

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA
MADERA DE RALEO PROCEDENTE DE
PLANTACIONES DE CUATRO AÑOS DE
Guazuma crinita MARTIUS (BOLAINA
BLANCA) - HUÁNUCO**

Presentado por:

Lesly del Rosario Urbina Ramos

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

Lima - Perú
2017

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por la ex-alumna de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. **LESLY DEL ROSARIO URBINA RAMOS**, intitulado “**PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE RALEO PROCEDENTE DE PLANTACIONES DE CUATRO AÑOS DE *GUAZUMA CRINITA* MARTIUS (BOLAINA BLANCA) - HUÁNUCO** ”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

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

La Molina, 25 de noviembre de 2016

.....
Mg. Sc. Chavesta Custodio, Manuel
Presidente

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

.....
Ing. Bustamante Guillén, Neptalí
Miembro

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

DEDICATORIA

A Dios y a mis padres Miguel Urbina y Carmen Ramos; por su paciencia, motivación y su gran ejemplo de perseverancia.

A mi hermana Roxana y mi sobrino Joaquín.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi patrocinador el Ing. Moisés Acevedo, por su excepcional dedicación y guía durante el desarrollo de la tesis.

A la empresa Reforestadora Amazónica S.A.C. que me brindó la oportunidad de llevar a cabo la investigación.

Al Ing. Manuel Soudre por las facilidades brindadas en la realización del presente estudio.

Al Ing. Rolando Montenegro por su ayuda en el análisis estadístico.

A la brigada “bolaina” y “Ulcumano”, Julio Robles, Jorge Tejada, Juan Carlos Aguilar y Haru García por todos los momentos gratos de compañía.

A las chicas “otorongas”, Carolina Ramírez, Andrea Arancibia, Betzy Muñoz, Mayra Marin, Frecia Pérez y Nataly Segundo por ser las amigas que dan ese impulso para culminar.

A Christian Trujillo, por su apoyo incondicional, sus palabras de ánimo y paciencia.

A mis amigos y colegas de RAMSA, por sus buenos deseos y apoyo en todo momento.

Y a todos los forestales que hicieron posible la realización de esta investigación.

RESUMEN

En el presente estudio se evalúan las propiedades mecánicas de la madera de raleo de *Guazuma crinita* Martius (Bolaina blanca) de 4 años de edad, provenientes de plantaciones forestales en colina baja ubicada en la provincia de Puerto Inca, departamento de Huánuco, con la finalidad de aportar conocimientos tecnológicos que ayuden en la toma de las decisiones del silvicultor.

Para la preparación de las probetas y ensayos de propiedades mecánicas se siguió lo estipulado en la norma American Society for Testing and Materials ASTM (2004); y las Normas Técnicas Peruanas (NTP), respectivamente. En el procesamiento de los datos y evaluación de los resultados se realizó un análisis básico obteniendo estadísticos descriptivos: medias, valores máximos y mínimos, intervalos de confianza al (95%) y coeficientes de variación. En las pruebas estadísticas se empleó un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tuckey que se llevó a cabo en los tres niveles de corte. Para la validación del análisis se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Los resultados mostraron que la madera de raleo de plantaciones de 4 años presentan diferencias significativas para los tres niveles de corte en las propiedades mecánicas de flexión estática, compresión paralela y tenacidad (tangencial). Los valores promedios de las propiedades mecánicas reflejan una tendencia decreciente con respecto a la altura. Por otro lado, el análisis de regresión muestra que el peso específico es un buen estimador para las propiedades mecánicas de flexión estática y compresión perpendicular. Asimismo se obtuvo que la madera de raleo en estudio comparado con madera proveniente de bosques naturales, de edad no especificada con diámetros de trozas conocidos entre 35 - 45 cm, a un mismo contenido humedad, presentó valores inferiores para las propiedades mecánicas.

Finalmente se compararon los resultados con otra especie de usos conocidos para determinar las aptitudes de uso los cuales resultaron ser: cajonería liviana, artesanía, juguetería y tableros de partículas.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura	3
1. CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE	3
1.1. TAXONOMÍA	3
1.2. DESCRIPCIÓN DENDROLÓGICA y distribución	3
1.3. ECOLOGÍA	6
1.4. FENOLOGÍA	6
1.5. SILVICULTURA	6
1.6. CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA	7
1.6.1. ANATOMÍA	7
1.6.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS.....	9
1.6.3. USOS.....	11
2. PROPIEDADES MECÁNICAS	11
3. VARIABILIDAD DE LA MADERA	14
3.1. VARIABILIDAD DE LA MADERA DENTRO DE ÁRBOLES INDIVIDUALES.....	15
3.2. VARIABILIDAD ENTRE LOS ÁRBOLES DE UNA MISMA ESPECIE.....	15
4. ANATOMÍA Y LAS PROPIEDADES DE LA MADERA	16
5. MADERA DE REACCIÓN: MADERA DE TENSIÓN	17
6. MADERA JUVENIL Y LAS PROPIEDADES MECÁNICAS	18
7. EFECTOS DEL RALEO EN LA CALIDAD DE LA MADERA	19
8. TENSIONES DE CRECIMIENTO	20
III. Materiales y Métodos	22
1. LUGAR DE EJECUCIÓN	22
2. MATERIALES Y EQUIPOS	22
2.1. ESPECIE.....	22
2.2. EQUIPOS Y ACCESORIOS.....	23
3. METODOLOGÍA	24
3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	24
3.2. SELECCIÓN Y COLECCIÓN DE MUESTRAS.....	26
3.3. DISPOSICIÓN DE LAS VIGUETAS EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL.....	27
3.4. CODIFICACIÓN DE LAS VIGUETAS.....	28
3.5. PREPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE PROBETAS.....	30
3.6. MÉTODOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.....	32
3.7. PROCESAMIENTO DE DATOS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	32
IV. Resultados y discusión	35
1. RESISTENCIA Y RIGIDEZ DE LA MADERA	35
2. ANALISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN	44
3. ANALISIS COMPARATIVO DE LA ESPECIE EN ESTUDIO	46
4. APTITUD DE USO	49
V. Conclusiones	53
VI. Recomendaciones	55
VII. Referencias bibliográficas	57
VIII. Anexos	65

Índice de tablas

Página

CUADRO 1: PROPIEDADES FÍSICAS DE BOLAINA BLANCA.	910
CUADRO 2: PROPIEDADES FÍSICAS DE BOLAINA BLANCA PROCEDENTE DE PLANTACIONES FORESTALES DE 4 AÑOS DE EDAD.....	9
CUADRO 3: PROPIEDADES MECÁNICAS DE BOLAINA BLANCA PROVENIENTE DE BOSQUES NATURALES.....	10
CUADRO 4: CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTACIÓN DE <i>GUAZUMA CRINITA</i> MARTIUS DEL SECTOR MAQUIZAPALLO.	232
CUADRO 5: DIMENSIONES PROMEDIOS DE LAS TROZAS SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.	27
CUADRO 6: DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE PROBETAS POR NIVEL LONGITUDINAL DE CADA ÁRBOL PARA LOS ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.	311
CUADRO 7: PROPIEDADES MECÁNICAS SEGÚN NORMAS TÉCNICAS PERUANAS.	32
CUADRO 8: VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ACUERDO AL NIVEL DE CORTE.	36
CUADRO 9: VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ACUERDO AL NIVEL DE CORTE (CONTINUACIÓN).	37
CUADRO 10: VALORES PROMEDIO DEL PESO ESPECÍFICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ESPECIE EN ESTUDIO.	37
CUADRO 11: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS TRES NIVELES ESTUDIADOS.	40
CUADRO 12: VARIABILIDAD DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS PROCEDENTE DE MADERA DE RALEO DE BOLAINA.	41
CUADRO 13: COMPARACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE VARIACIÓN TOTALES OBTENIDOS EN ESTUDIO Y LOS PRESENTADOS POR EL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS.	42
CUADRO 14: PROPIEDADES MECÁNICAS EN MADERA DE RALEO DE BOLAINA PROVENIENTE DE UNA PLANTACIÓN DE 4 AÑOS.	43
CUADRO 15: COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN Y ECUACIONES DE REGRESIÓN LINEAL PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE BOLAINA BLANCA EN ESTUDIO.	45
CUADRO 16: COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ESPECIE EN ESTUDIO CON OTROS AUTORES.	47
CUADRO 17: COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA EN ESTUDIO CON ESPECIE DE SIMILAR DENSIDAD.....	49
CUADRO 18: USOS DE LA BOLAINA BLANCA EN ESTUDIO Y OTRA ESPECIE DE SIMILAR DENSIDAD.	51

