18:327-333p.
53. Putzel, L.; Cronkleton, P.; Larson, A.; Pinedo-Vásquez, M.; Salazar, O.; Sears, R. 2013. Producción y comercialización de bolaina (*Guazuma crinita*) una especie amazónica de rápido crecimiento. Un llamado a la adopción de un marco de políticas que apoye los medios de vida. Boletín Brief no. 25. Lima, PE. 6 p.
54. Quintana, S.; Cabudivo, A.; Espíritu, J.M.; Cabudivo, J. 2011. Propiedades físico-mecánicas de las maderas de *Simarouba amara* (Aubl.) y *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) de plantaciones de diferentes edades, San Juan Bautista, Loreto, Perú. Conocimiento Amazónico 2(2): 115-123.
55. Record, S. 1914. The mechanical properties of Wood. Jhon Wiley & Sons, Inc. Ed. New York, USA. 165 p.
56. Revilla, J. 2015. Viabilidad económica de plantaciones demostrativas de Bolaina Blanca (*Guazuma crinita Mart.*) en la cuenca del río Aguaytía-Ucayali-Perú. Tesis (Mag. Sc). Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 125 p.
57. Reynel C.; Pennington R.T; Pennington T.D; Flores C.; Daza A.; 2003. Árboles Útiles de la Amazonía Peruana y sus Usos. Darwin Initiative – ICREF. Lima, PE. 48 p.

58. Riesco,G.; Remacha,A.; Pedras,F.2006. Influencia de la situación geográfica y la fisiografía en la calidad de la madera de *Quercus robur L.* (en línea). Recursos Rurais (2006) Vol11 n° 2 : 57-65.Consultado el 28 de Marzo del 2017.Disponible en:  
[https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/3795/RR\\_2\\_6.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/3795/RR_2_6.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
59. Ríos, J. 1990. Manual de los árboles más comunes de los bosques secundarios de Pucallpa. Proyecto de utilización de bosques secundarios. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Lima, PE. 163 p.
60. Robles, J. 2017. Propiedades mecánicas de la madera de *Guazuma crinita* proveniente de un raleo comercial de plantaciones de 5 años en Puerto Inca-Perú". Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE. Universidad Nacional Agraria la Molina. Sin publicar.
61. Rodriguez,R.;Zamora,J.;Silva,J.;Salcedo,E.;Fuentes,J.2014.Propiedades físico-mecánicas de madera de teca de plantaciones comerciales (en línea). Revista mexicana de ciencias forestales vol.5 no.24. Consultado el 28 de marzo del 2017.Disponible en:  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322014000400003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000400003)
62. Silva, M. 2005. Estudio y caracterización dendrológica de las familias botánicas del orden Malvales en el Fundo Génova - Chanchamayo. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE Universidad Nacional Agraria La Molina. 237 p.

63. Taquire, A. 1995. Relación Entre la Estructura Anatómica y Las Propiedades Físico Mecánicas de Tres Especies Forestales Procedentes de los Altos Llanos Occidentales de Venezuela. Universidad de los Andes. Tesis (Mag. Sc.).Centro de Estudios Forestales de Postgrado. Mérida, Venezuela. 185 p.
64. Toledo, E. 1999. Estudio sobre certificación de semillas de árboles y potencial del mercado de los productores agroforestales. Informe ICRAF (International Center of Research in Agroforestry)/WINROCK.Lima,Perú.80p.
65. Torres, F.2009. Evaluación de las propiedades físico mecánicas de la especie Pino chuncho (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) proveniente de plantaciones del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt-Ucayali. Tesis (Ing. forestal). Lima, PE Universidad Nacional Agraria La Molina. 141 p
66. Touza, M. 2001. Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus globulus* de Galicia (España). Influencia de la silvicultura y estrategias de aserrado (en línea).Madera, Ciencia y tecnología. 3(1-2) .Consultado el 5 de octubre del 2016.Disponible en:  
[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-221X2001000100008](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2001000100008)
67. Tusset, T.; Duran, P. 1979. Manual de Maderas Comerciales, Equipos y Procesos de Utilización. Montevideo - Uruguay. 668 p.
68. Ugarte, J.; López, A.; Álvarez, J. 2002.Estudio de correlación entre la frecuencia de nudos y el diámetro menor de las trozas de bolaina blanca(*Guazuma crinita* Mart.)IIAP (Instituto de investigaciones de la amazonia peruana)/PET (programa de ecosistemas terrestres. Pucallpa-Perú.

