

INGRESE LOS DATOS EN LOS CASILLEROS DE FONDO BLANCO:

Active para iniciar; desactive al finalizar →

[Doble\\_clic](#)

Nombre del/de la tesista:	Juan Carlos Aguilar Ruiz		
Sexo:	Masculino		
Nombre de la tesis:	Propiedades mecánicas de madera de raleo de 6 años provenientes de plantaciones de <i>Guazuma crinita</i> en Puerto Inca-Huánuco.		
Fecha de sustentación:	26/10/2018	Fecha de publicación:	2019
Calificativo:	[Seleccione calificativo]		
Presidente del Jurado:	Florencio Trujillo Cuéllar		Mg. Sc.
Miembro del Jurado:	Manuel Chavesta Custodio		Mg. Sc.
Miembro del Jurado:	Leonidas Miguel Castro		Mg. Sc.
Asesor:	Moisés Aceveso Mallque		Mg. Sc.
Co-Asesor:			Lic.
Resumen breve (máx. 1000 caracteres):	<p>Reforestadora Amazónica S.A. "RAMSA" ha instalado plantaciones de <i>Guazuma crinita</i> de seis años en el sector Maquizapallo, Puerto Inca-Huánuco; de las cuales se seleccionaron árboles y se obtuvieron probetas para la evaluación de sus propiedades mecánicas. Los resultados obtenidos indican que los valores promedios de las propiedades mecánicas y peso específico evaluados presentan una relación inversa con el incremento a nivel longitudinal. Así mismo; los valores promedios de las propiedades mecánicas de madera de raleo de seis años son inferiores comparadas a otras de menor edad. Mientras que; los valores de resistencia para madera de raleo encontrados son inferiores a los de bosque natural para flexión estática, compresión paralela y perpendicular</p> <p>Por otro lado, la aptitud de uso recomendada para la madera de raleo evaluada de 6 años es como materia prima para la producción de tableros a base de madera, pulpa para papel y elaboración de pequeños artículos de madera.</p>		
Palabras claves (máx. 6)	Propiedades mecánicas; madera de raleo; plantaciones, <i>Guazuma crinita</i> ; bolaina		

[Ir a página de carátula](#)

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**Propiedades mecánicas de madera de  
raleo de 6 años provenientes de  
plantaciones de *Guazuma crinita* en  
Puerto Inca-Huánuco.**

Presentado por:

**Juan Carlos Aguilar Ruiz**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO FORESTAL

---

Lima - Perú  
2019

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por el ex-alumno de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. **JUAN CARLOS AGUILAR RUIZ**, titulado “**PROPIEDADES MECÁNICAS DE MADERA DE RALEO DE 6 AÑOS PROVENIENTES DE PLANTACIONES DE *GUAZUMA CRINITA* EN PUERTO INCA-HUÁNUCO.**”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de .....

En consecuencia queda en condición de ser considerado APTO y recibir el título de **INGENIERO FORESTAL**.

La Molina, 26 de Octubre de 2018

.....  
Mg. Sc. Florencio Trujillo Cuéllar  
Presidente

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

.....  
Mg. Sc. Leonidas Miguel Castro  
Miembro

.....  
Mg. Sc. Moisés Aceveso Mallque  
Asesor

## *DEDICATORIA*

*A mi familia, en especial a Silvia, Ana Silvia y Juan Carlos.*

## *AGRADECIMIENTOS*

*Agradezco a todas las personas que de una u otra manera han colaborado para cumplir esta meta, mencionando especialmente Julio, Lesly, Cathy y María Fernanda que me ayudaron en la parte de laboratorio y en toda la elaboración del documento. A toda mi familia, por apoyarme en cada uno de mis pasos personales y profesionales. A Reforestadora Amazónica “RAMSA”, con mención al Ing. Manuel Soudre y al técnico Max Llacctahuaman por toda la ayuda en campo y el soporte logístico para realizar la tesis; y especialmente al profesor e Ing. Acevedo, por la PACIENCIA y buen humor que siempre me brindo.*

## *RESUMEN*

En la última década las plantaciones forestales se han desarrollado por gran parte del territorio nacional, especialmente sierra y selva. En ese sentido, el Ministerio Nacional de Agricultura y Riego - MINAM en el anuario “Perú Forestal 2015” reporta que solo para el departamento de Huánuco al año 2015 existe superficie reforestada de 48023,22 ha, siendo la producción total de madera rolliza de bolaina en Huánuco aproximadamente el 20% de la producción total nacional de madera en el país durante ese año. Una de las especies más utilizadas en el establecimiento de plantaciones forestales con fines de producción es la *Guazuma crinita* “bolaina” debido a su versatilidad y rápido crecimiento que significa ingresos en pocos años a comparación de otras especies con un turno de aprovechamiento mayor. Por tal motivo, en los últimos años la empresa Reforestadora Amazónica S.A. “RAMSA” ha instalado plantaciones de *Guazuma crinita* de cuatro edades diferentes en un extensión de alrededor de 287 ha en el sector Maquizapallo en la provincia de Puerto Inca-Huánuco, siendo las plantaciones 2007 de seis años (62,97 ha) las evaluadas en la presente investigación. Durante la colección, se seleccionaron puntos de muestreo al azar, que cumplan con características de fisiografía de colina alta y calidad de sitio media, con la finalidad que los ensayos no se vean afectados por otros factores externos y realizar una mejor prueba representativa de madera de raleo con dichas características; teniendo como resultado final siete árboles de raleo comercial provenientes de plantaciones, de los cuales se obtuvieron probetas para la evaluación posterior de los ensayos en las propiedades mecánicas. Los resultados obtenidos indican que los valores promedios de las propiedades mecánicas y peso específico evaluados presentan una relación inversa con el incremento a nivel longitudinal. Así mismo; los valores promedios de las propiedades mecánicas de madera de raleo de seis años son inferiores en relación a la madera de raleo de menor edad comparadas con otros estudios; de igual manera; los valores de resistencia para madera de raleo encontrados son inferiores a los de bosque natural para los ensayos de flexión estática, compresión paralela y perpendicular. La aptitud de uso recomendada para la madera de raleo evaluada de seis años es como materia prima para la producción de tableros a base de madera, pulpa para papel y elaboración de pequeños artículos de madera.

Palabras claves: Propiedades mecánicas; madera de raleo; plantaciones, *Guazuma crinita*

# ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>I. Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>II. Revisión de Literatura</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Descripción de la especie</b> .....	<b>3</b>
1.1. Clasificación taxonómica y descripción general .....	3
1.2. Distribución y hábitat natural .....	4
1.3. Características anatómicas .....	5
1.4. características químicas.....	6
1.5. Experiencias en plantaciones de <i>Guazuma crinita</i> .....	7
1.6. Efecto de la silvicultura intensiva .....	8
1.7. Aptitud y mercado .....	10
<b>2. Propiedades mecánicas de la madera</b> .....	<b>13</b>
2.1. Clasificación de la madera según propiedades mecánicas .....	16
2.2. Propiedades mecánicas de <i>Guazuma crinita</i> .....	16
<b>3. Características específicas en la madera</b> .....	<b>19</b>
3.1. Densidad y peso específico .....	19
3.2. Madera juvenil y maduro.....	20
3.3. Tensión de crecimiento .....	25
3.4. Variabilidad de la madera .....	27
<b>III. Materiales y Métodos</b> .....	<b>31</b>
<b>1. Ubicación y características de la zona.</b> .....	<b>31</b>
<b>2. Materiales y equipos</b> .....	<b>32</b>
<b>3. Metodología</b> .....	<b>33</b>
3.1. Selección y colección de muestra.....	33
3.2. Codificación de probetas.....	36
3.3. Determinación de propiedades físicas y mecánicas .....	37
3.4. Procesamiento de análisis de datos y evaluación de resultados .....	37
<b>IV. Resultados y discusión</b> .....	<b>39</b>
<b>1. Propiedades mecánicas</b> .....	<b>39</b>
<b>2. Correlaciones entre la variable independiente (G) y dependiente</b> .....	<b>51</b>
<b>3. Clasificación de la especie en estudio</b> .....	<b>52</b>
<b>4. Aptitud de uso</b> .....	<b>53</b>
<b>V. Conclusiones</b> .....	<b>55</b>
<b>VI. Recomendaciones</b> .....	<b>56</b>
<b>VII. Referencias bibliográficas</b> .....	<b>57</b>
<b>VIII. Anexos</b> .....	<b>65</b>

## Índice de tablas

	Página
Tabla 1: Características anatómicas de madera de plantación de cuatro años de <i>Guazuma crinita</i> .....	6
Tabla 2: Características químicas de madera de plantación de cuatro años de <i>Guazuma crinita</i> .....	7
Tabla 3: Posibles usos de la madera de <i>Guazuma crinita</i> , proveniente de bosque natural .....	11
Tabla 4: Medidas de otros productos diferentes a la madera aserrada.....	12
Tabla 5: Rangos para la clasificación de propiedades mecánicas para maderas mexicanas (CH= 12%).....	16
Tabla 6: Valores referenciales de resistencia para <i>Guazuma crinita</i> en condición húmeda.....	16
Tabla 7: Valores promedios de propiedades mecánicas en madera de raleo de 4 años en <i>Guazuma crinita</i> .....	17
Tabla 8: Valores promedios de propiedades mecánicas en madera de raleo de 5 años en <i>Guazuma crinita</i> .....	18
Tabla 9: Escala de calificación para valores de coeficientes de correlación “r”.....	29
Tabla 10: Dimensiones de los árboles extraídos provenientes de la plantación .....	36
Tabla 11: Valores promedios de propiedades mecánicas, peso específico y contenido de humedad a diferentes niveles por árbol .....	40
Tabla 12: Valores promedios de propiedades mecánicas y coeficientes de variabilidad a diferentes niveles de altura por árbol .....	43
Tabla 13: Coeficiente de Variabilidad para diferentes niveles de altura, dentro y entre árboles.....	45
Tabla 14: Comparación de valores promedios de propiedades mecánicas en madera raleo y bosque natural (B.N) de <i>Guazuma crinita</i> , a diferentes edades y fisiografías .....	47
Tabla 15: Comparación de los coeficientes de variabilidad del estudio con los valores propuestos en Wood Handbook.....	48
Tabla 16: Análisis estadístico de las propiedades mecánicas en madera de raleo a diferentes niveles de altura y entre árboles.....	49
Tabla 17: Coeficientes de correlación, determinación y ecuaciones de regresión lineal para propiedades mecánicas evaluadas.....	51
Tabla 18: Clasificación de las propiedades mecánicas para madera de raleo de <i>Guazuma crinita</i> .....	52

## Índice de figuras

	Página
Figura 1: Ubicación de las zonas de recolección de bolaina y distribución de la especie en la región Amazónica.....	5
Figura 2: Variación de las propiedades de madera juvenil y madura.....	24
Figura 3: Mapa de ubicación de las plantaciones de RAMSA .....	34
Figura 4: Diseño de unidad de muestro .....	35
Figura 5: Comparación de valores promedios de las propiedades mecánicas en diferentes niveles de altura.....	41
Figura 6: Peso específico promedio de <i>Guazuma crinita</i> a diferentes niveles de altura .....	50

## *Índice de anexos*

	Página
Anexo 1 Fotos de probetas y ensayos .....	65
Anexo 2 estadística para propiedades mecánicas en árboles.....	67
Anexo 3 estadística para propiedades mecánicas en niveles estadística en flexión estática para nivel .....	90
Anexo 4 Gráficos de regresión: peso específico-propiedad mecánica.....	107

## I. INTRODUCCIÓN

El Ministerio Nacional de Agricultura y Riego, en su anuario “Perú Forestal 2015”, reporta que solo para el departamento de Huánuco al año 2015 existe superficie reforestada de 48023,22 ha. La producción total de madera rolliza de bolaina en Huánuco durante el 2015 fue 1180 m<sup>3</sup> que representa aproximadamente el 20% de la producción total nacional de madera. Esto ha estimulado el establecimiento de plantaciones forestales con fines de producción de *Guazuma crinita* “bolaina” debido a su versatilidad y rápido crecimiento que significa ingresos en pocos años a comparación de otras especies cuyo turno de aprovechamiento es bastante largo, en promedio superan los 40 años aplicando buena silvicultura y tecnología; mientras que para bolaina de plantaciones se estima un turno entre 6-8 años si es destinado a postes y 9-12 años si es destinado a madera aserrada. Una de las experiencias más significativas es la empresa Reforestadora Amazónica S.A. “RAMSA” la cual está reforestando áreas de gran extensión, casi tres mil hectáreas, en la zona de Puerto Inca – Huánuco con la especie bolaina.

En este contexto, las operaciones silviculturales han generado grandes cantidades de madera de raleo a los cuales es apropiado asignarles una alternativa de uso, según las características específicas del lugar y edad, para lo cual se requiere de información tecnológica de la madera de raleo

La presente investigación busca determinar y evaluar las propiedades mecánicas de la madera de raleo proveniente de plantaciones forestales de 6 años de la especie *Guazuma crinita* “bolaina” en la provincia de Puerto Inca, departamento de Huánuco para proponer aptitudes de uso.



## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 1. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

#### 1.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA Y DESCRIPCIÓN GENERAL

De acuerdo a INIA – ITTO (1996) la especie *Guazuma crinita*, de nombres comunes “bolaina”, “bolaina blanca”; tiene la sinonimia botánica: *Guazuma rosea* Poeppig, del género *Guazuma* y pertenece a la familia Sterculiaceae.

Reynel et al. (2003) la describe dendrológicamente como un árbol entre 25 – 80 cm de diámetro y 15 – 30 m de altura total, cilíndrico tanto en la base como a lo largo del fuste, con ramificación en el tercer tercio; posee una corteza externa lisa a finamente agrietada, de color marrón claro a grisáceo; mientras la corteza interna es fibrosa conformando un tejido finamente reticulado, de color amarillo claro que oxida rápidamente a marrón y se desprende en tiras al ser jalado; ramitas terminales con sección circular, de color oscuro cuando secas, de unos 3 – 4 mm de diámetro, usualmente con pubescencia ferrugínea hacia las partes apicales; hojas simples, alternas y dísticas, de 10 – 18 cm de longitud, y 5 -7 cm de ancho, el pecíolo de 1,5 – 2 cm de longitud, pulvinulado, láminas ovadas, frecuentemente asimétricas, aserradas, nervación palmeada, nervios secundarios promículos en el haz y envés, ápice agudo y acuminado, base cordada, hojas cubiertas de pubescencia de pelos estrellados y escamosos sobre todo por el envés.

En cuanto a la fenología, Flores citado por Mori (2011) afirma que para el ámbito del Bosque Nacional Alexander Van Humboldt la floración y fructificación ocurren anualmente. La floración dura aproximadamente dos meses; aunque en general es muy variable, en selva central se puede presentar entre mayo a setiembre. Luego el árbol permanece sólo con hojas por tres o cuatro semanas hasta que empieza a aparecer los frutos, su maduración dura entre dos o tres meses y la diseminación de semillas alcanza su máxima intensidad en los meses de setiembre y octubre (final de la época seca). Además, menciona que durante la fructificación y diseminación puede ocurrir una defoliación parcial de la copa.

Los frutos de la bolaina son dispersados por el viento, con mayor porcentaje de dispersión entre los meses de agosto a noviembre. Cada fruto puede contener alrededor de 20 semillas pequeñas de forma ovoide; poseen una superficie relativamente lisa con una cubierta dura e impermeable siendo necesario ablandarlas con períodos largos de remojo. El mayor porcentaje de germinación se alcanza con semillas de dos meses de almacenamiento. (Colán, Reynel et al. citados por Mori (2011)).

Sobre la polinización, Reynel et al. (2003) señala que no hay reportes confirmados de cuáles serían los legítimos polinizadores debido a que se observan varios insectos pequeños cerca a las flores.

## **1.2. DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT NATURAL**

Reynel et al. (2003) señala que la especie se distribuye dentro de las zonas ecológicas bosque húmedo pre montano (bh-PM) y bosque muy húmedo subtropical (bmh-ST), soportando precipitaciones en un rango de 1800 a 2500 mm y una temperatura media anual 25° C. Andrade (2001) indica que se encuentra tanto en bosques inundables (riberías de ríos) y no inundables (riberas de quebradas) hasta los 1000 msnm. El mismo autor menciona que se requiere de suelos ultisol, entisol, inceptisol y pH ácido a ligeramente ácido, aunque suele presentarse en suelos limosos a arenosos de escasa fertilidad, a veces pedregosos

La distribución de la especie señala que se encuentran en los departamentos de Amazonas, Huánuco, Junín, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín y Ucayali; existiendo en bajas cantidades en la Amazonía central y en cantidades medias en la Amazonía sur del país. Según Sears y PinedoVásquez citados por Putzel et al. (2013) en zonas aluviales; luego de la explotación agropecuarias, se han registrado crecimientos promedios de 4,8 cm/año por lo que se podría aprovechar para postes después de 2 años y después de 11-12 años para madera aserrada con diámetros entre 15-20 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP).

Respecto a la importancia de la bolaina; Díaz Gonzáles citado por Putzel et al. (2013), señala que es propicia para el manejo por pequeños agricultores amazónicos por sus características ecológicas naturales. También menciona que la bolaina como especie pionera coloniza claros en los bosques, incluyendo nuevas purmas, mediante la dispersión por el viento de sus pequeñas cápsulas de semillas a comienzos de la época de lluvias; que germinan fácilmente en suelos inundables comunes en la región amazónica. Añade que la bolaina es tolerante a las inundaciones y su manejo es ideal en áreas estacionalmente

inundadas cercanas a ríos y arroyos. Destaca que en las regiones de Ucayali y Huánuco, los agricultores pueden transportar los tucos por el río a los aserraderos cercanos durante la época de cosecha, lo que reduce considerablemente los costos de transporte.



**Figura 1:** Ubicación de las zonas de recolección de bolaina y distribución de la especie en la región Amazónica

FUENTE: Herbarios en línea de los jardines botánicos de Missouri y Nueva York, mapa: Elaboración de Agus Salim (citado por Putzel et al., 2013)

### 1.3. CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS

Taquire citado por Andrade (2001) describe a la madera de *Guazuma crinita* como de color blanco, según la tabla de Munzel, (HUE 2,5 Y – 8/2) no diferenciándose albura y duramen

cuando esta húmeda. Tanto el olor como el sabor están ausentes o no son distintivos. El grano que presenta es recto con textura mediana y homogénea. El veteado en corte radial, se presenta como reflejos plateados en bandas estratificadas, en el corte tangencial, manifiesta arcos superpuestos poco pronunciados.

El mismo autor indica que la distribución de los poros es difusa, siendo éstos solitarios o múltiples, con inclusiones y de concentración homogénea. En sección tangencial, los radios son visibles a simple vista, en la sección radial también son visibles y claros a simple vista, estando los radios en forma desordenada. Los anillos de crecimientos son claramente visibles a simple vista y están limitados por bandas oscuras, de forma ondulada y distribución variada, encontrándose en promedio cinco anillos por pulgada. El parénquima es apotraqueal reticulado, no visible a simple vista.

Por otro lado; durante la evaluación de tableros de partículas de bolaina, Miguel (2013) caracterizó la anatomía de madera de plantación de cuatro años para dicha especie, teniendo como resultados promedio lo siguiente:

**Tabla 1: Características anatómicas de madera de plantación de cuatro años de *Guazuma crinita***

Láminas	Poros		Radios					Fibras			Vasos
	Diám. Tang (μ)	N° poros/mm <sup>2</sup>	Altura (μ)	Ancho (μ)	N° célula (alto)	N° célula (ancho)	N° radios /mm	Diám. total (μ)	EP pared (μ)	Long. (μ)	Long. (μ)
Promedio	133	6	723	43	30	3	4	25	1.88	1039	306

EP: Espesor

FUENTE: Miguel (2013)

#### 1.4. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

De igual manera, en el mismo estudio de tableros de partículas, Miguel (2013) obtiene los siguientes resultados de las características químicas de bolaina para madera de plantación de cuatro años:

**Tabla 2: Características químicas de madera de plantación de cuatro años de *Guazuma crinita***

<b>Componentes</b>	<b>Extractivos</b>	<b>Holocelulosa</b>	<b>Celulosa</b>	<b>Hemicelulosa</b>	<b>Lignina</b>
<b>Cantidad (%)</b>	1,8	79,2	51,9	27,4	28,6

FUENTE: Miguel (2013)

### **1.5. EXPERIENCIAS EN PLANTACIONES DE *GUAZUMA CRINITA***

Wigthman et al. (2006), mencionan que las plantaciones exitosas en Ucayali han estado en zonas aluviales o de alta precipitación y en suelos que van de franco arcilloso a arcillosos. En estos sitios los árboles han alcanzado alturas de 10 m a los cuatro años después de plantado.