Índice de figuras

Página

FIGURA 1:	DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE <i>GUAZUMA CRINITA</i> MARTIUS. A. RAMITA CON HOJAS Y FRUTOS, B. FLOR, VISTA LATERAL, C. ANDRÓFORO, D. PÉTALO, VISTA DE FRENTE CON APÉNDICES SECCIONADOS, E. HOJA VISTA POR EL ENVÉS.	5
FIGURA 2:	SECCIONES MICROSCÓPICAS DE <i>GUAZUMA CRINITA</i> MARTIUS.	8
FIGURA 3:	MAPA DE UBICACIÓN DE LAS PLANTACIONES EN ESTUDIO	25
FIGURA 4:	DISPOSICIÓN DE VIGUETAS DE 7 CM x 7 CM (2½" x 2½") Y 3,50 CM x 3,50 CM (1¼" x 1¼") ORIENTADOS EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA TROZA.	27
FIGURA 5:	NIVELES DE CORTE. DONDE: 1. NIVEL BASAL, 2. NIVEL MEDIO Y 3. NIVEL APICAL.	29
FIGURA 6:	VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A NIVEL LONGITUDINAL DE LA ESPECIE <i>GUAZUMA CRINITA</i> PROVENIENTE DE UNA PLANTACIÓN DE 3 AÑOS.	41
FIGURA 7:	RESISTENCIA PROMEDIO DE BOLAINA BLANCA PROCEDENTE DE LA MADERA DE RALEO DE PLANTACIÓN DE 4 AÑOS DE EDAD Y MADERA LIBRE DE DEFECTOS DE BOSQUE NATURAL AL 13% DE CONTENIDO DE HUMEDAD.	48
FIGURA 8:	COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS CON OTRAS ESPECIES DE SIMILAR DENSIDAD.	50

Índice de anexos

Página

ANEXO 1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRBOLES Y TROZAS SELECCIONADAS	65
ANEXO 2 DESCRIPCIÓN DE LOS CÓDIGOS DE CALIDAD DE FUSTE Y ESTADO SANITARIO	66
ANEXO 3 GRÁFICOS DE REGRESIÓN LINEAL – PROPIEDADES MECÁNICAS.....	67
ANEXO 4 ENSAYO FLEXIÓN ESTÁTICA.....	72
ANEXO 5 ENSAYO DE TENACIDAD	73
ANEXO 6 ENSAYO CIZALLAMIENTO	74
ANEXO 7 ENSAYO COMPRESIÓN PARALELA	75

I. INTRODUCCIÓN

La especie *Guazuma crinita* (bolaina blanca) ha establecido su mercado nacional en los últimos años, convirtiéndose en un caso de manejo forestal con mucho potencial de ser sostenible (Putzel *et al.* 2013). Ha sido aceptada por sus aptitudes de rápido crecimiento, sus características tecnológicas, fácil trabajabilidad y precios bajos en relación a productos maderables procedentes de bosques primarios (Mori, 2011).

En el 2007 su demanda creció significativamente, siendo utilizada como tablillas para casas prefabricadas, pasando a ocupar un lugar destacado entre las 20 especies principales aprovechadas a nivel nacional (MINAG, 2011). Es así que al año 2013, las cifras oficiales dan información de una producción nacional de bolaina blanca de 84 946,84 m³ de madera rolliza, permaneciendo en el octavo lugar en volumen de producción desde el 2010; y un volumen de 5 855,66 m³ de madera aserrada. De manera específica, en el departamento de Huánuco representa la especie con mayor volumen de producción de madera aserrada con 2 137,06 m³ (DGFFS, 2014).

En este marco, esta especie forestal ha tomado importancia en los programas y planes de reforestación para su aprovechamiento, siendo promovidas por el sector público y privado. Este último, busca maximizar la utilización de la madera de bolaina blanca para lo cual demanda alternativas de uso en madera proveniente de raleo.

Ante la escasa información tecnológica en maderas de raleo y bajo estos considerandos, el presente estudio tiene como objetivo determinar las propiedades mecánicas de la madera de raleo de bolaina blanca proveniente de plantaciones forestales en Colina Baja ubicada en la

provincia Puerto Inca, departamento de Huánuco, cuyo propósito es contribuir al conocimiento tecnológico que permitan mejorar la toma de decisiones del silvicultor.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE

1.1. TAXONOMÍA

Familia:	STERCULIACEAE
Nombre científico:	<i>Guazuma crinita</i> Martius
Nombres comunes:	“Bolaina”, “Bolaina blanca”
Sinonimia:	<i>Guazuma rosea</i> Poeppig

1.2. DESCRIPCIÓN DENDROLÓGICA Y DISTRIBUCIÓN

Ríos (1990), Domínguez (1991), Reynel *et al.* (2003), y Silva (2005); coinciden que el árbol alcanza una altura aproximada de 30 m y diámetro de 25 a 40 cm. Fuste recto cilíndrico, copa regular y ramificación monopodial con ramas distribuidas horizontalmente en el primer tercio. Corteza externa ligeramente agrietada de 0,30 – 0,50 cm de grosor, color grisáceo. Corteza interna reticulada y fibrosa, color amarillento con sabor agridulce, oxida rápidamente a marrón, se desprende en tiras al jalarse y con exudación de mucílago incoloro (Reynel *et al.*, 2003; Silva, 2005). Hojas simples, alternas y dísticas, de 10 a 18 cm de longitud y 5-7 cm de ancho, las láminas ovadas con margen aserradas, nerviación palmeada,

base cordada, ápice agudo y acuminado; además, presenta pubescencia en el envés de las hojas. Inflorescencias de panículas axilares con muchas flores pequeñas, de 8-12 mm de longitud, con cáliz y corola presentes. La corola de color rosado, con cinco pétalos, cada uno de ellos en forma de cuchara y con dos largos apéndices en el extremo, el androceo formado por cinco columnas estaminales que portan numerosas anteras, el gineceo con ovario súpero, ovoide, pequeño. Fruto tipo cápsula globosa de unos 4-8 mm de diámetro, cubierto de finos pelos largos de unos 3-4 cm de longitud. (Reynel *et al.*, 2003). En la figura 1 se muestra la descripción botánica de la especie *Guazuma crinita*.

En relación a su distribución, Silva (2005) hace referencia que la especie presenta un amplio rango de distribución originaria del neotrópico extendiéndose desde México hasta Sudamérica entre ellos el Noroeste de Argentina, Ecuador, Paraguay, Bolivia, Brasil y Perú; en este último Reynel *et al.* (2003), resalta que es una especie abundante en la Amazonía peruana encontrándose hasta los 1500 m.s.n.m; mientras que (Silva., 2005) lo confirma al encontrar reportes en las regiones de Cajamarca, Huánuco, Junín, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín y Ucayali.