69. Urbina, L. 2016. Propiedades mecánicas en madera de raleo procedente de plantaciones de cuatro años de *Guazuma crinita Martius* (Bolaina Blanca)-Huánuco. Tesis (Ing. forestal). Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. Sin publicar.
70. Valderrama H. 1992. Influencia de la estructura anatómica en el comportamiento tecnológico de treinta especies forestales. *Conocimiento Amazónico* 2(1):13-23.
71. Valderrama H. 2005. Apuntes de clases de propiedades físico-mecánicas de la madera. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos. 58 pp.
72. Valdivia, H. 1993. Aptitud de la bolaina blanca (*Guazuma crinita Martius*) para su uso estructural en construcciones de madera. Tesis (Mag. Sc.). Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 48 p.
73. Valdivia, A.; Sotelo, M. 1993. Posibilidad de uso de la madera rolliza de bolaina blanca (*Guazuma crinita Mart*) como material estructural en construcciones de madera. *Revista Forestal del Perú*. v. 20(1). Lima, PE. 87 – 94p.
74. Valdivia, H.; Sotelo, A. 1991. Características técnicas de los embalajes de tres especies forestales para la exportación de espárragos. *Revista Forestal del Perú*. v. 18(2). Lima, PE. 55 – 66 p.
75. Vega, N. 2011. Evaluación de las propiedades físico mecánicas de *Cedrelinga cateniformis* Ducke procedente de plantaciones de 20 años del Bosque Nacional Alexander von Humboldt, Ucayali (Perú). Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 92 p.

76. Vidaurre H., 1992. Silvicultura y Manejo de (*Guazuma crinita* Mart.). Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial. Estación Experimental Forestal y Agropecuaria-Pucallpa. Programa de Suelos Tropicales. Pucallpa, Perú. 21 p.
77. 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.
78. Vignote, S; Martínez, I. 2006. Tecnología de la Madera. Madrid, ES.
79. Villa, B. 2009. Propiedades físico mecánicas de la especie *Cedrelinga Cateniformis* Ducke provenientes de plantaciones instaladas en la estación experimental Alexander Von Humboldt. Tesis (Ing. Forestal). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 140 p.
80. Villachica, H.; Julca, A.; Alván, G.; Canchucaja, J.; Parraga, R. 1993. Evaluación de tres especies forestales de rápido crecimiento para embalaje de frutas. Resumen de investigaciones apoyadas por FUNDEAGRO 1998-1992. Lima. Perú. Pt 2, p167-169.
81. Zobel, B.; Van Buijtenen, J. 1989. Wood variation: its causes and control. State University of New York. New York, USA. 307 p.

## VII. ANEXOS

### ANEXO 1

#### CANTIDAD DE PROBETAS PARA LOS ENSAYOS MECÁNICOS DE LAS MADERA DE RALEO DE BOLAINA BLANCA DE TRES EDADES DIFERENTES

<b>ENSAYO</b>	<b>NIVEL</b>	<b>Plantaciones</b>		
		<b>4 años</b>	<b>5 años</b>	<b>6 años</b>
<b>Flexión estática</b>	<b>Basal</b>	35	48	57
	<b>Medio</b>	16	48	28
<b>Compresión paralela</b>	<b>Basal</b>	30	48	67
	<b>Medio</b>	22	48	31
<b>Compresión perpendicular</b>	<b>Basal</b>	12	9	17
	<b>Medio</b>	3	5	5
<b>Dureza</b>	<b>Basal</b>	13	15	15
	<b>Medio</b>	3	8	6
<b>Cizallamiento</b>	<b>Basal</b>	13	15	29
	<b>Medio</b>	3	8	4
<b>TOTAL</b>		150	252	259