Estudios realizados por Sánchez (1995) señalan que hay una fuerte respuesta respecto al incremento en altura y diámetro de la planta a la fertilización química. Así mismo, estudios previos de Ara (1999) han determinado que Ca y posiblemente Al y P, son los componentes de fertilidad que mejor explican la variabilidad en la altura de bolaina a un año de trasplante

En un estudio realizado por Ego et al. (2002), de plantaciones de bolaina en terrenos con anterior uso agrícola, se encontró que el crecimiento durante los seis primeros años de plantación, con una densidad de 400 árboles/ha, tiene alta significancia expresado en 4,2 cm/año para el diámetro y 3,6 m/año para la altura total y un volumen rollizo de 118,32 m<sup>3</sup>/ha. En estas condiciones y sin considerar los ingresos procedentes de las asociaciones agrícolas iniciales, estas plantaciones no fueron rentables; sin embargo, a una proyección de edad de corta de nueve años, con un recalce oportuno y haciendo una integración vertical de recursos para la producción de tablillas; sería rentable con un volumen rollizo comercial de 347,17 m<sup>3</sup>/ha.

Otros antecedentes son mencionados por Putzel (2013). El primero señala que en zonas aluviales luego de la explotación agropecuaria, la bolaina crece rápidamente, alcanzando un diámetro promedio de 4,8 cm/año, de manera que se pueden aprovechar postes después de 2 años y madera aserrada de diámetro menor, 15 – 20 cm DAP, después de 11 – 12 años. Por otro lado; el segundo caso menciona el manejo de pequeños productores con el objetivo de obtener madera aserrada, éstos árboles se desarrollaron en rodales densos de hasta 1200 individuos/ha dentro de purmas jóvenes (menor a 3 años) y hasta 500 individuos maduros/ha con DAP mayores a 25 cm.

Al respecto Baldoce et al. (1991) indican que se obtuvo un incremento promedio de 3,26 cm/año para el diámetro y uno de 4,06 m/año para altura en plantaciones en fajas de 30 m, establecidas en suelos gleysoles de la Estación Experimental Alexander Von Humboldt (zonas planas y algunas onduladas sin ningún accidente topográfico, donde las partes bajas son húmedas y presentan mal drenaje). Mientras Villachica et al. (1993) hacen referencia a plantaciones establecidas en suelos ácidos y degradados del valle en Chanchamayo dentro sistemas agroforestales sin distanciamiento determinado donde encontraron tasas de crecimiento para los cinco primeros años de 4 cm/año para el diámetro a la altura del pecho y de 2,94 m/año para la altura total; sin embargo, Mori (2011) hace referencia al crecimiento de la especie en plantaciones señalado que en ningún caso es posible compararlos debido a que los sistemas evaluados y las características del terreno de establecimiento son diferentes.

#### **1.6. EFECTO DE LA SILVICULTURA INTENSIVA**

El objetivo de la silvicultura es acelerar el crecimiento de los árboles y mejorar el valor de la cosecha final a través de la reducción de la competencia y el aumento de la nutrición. Esto es corroborado por Chadwick citado por Pantigoso (2009), el cual indica que los factores silviculturales causan un aumento en la velocidad de crecimiento en los árboles; sin embargo, también provocan una disminución en la densidad y el desempeño de un producto dado. Jozsa y Middleton (1994) mencionan entre los tratamientos silviculturales más utilizados para el manejo del bosque: espaciamiento, raleo, fertilización y poda.

El espaciamiento otorga un control a una edad temprana, incluyendo la separación de los árboles en el momento de la siembra. La intensidad de la siembra depende de una combinación de costos de plantación, las estimaciones de supervivencia de las plantaciones y el grado de compromiso con el seguimiento de los tratamientos como: espaciamiento, la vegetación y el control de plagas, poda, fertilización, y el raleo comercial.

Al igual que el espaciamiento; el raleo también otorga control pero se lleva a cabo a una edad más avanzada que el espaciamiento siendo el objetivo eliminar el exceso de árboles para reducir la competencia, mejorar el crecimiento y el valor de los árboles restantes.

Suri citado por Mori (2011) sostiene que es importante conocer el espaciamiento óptimo requerido por la copa del árbol y así brindarle el máximo crecimiento posible. Una vez conocida esta información básica, el rodal puede ser raleado siguiendo cualquier patrón

deseado; siendo la intensidad y frecuencia de las intervenciones según los resultados que se deseen obtener.

De igual manera indica que el espaciamiento entre individuos tiene relación con el raleo; decidir el momento y la intensidad basado en la dominancia de los árboles, eliminando todos los individuos suprimidos, algunos codominantes y dejando en pie los dominantes es un raleo de tipo cualitativo y no cuantitativo. Es erróneo pensar solo en las necesidades inmediatas del rodal ya que un raleo conlleva efectos de largo plazo.

Es bien conocido que árboles liberados en un raleo tienden a crecer más rápido y que la producción total de madera a menudo iguala o supera la observada en rodales sin ralear. Árboles con suficiente espacio para crecer interceptan más luz, producen más carbohidratos y fijan proporcionalmente una mayor cantidad de nutrientes en el fuste que árboles con copas parcialmente sombreados. Aunque estudios indican que los raleos alteran las condiciones medioambientales necesarias para el crecimiento, incrementando la disponibilidad de agua, luz y nutrientes para los árboles remanentes (Medhurst citado por Díaz Bravo et al, 2012). Manta (citado por Mori, 2011) reafirma que el efecto podría ser inverso si la densidad del rodal o la intensidad del raleo afecta significativamente las características micro climáticas a la están acostumbradas los diferentes grupos ecológicos.

La intensidad de raleo debe estar orientado hacia incrementos en el crecimiento, los cuales no son homogéneos, normalmente van decreciendo; y no son iguales para las especies heliófitas efímeras, durables, esciófitas parciales o totales. Esto es corroborado por Díaz Bravo et al. (2012) que indica que el crecimiento en altura no se ve afectado por la intensidad de raleo; sin embargo, tiene una tendencia decreciente con la densidad residual. De igual manera, el mismo autor sostiene que raleos con mayor intensidad permiten obtener individuos con mayor incremento en el DAP.

Flores citado por Caál (2014) indica que en algunas experiencias exitosas se menciona dos momentos oportunos para efectuar el primer raleo en plantaciones forestales: a) en plantaciones que se establecieron inicialmente a un distanciamiento de 2 x 2 metros (2500 árboles/hectárea) se recomienda ralear el 50% de los árboles, cuando la plantación alcance unos 4 o 5 metros de altura total promedio, b) en plantaciones que se establecieron inicialmente a un distanciamiento de 3 x 3 metros (1111 árboles/hectárea) se recomienda ralear al 50% de la plantación, cuando la plantación alcance los 6 ó 8 metros de altura total

promedio. Sin embargo; Gutierrez (2008) señala que en general dentro de las plantaciones todavía hay una falta de claridad sobre el momento oportuno, la intensidad y la frecuencia de esta operación

### **1.7. APTITUD Y MERCADO**

La bolaina es una especie que ya ha sido introducida con gran éxito en el mercado regional y nacional elaborándose productos de valor agregado y estandarizados para usos finales tales como: machihembrados que se usan para forros de vivienda, embalajes para cajas de espárragos, madera liviana para uso en carpinterías y muebles. Así mismo; ha servido como materia prima para la fabricación de puertas sólidas mediante la aplicación de tecnologías industriales tipo tablero de listones (blockboard), los cuales requieren que tengan un adecuado proceso de secado, calidad en el cepillado y aplicación de pegamentos industriales tipo PVC (acetato de polivinil). (IIAP, 2009).

Hasta el año 2007, la bolaina se comercializaba a nivel local en el área del río Ucayali para la construcción de viviendas, mayormente en comunidades y en los crecientes vecindarios de bajos ingresos alrededor de ciudades como Pucallpa, donde en un momento dado el 65 por ciento de las viviendas tenía paredes fabricadas con tablillas de bolaina. (Padoch citado por Putzel, 2013).

El uso local de la bolaina empezó a aumentar con la comercialización a nivel internacional de especies más valiosas de madera. Al inicio el mercado era pequeño pero después fue creciendo en Lima y otros lugares. Sin embargo; es después de un terremoto en el 2007 donde la demanda de tablillas de bolaina se incrementó pues se la utilizaba en casas prefabricadas construidas para situaciones de emergencia, pasando a ocupar un lugar destacado entre las 20 principales aprovechadas a nivel nacional, según cifras oficiales de producción (Ministerio de Agricultura, 2011).

Baltazar (2012) menciona que la bolaina posee buenas propiedades para trabajo con máquinas de carpintería, regular en cuanto a su contracción, presentan baja resistencia mecánicas y también baja durabilidad natural, que puede mejorarse mediante tratamientos con productos químicos. Además, debido a las propiedades tecnológicas tienen uso en cajonería liviana, revestimiento y laminado. Esto también es mencionado por Arostegui y Sato (1970) para el uso de maderas del Perú.

**Tabla 3: Posibles usos de la madera de *Guazuma crinita*, proveniente de bosque natural**

<b>Construcciones</b>	<b>Otros usos</b>						
<b>Otras construcciones</b>	<b>Cajonería</b>	<b>Carpintería en general</b>	<b>Laminado</b>	<b>Juguetería</b>	<b>Palo de fósforo</b>	<b>Instrumentos científicos</b>	<b>Paletas, chupetes y otros</b>
<b>Carpintería</b>							
x	x	x	x	x	x	x	x

*FUENTE: Arostegui y Sato (1970)*

En la actualidad, dentro de la industria existen mercados atractivos para productos de especies forestales de baja densidad como palos y cucharitas para dulces y helados, palillos de dientes, madera preparada para fosforo. Según MINAGRI en el anuario de Perú forestal 2015, el total de estos productos exportados fue de 717,7 kg aproximadamente, siendo el de mayor demanda los palos y cucharitas para helados con 411,6 kg. Los principales países destino son Alemania, Estados Unidos, Italia y Bolivia; siendo Bolivia el que mayor demanda requirió con 396 kg en ese año.

El mismo autor señala que la balanza comercial de estos productos es negativa debido a que la importación de los mismos es considerablemente mayor que lo que se exporta, siendo nuestros principales proveedores China, Estados Unidos y Chile. El producto más importado en el país para ese año fue la madera preparada para fosforo con una cantidad aproximada al millón y medio de kg proveniente de Chile. Así mismo, la demanda nacional cubierta por Chile de palos y cucharitas para helado alcanzó la cantidad de 237 mil kg.

Terciados y elaboración de maderas - TEMSA S.A. (2006) en su informe final sobre el diseño y desarrollo de un prototipo de secador de palitos para helados, menciona que en ensayos para madera de álamo, como materia prima; a un contenido de humedad de 12% y una densidad anhidra de 0,37 g/cm<sup>3</sup>, muy similar a la de la bolaina. El álamo presenta una anomalía en sus propiedades mecánicas en torno a una densidad de 0,32 g/cm<sup>3</sup> generando una reducción de las propiedades hacia las altas densidades. Para el estudio, los parámetros principales en el secado para palitos son las propiedades mecánicas y la contracción volumétrica; en ese sentido, cambios en las propiedades mecánicas (particularmente los cambios anómalos) favorecen la inestabilidad del producto, incrementando su tendencia al colapso.

**Tabla 4: Medidas de otros productos diferentes a la madera aserrada.**

<i>Productos Estándar</i>	<i>Espesor (me), mm</i>	<i>Ancho (B), mm</i>	<i>Largo (L), mm</i>	<i>Relación de Aspecto L/e</i>	<i>Relación de Aspecto B/e</i>
Palitos de helados (normales)	2	10	114	53	5
Palitos de helados 93 mm	2	10	93	43	5
Palitos corbatas	2	17	93	47	9
Cucharitas	2	18	77	45	11
Bajalenguas	2	20	148	87	12
Otros productos					
Chopsticks	5	14	205	46	3
Paletas de pintura 12"	3	22	305	95	7
Paletas de pintura 14"	3	29	356	111	9

*FUENTE: TEMSA (2006)*

Miguel (2013) evalúa tableros de partículas de 3 capas para uso en interiores a partir de madera de *Guazuma crinita*. De acuerdo a la norma DIN, estos tableros presentan valores muy cercanos a los exigidos en flexión y superiores en tensión perpendicular. Por otro lado; en comparación con los requerimientos señalados por la norma CSA Standard 0188-75, el mismo autor indica que los tableros de partículas con y sin parafina pueden utilizarse en alma para muebles de alta y mediana calidad, alma para paneles, escritorios, gabinetes y muebles de tocador, contrapiso falso piso y cielo raso.

## 2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA

Haygreen y Bowyer (1994), 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 sobre la microestructura de las paredes celulares, la variedad y proporción de los diferentes tipos de células en función de las especies; así como por el contenido de humedad.

La densidad indica la cantidad de sustancia celular presente en una unidad de volumen de madera. Es por esto que especies con madera densa tienen resistencias altas y maderas livianas resisten menos que las anteriores.

Notivol et al. (1992) señala que la densidad permite determinar la utilidad tecnológica de la madera. En estudios realizados con la especie *Pinus pinaster* se observó una acentuada correlación entre la densidad y la mayoría de las características físico - mecánicas. Zobel y Talbert citados por Valero et al. (2015) menciona que la densidad de la madera es la expresión de la presencia relativa de los distintos elementos celulares que la componen como los vasos, traqueidas, fibras, células de parénquima; y de la variación de la pared celular, lumen y espacios intercelulares. Además, afirma que la densidad básicamente depende del tamaño de las células, del grosor de la pared celular y de la proporción de los diferentes tipos de tejidos con respecto al volumen total del leño.

Por otro lado, Espinoza de Pernía 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, observando que en aquellas especies donde la pared de las fibras son más gruesas presentan mejores propiedades de resistencia mecánicas. Esto es corroborado por Zink citado por Valero et al. (2005), en estudios de uniones empernadas en especies del género *Acer* y *Quercus*, señalando que el espesor de la pared celular, los vasos y el ancho de los radios en un área determinada, tienen influencia en la resistencia de la madera.

Leclereq citado por Valero et al. (2005), añaden que la longitud de las fibras también ejerce un efecto importante sobre la resistencia a la flexión estática, resistencia al impacto en flexión y en la compresión paralela a las fibras. Espinoza de Pernía (1991) señala que la longitud de las fibras ejerce un papel preponderante cuando se aplica unos esfuerzos en dirección paralela al grano. La resistencia a la compresión paralela a las fibras, la resistencia

a la tensión y la dureza de los extremos son propiedades que se encuentran altamente influenciadas por esta característica.

Díaz (2005) indica que la variabilidad que es posible encontrar en probetas de una misma especie, de diferentes árboles o más aún de un mismo árbol se ve reflejada en una marcada diferencia en su densidad y resistencia. Ésta variabilidad responde a diferencias genéticas, de ambiente y/o ambas. Es por esto que posee valores de resistencia variables, e incluso llegando a ser más variables debido a que algunas de sus características no pueden ser controlables como contenido de humedad, densidad, ángulo de fibras, nudosidad, temperatura y otras influencias.

Respecto al contenido de humedad, Cuevas (2003) señala que afecta las propiedades mecánicas como flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular, tracción, cizallamiento, dureza y clivaje. Sobre el punto de saturación de fibras (P.S.F), la resistencia mecánica se mantiene constante y a medida que el contenido de humedad disminuye, desde el P.S.F hasta estado anhidro la resistencia mecánica de la madera aumenta excepto en la propiedad mecánica de tenacidad que disminuye.

Según Arostegui citado por Patiño (2002), la flexión es la resistencia que ofrece la madera a una carga que actúa sobre una viga. Estos valores numéricos promedio de esta propiedad sirven de base para calcular 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.

Respecto a la compresión paralela al grano, el mismo autor indica que su conocimiento es importante cuando la madera va a ser usada para puntales o columnas. Así mismo, menciona que el esfuerzo al límite proporcional en compresión perpendicular no puede dejar de ser tomado en cuenta cuando la madera va a ser utilizada para transmitir alguna carga, tal como ocurre en los durmientes. Mientras que, para el cizallamiento o corte lo define como la resistencia que ofrece la madera a la acción de dos fuerzas paralelas, pero en direcciones opuestas, señalando que es importante especialmente en el caso de la unión de varias piezas en construcciones, tales como las vigas.

Moglia et al. (2007) señala a la dureza como indicador de la trabajabilidad de la madera debido a que no es precisamente un esfuerzo mecánico pero sí una propiedad medible y cuantificable a través de la utilización de una carga.

La dirección de la carga que se aplica, puede o no coincidir con la dirección en que se encuentra el eje mayor de las células, siendo este ángulo formado el denominado ángulo de las fibras. Se puede señalar que las mayores resistencias se alcanzan en solicitaciones paralelas a las fibras, por las resistencias mecánicas inversamente proporcionales al ángulo de las fibras. (Díaz, 2005)

Díaz-Vaz y Cuevas (1982) mencionan que los nudos disminuyen la resistencia de la madera por inducir a una distribución irregular de las tensiones. La presencia de nudos principalmente afecta a las propiedades mecánicas por la variación en la dirección de las fibras, diferencias de la densidad entre madera y nudo, y la presencia de grietas cuando la madera está seca; mientras que los ataques patógenos de algún modo modifican o destruyen la pared celular disminuyendo las resistencias mecánicas.

Vignote y Martínez (2006) señalan que la médula es otra anomalía en la madera que afecta la resistencia mecánica, ya que presenta características de blandura, escasa resistencia y color, que hace desprestigiar piezas que la contienen.

Por otro lado, Díaz (2005) menciona que la temperatura es un factor determinante para las propiedades mecánicas debido que a un incremento en los valores, de negativo a positivo, refleja una disminución de las resistencias estáticas. Mientras que para las resistencias dinámicas los cambios que se producen son irregulares y dependientes de la densidad y el contenido de humedad de la madera ensayada.

Los defectos más frecuentes e importantes desde el punto de vista de las propiedades mecánicas son el grano inclinado y las fallas de compresión. De igual manera, algunos otros defectos que favorecen los ataques de hongos xilófagos perjudiciales son la inclusión de la médula, los nudos y las escamaduras. (JUNAC, 1983)

De igual modo, diversos autores coinciden en factores que afectan la resistencia mecánica, así es que Arroyo, JUNAC, Díaz y Vignote y Martínez citados por Meléndez (2011) concuerdan en que las propiedades mecánicas se ven influenciadas por una serie de características que muchas veces no pueden ser controladas, como: anomalías de la madera (defectos naturales o de crecimiento como nudos, inclinación de las fibras, madera de tensión, médula excéntrica, etc.), contenido de humedad en la madera, densidad, temperatura, tiempo e intensidad de la carga.

## 2.1. CLASIFICACIÓN DE LA MADERA SEGÚN PROPIEDADES MECÁNICAS

Para realizar una clasificación Dávalos y Bárcenas citados por Pantigoso (2009) muestra una clasificación de propiedades mecánicas para maderas mexicanas estudiadas con un contenido de humedad del 12%. La siguiente tabla permite predecir un uso más adecuado, de acuerdo a los requisitos mínimos que requiere la madera para determinado uso.

**Tabla 5: Rangos para la clasificación de propiedades mecánicas para maderas mexicanas (CH= 12%)**

Flexión Estática		Compresión Paralela	Compresión Perpendicular	Cizallamiento	Dureza		Clasificación
MOR	MOE	RM	ELP	CZ	Extremos	Lados	
(kg/cm <sup>2</sup> )	(t/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg)	(kg)	
< 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 citados por Pantigoso (2009)

## 2.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE GUAZUMA CRINITA

Sobre las propiedades de la madera en esta especie, en la tabla 6 Valdivia y Sotelo citados por Valdivia (1993) muestran valores referenciales de un estudio en condición saturada:

**Tabla 6: Valores referenciales de resistencia para *Guazuma crinita* en condición húmeda**

Densidad básica (g/cm <sup>3</sup> )	Propiedades mecánicas					
	Flexión estática (kg/cm <sup>2</sup> )			C. perpendicular (kg/cm <sup>2</sup> )	Extracción de clavos (kg/clavo)	
	ELP	MOR	MOE	ELP	LADOS	EXTREMOS
0,34	340,80	442,03	49,11	26,52	70,75	41,81

FUENTE: Valdivia (1993)

El mismo autor indica que en cuanto a su trabajabilidad, un buen comportamiento al cepillado, lijado, taladrado y moldurado.