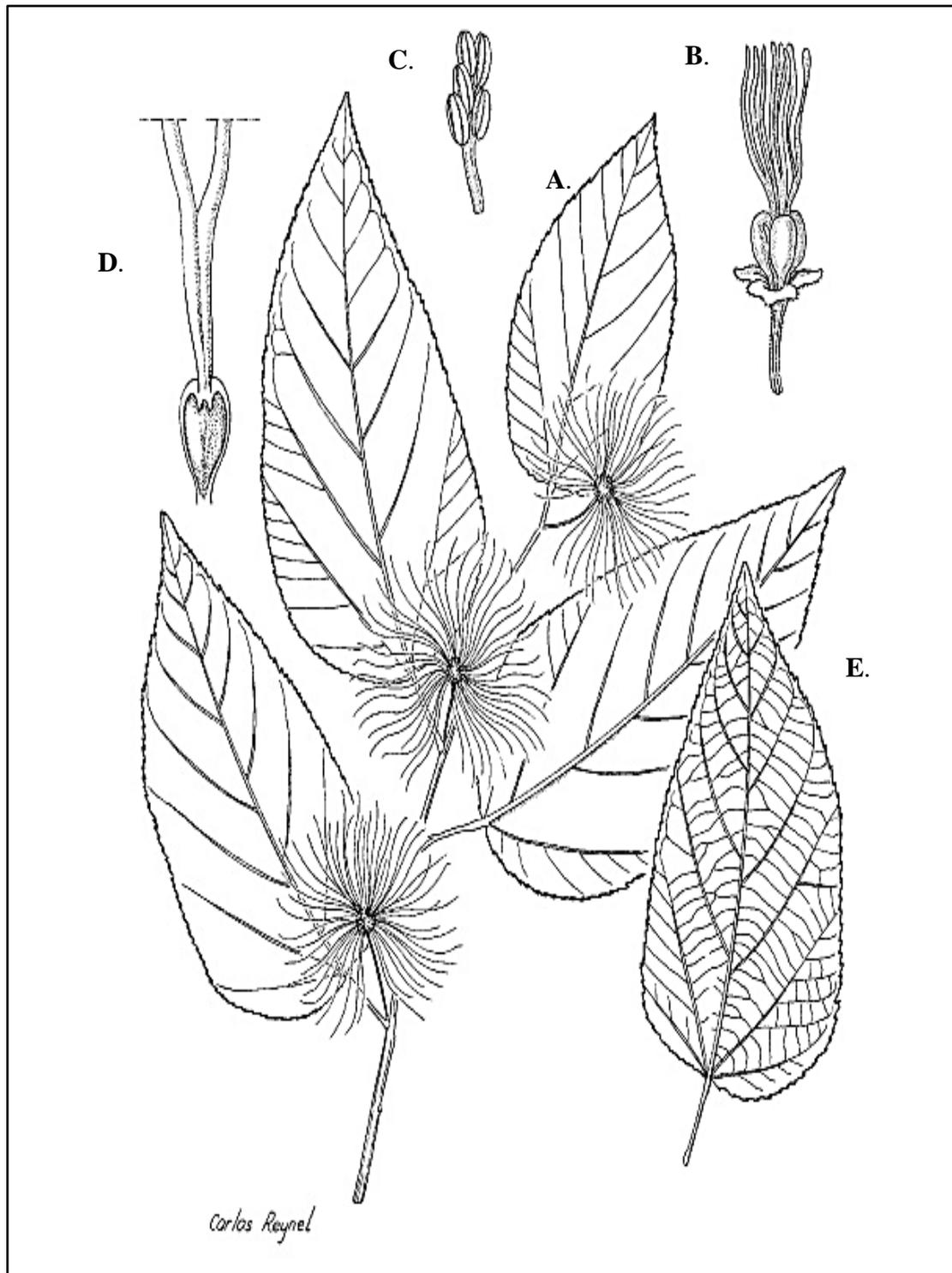


Figura 1: Descripción botánica de *Guazuma crinita* Martius. A. Ramita con hojas y frutos, B. Flor, vista lateral, C. Andróforo, D. Pétalo, vista de frente con apéndices seccionados, E. Hoja vista por el envés.

Fuente: Reynel, et al. (2003)

1.3. ECOLOGÍA

Reynel *et al.* (2003) y Silva (2005) señalan que esta especie suele presentarse en suelos limosos, franco - arenosos y arenosos, en su mayoría de poca fertilidad; y además, en terrenos con pedregosidad de hasta 25%. Domínguez (1991), indica que crece fácilmente en zonas planas y onduladas con pendientes suaves; mientras que Silva (2005), hace mención de encontrar individuos de esta especie en pendientes de hasta 30°.

Domínguez (1991), Reynel *et al.* (2003) y Silva (2005), coinciden que es una especie característica de bosques secundarios y zonas con alteración antropogénica, ocasionado por la agricultura o caminos. También es posible encontrar a la especie formando rodales puros o manchales en orillas de los ríos y zonas inundables (Domínguez, 1991); aunque se le observa incluso en ámbitos con una estación seca marcada (Reynel *et al.* 2003). Estos dos últimos autores señalan que no tolera terrenos inundables, en particular cuando es plántula.

1.4. FENOLOGÍA

Reynel *et al.* (2003), señala encontrar registros de floración durante la estación seca, entre los meses de julio y septiembre; mientras que la fructificación entre los meses de octubre y diciembre. El mismo autor indica que las flores abren de manera progresiva, pocas de ellas durante el día y de cada inflorescencia. Por otro lado, los frutos tardan por lo menos tres meses en madurar.

1.5. SILVICULTURA

Janzen citado por Reynel *et al.* (2003), menciona que en esta especie la propagación por semilla se da de manera exitosa, iniciando la producción de frutos y semillas desde los 6 años de edad; adicional a ello, señala que presenta gran capacidad de rebrote y propagación por estacas.

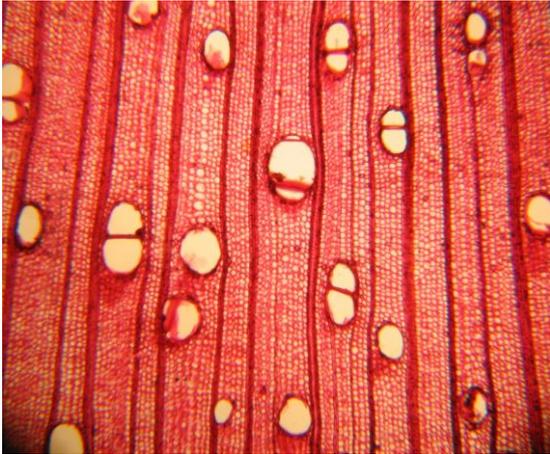
CATIE, citado por Reynel *et al.* (2003), sugiere tratar las semillas frescas con tratamientos pregerminativos para elevar el porcentaje germinativo de la especie a valores mayores al 70 - 80%. La misma institución, indica que en el manejo de la especie en vivero, las semillas pueden germinar en almácigos hasta desarrollar su primer par de hojas; posterior a ello, ser trasplantadas a bolsas de plástico con sustrato 1:1 de arena: tierra o de otro modo, sembrar de manera directa a las bolsas. Entre las 14 a 16 semanas las plántulas pueden alcanzar una altura de 25 a 30 cm, las cuales estarían listas para campo definitivo.