## ANEXO 2

### ANÁLISIS DE SUPUESTOS

Ensayo mecánico		Supuesto	Hipótesis	Estadístico	Prueba	p-value	Conclusión
Flexión Estática	ELP, MOR, MOE	Normalidad del error	$H_0: \varepsilon \sim N(\mu, \sigma_{cte}^2)$ $H_1: \text{no es así}$	W = 0.93788	Shapiro-Wilk	0.06518	Si hay normalidad
		Igualdad de matrices de varianza-covarianza	$H_0: \sum 1 = \dots = \sum 6$ $H_1: \text{Al menos un } \sum \text{ es } \neq$	F=0.793	Prueba de box	0.780	Si hay homogeneidad de varianzas
		Correlación	$H_0:  R_p  = 1$ [No Correlacionada] $H_1:  R_p  \neq 1$ [Sí Correlacionadas]	Chi-cuadrado aproximado = 67.135	Prueba de esfericidad de Bartlett	0.000	Si hay correlación entre las variables dependientes
Compresión Paralela	ELP, RM, MOE	Normalidad del error	$H_0: \varepsilon \sim N(\mu, \sigma_{cte}^2)$ $H_1: \text{no es así}$	W = 0.95672	Shapiro-Wilk	0.2084	Si hay normalidad
		Igualdad de matrices de varianza-covarianza	$H_0: \sum 1 = \dots = \sum 6$ $H_1: \text{Al menos un } \sum \text{ es } \neq$	F=0.681	Prueba de box	0.874	Si hay homogeneidad de varianzas
		Correlación	$H_0:  R_p  = 1$ [No Correlacionada] $H_1:  R_p  \neq 1$ [Sí Correlacionadas]	Chi-cuadrado aproximado = 15.876	Prueba de esfericidad de Bartlett	0.001	Si hay correlación entre las variables dependientes
Compresión Perpendicular	ELP	Normalidad del error	$H_0: \varepsilon \sim N(\mu, \sigma_{cte}^2)$ $H_1: \text{no es así}$	W = 0.96613	Shapiro-Wilk	0.4601	Si hay normalidad

		<b>Homogeneidad de varianzas</b>	$H_0: \sigma_{cte}^2$ $H_1: no\ es\ así$	Chisquare = 0.0040022 19	Non-constant Variance Score Test	0.949557	Si hay homogeneidad de varianzas
<b>Cizallamiento</b>		<b>Normalidad del error</b>	$H_0: \varepsilon \sim N(\mu, \sigma_{cte}^2)$ $H_1: no\ es\ así$	W = 0.98631	Shapiro-wilk	0.9208	Si hay normalidad
		<b>Homogeneidad de varianzas</b>	$H_0: \sigma_{cte}^2$ $H_1: no\ es\ así$	Bartlett's K-squared = 2.9797	Bartlett test	0.2254	Si hay homogeneidad de varianzas
<b>Dureza</b>	<b>Resistencia de lados</b>	<b>Normalidad del error</b>	$H_0: \varepsilon \sim N(\mu, \sigma_{cte}^2)$ $H_1: no\ es\ así$	W = 0.96503	Shapiro-wilk	0.3386	Si hay normalidad
		<b>Homogeneidad de varianzas</b>	$H_0: \sigma_{cte}^2$ $H_1: no\ es\ así$	Bartlett's K-squared = 6.1035	Bartlett test	0.05	Si hay homogeneidad de varianzas
	<b>Resistencia de extremos</b>	<b>Normalidad del error</b>	$H_0: \varepsilon \sim N(\mu, \sigma_{cte}^2)$ $H_1: no\ es\ así$	W = 0.95178	Shapiro-wilk	0.1388	Si hay normalidad
		<b>Homogeneidad de varianzas</b>	$H_0: \sigma_{cte}^2$ $H_1: no\ es\ así$	Bartlett's K-squared = 1.2401	Bartlett test	0.5379	Si hay homogeneidad de varianzas