Por otro lado, el mismo sostiene que posiblemente corresponden a los esfuerzos admisibles del grupo C, cuyos valores propuestos por JUNAC (1983) son los siguientes: flexión 100 kg/cm<sup>2</sup>, compresión paralela 80 kg/cm<sup>2</sup>, compresión perpendicular 15 kg/cm<sup>2</sup> y para corte paralelo 8 kg/cm<sup>2</sup>; y cuyo valor mínimo de módulo de elasticidad es de 55 000 kg/cm<sup>2</sup>.

Las tablas 7 y 8 muestran estudios recientes en madera de raleo de *Guazuma crinita* realizados por Urbina (2017) y Robles (2017) para cuatro y cinco años respectivamente en condiciones seca al aire. Las tablas muestran los valores promedios para las siguientes propiedades:

**Tabla 7: Valores promedios de propiedades mecánicas en madera de raleo de 4 años en *Guazuma crinita***

Propiedades mecánicas		Nivel	Unidad	Media	cv%	Rango		CH%
						Mínimo	Máximo	
Compresión paralela	ELP	Basal	kg/cm <sup>2</sup>	190,88	22,41	113,62	299,95	13,15
	MOR			234,63	17,44	147,82	310,54	
	MOE		t/cm <sup>2</sup>	92,97	24,18	49,13	137,38	
	ELP	Medio	kg/cm <sup>2</sup>	162,10	22,59	104,89	235,82	13,00
	MOR			197,05	18,57	124,65	272,41	
	MOE		t/cm <sup>2</sup>	81,51	23,05	49,47	139,16	
Flexión estática	ELP	Basal	kg/cm <sup>2</sup>	347,71	15,01	252,89	459,21	13,49
	MOR			509,89	14,86	401,24	676,04	
	MOE		t/cm <sup>2</sup>	72,52	11,44	56,67	92,19	
	ELP	Medio	kg/cm <sup>2</sup>	242,39	21,22	130,90	338,97	13,43
	MOR			322,92	25,93	148,91	508,96	
	MOE		t/cm <sup>2</sup>	53,16	19,40	31,08	79,85	
Tenacidad	tangencial	Basal	kg-m	0,60	27,98	0,32	0,92	13,65
		Medio		0,46	45,87	0,18	0,73	12,42
	radial	Basal	kg-m	0,59	24,56	0,23	0,94	12,84
		Medio		0,46	35,51	0,13	0,71	12,45

FUENTE: Urbina (2017)

**Tabla 8: Valores promedios de propiedades mecánicas en madera de raleo de 5 años en *Guazuma crinita***

Fisiografía	Nivel	CH (%)	Flexión estática (kg/cm <sup>2</sup> )			Compresión paralela (kg/cm <sup>2</sup> )			Compresión perpendicular (kg/cm <sup>2</sup> )
			ELP	MOR	MOE x 10 <sup>3</sup>	ELP	RM	MOE x 10 <sup>3</sup>	ELP
Colina baja	Basal	13,71	341,04	515,5	73,44	154,03	237,96	98,66	31,89
	CV(%)		18	22	21	25	19	37	35
	Medio	13,74	271,07	391,02	60,23	161,35	219,55	80,67	22,5
	CV(%)		15	16	16	21	20	32	26
	Promedio	13,72	306,06	453,26	66,84	157,69	228,76	89,67	27,20
Colina alta	Basal	13,81	319,14	485,74	69,63	151,9	221,49	87,09	28,73
	CV(%)		20	20	18	22	21	32	38
	Medio	13,70	290,16	441,64	61,51	152,67	221,73	90,51	21,17
	CV(%)		22	23	22	25	23	24	18
	Promedio	13,76	304,65	463,69	66,57	152,29	221,61	88,80	24,95
Promedio General		13,74	13,74	458,48	66,20	154,99	225,18	89,23	26,07

FUENTE: Robles (2017)

### **3. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS EN LA MADERA**

#### **3.1. DENSIDAD Y PESO ESPECÍFICO**

Díaz (2005) hace mención a las diferentes densidades, la primera o normal que analiza la relación entre masa y volumen determinados ambos para un mismo contenido de humedad igual al 12%; mientras que la densidad básica relaciona la masa en estado anhidro y el volumen de la madera en estado verde.

En un estudio de *Guazuma crinita*, Baltazar (2012) determinó una densidad básica promedio de 0,32 g/cm<sup>3</sup> para una plantación de cuatros años; además de encontrar diferencias significativas entre los niveles del fuste y afirmar que el primer nivel de fuste obtenido es el de mayor densidad básica. También; menciona que tanto la densidad básica y el peso específico tienden a disminuir hasta cierto punto del árbol, generalmente hasta base de la copa para luego incrementar con la altura

Por otro lado; Arroyo citado por Durán (2003) menciona que el peso específico es una medida de la cantidad relativa de sustancia en la pared celular; además es el mejor índice para predecir las propiedades de resistencia de la madera y dureza. Esto es reafirmado por León (2010) que menciona al peso específico como uno de los mejores indicadores de la resistencia y valores de propiedades mecánicas indicando que la proporción de los componentes de la pared celular y la cantidad de extractivos depositados en los lúmenes de las células juegan un rol importante.

Arroyo (1983) señala que el valor mínimo del peso específico se obtiene cuando se utiliza el peso del volumen verde; mientras que, se obtiene el valor máximo cuando se utilice el peso del volumen del agua desplazado en condición seca al horno.

El mismo autor sostiene que en términos generales el peso específico depende de tres factores importantes: a) tamaño de células, b) espesor de pared celular y c) interrelación entre el número de células de diferentes tipos en términos de tamaño y espesor de pared. Mientras que variaciones en el peso específico pueden deberse a la presencia de extractivos en la madera que distorsionan la relación general que existen entre el peso específico y la resistencia de la madera. De igual manera; señala que espesores de pared, secciones transversales de células, ancho del anillo de crecimiento y las proporciones de madera temprana y tardía son responsables de sus variaciones.

Moglia et al. (2007) mencionan que en general tanto para coníferas, maderas blandas y livianas, con un rango de peso específico entre 0,4 y 0,6 kg/dm<sup>3</sup>, el leño temprano está formado por traqueidas de paredes delgadas; mientras que el leño tardío tiene células más pequeñas con paredes más gruesas. Debido a esto, el mismo autor señala como mayor responsable del peso específico a las células del leño tardío.

### **3.2. MADERA JUVENIL Y MADURO**

Haygreen y Bowyer (1982) mencionan que la madera juvenil ha sido definida como un xilema secundario generado por regiones cambiales que son influenciadas por la actividad en el meristemo apical. Esta definición explica por qué existe una transición gradual en las propiedades entre la madera juvenil y la madera madura. La madera juvenil es difícil de identificar mediante una observación visual, especialmente en coníferas, aunque diversas características normales son algunas veces modificadas. En latifoliadas, los vasos de la madera juvenil son frecuentemente más pequeños y arreglados de manera diferente a partir de aquellos característicos de una madera madura. Una característica consistente que normalmente se convierte en una variable en la madera juvenil es el tipo de perforaciones en platinas de vasos. Siendo las perforaciones escaleriformes reportadas en la madera juvenil de especies que normalmente tienen vasos con platinas de perforación simple.

Arroyo citado por Torres (2009) indica que la madera formada cerca de la médula se llama juvenil, formada 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. La formación de madera juvenil está asociada a la prolongada influencia de los meristemas apicales en las partes activas de la copa durante el periodo de crecimiento. A medida que la copa se mueve hacia arriba; el cambium de las partes más viejas del árbol, a una altura cualquiera, esta menos influenciado por el crecimiento primario o alargamiento de la copa y entonces la madera formada se conoce con el nombre de la madera adulta.

Zobel y Van Buijtenen citados por Meza- Juárez et al. (2005) indican que la madera juvenil se caracteriza por tener células cortas, paredes celulares delgadas, baja proporción de madera tardía, baja densidad, contenido elevado de hemicelulosa y lignina, bajo contenido de celulosa y ángulos microfibrilares elevados en la capa S2 en las tranqueidas. De igual manera, se menciona que puede ser útil para la elaboración de ciertos tipos de papel pero no

es deseable para productos que requieren resistencia y estabilidad dimensional, usualmente se la considera de menor calidad.

Meza-Juárez et al. (2005) señalan que en plantaciones forestales, la reducción del turno de cosecha como consecuencia de la mayor tasa de crecimiento, ocasiona un aumento en la proporción de madera juvenil de los árboles. McAlister y Clark citados por Meza- Juárez et al., (2005) estimaron que en las plantaciones forestales, la madera juvenil representa entre 30 y 50 por ciento del volumen total, dos a tres veces más que en la madera obtenida de bosques naturales.

Arroyo (1983) menciona que la densidad de la madera temprana disminuye rápidamente en los primeros años a partir de la médula; luego presenta pequeñas fluctuaciones, pudiendo aumentar ligeramente en los últimos años de crecimiento. Mientras que; la densidad de madera tardía presenta unas de las cuatro tendencias de variación mencionadas para el peso específico. De lo mencionado, se evidencia que el peso específico no es afectado de manera significativamente por la edad o distancia de la médula después de los primeros años; por el contrario, la madera tardía si presenta tendencias de variación con la edad y la distancia a la médula.

Jozsa y Middleton (1994) señalan que el aumento de la proporción de madera juvenil respecto a la madera madura durante el crecimiento secundario tiene implicaciones en la calidad para la producción de madera. Madera juvenil en todas las especies de árboles pueden presentar problemas de deformación inusuales. Así mismo, afirman que el aumento en la proporción de madera juvenil tiene implicaciones desde la perspectiva de la industria de pulpa y papel.

Respecto a la composición química, Clara (2012) menciona que en coníferas el leño juvenil difiere notablemente del maduro, sin un patrón regular, con un contenido de celulosa menor; mientras que el porcentaje de lignina puede ser mayor, menor o sin variaciones. Por otro lado reafirma lo mencionado por Pashin y Zeeuw (1980) en latifoliadas, que en general la celulosa y lignina aumentan con la edad, aunque pueden mantenerse constante.

En árboles de plantaciones, la madera juvenil puede estar relacionada al crecimiento rápido cerca de la médula, pero los anillos anchos no están necesariamente asociados con ella en todos los árboles. (Torres, 2009).

En general, la duración de la formación de la madera juvenil varía de cinco a 20 años, y su terminación es abrupta en algunas especies; mientras que en otras está marcada por un período de transición hacia madera adulta. Por regla se menciona que la baja calidad de la madera juvenil es más significativa en coníferas que en latifoliadas.

Bendsten citado por López (2006) menciona que la presencia de madera juvenil determina una baja densidad y por consiguiente una baja resistencia con respecto a la madera adulta. En Estados Unidos, la densidad de las coníferas es típicamente 10-15% menor en madera juvenil, determinando una baja resistencia del material, la cual es comúnmente manifestada con una disminución del 15-30%, llegando al 50%, con relación a las propiedades de resistencia para una madera madura normal. Sin embargo, tanto en coníferas como latifoliadas, podemos encontrar como resultado de la presencia de madera juvenil, una baja densidad y por consiguiente una disminución en la resistencia de las propiedades mecánicas.

El mismo autor señala que existe una transición gradual desde el centro del árbol hacia afuera, no existiendo una demarcación exacta entre la madera juvenil y madura. Esto es explicado debido a que la madera en los primeros anillos formados tiene el peso específico más bajo, las fibras más cortas y los ángulos de microfibrillas más grandes; así sucesivamente desde el centro, el peso específico se incrementa, las fibras se convierten en más largas y los ángulos de microfibrillas decrecen. Por otro lado, Jozsa y Middleton (1994) señalan que hay especies donde la diferencia de densidad entre madera juvenil y madera madura es relativamente grande, además afirman que una mayor proporción de madera juvenil puede resultar en una reducción de la resistencia en la madera.

Pérez del Castillo et al. (2000) menciona que la madera juvenil presenta importantes diferencias en sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y anatómicas con respecto a la madera adulta. En madera libre de defectos, las propiedades que influyen en el comportamiento mecánico son: ángulo microfibrilar, longitud de fibras, densidad, porcentaje de leño tardío, espesor de pared celular y diámetro de lumen celular. La madera juvenil tiene un ángulo microfibrilar alto, lo que puede producir una contracción longitudinal 10 veces mayor que el de la madera adulta normal. Tanto la madera de compresión como el grano espiralado también ocurren con más frecuencia en la madera juvenil, lo que también contribuye a una mayor contracción. Winck (2013) menciona el caso del *Pinus taeda* y señala que la materia prima resultante de estas plantaciones presentará un alto porcentaje de leño juvenil, baja densidad, bajo valor de módulo de elasticidad y de

rotura y alto valor de ángulo microfibrilar (AMF). Estas características influyen negativamente en el proceso de transformación de la madera y sus propiedades tecnológicas, ocasionando problemas en la resistencia mecánica y en la durabilidad natural de las piezas que emplean ese tipo de materia prima. Sin embargo; hace principal referencia a que el AMF tiene un efecto significativo en las propiedades mecánicas y en la estabilidad dimensional de la madera, y como tal es un parámetro indicador de la calidad de los productos de madera maciza.

La influencia del raleo es otro factor determinante sobre las características anatómicas y propiedades físico – mecánicas de la madera. Estudios en Argentina realizados por Winck (2013) en la especie *Pinus taeda*, demostraron que la madera más cercana a la corteza en posición radial, así como la madera con mayor porcentaje de leño tardío favorecerá la obtención de madera de mejor calidad dado que el AMF disminuye considerablemente y que el ángulo microfibrilar aumenta con la intensidad de raleo.

De igual manera, el mismo autor señala que el AMF decrece en dirección de la médula hacia la corteza teniendo mayores valores en madera temprana en comparación a madera tardía. Esto es también señalado por Bendsten citado por López (2006) y otros autores citados por Winck (2013), asociando claramente valores altos de ángulo microfibrilar a la presencia de madera juvenil cercana a la médula.

Jordan citado por Winck (2013) menciona que el crecimiento lento (cerca de la corteza) podría producir una fibra más compacta con menos madera temprana, lo que resulta en valores de AMF más bajos.

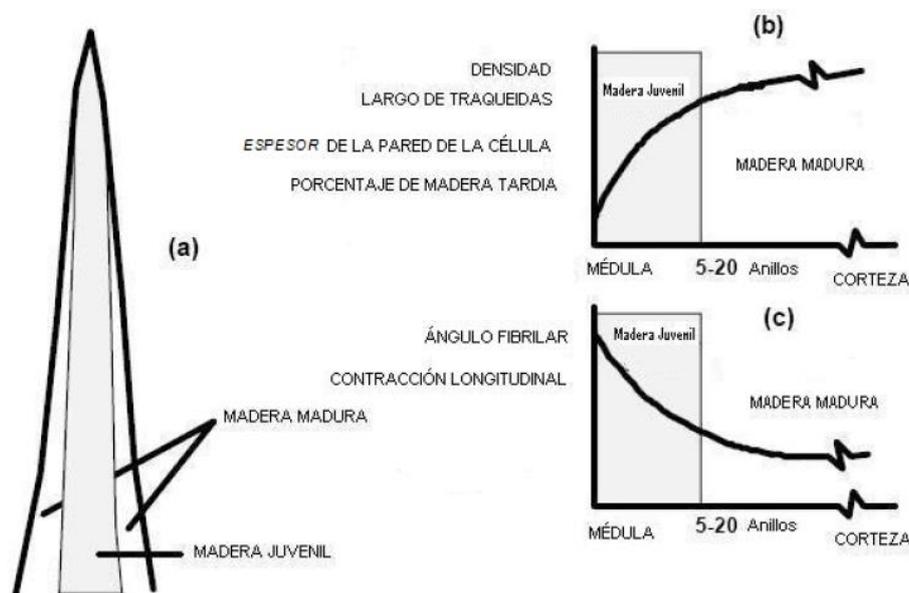
La relación madera juvenil/madera adulta es menor para madera de alta calidad (alta resistencia) que para madera de baja calidad, lo que indica que la madera juvenil tiene una importante influencia en la reducción de las propiedades mecánicas de la madera utilizada para la construcción.

Wood Handbook - USDA citado por López (2006) menciona que en madera estructural; la relación entre la resistencia de la madera juvenil y madera adulta varía entre 0,5 y 0,9 para módulo de rotura en flexión, 0,5 y 0,95 para tracción y entre 0,45 y 0,75 para módulo de elasticidad.

Jozsa y Middleton (1994) señalan que la proporción de la madera juvenil dentro de un individuo depende esencialmente de la edad, vigor y desarrollo de la copa. Así mismo, a igual diámetro, un árbol de crecimiento rápido poseerá más madera juvenil que uno de crecimiento lento.

Según Zhang y Gingras citados por López (2006), afirman que la presencia de la madera juvenil tiene varios impactos sobre las propiedades de la madera, aumento en la contracción longitudinal que implica mayores riesgos de torceduras y reducciones en rendimientos para la producción de pulpa y papel y propiedades mecánicas. Así el módulo de elasticidad de la flexión estática que contiene madera juvenil puede ser 50-60% inferior a la madera que no la contiene; la resistencia máxima en tracción paralela a la fibra y cizallamiento, así como la compresión perpendicular al grano disminuye igualmente con una proporción creciente de madera juvenil.

En especies donde la diferencia de densidad entre madera juvenil y madera madura es relativamente grande, una mayor proporción de madera juvenil puede resultar en una disminución de la resistencia de la madera, pero puede haber formas en que los patrones de sierras pueden ser diseñados para mitigar el impacto.



(a) Ubicación en el árbol de madera juvenil y madura. (b) Propiedades que se incrementan desde madera juvenil a madura. (c) Propiedades que decrecen de madera juvenil a madura.

**Figura 2: Variación de las propiedades de madera juvenil y madura.**

FUENTE: Kretschmann, D.E. (citado por Winck, 2013)

Según Winck (2013); se admite que con un aumento de la edad de los árboles, las células cambiales producen elementos de mayores dimensiones. La madera juvenil está asociada a una edad fisiológica temprana de las células cambiales, tienen menor densidad, elementos fibrosos más cortos e inferiores propiedades de resistencia en comparación con la madera madura. La edad fisiológica del cambium, las proporciones relativas de madera juvenil y madera madura tienen un efecto predominante en la variación del leño dentro y entre los árboles, espesor de pared celular y en la longitud de las fibras. En general todas las propiedades de la madera mejoran en el leño maduro.

### **3.3. TENSION DE CRECIMIENTO**

Las tensiones de crecimiento o estrés de crecimiento, son un conjunto de esfuerzos de tracción y compresión, que se generan de manera natural durante la formación de nuevas células leñosas en el cambium con componentes longitudinal, radial y tangencial en relación al eje del fuste de los árboles. (INFOR citado por Ormeño, 2008). Raymond et al. citados por INFOR (2008) indica que matemáticamente las tensiones longitudinales quedan definidas por el producto entre la deformación o desplazamiento longitudinal (DRL), que se genera durante la liberación de las tensiones cuando las fibras de la madera se cortan; y el módulo de elasticidad (MOE) de la madera.

Para Touzá (2001), las tensiones de crecimiento tienen su desarrollo en las células que producen el cambium, y en los cambios originados por la incorporación de lignina entre los espacios intermicrofibrilares de la pared celular durante el proceso de madurez celular.

Por otro lado, Cassens y Serrano corroborado por Touzá (2001) señala que las tensiones de crecimiento no solo poseen su origen en la maduración celular, sino que además tienen un origen en el propio peso del árbol y en especial en el peso de sus copas y en sus procesos de reorientación en busca de posiciones más competitivas de luz y espacio, así como también al tratar de mantener su copa lo más vertical posible. Sin embargo; estudios realizados por el mismo autor indican que las tensiones relacionadas al propio peso del árbol son despreciables en comparación con las tensiones provocadas por la maduración de las fibras.

Según Yamamoto citado por Chahuan (2004) señala que las tensiones de crecimiento son generadas en las células recién formadas y la magnitud de ellas depende del ángulo de las microfibrillas en alineación con el eje de la pared celular (AMF). Cabe agregar que el ángulo de la microfibrilla va a depender del contenido de celulosa, celulosa cristalina y

lignina, siendo esto lo que determinará el nivel y la dirección de las tensiones, es así que, ángulos menores en la capa S2 ocasionaran una reducción del largo de la fibra y viceversa para ángulos mayores, siendo un factor importante en la determinación de la magnitud y tipo de tensión de crecimiento en la madera.

De igual manera, señala que el origen de las tensiones es atribuido a la interacción que ocurre entre la tensión longitudinal generada en las microfibrillas de celulosa y las tensiones generadas durante la incorporación de lignina. Sin embargo; Bamber citado por Ormeño (2008) señala que se debe a la naturaleza de los cristales de celulosa y que la lignina no participa en las tensiones de crecimiento.