1.6. CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA

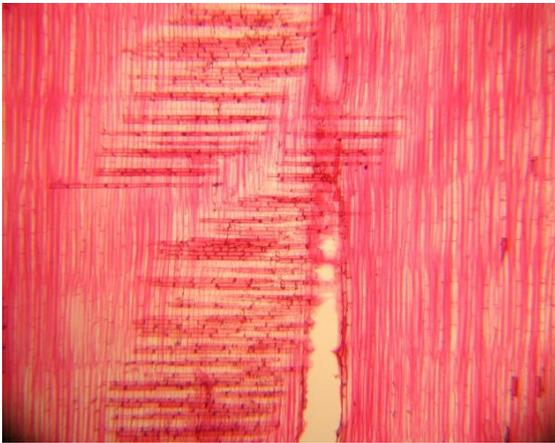
1.6.1. ANATOMÍA

Acevedo y Kikata (1994) manifiestan que la especie bolaina blanca en condición seca al aire, no muestra diferencia entre la albura y duramen, siendo su madera de color blanco cremoso. Presenta anillos de crecimiento, diferenciado por bandas oscuras de forma regular con vetado en arcos superpuestos ligeramente definidos y jaspeados, grano recto, textura y brillo medio.

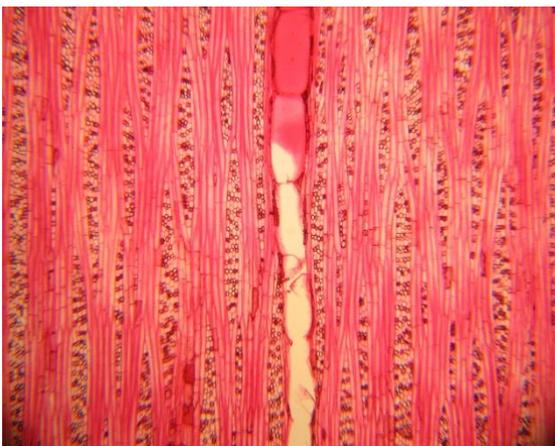
La madera presenta porosidad difusa. Parénquima ligeramente visible apotraqueal difuso en agregado y paratraqueal vasicéntrico, no estratificadas con presencia de células cristalíferas septadas. Radios heterogéneos tipo III, multiseriado no estratificado, con inclusiones de gomas en células procumbentes y tipo baldosas. Las fibras son libriformes, no estratificadas (Acevedo y Kikata, 1994). La figura 2 representa lo mencionado anteriormente.



CORTE TRANSVERAL 40x



CORTE RADIAL 40x



CORTE TANGENCIAL 40x

Figura 2: Secciones microscópicas de *Guazuma crinita* Martius.

Fuente: Acevedo y Kikata (1994)

1.6.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

Según Acevedo y Kikata (1994) y Aróstegui (1974) la madera presenta las siguientes propiedades físicas.

Cuadro 1: Propiedades físicas de bolaina blanca.

AUTORES	CARACTERÍSTICAS				
	Densidad básica	Contracción tangencial	Contracción radial	Coefficiente T/R	Estabilidad
A	0,41	-	-	-	-
B	-	5,50 %	3,50%	1,60	Buena

Fuente: (A) Acevedo y Kikata (1994); (B) Aróstegui (1974)

Las determinaciones de las propiedades físicas de madera de raleo procedente de plantaciones forestales de 4 años de edad realizadas en el Laboratorio de Tecnología de la madera de la Universidad Nacional Agraria La Molina (2015) presentaron los siguientes valores promedios:

Cuadro 2: Propiedades físicas de bolaina blanca procedente de plantaciones forestales de 4 años de edad.

CARACTERÍSTICAS				
Densidad básica	Contracción tangencial	Contracción radial	Contracción longitudinal	Contracción Volumétrica
0,37	7,90 %	4,20 %	0,06 %	12,20 %

Fuente: Laboratorio de Tecnología de la madera UNALM (2015)

En el cuadro 3 se muestra las propiedades mecánicas de bolaina blanca presentadas en el estudio de Aróstegui y Sato (1970) en madera libre de defectos proveniente de bosques naturales de Tingo María, de edad no específica, con diámetros de trozas de valores promedios de 45 cm y 35 cm para los diámetros mayor y menor, respectivamente.

Cuadro 3: Propiedades mecánicas de bolaina blanca proveniente de bosques naturales

PROPIEDADES	UNIDAD	PROCEDENCIA
		<i>Tingo María</i>
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	13
DENSIDAD BÁSICA		0,41
FLEXIÓN ESTÁTICA		
<i>Esfuerzo al límite Proporcional (ELP)</i>	kg/cm ²	318,30
<i>Módulo de Ruptura (MOR)</i>		507,80
<i>Módulo de Elasticidad</i>	t/cm ²	97,80
COMPRESIÓN PARALELA		
<i>Esfuerzo al Límite Proporcional (ELP)</i>	kg/cm ²	270,60
<i>Resistencia Máxima (RM)</i>		375,70
<i>Módulo de Elasticidad (MOE)</i>	t/cm ²	121,81
COMPRESIÓN PERPENDICULAR		
<i>Esfuerzo al Límite Proporcional (ELP)</i>	kg/cm ²	50,91
CIZALLAMIENTO	kg/cm ²	-

Fuente: Aróstegui y Sato (1970)

1.6.3. USOS

Egoavil y Chávez (1991) manifiestan que dependiendo de los diferentes diámetros de las trozas extraídas se pueden obtener diversos productos. Por ejemplo, si se tienen trozas de diámetros delgados se puede obtener madera para la fabricación de cajonería; mientras si se tienen diámetros gruesos estos pueden ser utilizados para listones y madera traslapada en revestimiento de paredes. OIMT *et al.* (1996), agrega que la madera es utilizada en embalajes, molduras, puertas sólidas, cajas de espárragos, muebles, madera aserrada, construcción de viviendas rurales, carpintería en general, laminado, paletas de chupete, palos de fósforo, juguetería y aptitud en pulpa para papel.

En un estudio realizado en madera de raleo procedente de plantaciones de 4 años, Miguel (2013) sostiene que es apta para elaborar tableros de partículas de 3 capas para uso de interiores.

2. PROPIEDADES MECÁNICAS

La madera puede ser descrita como un material ortotrópico; es decir, tiene propiedades mecánicas únicas e independientes en las direcciones de tres ejes perpendiculares entre sí: longitudinales, radiales y tangenciales (Green *et al.*, 1999).

Arroyo (1983), define las propiedades mecánicas de la madera como la expresión de su comportamiento bajo la aplicación de fuerzas o cargas. Este comportamiento puede sufrir varias modificaciones, dependiendo del tipo de fuerza aplicada y las diferencias básicas en la organización estructural de la madera. Además, señala que existen tres tipos de esfuerzos primarios que pueden actuar sobre un cuerpo, produciendo un cambio en su forma y tamaño, conocida con el nombre de deformación. Si ocurre una reducción dimensional o volumétrica, se desarrolla un esfuerzo compresivo. Si la fuerza tiende a aumentar la dimensión o volumen del cuerpo, será una fuerza de tensión y entonces se desarrollará un

esfuerzo de tracción. Si la fuerza desplaza porción del cuerpo sobre la otra en dirección paralela al plano contacto; en este caso ocurre esfuerzo de cizallamiento o cortante.

El mismo autor indica que la combinación de los esfuerzos primarios tiene como respuesta al esfuerzo de flexión y el efecto que produce es de curvatura, flexión o pandeo. También señala que el cuerpo presenta una reacción al esfuerzo aplicado que se conoce con el nombre de resistencia del material.

Aróstegui (1982), se refiere a la flexión estática como la resistencia que ofrece la madera a una carga que actúa sobre una viga y ésta depende de muchos factores tales como los defectos de crecimiento (nudos, desviaciones de las fibras), densidad, contenido de humedad, entre otros. Dentro de los esfuerzos menciona el Módulo de Elasticidad (MOE) como un índice de la facilidad o dificultad que presentan las maderas para su deformación, siendo una relación inversa; es decir, a mayor MOE, menor es su deformación.