### ANEXO 3

#### CONTRASTES MULTIVARIADOS PARA FLEXIÓN ESTÁTICA

<i>Efecto</i>	<i>Prueba</i>	<i>Valor</i>	<i>F</i>	<i>GL</i>	<i>Significancia</i>	<i>Cód.sig</i>
<b>EDAD</b>	<b>Traza de Pillai</b>	0.93038	7.2485	2	1.33E-05	***
	<b>Lambda de Wilks</b>	0.11424	15.6689	2	7.32E-10	***
	<b>Traza de Hotelling-Lawley</b>	7.3628	28.2242	2	7.24E-14	***
	<b>Raiz mayor de Roy</b>	7.3094	60.912	2	1.24E-11	***
<b>NIVEL</b>	<b>Traza de Pillai</b>	0.65194	14.9848	1	1.05E-05	***
	<b>Lambda de Wilks</b>	0.34806	14.9848	1	1.05E-05	***
	<b>Traza de Hotelling-Lawley</b>	1.8731	28.2242	1	1.05E-05	***
	<b>Raiz mayor de Roy</b>	1.8731	14.985	1	1.05E-05	***
<b>EDAD+NIVEL</b>	<b>Traza de Pillai</b>	0.49228	2.7209	2	2.30E-02	*
	<b>Lambda de Wilks</b>	0.55453	2.7431	2	0.02256	*
	<b>Traza de Hotelling-Lawley</b>	0.7189	2.7559	2	0.02258	*
	<b>Raiz mayor de Roy</b>	0.5712	4.76	2	0.009268	**

(\*\*\*)Muy altamente significativo; (\*\*) Altamente significativo; (\*) Significativo

## ANEXO 4

### CONTRASTES MULTIVARIADOS PARA COMPRESIÓN PARALELA

<i>Efecto</i>	<i>Prueba</i>	<i>Valor</i>	<i>F</i>	<i>GL</i>	<i>Significancia</i>	<i>Cód.sig</i>
<b>EDAD</b>	<i>Traza de Pillai</i>	0.66116	4.2798	2	0.001	**
	<i>Lambda de Wilks</i>	0.40067	4.8318	1	0.001	***
	<i>Traza de Hotelling-Lawley</i>	1.34151	5.366	2	0.000	***
	<i>Raiz mayor de Roy</i>	1.21445	10.5253	2	0.000	***
<b>NIVEL</b>	<i>Traza de Pillai</i>	0.29828	3.5422	1	0.029	*
	<i>Lambda de Wilks</i>	0.70172	3.5422	1	0.029	*
	<i>Traza de Hotelling-Lawley</i>	0.42507	3.5422	1	0.029	*
	<i>Raiz mayor de Roy</i>	0.42507	3.5422	1	0.029	*
<b>EDAD+NIVEL</b>	<i>Traza de Pillai</i>	0.29901	1.5235	2	0.189	n.s
	<i>Lambda de Wilks</i>	0.72222	1.4725	2	0.207	n.s
	<i>Traza de Hotelling-Lawley</i>	0.3552	1.4208	2	0.226	n.s
	<i>Raiz mayor de Roy</i>	0.22383	1.9398	2	0.148	n.s

(\*\*\*)Muy altamente significativo; (\*\*) Altamente significativo; (\*) Significativo;(n.s.) No significativo