Prado citado por Ormeño (2008), menciona que las tensiones estarían relacionadas con el espaciamiento y la calidad de sitio. Sobre las bases de la idea expuesta se puede inferir que existe posibilidad de modificar la magnitud de las tensiones de crecimiento a través de actividades silviculturales como el raleo donde se evita la competencia entre individuos tanto por luz, agua y nutrientes mediante mayores espaciamientos teniendo como resultado una disminución en las tensiones de crecimiento.

Así mismo, señalan que otro factor a tomar en cuenta en la liberación de tensiones es el contenido de humedad durante el aprovechamiento ya que según experiencias cuando el suelo está saturado el rajado de trozas se intensifica.

Haygreen y Bowyer (1982) explican que en condición seca al aire, la madera de tensión presenta una ligera mayor resistencia al impacto que una madera normal. Este comportamiento contradictorio sugiere que se debe ser precavido cuando la resistencia es un factor importante en estructuras de madera.

INFOR (2004) indica que otro método para minimizar los efectos de las tensiones de crecimiento durante el árbol en pie es la muerte del individuo previo a su aprovechamiento y la defoliación parcial mediante herbicidas. Mientras que en rollizo incluyen técnicas como el secado al aire bajo sombra, almacenaje en agua, calentamiento a través de vapor o agua caliente, revestimiento con grasa o ceras impermeables y la aplicación de anillos de metal o plaquetas en sus extremos.

### **3.4. VARIABILIDAD DE LA MADERA**

Arroyo citado por Meléndez (2011) indican que un producto tiene características definidas para un uso específico y que estas características están en función de variaciones en la densidad, producto de cambios en la estructura anatómica (variaciones en longitud, espesor de las células, etc.).

Éstas variaciones son medibles en la madera debido a la actividad fisiológica del cambium, que a su vez es afectada por factores como: la edad y cambios de maduración en el cambium (asociadas con la variación entre árboles), factores genéticos (una de las causas principales de la variación entre árboles) y factores ambientes como precipitación, temperatura y tratamientos silviculturales que afectan el suministro de agua y nutrientes para el cambium. Ambos autores concuerdan en que estos factores afectan tanto la variabilidad en el mismo árbol o individuo, así como entre árboles de una misma especie.

La variabilidad entre árboles puede ser hasta 10 veces superior a la variabilidad dentro de los árboles de una misma especie. Estas magnitudes diferentes se deben a que los árboles entre uno y otro no solo pueden presentar diferencias genéticas sino también están expuestos a variaciones por las condiciones ambientales. De igual manera, Baltazar (2012) citando a otros autores señalan que existe una considerable variación de la densidad de la madera entre árboles de una misma especie y entre áreas geográficas, que son consecuencia de que dicha característica está influenciada por la condición genética del individuo y el ambiente en el cual se desarrolla.

Para una misma especie, Schriewind citado por Durán (2003) indica que las propiedades mecánicas tienden a seguir la distribución normal. Para cualquier propiedad dada, la variación es la misma sin tener en cuenta la especie si se expresa como un porcentaje del valor promedio.

El mismo señala que para algunas propiedades la variabilidad tiende a ser mayor que otras, pero como una indicación de orden o magnitud se puede decir que el coeficiente de variación es aproximadamente 20 por ciento. Esto significa que el 68 por ciento de todos los valores individuales caen entre 80 y 120 por ciento del valor promedio, y 95 por ciento de las observaciones estarán entre 60 y 140 por ciento del promedio. Así, no es raro encontrar una pieza de madera que es dos veces tan fuerte como otra de la misma especie.

En relación a la variabilidad dentro del árbol; Arroyo (1983) señala que en latifoliadas la variación de diámetros o volúmenes, a nivel celular; está limitada a elementos vasculares los cuales disminuyen en diámetro, volumen o ambas cosas a la vez, desde la madera temprana hasta madera tardía.

El mismo autor menciona que los patrones de variación de los elementos estructurales y de las propiedades físicas están bien establecidas para árboles normales que han crecido bajo condiciones naturales en el bosque y además señala que la variabilidad de los elementos fibrosos y del peso específico de la madera, tienen primordial importancia como indicadores de las propiedades mecánicas. Mc Donald et al. citados por León (2010) menciona que en algunas especies, el peso específico tiende a mantenerse constante mientras que en otras puede experimentar fuertes variaciones, especialmente en la dirección médula – corteza (menor a mayor). Estas variaciones son más acentuadas en especies heliófitas, como el caso de la *Guazuma crinita*, las cuales producen inicialmente madera débil y a medida que su crecimiento longitudinal se hace más lento se comienza a producir madera con mayor resistencia.

Según Arroyo (1983); las tendencias de variación del peso específico a lo largo del fuste para diferentes especies sigue los siguientes patrones o tendencias:

- El peso específico disminuye uniformemente desde la base hasta la copa.
- El peso específico disminuye en la parte inferior del tronco y aumenta en la parte superior.
- El peso específico aumenta desde la base hasta la copa de forma irregular.

La disminución del peso específico de la base hasta el ápice es la tendencia más común de variación presentada en coníferas, típica en pinos; en latifoliadas este tipo de tendencia no es común. Por otro lado; el segundo patrón mencionado parece ser solo una modificación de la primera causada por la presencia de una mayor proporción de nudos de alta densidad en el peso específico promedio de la madera de la copa presentado tanto en especies del género pinus y en latifoliadas como *Tectona grandis*. Por último; la tercera tendencia se presenta comúnmente en latifoliadas, no es común para coníferas.

Por otro lado, indica que la relación entre las propiedades y la edad, a medida que el árbol alcanza su grado de madurez, las pendientes de las curvas cambian gradualmente llegando a ser horizontales cuando alcanza el máximo nivel en la madura adulta. Mientras que la caracterización de la sobre madurez, en algunos casos, se distingue por la disminución de los valores máximos en longitud de fibra, peso específico y propiedades mecánicas.

En relación a la variabilidad entre árboles de la misma especie se puede atribuir a: variaciones del cambium producidas por la edad y las modificaciones influenciadas por las diferentes condiciones de crecimiento. Las condiciones de sitio y la variabilidad del clima pueden producir grandes modificaciones en las características de la madera, entre árboles y dentro de los mismos para una misma especie. Además de la variabilidad relativa al crecimiento, existen diferencias hereditarias en cada individuo que las distinguen uno de otros así estén bajo idénticas condiciones.

En cuanto al coeficiente de correlación “r” que es el grado de relación que existe entre las dos variables cuantitativas: peso específico y las propiedades mecánicas; Calzada (1981) muestra una calificación al valor “r” señalando que si la muestra es baja, la calificación es aventurada; aun así llegue a ser significativa la prueba al nivel 0,05. Sin embargo; si el tamaño de muestra es alto ( $n > 30$ ) y si sale significativo o altamente significativo, podemos calificar el valor de r de acuerdo a la siguiente escala:

**Tabla 9: Escala de calificación para valores de coeficientes de correlación “r”**

<b>Rango de “r”</b>	<b>Calificación</b>
0,2 a 0,3	Coeficiente muy bajo
0,4 a 0,5	Coeficiente bajo
0,6 a 0,7	Coeficiente alto
0,8 a 1	Coeficiente muy alto

FUENTE: Calzada (1981)



### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **1. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA.**

Las muestras de madera fueron colectadas y seleccionadas en el área correspondiente al sector Maquizapallo que presenta plantaciones de cuatro edades diferentes con un total de superficie reforestada de 287,63 ha manejadas por la empresa RAMSA S.A.C. Esto se ubica en la provincia de Puerto Inca, entre los distritos de Puerto Inca y Yuyapichis, en el departamento de Huánuco.

Las temperaturas medias y anuales 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.

Por otro lado, RAMSA S.A.C. se encuentra ubicada en una zona ecológica de bosque húmedo tropical, la cual va desde los 250 – 2230 msnm, presentado diferentes tipos de fisiografía como relieve de montañas, colinas altas y bajas. Las muestras colectadas pertenecen a una zona denominada colina alta con alturas entre 80 y 300 m.

La calidad de sitio ha sido establecida en base a parcelas permanentes de muestreo (PPM) dentro de las 287,63 ha, en las cuales a través de mediciones de índices de crecimientos en árboles instalados años anteriores, se han categorizados zonas de calidades altas, medias y bajas.

La plantación es a campo abierto con distanciamientos entre árboles de 3 metros x 3 metros con mantenimientos de raleo, según sea el requerimiento de la plantación; y control general de maleza de hasta 3 veces por año.

Para el presente estudio se utilizó la madera de raleo de la especie *Guazuma crinita* proveniente de las plantaciones forestales de seis años en un total de 62,97 ha e indicadas por el año de plantación 2007.

## **2. MATERIALES Y EQUIPOS**

En la etapa de campo, tanto en la extracción de los individuos a ralear como en la habilitación de las trozas:

- Libretas de campo.
- Formatos del inventario.
- Motosierra.
- Wincha.
- Hipsómetro.
- Brújula.
- Cinta métrica.
- Marcadores de madera.

Durante la preparación de las trozas y probetas:

- Sierra de disco.
- Garlopa.
- Cepilladora.
- Herramientas manuales: cepillo y prensas.
- Marcadores de madera.

En la etapa de laboratorio, para la evaluación del peso específico, contenidos de humedad y propiedades mecánicas:

- Balanza digital con precisión de 0,05 g.
- Estufa eléctrica “Memmert” de hasta 220° C.
- Campanas desecadoras de humedad provistas de silicagel.

- Vasos volumétricos.
- Formatos de registro de datos.
- Prensa universal “Tinius Olsen” Tensile Testing Machine y accesorios.
- Deflectómetros.
- Vernier digital “Mitutoyo” con precisión de 0,01 mm.
- Otros materiales: pinzas, lupa de 10x, clavos, lápices, reglas de madera, martillo.

En la etapa de procesamiento y análisis de datos.

- Programa estadístico: “IBM SPSS Statistic 22”.
- Microsoft Excel 2007 - 2010
- Materiales de escritorio.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. SELECCIÓN Y COLECCIÓN DE MUESTRA**

Las muestras para el estudio fueron colectadas tomando como guía lo estipulado en la norma ASTM (2004). Designation: D 5536 – 94 (Reapproved 2004) – Parte II: Métodos secundarios.

De las plantaciones indicadas como año de plantación 2007 correspondientes a la especie *Guazuma crinita* “bolaina blanca” en el sector de Maquizapallo, se seleccionaron puntos de muestreo al azar, que cumplan con características de fisiografía de colina alta y calidad de sitio media, con la finalidad que los ensayos no se vean afectados por otros factores externos y realizar una mejor prueba representativa de madera de raleo con dichas características.

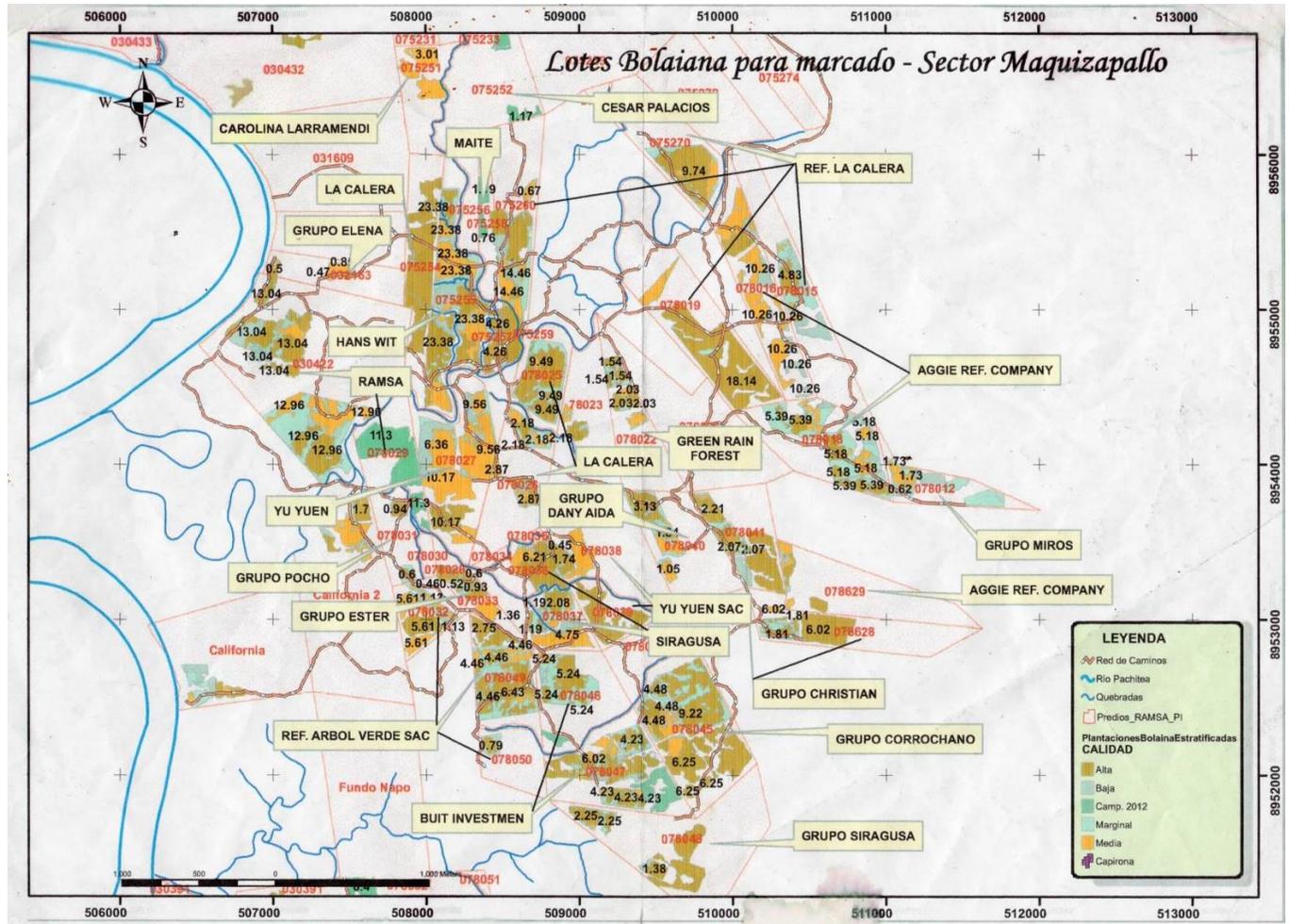
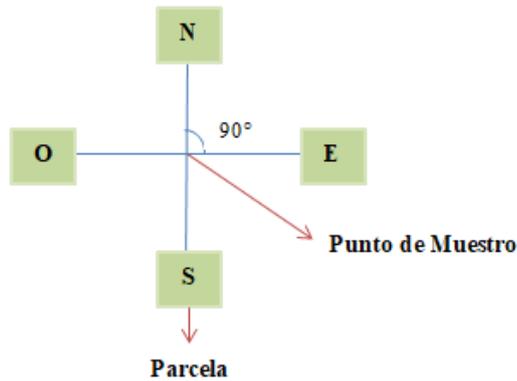


Figura 3: Mapa de ubicación de las plantaciones de RAMSA

FUENTE: RAMSA S.A

A partir de los puntos de muestreo, se obtuvo un solo punto con las características mencionadas. En la figura 4 se puede observar que desde el punto de muestro seleccionado, se levantaron cuatro diferentes parcelas, en sus diferentes orientaciones, con la finalidad de obtener dos individuos a raleo por parcela. Las parcelas evaluadas fueron de 10 m x 10 m teniendo como resultado 400 m<sup>2</sup> por unidad de muestro



**Figura 4: Diseño de unidad de muestro**

Como producto final, se obtuvieron siete árboles destinados al raleo comercial provenientes de las plantaciones dentro del predio “La Calera” en el sector Maquizapallo bajo el manejo de la empresa RAMSA S.A.C. En la tabla 10 se observan las dimensiones y coordenadas de los árboles colectados en la presente investigación.

De los árboles extraídos en la etapa anterior, se obtuvo tucos de 1,40 m de longitud por cada sección del árbol (basal, medio y apical en el mejor de los casos); realizando el corte para la extracción a partir de los 30 cm. del suelo. El material obtenido se llevó a la Universidad Nacional de Ucayali donde se elaboraron las probetas por un técnico especialista.

**Tabla 10: Dimensiones de los árboles extraídos provenientes de la plantación**

Punto Muestreo	Código árbol	Coordenadas		DAP (cm)	Altura	
		E	N		Fuste (m)	Total (m)
3	A'	508446	8953984	11.3	13.2	15
3	B	508482	8953957	18.8	12.3	15.5
3	B'	508486	8953959	20	14	16
3	C	508448	8953922	11	14	15
3	C'	508448	8953921	10.1	13.3	15.5
3	D	508421	8953948	12.5	16.7	18
3	D'	508420	8953953	13	19.6	21

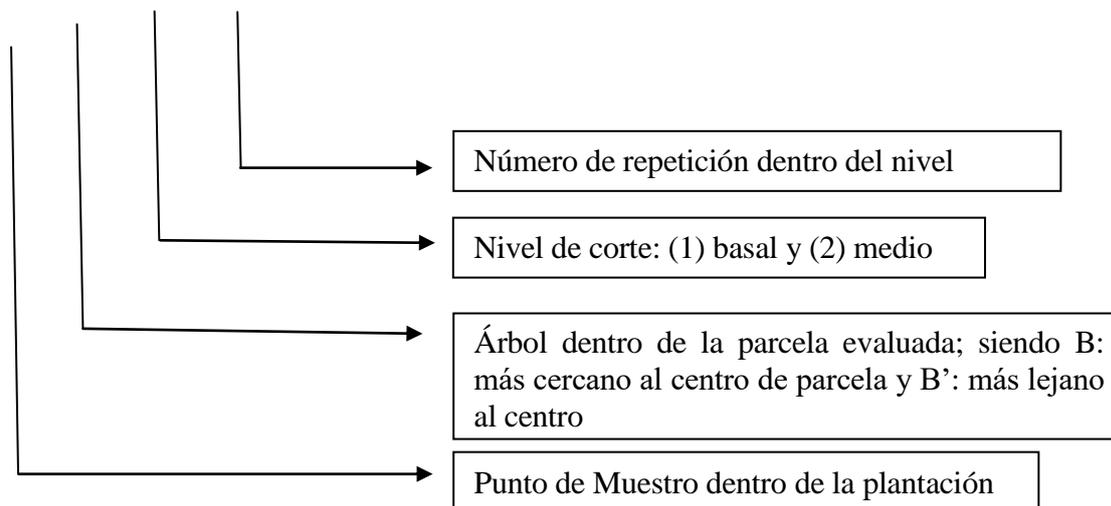
FUENTE: Elaboración propia

Los ensayos para la determinación de las propiedades mecánicas, peso específico y contenido de humedad se realizaron en el laboratorio de ensayos tecnológicos de la madera del departamento académico de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

### 3.2. CODIFICACIÓN DE PROBETAS

Tanto los árboles y las probetas presentaron la siguiente codificación conformado entre número y letras:

**3 B 1 – 1**



Respecto a los niveles de corte se tuvieron los niveles 1, 2 y 3 en campo; sin embargo durante la elaboración de la probetas no se obtuvo un número de probetas significativas en el nivel apical (3) debido a que el material de raleo en su mayoría presentaba diámetros muy pequeños por lo que el análisis solo se realizó a dos niveles: basal y medio.

Por otro lado, los ensayos para la determinación del peso específico, contenido de humedad y las propiedades mecánicas se realizaron en el laboratorio de ensayos tecnológicos de la madera del departamento académico de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

### **3.3. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS**

Se realizaron los ensayos de propiedades físico-mecánicas de los árboles seleccionados de acuerdo a las NTP (norma técnica peruana). Las propiedades físicas de determinación de contenido de humedad y densidad se realizaron en base a las “NTP 251.010” y “NTP 251.011” respectivamente.

En relación a las propiedades mecánicas, se determinaron los ensayos de flexión estática en base a la “NTP 251.017”, compresión paralela al grano “NTP 251.014”, compresión perpendicular al grano “NTP 251.016”, cizallamiento paralelo al grano “NTP 251.013”, dureza “NTP 251.015” y tenacidad “NTP 251.018”.

### **3.4. PROCESAMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS**

Para el procesamiento de los datos se utilizó el programa Microsoft Excel para Windows y “IBM SPSS Statistic 22” para el análisis estadístico de los resultados.

En primer lugar, se realizó un análisis básico de los datos que consistió en la elaboración de cuadros y gráficos; así mismo la obtención de estadísticos descriptivos: medias, valores máximos y mínimos, intervalos de confianza (al 95%) y coeficientes de variación para las propiedades mecánicas.