El mismo autor define compresión paralela al grano como la resistencia que ofrece la madera a una fuerza que actúa en dirección paralela a las fibras y tiene importancia en la construcción, cuando la madera se usa en columnas o puntales. Por otra parte, la compresión perpendicular lo señala como la resistencia que ofrece la madera a una carga que actúa en dirección perpendicular a las fibras; adicional a ello, indica que las maderas pueden ser sometidas a estos tipos de cargas de manera ilimitada sin conseguir una carga máxima a la cual éstas se rompan. Su importancia está en la aplicación para los diseños de las conexiones entre los miembros de madera en un edificio, soportes de una viga (Haygreen y Bowyer, 1982) y durmientes (Aróstegui, 1982).

Bárceñas *et al.* (2003), refiere a la tenacidad o resistencia de la madera al impacto como su capacidad para absorber la energía de un choque. Forest Products Laboratory (1999), sostiene que los valores de tenacidad son más altos en valores en dirección tangencial que en la radial, por razones de la anisotropía de la madera. Echenique y Robles citado por Bárceñas *et al.* (2003) mencionan que la tenacidad cuando la madera está libre de defectos no se ve incrementada conforme disminuye el contenido de humedad, debido a que cuando

está verde, la madera absorbe mayor energía que cuando está seca, a pesar de que el valor del esfuerzo máximo sea menor. Sin embargo, cuando presenta defectos como la desviación de fibras y hongos manchadores estos sí influyen en el comportamiento de la madera. Aróstegui (1982), hace mención que en maderas con baja resistencia al golpe son consideradas quebradizas con planos lisos en el punto de rotura, mientras que las maderas tenaces presentan falla con astilladura larga.

El cizallamiento es definido como la resistencia que ofrece la madera a la acción de dos fuerzas paralelas, pero en dirección opuesta. Esto ocurre de manera frecuente, en el caso de unión de dos vigas. En referencia a la dureza es entendida como la resistencia de un cuerpo a la penetración de otro cuerpo, su importancia es en especial cuando la madera se usa para pisos. (Aróstegui, 1982)

Panshin y De Zeeuw (1980), sostienen que el peso específico y el contenido de humedad afectan las propiedades mecánicas de la madera. El primero considerado como el mejor índice para predecir las propiedades de resistencia, siendo estos valores variables según composición y organización celular de las diferentes maderas. Arroyo (1983), manifiesta que la efectividad de una madera para resistir ante diversas fuerzas no sólo depende de la cantidad de sustancia encontrada en la pared celular, sino de las proporciones en la que se encuentran dichos componentes en una pieza dada y la cantidad de extractivos presentes en los lúmenes de las células. Por otro lado, el contenido de humedad influye en la resistencia y elasticidad de la madera por debajo del punto de saturación de las fibras de manera inversa. Este último es confirmado por Vignote *et al.* (2006), quienes comprobaron una aproximación cuando el contenido de humedad aumentaba en 1%, la resistencia disminuía en 1,5% y el 2%. Además afirmaron que la madera presenta en su dirección longitudinal mayor resistencia que en dirección transversal.

3. VARIABILIDAD DE LA MADERA

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

Los mismos autores han podido establecer que la variabilidad de la madera está influenciada por diversos factores internos tales como, variación en el cambium en relación a la edad, herencia genética que influye en la forma y crecimiento de los árboles. Adicional a ello, Tusset y Duran (1979) mencionan otros factores como los climáticos, edafológicos y condiciones silviculturales a los que denomina externos.

Arroyo (1983), hace mención a los factores como velocidad de crecimiento, densidad, apariencia y orientación del grano como indicativos de fácil reconocimiento de la variabilidad en las características de las maderas; todo lo contrario ocurre con factores como tipo y organización de las células dentro de los anillos de crecimiento, composición y cantidades de extractivos, orientación de las microfibrillas en las paredes celulares, o el espesor y la estructura de la pared celular, siendo éstas las menos evidentes y las cuales provocan las diferencias en las propiedades mecánicas, estabilidad dimensional o durabilidad.

Schiewind, citado por Taquire (1995), indica que para algunas propiedades la variabilidad tiende a ser mayor que para otras, pudiéndose encontrar coeficientes de variación alrededor del 20%.

3.1. VARIABILIDAD DE LA MADERA DENTRO DE ÁRBOLES INDIVIDUALES

Para Arroyo (1983), la variabilidad de los elementos fibrosos y del peso específico de la madera son características de mayor importancia como índices de las propiedades mecánicas. Considera que este tipo de variabilidad es ocasionado por una serie de elementos interrelacionados en la estructura de la madera que puede ser dividido en madera juvenil y madera adulta. Relacionó una serie de curvas de longitud de fibras, peso específico, propiedades mecánicas y contenido celulosa, con la posición respecto a la médula a cualquier altura del árbol, donde todas siguieron un mismo patrón cuando se descartaron los factores ambientales. Una pendiente inicial abrupta de la curva marca el límite del periodo juvenil; a medida que el árbol va madurando, las pendientes de las curvas que relacionan las propiedades con la edad cambian gradualmente hasta llegar a ser horizontales cuando se alcanza el máximo nivel en la madera adulta.

Por otro lado, Panshin y De Zeeuw (1980), indican que esta variabilidad está totalmente relacionada a los cambios de envejecimiento del cambium, y las alteraciones producidas a las condiciones ambientales expuestas del árbol.

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

3.2. VARIABILIDAD ENTRE LOS ÁRBOLES DE UNA MISMA ESPECIE

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

Estos autores señalan que las características de la madera pueden ser modificadas como resultado de las condiciones de crecimiento a largo plazo en diferentes sitios, tales como la competencia en el soporte o fertilidad del suelo, desarrollando grandes diferencias en la magnitud de la variabilidad de las propiedades de la madera de la misma especie que crecen en un mismo suelo. Así mismo, la ubicación geográfica, latitud y longitud, que hacen referencia a la interacción entre la temperatura y la precipitación, han sido muestra de efectos considerables sobre los cambios en las propiedades de la madera.

Por otro lado, manifiestan que diversas características importantes en la calidad de la madera tienen origen hereditario.

4. ANATOMÍA Y LAS PROPIEDADES DE LA MADERA.

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

Arroyo (1983), señala que la variabilidad de los elementos fibrosos y del peso específico de la madera son características de mayor importancia como índices en las propiedades mecánicas. Manifiesta que tanto en coníferas como en latifoliadas los elementos fibrosos son dos veces más largos cerca a la corteza que los encontrados próximos a la médula; por lo general pueden llegar hasta tres a cinco veces más.

Por otro lado, el mismo autor indica que el ángulo de las microfibrillas es más grande en las células cercanas a la médula y disminuye rápidamente en los incrementos sucesivos hasta hacerse casi paralelo al eje longitudinal de las células en la parte exterior del árbol, por presentar una relación inversamente proporcional a la longitud de las células. Traacey *et al.*, citado por Navia (2006), manifiesta que el ángulo microfibrilar de la capa S₂ es utilizado como un indicador del módulo de elasticidad (MOE), además siendo reconocido

como una de las principales variables que determinan las características de la madera. También demostró que el MOE de la madera está determinado por la cantidad y distribución de la celulosa dentro de la pared celular.

En relación a los cambios en la dirección longitudinal del árbol, Arroyo (1983) señala que dentro de un anillo de crecimiento la longitud de los elementos fibrosos aumenta directamente con la altura hasta alcanzar un máximo en un punto determinado del tronco, desde este nivel la longitud de las células disminuye hasta la yema apical. Adicional a ello, manifiesta que en latifoliadas la variabilidad del peso específico a nivel longitudinal se ha encontrado una tendencia de aumento en forma irregular desde la base hasta la copa.