## ANEXO 5

### PRUEBA DE LOS EFECTOS INTERSUJETOS PARA FLEXIÓN ESTÁTICA

<i>Origen</i>	<i>Variable dependiente</i>	<i>Suma de cuadrados tipo III</i>	<i>gl</i>	<i>Media cuadrática</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<b>Modelo corregido</b>	<b>ELP</b>	504661.271	5	100932.254	86.988	.000
	<b>MOR</b>	476979.741	5	95395.948	19.001	.000
	<b>MOE</b>	3964557660.425	5	792911532.085	7.443	.000
<b>Intersección</b>	<b>ELP</b>	8358449.324	1	8358449.324	7203.708	.000
	<b>MOR</b>	21562590.932	1	21562590.932	4294.942	.000
	<b>MOE</b>	500808617738.842	1	500808617738.842	4700.878	.000
<b>EDAD</b>	<b>ELP</b>	335245.933	2	167622.966	144.465	.000
	<b>MOR</b>	47187.683	2	23593.842	4.700	.011
	<b>MOE</b>	414468109.520	2	207234054.760	1.945	.147
<b>SECCION</b>	<b>ELP</b>	137695.640	1	137695.640	118.673	.000
	<b>MOR</b>	384302.024	1	384302.024	76.547	.000
	<b>MOE</b>	2722886398.390	1	2722886398.390	25.559	.000
<b>EDAD * SECCION</b>	<b>ELP</b>	22975.711	2	11487.856	9.901	.000
	<b>MOR</b>	80473.244	2	40236.622	8.015	.001
	<b>MOE</b>	1543570911.789	2	771785455.895	7.244	.001
<b>Error</b>	<b>ELP</b>	146197.580	126	1160.298		
	<b>MOR</b>	632578.173	126	5020.462		
	<b>MOE</b>	13423425163.156	126	106535120.343		
<b>Total</b>	<b>ELP</b>	9517164.676	132			
	<b>MOR</b>	24161540.025	132			
	<b>MOE</b>	547897451903.842	132			
<b>Total corregida</b>	<b>ELP</b>	650858.851	131			
	<b>MOR</b>	1109557.914	131			
	<b>MOE</b>	17387982823.582	131			

## ANEXO 6

### PRUEBA DE LOS EFECTOS INTERSUJETOS PARA COMPRESIÓN PARALELA

<i>Origen</i>	<i>Variable dependiente</i>	<i>Suma de cuadrados tipo III</i>	<i>gl</i>	<i>Media cuadrática</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Modelo corregido</i>	<i>ELP</i>	7623.940	5	1524.788	4.155	.006
	<i>RM</i>	8756.622	5	1751.324	3.182	.022
	<i>MOE</i>	2639985941.104	5	527997188.221	3.315	.018
<i>Intersección</i>	<i>ELP</i>	789725.438	1	789725.438	2151.944	.000
	<i>RM</i>	1432752.820	1	1432752.820	2602.969	.000
	<i>MOE</i>	204836126496.818	1	204836126496.818	1286.234	.000
<i>EDAD</i>	<i>ELP</i>	4288.190	2	2144.095	5.843	.008
	<i>RM</i>	1436.206	2	718.103	1.305	.288
	<i>MOE</i>	1283421804.101	2	641710902.050	4.030	.029
<i>NIVEL</i>	<i>ELP</i>	1154.558	1	1154.558	3.146	.087
	<i>RM</i>	5684.169	1	5684.169	10.327	.003
	<i>MOE</i>	378887446.263	1	378887446.263	2.379	.135
<i>EDAD * NIVEL</i>	<i>ELP</i>	2151.757	2	1075.878	2.932	.070
	<i>RM</i>	1474.846	2	737.423	1.340	.279
	<i>MOE</i>	494806374.248	2	247403187.124	1.554	.230
<i>Error</i>	<i>ELP</i>	9908.521	27	366.982		
	<i>RM</i>	14861.618	27	550.430		
	<i>MOE</i>	4299821517.209	27	159252648.786		
<i>Total</i>	<i>ELP</i>	880816.710	33			
	<i>RM</i>	1576845.427	33			
	<i>MOE</i>	229524680389.249	33			
<i>Total corregida</i>	<i>ELP</i>	17532.462	32			
	<i>RM</i>	23618.240	32			
	<i>MOE</i>	6939807458.314	32			

## ANEXO 7

### ANÁLISIS DE VARIANZA PARA COMPRESIÓN PERPENDICULAR, CIZALLAMIENTO Y DUREZA

<i>Propiedad mecánica</i>		<i>Factor de variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Compresión Perpendicular</i>	<i>ELP</i>	Edad	2	692.8	346.4	5.02	0.0121
		Residuo	35	2415.5	69		
<i>Cizallamiento</i>		Edad	2	151	75.4	0.34	0.714
		Residuo	34	7549	222		
<i>Dureza</i>	<i>Resistencia de lados</i>	Edad	2	7719	3859	1.677	0.203
		Residuo	31	71344	2301		
	<i>Resistencia de extremos</i>	Edad	2	4650	2325	0.662	0.523
		Residuo	31	108917	3513		