Durante la evaluación estadística, se empleó diferentes pruebas estadísticas, paramétricas o no paramétricas, debido a que algunas propiedades no cumplen con principios de homocedasticidad y normalidad. Así mismo, se determinó si existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre árboles y entre alturas para las propiedades mecánicas de Flexión estática, compresión paralela, perpendicular, dureza y cizallamiento

Respecto al análisis de nivel en el ensayo de compresión perpendicular, no se realizó las pruebas estadísticas ya que no se contó con el número suficiente de probetas; sin embargo, se realizó un análisis de sus valores descriptivos.

Por otro lado, se realizó un análisis de regresión para estimar el peso específico y las propiedades mecánicas, variable independiente y variables dependientes respectivamente; para flexión estática (esfuerzo al límite proporcional, módulo de ruptura y módulo de elasticidad), compresión paralela (esfuerzo al límite proporcional, resistencia máxima y módulo de elasticidad), compresión perpendicular (esfuerzo al límite proporcional), y dureza (lados y extremos); obteniendo las respectivas ecuaciones y los coeficientes de correlación y determinación.

Para la validación se analizó mediante modelo lineal general con la prueba univariante para comprobar que la muestra ha sido extraída de una población con distribución normal y los supuestos de homogeneidad de varianzas.

Finalmente las aptitudes de uso, se compararon las propiedades mecánicas con otras especies conocidas de un uso y requerimientos similares, propuestas en estudios realizados anteriormente.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **1. PROPIEDADES MECÁNICAS**

Las propiedades mecánicas para los niveles basales y medio en condición seca al aire con un promedio de 12,3 % se indican en la tabla 11. Esta incluye valores promedios de resistencia, peso específico (G), y contenidos de humedad (CH%). Por otro lado, la figura 5 muestra dichos valores promedios por nivel.

Los valores de resistencia generalmente están directamente influenciados por la densidad o peso específico; es decir a mayor densidad o peso específico presentará mayor resistencia. En general, los resultados obtenidos muestran que si existen mayores valores de resistencia en el nivel basal. Esto es corroborado por Baltazar (2012), el cual señala que la densidad o peso específico es mayor en los primeros niveles de altura; disminuyendo con la altura; y por Arroyo (1983), quien la señala como la tendencia más común en la variación del peso específico en coníferas, no tanto en latifoliadas.

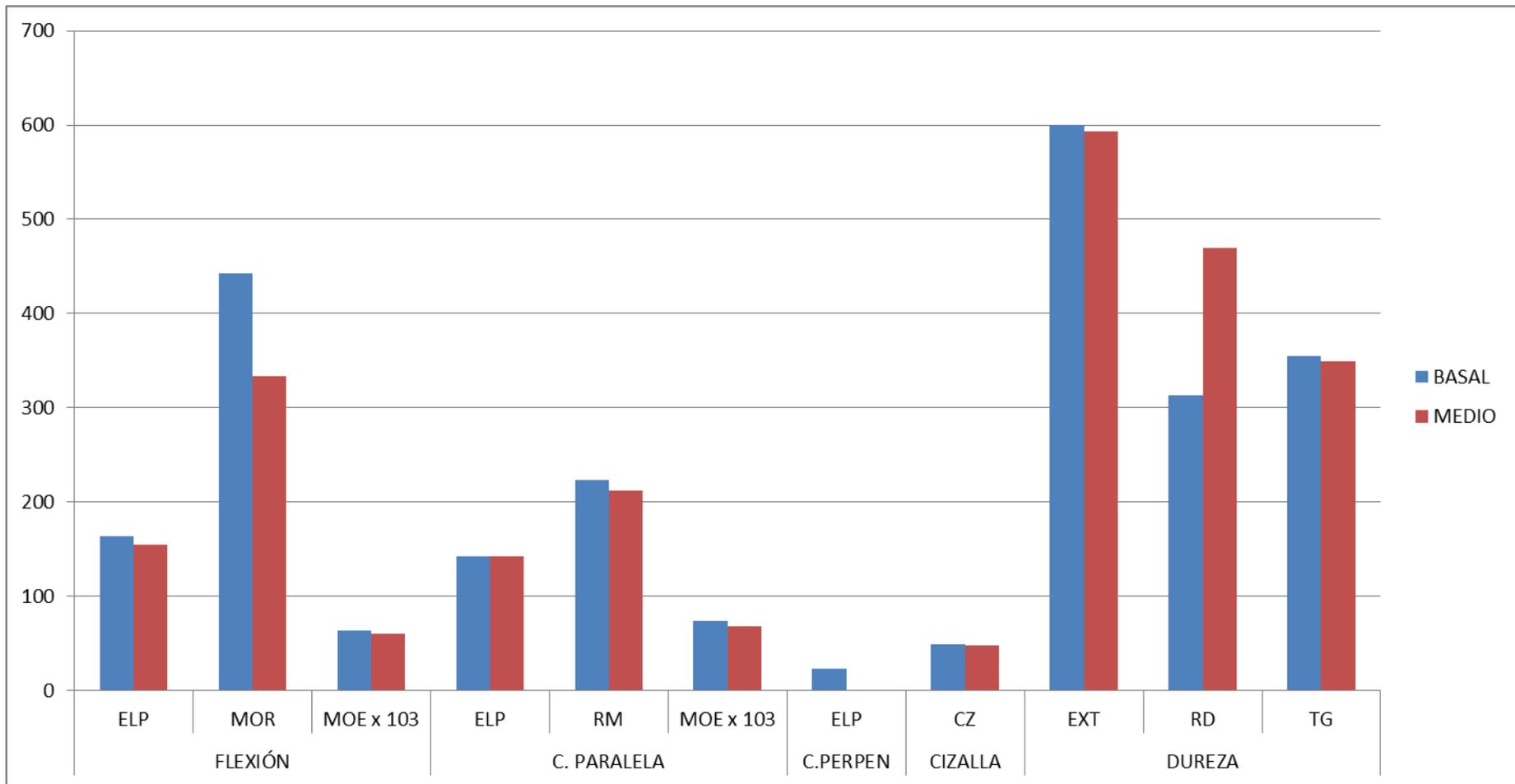
No obstante; la diferencia entre los valores de resistencia para los niveles basal y medio no es significativa. Esto puede deberse a que los pesos específicos para ambos niveles son similares. Así también, debido a que se trata de madera de raleo los diámetros de los árboles en los diferentes niveles son muy variables, encontrándose en algunos casos árboles de similares diámetros a lo largo del fuste y en otros no.

**Tabla 11: Valores promedios de propiedades mecánicas, peso específico y contenido de humedad a diferentes niveles por árbol**

Árbol	Nivel	G (g/cm <sup>3</sup> )	CH (%)	PROPIEDADES MECÁNICAS										
				Flexión Estática			C. Paralela			C. Perpendicular	Cizallamiento	Dureza		
				kg/cm <sup>2</sup>			kg/cm <sup>2</sup>			kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>		
				ELP	MOR	MOE	ELP	RM	MOE	ELP	CZ	EXT	RD	TAN
A'	Basal	0,35	11,5	199	494,7	73441,2	121,8	259,4	94884	22,8	*	*	*	*
	Medio	0,33	12	175,2	319,6	62708,7	121,7	212,1	61999,4	*	*	*	*	*
B	Basal	0,33	12,2	138,6	499,6	67827,9	147,5	239,4	90203,4	*	50,6	589,2	298,8	347,5
	Medio	0,32	12,2	176,8	388,5	68659,1	156,4	215,8	64661,3	*	47,8	593,5	470	348,8
B'	Basal	0,31	12,2	162,9	302,3	48707,8	179,3	227,7	68586,7	*	51,2	*	*	*
	Medio	0,32	11,7	163,7	276,1	54391	118,5	202,6	85556,2	*	*	*	*	*
D'	Basal	0,34	12,1	207,5	444,6	68187,9	136,5	221,3	67772,8	23,1	50,6	670	330,8	399,5
	Medio	0,30	11,8	104,9	328,1	58566,5	157,1	213,8	64779,6	*	*	*	*	*
C	Basal	0,36	12,5	199	438	53980,6	150,9	227,4	64628,6	*	*	*	*	*
D	Basal	0,3	12,6	116	368,8	53682,8	118,9	193,1	68210,6	23,3	40,8	523	325,8	304,8

\*: No se cuenta con probetas para el ensayo

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 5: Comparación de valores promedios de las propiedades mecánicas en diferentes niveles de altura**

*FUENTE: Elaboración propia*

En relación a los coeficientes de variabilidad encontrados, las tabla 12 presentan los valores promedios de variabilidad a diferentes niveles de altura por árbol y la tabla 13 la variabilidad total.

Los coeficientes de variabilidad obtenidos por árbol son muy variables, no presentado tendencia Esto puede ser debido a la presencia de nudos y hongos cromóforos en la madera; y especialmente a que proviene de madera de raleo a temprana edad por lo que no ha alcanzado su grado de madurez. También; complementa lo mencionado por Arroyo (1983), el cual menciona que la variación de diámetros o volúmenes a nivel celular en latifoliadas está limitada a elementos vasculares, los cuales disminuyen en diámetro y/o volumen desde madera temprana hasta madera madura o tardía.

De igual manera en relación a la variabilidad; León (2010) indica que hay especies especialmente las heliofitas que inicialmente producen madera débil y a medida que su crecimiento longitudinal disminuye; empieza a producir madera con mayor resistencia.

Por otro lado, en la tabla 12 se corrobora lo mencionado por Melendéz (2011) el cual menciona que la variabilidad entre árboles es mayor a la variabilidad dentro de los árboles para una misma especie. Esto debido a que entre árboles no solo puede presentar diferencias genéticas sino también están expuestos a las variaciones de las condiciones ambientales. Arroyo (1983) también sostiene que puede atribuirse a las variaciones del cambium producidas por la edad, además de las modificaciones influenciadas por las diferentes condiciones de crecimiento

**Tabla 12: Valores promedios de propiedades mecánicas y coeficientes de variabilidad a diferentes niveles de altura por árbol**

Árbol	Nivel	Parámetros	Flexión estática (kg/cm <sup>2</sup> )				C. paralela(kg/cm <sup>2</sup> )				C. perpendicular (kg/cm <sup>2</sup> )		
			G	ELP	MOR	MOE	G	ELP	RM	MOE	G	ELP	
A'	Medio	Media	0,29	175,2	319,6	62708,7	0,36	121,7	212,1	61999,4	-	-	
		CV		29,7	3,8	4,1		8,6	15	21,3		-	
B		Media	0,29	176,8	388,5	68659,1	0,35	156,4	215,8	64661,3	-	-	
		CV		16,3	25,6	12,8		14,2	9,8	15,3		-	
B'		Media	0,29	163,7	276,1	54391	0,35	118,5	202,6	85556,2	-	-	
		CV		9,4	7,8	12		10,9	18,9	41,9		-	
D'		Media	0,29	104,9	328,1	58566,5	0,31	157,1	213,8	64779,6	-	-	
		CV		9,3	21,3	21,8		10	10,7	17,7		-	
A'		Basal	Media	0,36	199	494,7	73441,2	0,35	121,8	259,4	94884	-	-
			CV		14,2	7,6	5,2		7,2	4,6	11,3		-
B	Media		0,34	138,6	499,6	67827,9	0,37	147,5	239,4	90203,4	0,31	22,8	
	CV			8,9	10,1	14,5		9,5	10,2	22,1		14	
B'	Media		0,27	162,9	302,3	48707,8	0,35	179,3	227,7	68586,7	-	-	
	CV			1,5	1,6	0,4		10,1	12	21,8		-	
C	Media		0,35	199	438	53980,6	0,37	150,9	227,4	64628,6	-	-	
	CV			11,7	15,6	12,8		6,5	5,5	16,2		-	
D	Media		0,32	116	368,8	53682,8	0,35	118,9	193,1	68210,6	0,29	23,3	
	CV			10,6	18,7	22,2		17,8	10,1	12,4		16	
D'	Media	0,36	207,5	444,6	68187,9	0,38	136,5	221,3	67772,8	0,31	23,1		
	CV		16,1	20,4	21,9		12,2	8,3	19,1		16,6		

Continuación Tabla 12:

Árbol	Nivel	Parámetros	Cizallamiento (kg/cm <sup>2</sup> )		Dureza (kg-m)			Tenacidad (kg/cm <sup>2</sup> )			
			G	CZ	G	EXT	RAD	TANG	G	RAD	TANG
B	Medio	Media	-	47,8	-	593,5	470	348,8	-	0,3	0,2
		CV		14,2		9,5	14,6	27,7		73,9	73
B	Basal	Media	-	50,6	0,32	589,2	298,8	347,5	-	0,7	0,5
		CV		18		15,4	23,5	35,3		54,1	70
B'		Media	-	51,2	0,31	-	-	-	-	0,4	-
		CV		25,3		-	-	-		78,3	-
D		Media	-	40,8	0,27	523	325,8	304,8	-	0,7	0,8
		CV		25,3		12,8	44,5	23		11,4	98
D'		Media	-	50,6	0,32	670	330,8	399,5	-	0,5	0,5
		CV		20,4		14,8	19,1	35,8		71	46

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 13: Coeficiente de Variabilidad para diferentes niveles de altura, dentro y entre árboles**

<b>Coeficiente de variabilidad</b>	<b>Propiedades mecánicas</b>										
	<b>Flexión estática</b>			<b>C. paralela</b>			<b>C. perpendicular</b>	<b>Cizallamiento</b>	<b>Dureza</b>		
	<b>ELP</b>	<b>MOR</b>	<b>MOE</b>	<b>ELP</b>	<b>RM</b>	<b>MOE</b>	<b>ELP</b>	<b>CZ</b>	<b>EXT</b>	<b>RAD</b>	<b>TANG</b>
<b>Nivel basal</b>	25,4	23,8	20,3	16,7	12,2	22,5	13,8	22,3	15,4	23,5	35,3
<b>Nivel medio</b>	24,1	23,9	16,6	17,3	11,6	28	23,1	14,2	9,5	14,6	27,7
<b>En árbol</b>	17,1	18,4	15,5	13,3	10,8	20,5	17,1	20,6	13,7	25,4	29,9
<b>Entre árboles</b>	24,9	26,7	19,2	16,8	12,2	24,3	17,6	17,8	15,3	29	33,1

*FUENTE: Elaboración propia*

En la tabla 14 se muestra los valores promedios de las propiedades flexión estática y compresión paralela, a diferentes edades y fisiografías. En relación a la edad, se espera que exista una relación directa entre la edad y los valores de resistencia, es decir a mayor edad mayor resistencia; sin embargo, los resultados obtenidos no lo demuestran. Esto puede ser entre otros factores, a la influencia de las condiciones de crecimiento: altitud, pendiente y calidad de sitio.

Al comparar, la madera de árboles de cinco y seis años en una misma condición de fisiografía y pendiente se observa que es la calidad de sitio el factor determinante. Los menores valores de resistencia obtenidos para la edad de seis años pueden explicarse porque hubo mayor tiempo de competencia en un suelo más pobre respecto a otro de calidad de sitio alta. Se debe hacer énfasis que el raleo se realizó considerando el criterio de índices de crecimiento medio anual (IMA) realizado en parcelas permanentes para designar las categorías de calidad de sitio.

**Tabla 14: Comparación de valores promedios de propiedades mecánicas en madera raleo y bosque natural (B.N) de *Guazuma crinita*, a diferentes edades y fisiografías**

Edad (año)	Fisiografía			Calidad de sitio	Nivel	Propiedades Mecánicas							
	Descripción	Altitud (msnm)	Pendiente (%)			Flexión Estática				Compresión Paralela			
						ELP	MOR	MOE	G	ELP	RM	MOE	G
4	colina baja	80-150	4-8	alta	Basal	347,7	509,9	72,5	0,38	190,9	234,6	93	0,37
					CV	15	14,9	11,4		22,4	17,4	24,2	
					Medio	242,4	322,9	53,2	0,31	162,1	197,1	81,5	0,33
					CV	21,2	25,9	19,4		22,6	18,6	23,1	
5	colina baja	80-150	4-8	alta	Basal	341	515,5	73,4	0,38	154	238	98,7	0,36
					CV	18	22	21		25	19	37	
					Medio	271,1	391	60,2	0,33	161,4	219,6	80,7	0,33
					CV	15	16	16		21	20	32	
5	colina alta	150-300	15-25	alta	Basal	319,1	485,7	69,6	0,39	151,9	221,5	87,1	0,39
					CV	20	20	18		22	21	32	
					Medio	290,2	441,6	61,5	0,34	152,7	221,7	90,5	0,35
					CV	22	23	22		25	23	24	
6	colina alta	150-300	15-25	media	Basal	163,6	434,9	63,1	0,33	142	223,5	73,7	0,36
					CV	25,4	23,8	20,3		16,7	12,2	22,5	
					Medio	154,6	333,1	60,7	0,29	142	212,5	68,3	0,34
					CV	24,1	23,9	16,6		17,3	11,6	28	
B.N	-	-	-	-	Medio	318,3	507,8	97,9	-	270,6	375,7	121,8	-

FUENTE: Elaboración propia

Con fines comparativos con los valores de coeficientes de variabilidad recomendados por Wood Handbook (2010), se presenta en la tabla 15 los diferentes coeficientes de variabilidad obtenidos por cada propiedad mecánica evaluada durante el presente estudio. Se observa que los únicos valores por encima de Wood Handbook son ELP y MOR de flexión estática. Esto podría explicarse porque la madera de raleo a esta edad tiene una presencia significativa de madera juvenil, probable presencia de madera de reacción y tensiones de crecimiento.

**Tabla 15: Comparación de los coeficientes de variabilidad del estudio con los valores propuestos en Wood Handbook**

<i>Propiedades mecánicas</i>	<i>Unidad</i>	<i>Coefficiente de Variabilidad (%)</i>	
		<i>Estudio</i>	<i>Según Wood Handbook (2010)</i>
<b><i>Flexión estática</i></b>			
<i>ELP</i>	kg/cm <sup>2</sup>	24,9	22
<i>MOR</i>		26,7	16
<i>MOE</i>		19,2	22
<b><i>Compresión paralela</i></b>			
<i>ELP</i>	kg/cm <sup>2</sup>	16,8	24
<i>MOR</i>		12,1	18
<i>MOE</i>		24,3	29
<b><i>Compresión perpendicular</i></b>			
<i>ELP</i>	kg/cm <sup>2</sup>	17,6	28
<b><i>Cizallamiento</i></b>			
<i>CZ</i>	kg/cm <sup>2</sup>	17,8	14

*FUENTE: Elaboración propia*

En la tabla 16 se muestran las pruebas estadísticas ( $\alpha = 0,05$ ) sometidas entre niveles de altura y entre árboles para las diferentes propiedades mecánicas.

Así; a nivel de altura, la prueba estadística muestra que no existen diferencias significativas en la mayoría de propiedades; excepto en la variable del módulo de resistencia a la flexión (MOR) y la sección radial en dureza.