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

5. MADERA DE REACCIÓN: MADERA DE TENSIÓN

Panshin y De Zeeuw (1980) lo definen como un tejido xilemático que se produce en los tallos inclinados y en los lados superiores e inferiores de las ramas. Arroyo (1983), añade la presencia de médula excéntrica en trozas de este tipo de madera debido a un mayor crecimiento en uno de sus lados.

La madera de reacción en latifoliadas es conocida como “madera de tensión”. Generalmente se forma en la parte superior de los tallos inclinados, donde la zona de

crecimiento es más rápida; y muy pocos en la parte inferior, ambos casos como respuesta natural del árbol a enderezar su tallo. Existen algunos casos donde se distribuye irregularmente alrededor de la sección transversal (Panshin y De Zeeuw, 1980).

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

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

6. MADERA JUVENIL Y LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

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

Algunas de las características de la madera juvenil, en comparación con la madera adulta son: longitud de la fibra más corta, diámetro de la célula menor, espesor de la pared celular más delgada, proporciones de fibras mayores, proporciones de los vasos más bajos, contenido de holocelulosa y ángulo de fibrillas mayor (Langum *et al.*, 2009). Esta última característica se ve influenciada por la tasa de crecimiento, es decir, está presente en árboles de rápido de crecimiento tanto en madera juvenil como madera madura; así mismo se

manifiesta cuando la presencia de los anillos de crecimientos son más angostos; por lo general formados en árboles suprimidos. (Pedini citado por Navia, 2006)

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

Al respecto se reportaron diversos ensayos en madera juvenil, como el caso de la “teca”, que presentaron un MOE y MOR en flexión de 62% y 69%, respectivamente, del valor de la madera madura correspondiente a 139,11 tn/cm² y 1356,22 kg/cm² (Bhat y Priya, 2004). Otras investigaciones realizadas en “abeto” mostraron una disminución en el MOE y MOR en flexión con el aumento de altura en el árbol y con mayor porcentaje global de madera juvenil; en la sección basal presentaron 85,43 tn/cm² y 614,86 kg/cm²; sección media 95,80 tn/cm² y 658,28 kg/cm²; por último, sección apical 93,49 tn/cm² y 756,324 kg/cm², correspondientemente (Langum *et al.* 2009).

CFE (2013), en un estudio de *Pinus radiata* sostiene que la presencia de madera juvenil y médula en una misma pieza, disminuye de manera considerable la resistencia y rigidez de la madera en comparación cuando solo está presente la madera juvenil.

7. EFECTOS DEL RALEO EN LA CALIDAD DE LA MADERA

Para Arroyo (1983), los tratamientos silviculturales han demostrado tener mayor efecto sobre algunas propiedades de la madera como son la manipulación del espacio, distanciamiento y aclareo.

Hawley y Smith (1972), sostienen que el raleo representa la manera fundamental por la que el forestal puede controlar la calidad y la cantidad de la madera producida por un árbol. Es una actividad que se realiza en los primeros años de vida de la plantación, que permite mejorar las condiciones de crecimiento de los árboles remanentes en el desarrollo de sus raíces y copas, lo que favorece su crecimiento en diámetro y la posibilidad de alcanzar rápidamente, un tamaño comercial (Galloway citado por López, 2012). Sin embargo, Haygreen y Browyer (1982), indican que hay que tomar preocupación en la intensidad de raleo a realizar, pues este ocasiona crecimientos rápidos que permiten el aumento en la proporción de la madera juvenil y madera de reacción, presentando variación en la densidad y por consiguiente en sus propiedades mecánicas.

8. TENSIONES DE CRECIMIENTO

Las tensiones de crecimiento son originadas durante el proceso de maduración de las células que produce el cambium. Durante este proceso, las células que crecen cada año sobre la periferia del fuste, tienden a expandirse lateralmente y a contraerse longitudinalmente. Sin embargo, mientras se produce el proceso de maduración estos cambios dimensionales son afectados por las células lignificadas que han sido formadas en los años anteriores, lo que genera un conjunto de tensiones (Vignote *et al.*, 2006). Lima citado por Mutizabal (2008), indica que estas tensiones ocurren en las direcciones radial, tangencial y longitudinal; siendo ésta última la más severa.

Estas tensiones se ven reflejadas en deformaciones que se localizan fundamentalmente en los extremos de las trozas o en los productos aserrados. En la madera aserrada la liberación de las tensiones pueden causar la formación de arqueaduras y encorvaduras (Ormeño, 2008).

En un estudio realizado en el secado natural de tablas de madera aserrada de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) provenientes de bosques secundarios, se encontraron rajaduras en uno de los extremos de las tablas, los cuales pudieron ser ocasionados a la presencia de tensiones internas existentes en la madera, calidad de corte y manipuleo de las tablas (Bustamante,

2003). El mismo autor, en comunicación personal, señala indicios de tensiones de crecimiento en esta madera, en árboles menores a 8 años.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. LUGAR DE EJECUCIÓN

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

2. MATERIALES Y EQUIPOS

2.1. ESPECIE

En el presente estudio se utilizó la madera de raleo de la especie *Guazuma crinita* Martius proveniente de las plantaciones forestales de 4 años del sector Maquizapallo en la provincia de Puerto Inca, departamento de Huánuco realizadas por la empresa Reforestadora Amazónica S.A.C.

En la cuadro 4 se detallan las características de la plantación donde se realizó el estudio.

Cuadro 4: Características de la plantación de *Guazuma crinita* Martius del sector Maquizapallo.

INFORMACIÓN DE LA PLANTACIÓN	
Fecha de la plantación	06/01/2010
Área plantada	24,04 ha
Tipo de plantación	A campo abierto, distanciamiento 3 m x 3 m
Topografía y suelo	Colina baja, altitud entre los 80 - 150 m y pendientes comprendidos entre 4 - 8 %. El suelo presenta valores de pH de 6,50 a 5,0 en los primeros 60 cm.
Mantenimiento	Segundo raleo, según requerimiento de la plantación. Control general de maleza de 3 a 2 veces por año, según requerimiento de la plantación.

Fuente: Reforestadora Amazónica S.A.C

2.2. EQUIPOS Y ACCESORIOS

La preparación de las probetas fue realizada en el Laboratorio de tecnología de la madera, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali y en la Universidad Nacional Agraria La Molina se utilizaron los siguientes equipos:

- Prensa universal y accesorios “Tinius Olsen” capacidad 60 000 lb
- Probadora de tenacidad “Wiedemann Baldwin”
- Hornos eléctricos “Mommert” de 103 ± 2 °C
- Vernier digital “Mitutoyo” de precisión 0,01 mm
- Balanza digital “Adam” precisión 0,01 g
- Desecadores de laboratorio con silicagel
- Lupa 10x

- Lápices de cera
- Cuchilla
- Cámara digital Samsung 16MP 21 WB350

3. METODOLOGÍA

3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Las muestras se extrajeron de las plantaciones forestales del sector Maquizapallo de la empresa RAMSA que presentan una superficie total de 287,63 ha distribuidas en 4 edades diferentes. Se ubica en la provincia de Puerto Inca, entre los distritos de Puerto inca y Yuyapichis, en el departamento de Huánuco. Geográficamente se encuentra a 9° 37' 43'' latitud S y 74° 58' 28'' longitud W. 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.