Por otro lado, la prueba estadística para árboles indica que existen diferencias significativas en ELP y MOR de flexión estática; mientras que existen diferencias altamente significativa en ELP y RM para compresión paralela

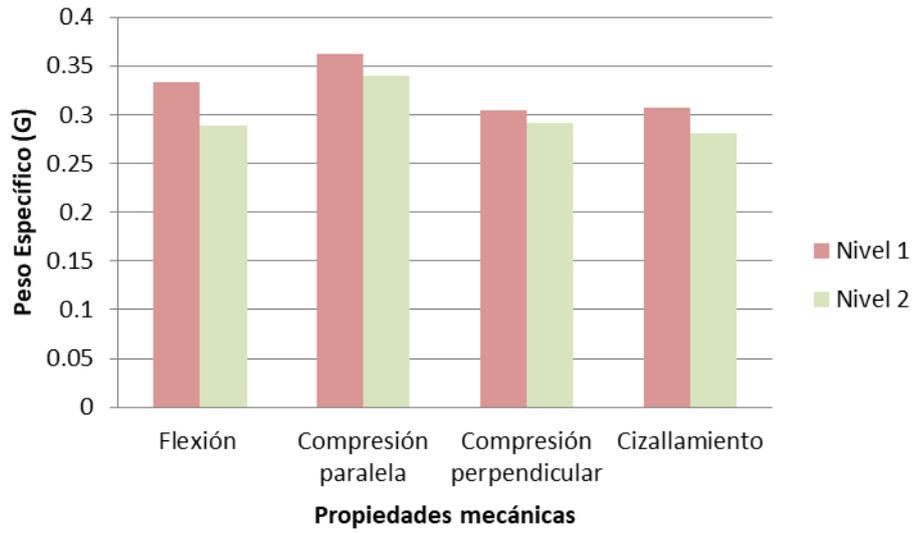
**Tabla 16: Análisis estadístico de las propiedades mecánicas en madera de raleo a diferentes niveles de altura y entre árboles**

<b>Propiedades Mecánicas</b>	<b>Variable</b>	<b>Anova</b>			
		<b>Nivel</b>	<b>Prueba</b>	<b>Árboles</b>	<b>Prueba</b>
<b>Flexión Estática</b>	ELP	N.S.	T para muestras independientes	*	Kruskal - Wallis
	MOR	***	T para muestras independientes	*	Kruskal - Wallis
	MOE	N.S.	T para muestras independientes	N.S.	ANOVA
<b>Compresión paralela</b>	ELP	N.S.	Mann - Whitney	***	Kruskal - Wallis
	RM	N.S.	T para muestras independientes	***	ANOVA
	MOE	N.S.	Mann - Whitney	N.S.	ANOVA
<b>Compresión perpendicular</b>	ELP	-	-	N.S.	ANOVA
<b>Cizallamiento</b>	CZ	N.S.	T para muestras independientes	N.S.	ANOVA
<b>Dureza</b>	Radial	*	T para muestras independientes	N.S.	ANOVA
	Tangencial	N.S.	Mann - Whitney	N.S.	ANOVA
	Extremos	N.S.	Mann - Whitney	N.S.	ANOVA

N.S.: No significativo; \*: Significativo; \*\*: Altamente significativo; \*\*\*: Muy altamente significativo

*FUENTE: Elaboración propia*

En la figura 6 se muestra el peso específico (G) promedio obtenido de cada ensayo por cada nivel de altura evaluado (basal y medio). Se puede observar que G promedio es mayor para la parte basal que la apical en todos los ensayos. Este comportamiento o tendencia se asemeja a lo mencionado por Arroyo (1983), para coníferas, respecto al comportamiento del peso específico en dirección longitudinal. Además; esto es reafirmado por Baltazar (2012) el cual menciona que en forma natural y en plantaciones forestales tanto la densidad básica y peso específico tienden a disminuir con la altura, incrementándose a medida que se acerca a la base de la copa.



**Figura 6:** Peso específico promedio de *Guazuma crinita* a diferentes niveles de altura

FUENTE: Baltazar (2012)

## 2. CORRELACIONES ENTRE LA VARIABLE INDEPENDIENTE (G) Y DEPENDIENTE

En la tabla 17 se puede observar los resultados del análisis de correlación, determinación y regresión entre las propiedades mecánicas y el peso específico. Se puede apreciar que solo los coeficientes de correlación son altos en el MOR de flexión estática; mientras que los otros son de bajo a muy bajo grado, considerando lo propuesto por Calzada (1981). Respecto a esta propiedad podemos decir que cerca del 60% del valor de resistencia de la propiedad es explicado por el peso específico.

Si bien se probó regresiones no lineales, tampoco se ajustó ni elevó el coeficiente de determinación de manera significativa. Por tal motivo, se puede afirmar que es necesario el estudio de variables complementarias para mejorar la predicción de estas propiedades.

**Tabla 17: Coeficientes de correlación, determinación y ecuaciones de regresión lineal para propiedades mecánicas evaluadas**

<i>Propiedades mecánicas</i>		<i>Coefficiente de correlación (r)</i>	<i>Coefficiente de determinación (r<sup>2</sup>)</i>	<i>Ecuación lineal</i>
<i>Flexión Estática</i>	<i>ELP</i>	0,49	0,24	$ELP = 15,3 G + 447,7$
	<i>MOR</i>	0,75	0,56	$MOR = -237,6 G + 1981,6$
	<i>MOE</i>	0,44	0,19	$MOE = 17913,7 G + 137912$
<i>Compresión Paralela</i>	<i>ELP</i>	0,45	0,00	$ELP = 151,9 G - 28,4$
	<i>RM</i>	0,37	0,13	$RM = 126,3 G + 269,7$
	<i>MOE</i>	0,20	0,04	$MOE = 38674,6 G + 95808,1$
<i>Compresión Perpendicular</i>	<i>ELP</i>	0,16	0,03	$ELP = 27 G - 16,2$
<i>Dureza</i>	<i>Extremos</i>	0,55	0,30	$Dur. Ext. = 49,4 G + 1728,1$
	<i>Lados</i>	0,58	0,33	$Dur. Lados = -90,7 G + 1362,8$

FUENTE: Elaboración propia

### 3. CLASIFICACIÓN DE LA ESPECIE EN ESTUDIO

En la tabla 18 se muestran las propiedades mecánicas para madera de raleo de la especie *Guazuma crinita*, la cual fue comparada y clasificada según los rangos establecidos por Dávalos y Bárcenas en condición seca al aire citados por Pantigoso (2009). Dado los resultados obtenidos se puede clasificar como una madera de muy baja resistencia. Esto puede significar que la relación madera juvenil/adulta es muy alta debido a que la madera juvenil tiene una importante influencia en la reducción de las propiedades mecánicas.; reafirmando lo mencionado por Winck (2013) que la madera juvenil está asociado a una menor densidad, elementos fibrosos más cortos; y López (2006), el cual indica que el módulo de elasticidad en flexión que contiene madera juvenil puede ser 50 - 60% inferior respecto a la que no tiene, así como en resistencia máxima en tracción paralela a la fibra y cizallamiento; además que la comprensión perpendicular al grano disminuye proporcionalmente al incremento de madera juvenil.

**Tabla 18: Clasificación de las propiedades mecánicas para madera de raleo de *Guazuma crinita***

	<b>Puerto Inca - Huánuco</b>	<b>Dávalos y Bárcenas citados por Pantigoso (2009)</b>
<b>Flexión estática</b>		
<b>MOR</b>	376,9	Muy bajo
<b>MOE x 10<sup>3</sup></b>	61	Muy bajo
<b>Compresión paralela</b>		
<b>RM</b>	208,9	Muy bajo
<b>Compresión perpendicular</b>		
<b>ELP</b>	11	Muy bajo
<b>Cizallamiento</b>		
<b>CZ</b>	47,3	Muy bajo
<b>Dureza</b>		
<b>Extremos</b>	580,3	Muy bajo
<b>Lados</b>	365,3	Muy bajo

Fuente: Elaboración propia

#### **4. APTITUD DE USO**

De acuerdo con el estudio realizado por Arostegui y Sato (1970); la bolaina proveniente de bosque natural puede presentar usos en carpintería en general, cajonería, laminado, juguetería palitos de fósforo, instrumentos científicos, paletas médica, chupetes, entre otros. Sin embargo, con el propósito de determinar el mejor uso teniendo en consideración los bajos incrementos medios anuales (IMA's) de los árboles y bajas propiedades obtenidos para madera de raleo de *Guazuma crinita* de seis años de edad proveniente de plantaciones en colina alta y calidad de sitio media lo recomendable, si se desea reforestar en las mismas condiciones de lugar, es destinarlo a la producción de tableros a base de madera y pequeños artículos; aplicando menores distanciamientos con la finalidad de obtener mayores volúmenes debido a que según los valores de resistencia no es adecuado para producción de madera aserrada.

De igual manera y bajo las mismas condiciones, se puede proponer la aptitud para tableros de partículas debido a que según estudios de Miguel (2013) para madera de plantación de cuatro años se indican espesores de pared delgados. Sin embargo; se puede afirmar que para una plantación de seis años los espesores y largo de fibra serán permisibles para un uso papelerero.



## V. CONCLUSIONES

- 1) Los valores promedios de las propiedades mecánicas y peso específico evaluados demuestran que existe una relación inversa con el incremento a nivel longitudinal.
- 2) Los valores promedios de las propiedades mecánicas de madera de raleo de 6 años son inferiores en relación a la madera de raleo de menor edad.
- 3) Las ecuaciones de regresión demuestran que el peso específico es solo un buen estimador para el módulo de ruptura en flexión estática.
- 4) Los valores de resistencia encontrados para madera de raleo son inferiores a los de bosque natural para flexión estática, compresión paralela y perpendicular.
- 5) La aptitud de uso recomendada para la madera de raleo evaluada es como materia prima para la producción de tableros a base de madera, pulpa para papel y elaboración de pequeños artículos de madera.

## VI. RECOMENDACIONES

- Se propone menores distanciamientos y turnos de aprovechamiento con la finalidad de obtener mayor cantidad de masa para la producción de tableros de partículas
- Realizar estudios tecnológicos a madera de raleo para *Guazuma crinita* de diferente procedencias debido a que se ha identificado que existen los factores edáficos y fisiográficos que influyen en la resistencia y variabilidad de la madera, con el fin de identificar áreas de comportamiento similar a la estudiada y evaluar su potencial como materia prima para producción de tableros de partículas.
- Se sugiere evaluar la magnitud de las tensiones de crecimiento y presencia de la madera de reacción con la finalidad de relacionar su efecto en el comportamiento mecánico y procesamiento de la madera. Así como considerar por parte del silvicultor acciones que reduzcan estos efectos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, B. 2001. Evaluación de dos tipos de acabado en la madera de *Guazuma crinita* Martius (Bolaina blanca). Tesis Lic. Ing. For. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 92 p.
- Ara, M. 1999. Vigor de establecimiento de bolaina (*Guazuma crinita*) en relación a la fertilidad del suelo en Pucallpa. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú. 10 (1) Ene - Jul 1999. Lima, PE.
- Arostegui, A; Sato. 1970. Estudio de las propiedades físico – mecánicas de 16 especies maderables del país. Proyecto propiedades físico – mecánicas de las maderas del Perú. Industrialización de productos forestales. Instituto de Investigaciones Forestales. v. 2, 29 p. Lima, PE.
- Arroyo, J. 1983. Propiedades Físico – Mecánicas de la Madera. Universidad de los Andes. Mérida, VE. 186 p.
- Baldoceda, R.; Pinedo, J.; Castillo, A.; Vidaurre, H. 1991. Silvicultura de la bolaina blanca. Temas forestales no. 10. INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias). Pucallpa, PE. 38 p
- Baltazar, D. 2012. Propiedades físicas de Bolaina blanca (*Guazuma crinita* Martius) en una plantación de cuatro años en la localidad de Itahuania – Provincia del Manú. Tesis Lic. Ing. Renare menc. For. Tingo María, PE. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 92 p.
- Caál, F. 2014. Evaluación del primer raleo comercial en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f) de siete años de edad en el Departamento del Petén, Guatemala. Tesis Lic. Ing. For. Alta Verapaz, GT. Universidad Rafael Landívar. 144 p.
- Calzada, J. 1981. Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Milagros S.A. Lima –PE. 645 p.

- Chauhan, S. 2004. Selecting and/or Processing Wood According to its Processing Characteristics. School of Forestry the University of Canterbury. Christchurch, New Zealand. 192 p.
- Clara, A. 2012. Modelos de variación de propiedades del leño juvenil a maduro en Salicáceas y su influencia sobre pulpas químimecánicas. Tesis Lic. Ing. For. La Plata, AR. Universidad Nacional de la Plata. 213 p.
- Cuevas, E. 2003. Propiedades físicas y mecánicas de la madera. Material de apoyo en propiedades físicas y mecánicas. Escuela de Ingeniería en Industrias de la Madera. Talca, CL. Universidad de Talca, 68 p.
- Díaz, P. 2005. Evaluación de Propiedades Físicas y Mecánicas de madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes. Tesis Lic. Ing. For. Talca, CL. Universidad de Talca. 118 pp.
- Díaz-vaz, J; Cuevas, H. 1982. Ensayos mecánicos de la madera. Facultad de ciencias Forestales. Valdivia, CL. Universidad Austral de Chile. 44 p.
- Díaz bravo, S; Espinoza, M; Valenzuela, L; Cancico, J; Lasserre, J. 2012. Efecto del raleo en el crecimiento y algunas propiedades de la madera de *Eucalyptus nitens* en una plantación de 15 años. Maderas, Ciencia y Tecnología. 14(3): 373 - 388.
- Durán, P. 2003. Evaluación de las propiedades mecánicas de la madera *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke. (Tornillo) provenientes de plantaciones, con respecto a la influencia de cuatro factores de crecimiento. Tesis Lic. Ing. For. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 80 p.
- Ego, L.; Dominguez, G.; Chuquicaja, C. 2002. Evaluación técnica y económica de plantaciones de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) en zonas inundables del río Aguaytía. Revista Forestal del Perú. Vol. XXV (1 - 2).
- Espinoza de pernía, N. 1991. Estudio de Nueve Especies Venezolanas para la Producción de Chapas Decorativas. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, VE. Universidad de los Andes.
- Espinoza de pernía, N.; León, W. 1993. Influencia de las Características Anatómicas sobre las Propiedades Mecánicas de la Madera. Revista Forestal Venezolana N° 37, p. 21 - 38.

- Gutiérrez, B. 2008. Evaluación de la respuesta del crecimiento, productividad y calidad de una plantación de Teca (*Tectona grandis* L.F. Verbenaceae) con un raleo prescrito al 50% en tres clases de sitio en la finca Sexán Ixte, Chahal, Alta Verapaz, Guatemala. Tesis Lic. For. Alta Verapaz, GT. Universidad Rafael Landívar. 118 p.
- Haygreen, J.; Bowyer, J. 1982. Forest Products and Wood Science. An introduction. Iowa State University Press, United State of America. 495 p.
- Haygreen, J.; Bowyer, J. 1994. Forest Products and Wood Science An Introduction. Second Edition. Iowa State University Press. United State of America.
- INFOR. 2004. *Eucalyptus nitens* en Chile: Primera Monografía. Valdivia, CL. 143 p.
- INFOR. 2008. *Eucalyptus nitens* en Chile: desarrollando silvicultura de alto valor. Informe técnico N° 175.
- IIAP (Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana). 2009. Evaluación económica de regeneración natural y de plantaciones de Bolaina blanca, *Guazuama crinita*, en el departamento de Ucayali. Avance económicos N° 11. 1° Edición. Iquitos, PE. Consultado 27 ene. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.iiap.org.pe/cdpublicaciones2011/documentos/pdf/analisis/11.pdf>.
- INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias) – IITO (Internacional Tropical Timber Organization). 1996. Manuel de identificación de especies forestales de la Subregión Andina. Determinación de 100 especies forestales de la Subregión Andina. INIA/Proyecto de Identificación y Nomenclatura de las Maderas Tropicales Comerciales en la Subregión Andina. Lima, PE. 291 p.
- Jozsa, L.; Middleton, G. 1994. Les caractéristiques déterminant la qualité du bois: nature et conséquences pratiques. CA. Frintek Canadá Corp. Publication special sp-34f. 42 p.
- JUNAC (Junta del Acuerdo de Cartagena). 1983. Influencia de defectos en la rigidez y resistencia de vigas de 5 especies de la subregión andina. Lima, PE. p. 47 - 65.
- León, W. 2010. Anatomía y densidad o peso específico de la madera. Revista Forestal Venezolana. Año XLIV, 54 (1): 67-76 pp. Mérida – VE.
- López, J. 2006. Propiedades físico-mecánicas del Aliso, *Alnus acuminata* H.B.K., proveniente de Chalaco - Piura. Tesis Lic. Ing. For. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 103 p.

- Meléndez, M. 2011. Propiedades Mecánicas de las maderas de *Diploptropis sp.*, *Otoba parvifolia*, *Peltogyne sp.*, *Virola aldibiflora* y *Vochysia sp.* provenientes de las cuencas de los ríos Nanay y Napo. Tesis Lic. Ing. For. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 85 p.
- Meza - Juárez, D.; Vargas – Hernández, J.; López – Upton, J.; Vaquera Huerta, H.; Borja de la Rosa, A. 2005. Determinación de la edad de transición de madera juvenil a madura en *Pinus patula* Schl. et Cham. Revista Ximbai. v.1(2): 305 -324 . El fuerte – MX.
- Miguel, B. 2013. Elaboración de tableros de partículas con bolaina (*Guazuma crinita* Martius) perteneciente a una plantación de cuatro años. Tesis Lic. Ing. For. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 72 p.
- MINAG (Ministerio de Agricultura). 2011. Volumen de madera aserrada y rolliza de 20 especies de mayor aprovechamiento a nivel nacional, años 2007 – 2011. Ministerio de Agricultura. Lima, PE. Consultado 27 ene. 2016. Formato PDF. Disponible en [http://www.serfor.gob.pe/portal/pdf/estadistica\\_forestal/tendenciasforestales.pdf](http://www.serfor.gob.pe/portal/pdf/estadistica_forestal/tendenciasforestales.pdf)
- MINAG (Ministerio de Agricultura). 2015. Perú Forestal en números 2015. Ministerio de Agricultura. Lima, PE. Consultado 24 mar. 2017. Formato PDF. Disponible en <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Anuario%20Peru%20Forestal%20en%20Numeros%202015.pdf>
- Moglia, J.; Gímenez, A.; Bravo, S. 2007. Tomo II Macroscopica de Madera – Orientada a los estudiantes de carpintería, Serie Didáctica de Dendrología, Serie Didáctica N° 20. Santiago del Estero, AR. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales. 57 p.
- 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 Macuyá, Padre Abad, Ucayali. Tesis Mag. Sc. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 156 p.

- Notivol, E; Gil, A.; Pardos, J. 1992. Una metodología para la estimación de la densidad de la madera de árboles en pie y su grado de variabilidad en *Pinus Pinaster* Ait. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. ES. Vol 1(1): 41-47 p.
- Ormeño, J. 2008. Comparación de tensiones de crecimiento en plantaciones adultas de híbridos entre *Eucalyptus nitens* (Deane et Maiden) Maiden y *Eucalyptus globulus* Labill. Tesis Lic. Ing. For. Valdivia, CL. Universidad Austral de Chile. 49 p.
- Patiño, F. 2002. Propiedades físico-mecánicas de la *Simarouba amara* Aubi (Marupa) proveniente de plantaciones de diferentes edades. Tesis Lic. Ing. For. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 46 p.
- Pantigoso, J. 2009. Propiedades físicas y mecánicas de la Capirona (*Calycophyllum Spruceanum* (Benth) Hook ex. Schumann) procedente de una plantación experimental en San Alejandro, Ucayali – Perú. Tesis Lic. Ing. For. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 133 p.
- 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.
- Pérez del castillo, A.; De Castro, R.; Ohta, S. 2000. Ensayos de propiedades mecánicas de *Pinus taeda* por seis métodos no destructivos. Informe de Investigación N° 1. Proyecto de Tecnología de Ensayos de Productos Forestales LATU –JICA (1998 – 2003). Montevideo, UR. 28 p. Consultado 14 ene. 2016. Formato PDF. Disponible en [http://catalogo.latu.org.uy/doc\\_num.php?explnum\\_id=562](http://catalogo.latu.org.uy/doc_num.php?explnum_id=562)
- Putzel, L.; Crokleton, 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. Programa de Investigación sobre Bosques, Árboles y Agroforestería. N° 25. CIFOR (Centro para la Investigación Forestal Internacional). Consultado 14 ene. 2016. Formato PDF. Disponible en [www.cifor.org/publications/pdf\\_files/infobrief/4483-infobrief.pdf](http://www.cifor.org/publications/pdf_files/infobrief/4483-infobrief.pdf).

- Reynel, C.; Pennington, T.D; Pennington, R.T; Flores, C; Daza, A. 2003. Árboles útiles de la Amazonía peruana y sus usos, un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies. Lima. Darwin Initiative Project 09/017. International Center for Research in Agroforestry. 509 p
- Robles, J. 2017. Propiedades Mecánicas de las maderas de *Guazuma crinita* proveniente de raleo comercial de plantaciones de cinco años en Puerto Inca - Perú. Tesis Lic. Ing. For. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 88 p.
- Sánchez, G. 1995. Fertilización química y orgánica al establecimiento de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) en pasturas degradadas. Tesis Lic. Ing. Agr. Pucallpa, PE. Universidad Nacional de Ucayali. 43 p.
- TEMSA (Terciados y elaboración de maderas S.A.). 2006. Informe final “Proyecto de innovación tecnológica 205- 4324”. In informe final 2005. Santiago, CL. 100 p.
- Touzá, M. 2001. Sistemas de aserrado adecuados para *Eucalyptus globulus* europeos afectados por tensiones de crecimiento. Proyecto FAIR CT 98-9579. Madrid, ES. 31 p.
- 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 Lic. Ing. For. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 126 p.
- USDA (United State Department of Agriculture). 2010. Wood Handbook. Wood as an Engineering Material. USDA. Wisconsin, US. 509 p.
- Urbina, L. 2017. Propiedades mecánicas en madera de raleo proveniente de plantaciones de cuatro años de *Guazuma crinita* Martius (Bolaina blanca) - Huánuco. Tesis Lic. Ing. For. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 85 p.
- Valdivia, H. 1993. Aptitud de la Bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) para su uso estructural en construcciones de madera. Tesis Mag. Sc. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 48 p.
- Valero, S; Reyes, E; Garay, D. 2005. Estudio de las propiedades físico – mecánicas de la especie *Tectona grandis*, de 20 años de edad, proveniente de las plantaciones de la unidad experimental de la Reserva Forestal Ticoporo, Estado Barinas. Revista Forestal Venezolana 49(1): 61-73.

- Villachica, H.; Julca, A.; Alván, G.; Canchucaja, J.; Parraga, R. 1993. Evaluación de tres especies forestales de rápido crecimiento para embalaje de frutas. In Resumen de investigaciones apoyadas por FUNDEAGRO 1988 -1992. Lima, PE. pt 2, p 167 - 169.
- Vignote, S.; Martínez, I. 2006. Tecnología de la madera. Ediciones Mundi – Prensa. 3° ed. Madrid, ES. 678 p.
- Winck, R. 2013. Influencia del raleo sobre las características anatómicas y las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus taeda* L. de la región de la ArgentinaCapirona. Tesis Mag. Sc. Misiones, AR. Universidad Nacional de Misiones. 102 p.
- Witghtman, K; Cornelius, J.; Ugarte, J. 2006. Plantemos Madera. ICRAF technical manual N° 4. Lima, PE. 193 p.|



## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1

#### FOTOS DE PROBETAS Y ENSAYOS



**Figura 1: Medición de humedad en probetas**



**Figura 2: Ensayo de Flexión Estática**



**Figura 3: Ensayo de compresión perpendicular**



**Figura 4: Ensayo de Cizallamiento**

## ANEXO 2

### ESTADÍSTICA PARA PROPIEDADES MECÁNICAS EN ÁRBOLES

#### ESTADÍSTICA EN FLEXIÓN ESTÁTICA PARA ÁRBOLES

#### ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL (ELP)

**a. Homogeneidad: Levane**

**Prueba de homogeneidad de varianzas**

ELP

Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
9,579	5	36	,000

**ANOVA**

ELP

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	18255,664	5	3651,133	2,813	,030
Dentro de grupos	46730,716	36	1298,075		
Total	64986,381	41			

**b. Normalidad: Kolmogorov-Smirnov**

**Estadísticos descriptivos**

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para ELP	42	,0000	,93704	-1,96	2,09

**Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra**

		Residuo estandarizado para ELP
N		42
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000
	Desviación estándar	,93704
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,070
	Positivo	,067
	Negativo	-,070
Estadístico de prueba		,070
Sig. asintótica (bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>

c. **Prueba no paramétrica: Kruskal-Wallis**

**Estadísticos descriptivos**

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
ELP	42	160,1726316	39,81248142	95,79009894	241,6712566
Árbol	42	4,88	2,233	2	8

**Prueba de Kruskal-Wallis**

**Rangos**

	Árbol	N	Rango promedio
ELP	2	4	30,00
	3	13	19,62
	4	7	23,71
	5	3	34,00
	7	5	7,40
	8	10	22,30
	Total	42	

**Estadísticos de prueba<sup>a</sup>**

	ELP
Chi-cuadrado	12,217
gl	5
Sig. asintótica	,032

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación:  
Árbol

## MÓDULO DE RUPTURA (MOR)

### d. Homeogeneidad: Levane

#### Prueba de homogeneidad de varianzas

MOR

Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
4,549	5	47	,002

#### ANOVA

MOR

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	176242,713	5	35248,543	3,855	,005
Dentro de grupos	429735,505	47	9143,309		
Total	605978,218	52			

### e. Normalidad: Kolmogorov-Smirnov

#### Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para MOR	53	,0000	,95071	-2,48	2,04

#### Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Residuo estandarizado para MOR
N		53
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000
	Desviación estándar	,95071
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,046
	Positivo	,046
	Negativo	-,045
Estadístico de prueba		,046
Sig. asintótica (bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

f. Prueba no paramétrica: Kruskal-Wallis

**Estadísticos descriptivos**

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
MOR	53	407,2950473	107,9510411	199,9893005	565,1949683
Árbol	53	4,96	2,236	2	8

**Prueba de Kruskal-Wallis**

**Rangos**

	Árbol	N	Rango promedio
MOR	2	4	26,75
	3	18	34,61
	4	7	8,86
	5	4	31,00
	7	7	22,14
	8	13	27,69
	Total	53	

**Estadísticos de prueba<sup>a</sup>**

	MOR
Chi-cuadrado	15,021
gl	5
Sig. asintótica	,010

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación:

## MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE)

### g. Homogeneidad: Levane

#### Prueba de homogeneidad de varianzas

MOE

Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
1,145	5	57	,348

#### ANOVA

MOE

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2731070031	5	546214006,2	5,022	,001
Dentro de grupos	6200050784	57	108772820,8		
Total	8931120815	62			

### h. Normalidad: Kolmogorov-Smirnov

#### Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para MOE	63	,0000	,95883	-2,40	2,38

#### Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Residuo estandarizado para MOE
N		63
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000
	Desviación estándar	,95883
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,073
	Positivo	,073
	Negativo	-,065
Estadístico de prueba		,073
Sig. asintótica (bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

i. **Prueba paramétrica: ANOVA**

**ANOVA**

MOE

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2731070031	5	546214006,2	5,022	,001
Dentro de grupos	6200050784	57	108772820,8		
Total	8931120815	62			

**Subconjuntos homogéneos**

MOE

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Árbol	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
4	9	53128,07876
7	8	53682,80862
5	5	53980,59007
8	13	65227,46505
3	24	68035,68305
2	4	68074,92967
Sig.		,078

## ESTADÍSTICA EN COMPRESIÓN PARALELA PARA ÁRBOLES

### ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL (ELP)

#### j. Homogeneidad: Levane

##### Prueba de homogeneidad de varianzas

ELP

Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
5,872	5	55	,000

##### ANOVA

ELP

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	10186,777	5	2037,355	4,709	,001
Dentro de grupos	23798,144	55	432,694		
Total	33984,921	60			

#### k. Normalidad: Kolmogorov-Smirnov

##### Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para ELP	61	,0000	,95743	-2,24	2,36

##### Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Residuo estandarizado para ELP
N		61
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000
	Desviación estándar	,95743
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,058
	Positivo	,058
	Negativo	-,053
Estadístico de prueba		,058
Sig. asintótica (bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

## 1. Prueba no paramétrica: Kruskal-Wallis

### Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
ELP	61	141,9957	23,79948	93,12	201,38
Árbol	61	4,82	2,202	2	8

### Prueba de Kruskal-Wallis

#### Rangos

	Árbol	N	Rango promedio
ELP	2	7	14,00
	3	18	39,11
	4	9	36,44
	5	6	38,33
	7	8	13,63
	8	13	32,46
	Total	61	

#### Estadísticos de prueba<sup>a</sup><sub>b</sub>

	ELP
Chi-cuadrado	19,798
gl	5
Sig. asintótica	,001

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación:  
Árbol

## RUPTURA MÁXIMA (RM)

### m. Homogeneidad: Levane

#### Prueba de homogeneidad de varianzas

RM

Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
1,620	5	58	,169

#### ANOVA

RM

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	10342,139	5	2068,428	3,440	,009
Dentro de grupos	34877,475	58	601,336		
Total	45219,614	63			

### n. Normalidad: Kolmogorov-Smirnov

#### Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para RM	64	,0000	,95950	-2,23	2,03

#### Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Residuo estandarizado para RM
N		64
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000
	Desviación estándar	,95950
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,085
	Positivo	,041
	Negativo	-,085
Estadístico de prueba		,085
Sig. asintótica (bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

**o. Prueba paramétrica: ANOVA**

**ANOVA**

RM

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	10342,139	5	2068,428	3,440	,009
Dentro de grupos	34877,475	58	601,336		
Total	45219,614	63			

**Subconjuntos homogéneos**

**RM**

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Árbol	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
7	10	193,1331	
4	8	218,2593	218,2593
8	14	219,1257	219,1257
5	6		227,4033
3	19		229,4405
2	7		232,3662
Sig.		,226	,821

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,110.
- b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

## MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE)

### p. Homegeneidad: Levane

#### Prueba de homogeneidad de varianzas

MOE

Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
3,135	5	56	,015

#### ANOVA

MOE

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1571360525	5	314272105,0	1,030	,409
Dentro de grupos	1,708E+10	56	305041486,2		
Total	1,865E+10	61			

### q. Normalidad: Kolmogorov-Smirnov

#### Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para MOE	62	,0000	,95814	-1,69	2,49

#### Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Residuo estandarizado para MOE
N		62
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000
	Desviación estándar	,95814
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,092
	Positivo	,092
	Negativo	-,044
Estadístico de prueba		,092
Sig. asintótica (bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

r. Prueba paramétrica: ANOVA

**ANOVA**

MOE

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1571360525	5	314272105,0	1,030	,409
Dentro de grupos	1,708E+10	56	305041486,2		
Total	1,865E+10	61			

**Subconjuntos homogéneos**

**MOE**

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Árbol	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
5	6	64628,6005
8	13	66851,8167
7	11	68210,6245
2	7	76092,7796
4	9	76128,6756
3	16	77432,3318
Sig.		,619

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,217.
- b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

## ESTADÍSTICA EN COMPRESIÓN PERPENDICULAR PARA ÁRBOLES

### ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL (ELP)

#### s. Homogeneidad: Levane

##### Prueba de homogeneidad de varianzas

ELP

Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
,474	2	13	,633

##### ANOVA

ELP

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,477	2	,238	,022	,978
Dentro de grupos	139,676	13	10,744		
Total	140,152	15			

#### t. Normalidad: Kolmogorov-Smirnov

##### Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para ELP	16	,0000	,93095	-1,55	1,26

##### Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Residuo estandarizado para ELP
N		16
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000
	Desviación estándar	,93095
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,173
	Positivo	,101
	Negativo	-,173
Estadístico de prueba		,173
Sig. asintótica (bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

**u. Prueba paramétrica: ANOVA**

**ANOVA**

ELP

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,477	2	,238	,022	,978
Dentro de grupos	139,676	13	10,744		
Total	140,152	15			

**Subconjuntos homogéneos**

ELP

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Árbol	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
3	9	22,8225
8	4	23,0686
7	3	23,2541
Sig.		,980

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,320.
- b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media

## ESTADÍSTICA EN CIZALLAMIENTO PARA ÁRBOLES

### CIZALLAMIENTO (CZ)

v. **Homogeneidad: Levane**

<b>Prueba de homogeneidad de varianzas</b>			
CZ			
Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
,379	3	10	,770

#### ANOVA

CZ

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	151,739	3	50,580	,618	,619
Dentro de grupos	818,085	10	81,809		
Total	969,824	13			

w. **Normalidad: Kolmogorov-Smirnov**

#### Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para CZ	14	,0000	,87706	-1,05	1,45

#### Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Residuo estandarizado para CZ
N		14
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000
	Desviación estándar	,87706
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,178
	Positivo	,178
	Negativo	-,178
Estadístico de prueba		,178
Sig. asintótica (bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

x. Prueba paramétrica: ANOVA

**ANOVA**

CZ

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	151,739	3	50,580	,618	,619
Dentro de grupos	818,085	10	81,809		
Total	969,824	13			

**Subconjuntos homogéneos**

CZ

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Árbol	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
7	2	40,75089816
3	8	49,51916596
8	2	50,63495191
4	2	51,20219442
Sig.		,594

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2,462.
- b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

y.

## ESTADÍSTICA EN DUREZA PARA ÁRBOLES

### RADIAL

#### z. Homogeneidad: Levane

Prueba de homogeneidad de varianzas				
	Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
Radial1	,375	2	9	,697
Radial2	2,124	2	9	,176

#### ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Radial1	Entre grupos	11169,643	2	5584,821	1,122	,367
	Dentro de grupos	44804,024	9	4978,225		
	Total	55973,667	11			
Radial2	Entre grupos	4259,571	2	2129,786	,135	,875
	Dentro de grupos	141797,429	9	15755,270		
	Total	146057,000	11			

#### aa. Normalidad: Kolmogorov-Smirnov

Estadísticos descriptivos					
	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para Radial1	12	,0000	,90453	-1,41	1,70
Residuo estandarizado para Radial2	12	,0000	,90453	-1,30	1,55

#### Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Residuo estandarizado para Radial1	Residuo estandarizado para Radial2
N		12	12
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000	,0000
	Desviación estándar	,90453	,90453
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,124	,149
	Positivo	,103	,149
	Negativo	-,124	-,141
Estadístico de prueba		,124	,149
Sig. asintótica (bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>	,200 <sup>c,d</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

**bb. Prueba paramétrica: ANOVA**

**ANOVA**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Radial1	Entre grupos	11169,643	2	5584,821	1,122	,367
	Dentro de grupos	44804,024	9	4978,225		
	Total	55973,667	11			
Radial2	Entre grupos	4259,571	2	2129,786	,135	,875
	Dentro de grupos	141797,429	9	15755,270		
	Total	146057,000	11			

**Subconjuntos homogéneos**

**Radial1**

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Árbol	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
7	2	260,50
8	3	329,67
3	7	345,14
Sig.		,341

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,073.
- b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

**Radial2**

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Árbol	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
8	3	332,00
3	7	350,29
7	2	391,00
Sig.		,833

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,073.
- b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

## TANGENCIAL

### cc. Homegeneidad: Levane

#### Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
Tangencial1	1,963	2	9	,196
Tangencial2	,305	2	9	,745

#### ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tangencial1	Entre grupos	3486,321	2	1743,161	,157	,857
	Dentro de grupos	99940,595	9	11104,511		
	Total	103426,917	11			
Tangencial2	Entre grupos	23690,250	2	11845,125	,665	,538
	Dentro de grupos	160192,667	9	17799,185		
	Total	183882,917	11			

dd. Normalidad: Kolmogorov-Smirnov

**Estadísticos descriptivos**

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para Tangencial1	12	,0000	,90453	-1,18	1,75
Residuo estandarizado para Tangencial2	12	,0000	,90453	-1,17	1,60

**Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra**

		Residuo estandarizado para Tangencial1	Residuo estandarizado para Tangencial2
N		12	12
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000	,0000
	Desviación estándar	,90453	,90453
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,119	,216
	Positivo	,119	,216
	Negativo	-,095	-,098
Estadístico de prueba		,119	,216
Sig. asintótica (bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>	,127 <sup>c</sup>

- a. La distribución de prueba es normal.
- b. Se calcula a partir de datos.
- c. Corrección de significación de Lilliefors.
- d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

ee. Prueba paramétrica: ANOVA

<b>ANOVA</b>						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tangencial1	Entre grupos	3486,321	2	1743,161	,157	,857
	Dentro de grupos	99940,595	9	11104,511		
	Total	103426,917	11			
Tangencial2	Entre grupos	23690,250	2	11845,125	,665	,538
	Dentro de grupos	160192,667	9	17799,185		
	Total	183882,917	11			

## Subconjuntos homogéneos

### Tangencial1

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Árbol	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
7	2	308,500
3	7	334,714
8	3	361,667
Sig.		,810

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,073.
- Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

### Tangencial2

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Árbol	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
7	2	301,000
3	7	361,000
8	3	437,333
Sig.		,447

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,073.
- Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

## EXTREMOS

### ff. Homegeneidad: Levane

#### Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
Extremo1	3,178	2	9	,090
Extremo2	2,644	2	9	,125

#### ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Extremo1	Entre grupos	3780,060	2	1890,030	,622	,558
	Dentro de grupos	27342,857	9	3038,095		
	Total	31122,917	11			
Extremo2	Entre grupos	94660,821	2	47330,411	6,354	,019
	Dentro de grupos	67041,429	9	7449,048		
	Total	161702,250	11			

### gg. Normalidad: Kolmogorov-Smirnov

#### Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para Extremo1	12	,0000	,90453	-1,04	1,54
Residuo estandarizado para Extremo2	12	,0000	,90453	-1,70	1,02

#### Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Residuo estandarizado para Extremo1	Residuo estandarizado para Extremo2
N		12	12
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000	,0000
	Desviación estándar	,90453	,90453
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,186	,165
	Positivo	,186	,129
	Negativo	-,139	-,165
Estadístico de prueba		,186	,165
Sig. asintótica (bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>	,200 <sup>c,d</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

## hh. Prueba paramétrica: ANOVA

### ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Extremo1	Entre grupos	3780,060	2	1890,030	,622	,558
	Dentro de grupos	27342,857	9	3038,095		
	Total	31122,917	11			
Extremo2	Entre grupos	94660,821	2	47330,411	6,354	,019
	Dentro de grupos	67041,429	9	7449,048		
	Total	161702,250	11			

### Subconjuntos homogéneos

#### Extremo1

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Árbol	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
7	2	580,000
8	3	615,000
3	7	629,143
Sig.		,535

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,073.
- Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

#### Extremo2

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Árbol	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
7	2	466,000	
3	7	551,714	551,714
8	3		725,000
Sig.		,466	,080

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,073.
- Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

**ANEXO 3**  
**ESTADÍSTICA PARA PROPIEDADES MECÁNICAS EN NIVELES**  
**ESTADÍSTICA EN FLEXIÓN ESTÁTICA PARA NIVEL**

**ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL (ELP)**

**ii. Homogeneidad: Levane**

**Prueba de homogeneidad de varianzas**

ELP

Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
,201	1	40	,656

**ANOVA**

ELP

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	816,807	1	816,807	,509	,480
Dentro de grupos	64169,574	40	1604,239		
Total	64986,381	41			

**jj. Normalidad: Kolmogorov-Smirnov**

**Estadísticos descriptivos**

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para ELP	42	,0000	,98773	-1,51	1,95

**Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra**

		Residuo estandarizado para ELP
N		42
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000
	Desviación estándar	,98773
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,098
	Positivo	,098
	Negativo	-,069
Estadístico de prueba		,098
Sig. asintótica (bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

**kk. Prueba paramétrica: T para muestras independientes**

**Prueba T**

**Estadísticas de grupo**

	Nivel	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
ELP	1	26	163,6321	41,62066	8,16248
	2	16	154,5510	37,29396	9,32349

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
ELP	Se asumen varianzas iguales	,201	,656	,714	40	,480	9,08108	12,72660	-16,64034	34,80251
	No se asumen varianzas iguales			,733	34,607	,469	9,08108	12,39167	-16,08556	34,24773

**MÓDULO DE RUPTURA (MOR)**

**II. Homogeneidad: Levane**

**Prueba de homogeneidad de varianzas**

MOR

Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
2,119	1	51	,152

**ANOVA**

MOR

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	137816,041	1	137816,041	15,013	,000
Dentro de grupos	468162,177	51	9179,651		
Total	605978,218	52			

**mm. Normalidad: Kolmogorov-Smirnov**

**Estadísticos descriptivos**

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para MOR	53	,0000	,99034	-2,53	1,77

**Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra**

		Residuo estandarizado para MOR
N		53
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000
	Desviación estándar	,99034
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,112
	Positivo	,060
	Negativo	-,112
Estadístico de prueba		,112
Sig. asintótica (bilateral)		,097 <sup>c</sup>

- a. La distribución de prueba es normal.
- b. Se calcula a partir de datos.
- c. Corrección de significación de Lilliefors.