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

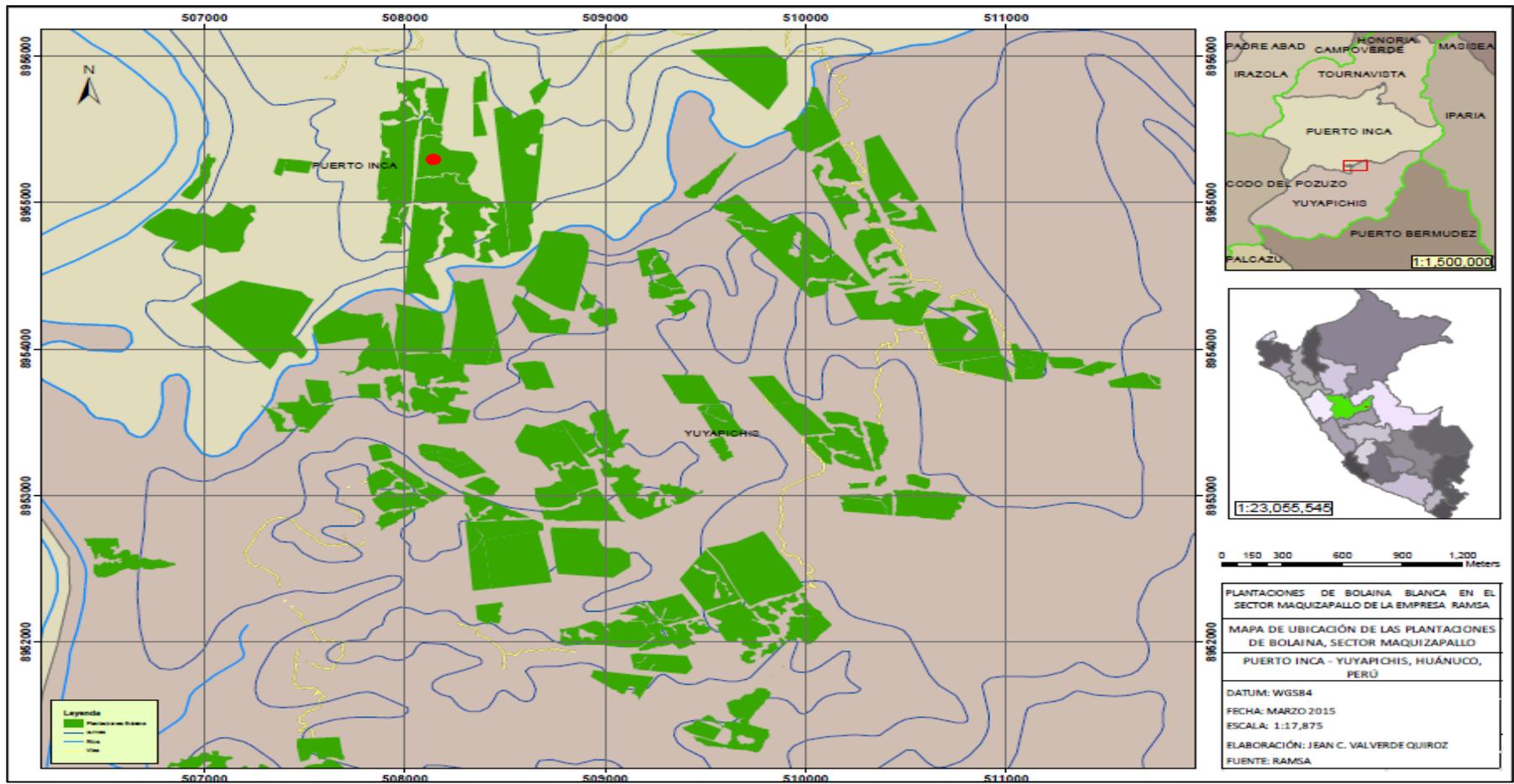


Figura 3: Mapa de ubicación de las plantaciones en estudio

Fuente: Reforestadora Amazónica S.A.C

3.2. SELECCIÓN Y COLECCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras de madera para el estudio fueron colectadas y seleccionadas tomando como guía lo estipulado en la norma American Society for Testing and Materials ASTM (2004), Designation: D 5536 – 94 (Reapproved 2004) Standard Test Methods for Sampling Forest Trees.

Se ubicaron y marcaron los árboles destinados para el raleo, teniendo en cuenta la información de crecimiento, estado sanitario y calidad de fuste brindada por el área de evaluación y monitoreo de plantaciones. La codificación de los árboles se realizó con pintura acrílica de acuerdo a especie, número de árbol y nivel de corte. Las trozas fueron convertidas en viguetas, que posteriormente fueron utilizadas en la preparación de las probetas. Esta etapa se realizó en colaboración con la empresa Reforestadora Amazónica S.A.C.

En el cuadro 5 se muestra las características de los diámetros promedios de las trozas seleccionadas para la realización de los ensayos de las propiedades mecánicas, donde la primera troza obtenida del árbol se obtuvo dos dimensiones de longitud de 3,20 m y 2,50 m, la segunda troza solo una longitud de 2,50 m y la tercera troza de 2,50 m y 1,55 m; esto dependió de la altura de los árboles y características de calidad de fuste. En el anexo 1 se detallan las características de los árboles.

Cuadro 5: Dimensiones promedios de las trozas seleccionadas para el estudio de las propiedades mecánicas.

TROZA	LONGITUD (m)	DIÁMETROS PROMEDIOS (cm)	
		Mayor	Menor
1°	3,20	13,37	11,70
	2,50	12,03	10,23
2°	2,50	10,71	8,90
3°	2,50	9,03	7,20
	1,55	8,50	7,20

Fuente: Elaboración propia

3.3. DISPOSICIÓN DE LAS VIGUETAS EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL

El número de los listones obtenidos varió según el diámetro de las trozas. Éstas tuvieron como dimensión nominal de 7 cm x 7 cm (2½" x 2½") o de 3,50 cm x 3,50 cm (1¼" x 1¼") distribuidas dentro de la sección transversal según muestra las figuras 4.

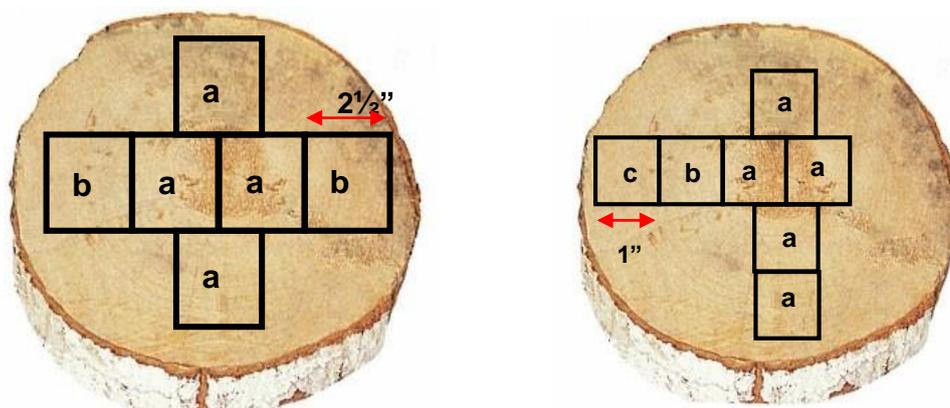


Figura 4: Disposición de viguetas de 7 cm x 7 cm (2½" x 2½") y 3,50 cm x 3,50 cm (1¼" x 1¼") orientados en la sección transversal de la troza.