**nn. Prueba paramétrica: T para muestras independientes**

**Prueba T**

**Estadísticas de grupo**

	Nivel	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
MOR	1	36	442,3367	102,41700	17,06950
	2	17	333,0891	79,46645	19,27345

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
MOR	Se asumen varianzas iguales	2,119	,152	3,875	51	,000	109,24765	28,19521	52,64341	165,85189
	No se asumen varianzas iguales			4,243	39,761	,000	109,24765	25,74555	57,20420	161,29111

## MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE)

### oo. Homegeneidad: Levane

#### Prueba de homogeneidad de varianzas

MOE

Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
1,621	1	61	,208

#### ANOVA

MOE

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	82334023,58	1	82334023,58	,568	,454
Dentro de grupos	8848786792	61	145062078,6		
Total	8931120815	62			

### pp. Normalidad: Kolmogorov-Smirnov

#### Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para MOE	63	,0000	,99190	-1,91	2,23

#### Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Residuo estandarizado para MOE
N		63
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000
	Desviación estándar	,99190
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,075
	Positivo	,075
	Negativo	-,057
Estadístico de prueba		,075
Sig. asintótica (bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

**qq. Prueba paramétrica: T para muestras independientes**

**Prueba T**

**Estadísticas de grupo**

	Nivel	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
MOE	1	44	63142,1975	12784,78366	1927,37866
	2	19	60651,2945	10056,52630	2307,12536

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
MOE	Se asumen varianzas iguales	1,621	,208	,753	61	,454	2490,90294	3306,31391	-4120,48033	9102,28621
	No se asumen varianzas iguales			,829	43,103	,412	2490,90294	3006,26278	-3571,38377	8553,18965

**ESTADÍSTICA EN COMPRESIÓN PARALELA PARA NIVEL**

**ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL (ELP)**

**rr. Homogeneidad: Levane**

**Prueba de homogeneidad de varianzas**

ELP

Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
,562	1	59	,456

**ANOVA**

ELP

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,000	1	,000	,000	,999
Dentro de grupos	33984,921	59	576,016		
Total	33984,921	60			

ss. **Normalidad: Kolmogorov-Smirnov**

**Estadísticos descriptivos**

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para ELP	61	,0000	,99163	-2,04	2,47

**Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra**

		Residuo estandarizado para ELP
N		61
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000
	Desviación estándar	,99163
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,114
	Positivo	,114
	Negativo	-,068
Estadístico de prueba		,114
Sig. asintótica (bilateral)		,048 <sup>c</sup>

- a. La distribución de prueba es normal.  
 b. Se calcula a partir de datos.  
 c. Corrección de significación de Lilliefors.

tt. **Prueba no paramétrica: Mann-Whitney**

**Estadísticos descriptivos**

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
ELP	61	141,9957	23,79948	93,12	201,38
Nivel	61	1,33	,473	1	2

**Prueba de Mann-Whitney**

**Rangos**

	Nivel	N	Rango promedio	Suma de rangos
ELP	1	41	30,80	1263,00
	2	20	31,40	628,00
	Total	61		

**Estadísticos de prueba<sup>a</sup>**

	ELP
U de Mann-Whitney	402,000
W de Wilcoxon	1263,000
Z	-,123
Sig. asintótica (bilateral)	,902

- a. Variable de agrupación: Nivel

## RUPTURA MÁXIMA (RM)

### uu. Homegeneidad: Levane

#### Prueba de homogeneidad de varianzas

RM

Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
,004	1	62	,951

#### ANOVA

RM

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1622,264	1	1622,264	2,307	,134
Dentro de grupos	43597,350	62	703,183		
Total	45219,614	63			

### vv. Normalidad: Kolmogorov-Smirnov

#### Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para RM	64	,0000	,99203	-1,93	1,98

#### Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Residuo estandarizado para RM
N		64
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000
	Desviación estándar	,99203
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,100
	Positivo	,070
	Negativo	-,100
Estadístico de prueba		,100
Sig. asintótica (bilateral)		,188 <sup>c</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

**ww. Prueba paramétrica: T para muestras independientes**

**Prueba T**

**Estadísticas de grupo**

	Nivel	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
RM	1	45	223,5139	27,21070	4,05633
	2	19	212,4943	24,74173	5,67614

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
RM	Se asumen varianzas iguales	,004	,951	1,519	62	,134	11,01965	7,25506	-3,48301	25,52231
	No se asumen varianzas iguales			1,580	37,119	,123	11,01965	6,97656	-3,11468	25,15398

**MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE)**

**xx. Homogeneidad: Levane**

**Prueba de homogeneidad de varianzas**

MOE

Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
,056	1	60	,813

**ANOVA**

MOE

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	396924048,3	1	396924048,3	1,304	,258
Dentro de grupos	1,826E+10	60	304279328,4		
Total	1,865E+10	61			

yy. **Normalidad: Kolmogorov-Smirnov**

**Estadísticos descriptivos**

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para MOE	62	,0000	,99177	-1,47	2,94

**Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra**

		Residuo estandarizado para MOE
N		62
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000
	Desviación estándar	,99177
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,117
	Positivo	,117
	Negativo	-,087
Estadístico de prueba		,117
Sig. asintótica (bilateral)		,036 <sup>c</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

zz. **Prueba no paramétrica: Mann-Whitney**

**Estadísticos descriptivos**

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
MOE	62	71998,1764	17487,08364	47866,28	119535,22
Nivel	62	1,32	,471	1	2

**Prueba de Mann-Whitney**

**Rangos**

	Nivel	N	Rango promedio	Suma de rangos
MOE	1	42	33,83	1421,00
	2	20	26,60	532,00
	Total	62		

**Estadísticos de prueba<sup>a</sup>**

	MOE
U de Mann-Whitney	322,000
W de Wilcoxon	532,000
Z	-1,476
Sig. asintótica (bilateral)	,140

a. Variable de agrupación: Nivel

## ESTADÍSTICA EN CIZALLAMIENTO PARA NIVEL

### CIZALLAMIENTO (CZ)

#### aaa. Homogeneidad: Levane

##### Prueba de homogeneidad de varianzas

CZ

Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
,861	1	12	,372

##### ANOVA

CZ

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2,842	1	2,842	,035	,854
Dentro de grupos	966,982	12	80,582		
Total	969,824	13			

#### bbb. Normalidad: Kolmogorov-Smirnov

##### Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para CZ	14	,0000	,96077	-1,72	1,52

##### Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Residuo estandarizado para CZ
N		14
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000
	Desviación estándar	,96077
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,129
	Positivo	,129
	Negativo	-,128
Estadístico de prueba		,129
Sig. asintótica (bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

**ccc. Prueba paramétrica: T para muestras independientes**

**Estadísticas de grupo**

	Nivel	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
CZ	1	11	48,9017	9,35677	2,82117
	2	3	47,8036	6,76352	3,90492

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
CZ	Se asumen varianzas iguales	,861	,372	,188	12	,854	1,09812	5,84690	-11,64117	13,83742
	No se asumen varianzas iguales			,228	4,393	,830	1,09812	4,81741	-11,81786	14,01411

**ESTADÍSTICA EN DUREZA PARA ÁRBOLES**

**RADIAL**

**ddd. Homegeneidad: Levane**

**Prueba de homogeneidad de varianzas**

	Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
Radial1	,033	1	10	,859
Radial2	,669	1	10	,433

**ANOVA**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Radial1	Entre grupos	21812,267	1	21812,267	6,385	,030
	Dentro de grupos	34161,400	10	3416,140		
	Total	55973,667	11			
Radial2	Entre grupos	65340,000	1	65340,000	8,095	,017
	Dentro de grupos	80717,000	10	8071,700		
	Total	146057,000	11			

eee. **Normalidad: Kolmogorov-Smirnov**

**Estadísticos descriptivos**

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para Radial1	12	,0000	,95346	-1,51	1,42
Residuo estandarizado para Radial2	12	,0000	,95346	-1,47	2,42

**Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra**

		Residuo estandarizado para Radial1	Residuo estandarizado para Radial2
N		12	12
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000	,0000
	Desviación estándar	,95346	,95346
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,139	,231
	Positivo	,110	,231
	Negativo	-,139	-,135
Estadístico de prueba		,139	,231
Sig. asintótica (bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>	,077 <sup>c</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

fff. **Prueba paramétrica: T para muestras independientes**

**Estadísticas de grupo**

Nivel	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Radial1	1	308,10	58,261	18,424
	2	422,50	60,104	42,500
Radial2	1	319,50	93,811	29,666
	2	517,50	38,891	27,500

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Radial1	Se asumen varianzas iguales	,033	,859	-2,527	10	,030	-114,400	45,273	-215,276	-13,524
	No se asumen varianzas iguales			-2,470	1,406	,183	-114,400	46,322	-420,872	192,072
Radial2	Se asumen varianzas iguales	,669	,433	-2,845	10	,017	-198,000	69,592	-353,060	-42,940
	No se asumen varianzas iguales			-4,895	4,069	,008	-198,000	40,451	-309,560	-86,440

## TANGENCIAL

### ggg. Homegeneidad: Levane

#### Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
Tangencial1	1,054	1	10	,329
Tangencial2	3,525	1	10	,090

#### ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tangencial1	Entre grupos	510,417	1	510,417	,050	,828
	Dentro de grupos	102916,500	10	10291,650		
	Total	103426,917	11			
Tangencial2	Entre grupos	58,017	1	58,017	,003	,956
	Dentro de grupos	183824,900	10	18382,490		
	Total	183882,917	11			

hhh. Normalidad: Kolmogorov-Smirnov

**Estadísticos descriptivos**

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para Tangencial1	12	,0000	,95346	-1,11	2,03
Residuo estandarizado para Tangencial2	12	,0000	,95346	-1,21	1,74

**Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra**

		Residuo estandarizado para Tangencial1	Residuo estandarizado para Tangencial2
N		12	12
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000	,0000
	Desviación estándar	,95346	,95346
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,172	,247
	Positivo	,172	,247
	Negativo	-,122	-,111
Estadístico de prueba		,172	,247
Sig. asintótica (bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>	,041 <sup>c</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

iii. Prueba no paramétrica: Mann-Whitney

Estadísticos descriptivos					
	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Tangencial1	12	337,08	96,966	210	546
Tangencial2	12	370,08	129,293	205	605
Nivel	12	1,17	,389	1	2

**Prueba de Mann-Whitney**

**Rangos**

	Nivel	N	Rango promedio	Suma de rangos
Tangencial1	1	10	6,60	66,00
	2	2	6,00	12,00
	Total	12		
Tangencial2	1	10	6,10	61,00
	2	2	8,50	17,00
	Total	12		

**Estadísticos de prueba<sup>a</sup>**

	Tangencial1	Tangencial2
U de Mann-Whitney	9,000	6,000
W de Wilcoxon	12,000	61,000
Z	-,215	-,861
Sig. asintótica (bilateral)	,830	,389
Significación exacta [2* (sig. unilateral)]	,909 <sup>b</sup>	,485 <sup>b</sup>

a. Variable de agrupación: Nivel

b. No corregido para empates.

## EXTREMOS

### jjj. Homeogeneidad: Levane

**Prueba de homogeneidad de varianzas**

	Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
Extremo1	2,078	1	10	,180
Extremo2	1,423	1	10	,260

**ANOVA**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Extremo1	Entre grupos	244,017	1	244,017	,079	,784
	Dentro de grupos	30878,900	10	3087,890		
	Total	31122,917	11			
Extremo2	Entre grupos	1083,750	1	1083,750	,067	,800
	Dentro de grupos	160618,500	10	16061,850		
	Total	161702,250	11			

### kkk. Normalidad: Kolmogorov-Smirnov

**Estadísticos descriptivos**

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Residuo estandarizado para Extremo1	12	,0000	,95346	-1,00	1,56
Residuo estandarizado para Extremo2	12	,0000	,95346	-1,42	1,58

**Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra**

		Residuo estandarizado para Extremo1	Residuo estandarizado para Extremo2
N		12	12
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,0000	,0000
	Desviación estándar	,95346	,95346
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,317	,158
	Positivo	,317	,158
	Negativo	-,170	-,113
Estadístico de prueba		,317	,158
Sig. asintótica (bilateral)		,002 <sup>c</sup>	,200 <sup>e,d</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

### III. Prueba no paramétrica: Mann-Whitney

Estadísticos descriptivos					
	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Extremo1	12	617,42	53,192	560	702
Extremo2	12	580,75	121,244	405	785
Nivel	12	1,17	,389	1	2

### Prueba de Mann-Whitney

#### Rangos

	Nivel	N	Rango promedio	Suma de rangos
Extremo1	1	10	6,10	61,00
	2	2	8,50	17,00
	Total	12		
Extremo2	1	10	6,60	66,00
	2	2	6,00	12,00
	Total	12		

#### Estadísticos de prueba<sup>a</sup>

	Extremo1	Extremo2
U de Mann-Whitney	6,000	9,000
W de Wilcoxon	61,000	12,000
Z	-,861	-,215
Sig. asintótica (bilateral)	,389	,830
Significación exacta [2* (sig. unilateral)]	,485 <sup>b</sup>	,909 <sup>b</sup>

a. Variable de agrupación: Nivel

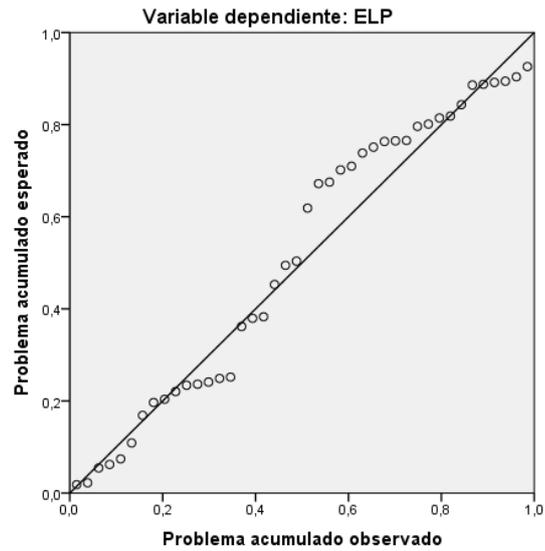
b. No corregido para empates.

**ANEXO 4**  
**GRÁFICOS DE REGRESIÓN: PESO ESPECÍFICO-PROPIEDAD MECÁNICA**

**FLEXIÓN ESTÁTICA**

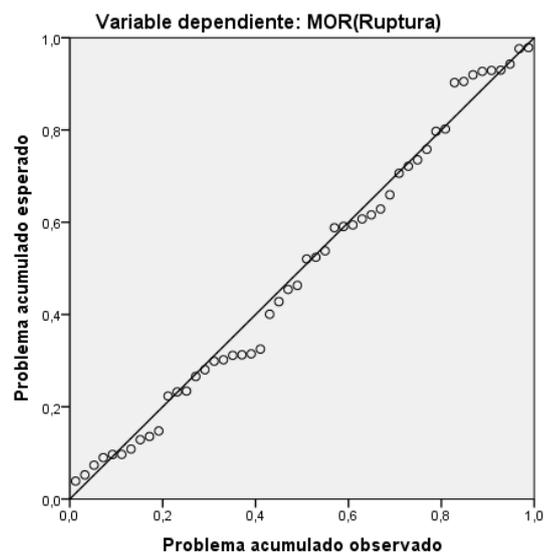
**ELP**

Gráfico P-P normal de regresión Residuo estandarizado



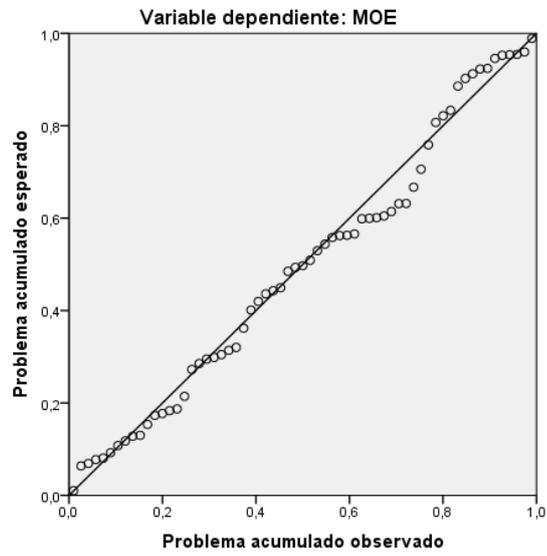
**MOR**

Gráfico P-P normal de regresión Residuo estandarizado



## MOE

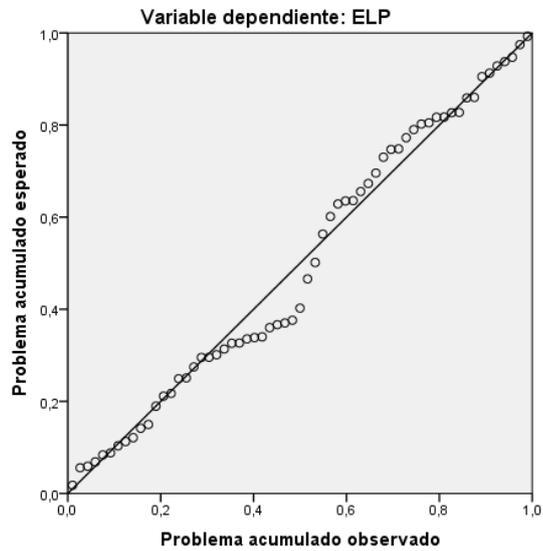
Gráfico P-P normal de regresión Residuo estandarizado



## COMPRESIÓN PARALELA

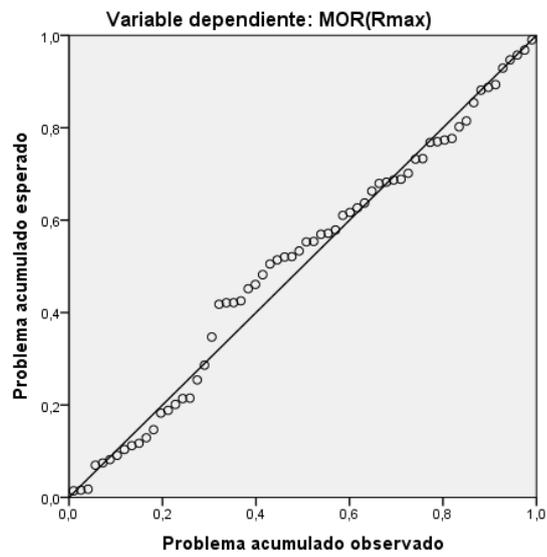
### ELP

Gráfico P-P normal de regresión Residuo estandarizado



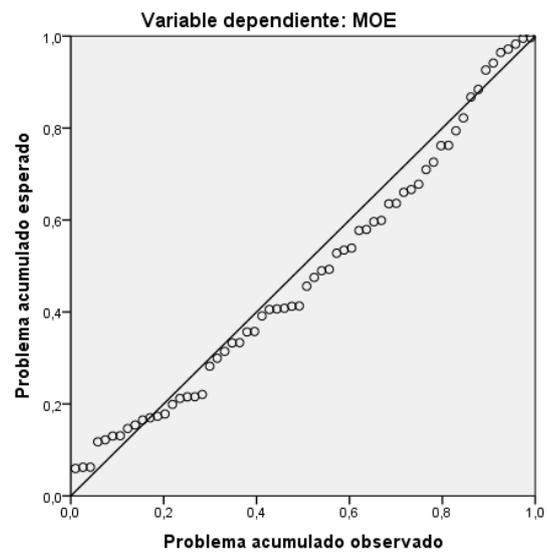
## RM

Gráfico P-P normal de regresión Residuo estandarizado



## MOE

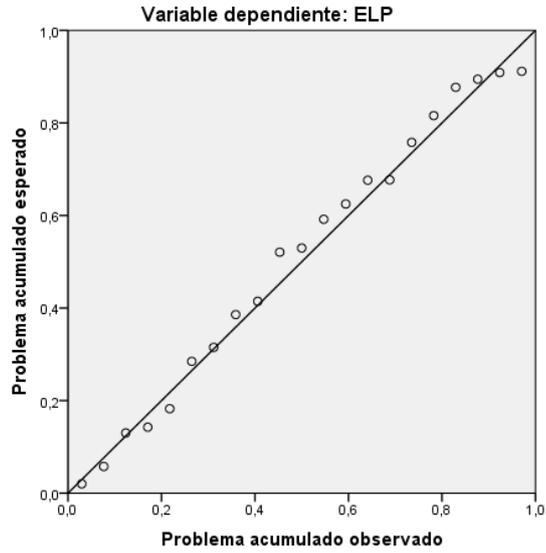
Gráfico P-P normal de regresión Residuo estandarizado



# COMPRESIÓN PERPENDICULAR

## ELP

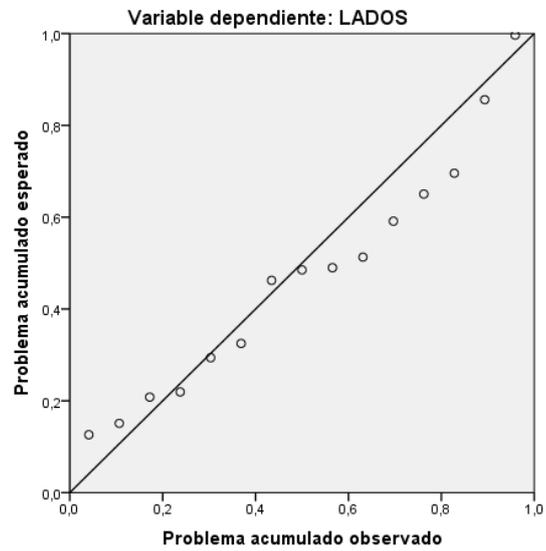
Gráfico P-P normal de regresión Residuo estandarizado



## DUREZA

## LADOS

Gráfico P-P normal de regresión Residuo estandarizado



## EXTREMOS

Gráfico P-P normal de regresión Residuo estandarizado