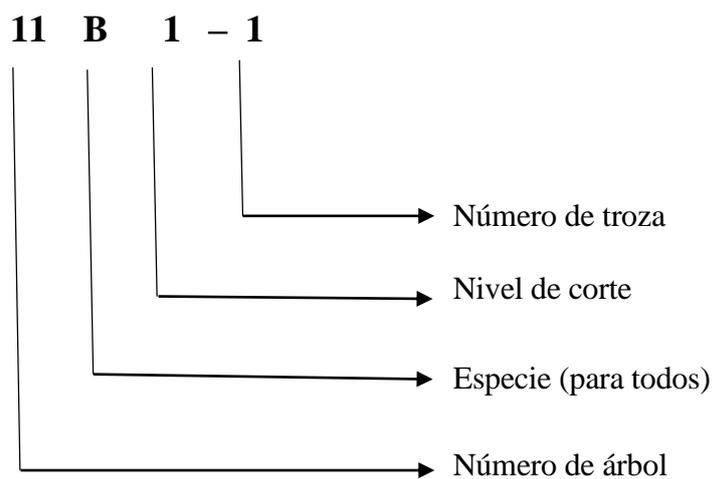
3.4. CODIFICACIÓN DE LAS VIGUETAS

Las viguetas de 7 cm x 7 cm ($2\frac{1}{2}''$ x $2\frac{1}{2}''$) y 3,50 cm x 3,50 cm ($1\frac{1}{4}''$ x $1\frac{1}{4}''$) presentaron la siguiente codificación conformado entre número y letras:

- La primera letra representa la especie.
- El primer dígito representa el número del árbol.
- La segunda letra representa el nivel de corte.
- El segundo dígito representa el número de troza según la altura del árbol.

Respecto a los niveles de corte se tuvieron los niveles 1, 2 y 3 como se muestra en la figura 5.

Como ejemplo se presenta el siguiente código de vigueta:



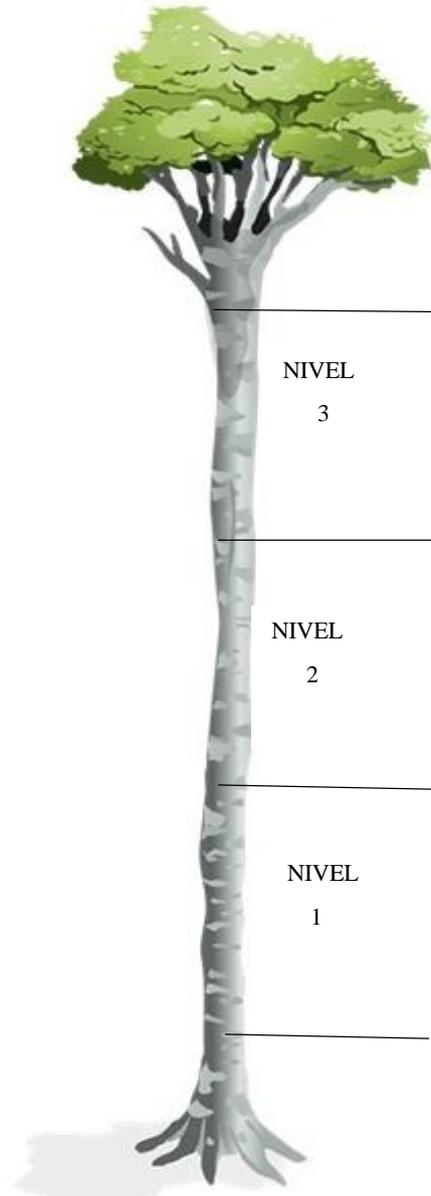


Figura 5: Niveles de corte. Donde: 1. Nivel Basal, 2. Nivel Medio y 3. Nivel Apical.

Fuente: Elaboración propia

3.5. PREPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE PROBETAS

Las viguetas de 7 cm x 7 cm ($2\frac{1}{2}$ '' x $2\frac{1}{2}$ '') y de 3,50 cm x 3,50 cm ($1\frac{1}{4}$ '' x $1\frac{1}{4}$ '') fueron llevadas a su dimensión final de 5 cm x 5 cm (2'' x 2'') y 2,50 cm x 2,50 cm (1'' x 1'') respectivamente, las cuales se emplearon para preparar las probetas de los ensayos mecánicas.

La preparación fue realizada en colaboración del Laboratorio de tecnología de la madera, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali. De las viguetas de 5 cm x 5 cm debidamente orientados se obtuvieron las probetas de Compresión Perpendicular, Dureza y Cizallamiento. Por otro lado, de las viguetas orientadas de 2,50 cm x 2,50 cm se obtuvieron las probetas de Flexión Estática, Tenacidad y Compresión paralela.

En el cuadro 6, se muestra el número de probetas utilizadas para cada uno de los ensayos de propiedades mecánicas.

Cuadro 6: Distribución del número de probetas por nivel longitudinal de cada árbol para los ensayos de las propiedades mecánicas.

ENSAYO	NIVEL	ÁRBOL						TOTAL
		6	11	12	13	14	15	
<i>Flexión estática</i>	1	4	5	8	10	4	4	35
	2	3	3	2	3	2	3	16
	3	2	3	3	4	2	-	14
<i>Compresión paralela</i>	1	4	5	5	7	5	4	30
	2	4	3	3	4	4	4	22
	3	-	3	3	3	-	-	9
<i>Compresión perpendicular</i>	1	3	3	-	-	3	3	12
	2	-	-	-	-	2	1	3
	3	-	-	-	-	1	-	1
<i>Dureza</i>	1	3	4	-	-	3	3	13
	2	-	-	-	-	2	1	3
	3	-	-	-	-	1	-	1
<i>Cizallamiento</i>	1	3	4	-	-	3	3	13
	2	-	-	-	-	2	1	3
	3	-	-	-	-	1	-	1
<i>Tenacidad</i>	1	5	8	12	8	11	6	50
	2	4	3	6	4	6	4	27
	3	-	-	3	3	-	-	6
TOTAL		35	44	45	46	52	37	259

Fuente: Elaboración propia

3.6. MÉTODOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Se realizaron los ensayos de propiedades mecánicas de los árboles seleccionados de acuerdo a las NTP (Norma técnica peruana) las cuales se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 7: Propiedades mecánicas según Normas Técnicas Peruanas.

<i>PROPIEDADES MECÁNICAS</i>	<i>NORMA</i>
Método de ensayo de flexión estática	NTP 251.017.2004
Método de determinación de compresión paralela al grano	NTP 251.014.2004
Método de determinación de compresión perpendicular al grano	NTP 251.012.2004
Método de determinación de cizallamiento paralelo al grano	NTP 251.013.2004
Método de determinación de dureza	NTP 251.015.2004
Método de determinación de tenacidad	NTP 251.018.2004

3.7. PROCESAMIENTO DE DATOS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Para el procesamiento de los datos se utilizó el programa Microsoft Excel para Windows e IBM SPSS versión 22 para Windows 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.

En la realización de las pruebas estadísticas, se empleó un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el diseño completo al azar (DCA) para determinar si existen diferencias significativas ($P < 0,05$) entre alturas para las propiedades mecánicas de Flexión Estática, Compresión Paralela y Tenacidad; así mismo, se utilizó la prueba de Tukey para obtener mayor información detallada sobre las diferencias entre medias específicas. Por otro lado, no se realizó las pruebas estadísticas respectivas a los ensayos de las propiedades mecánicas de Compresión perpendicular, Cizallamiento y Dureza por motivos de no contar con el número suficiente de probetas; sin embargo, se realizó un análisis de sus valores descriptivos.

Para la validación del análisis se realizó la prueba Kolmogorov-Smirnov para comprobar que la muestra ha sido extraída de una población con distribución normal y los supuestos de homogeneidad de varianzas.

Se realizó un análisis de regresión y correlación para estimar la influencia del peso específico en las resistencias mecánicas teniendo como variable independiente el peso específico y variables dependientes las propiedades mecánicas.

Para determinar las aptitudes de uso de la especie en estudio, se compararon las propiedades mecánicas obtenidas con otra especie de similar densidad y usos conocidos propuestos por otros autores.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. RESISTENCIA Y RIGIDEZ DE LA MADERA.

En el cuadro 8 y 9 se presentan los resultados de los valores promedios de las propiedades mecánicas de la madera de *Guazuma crinita* evaluadas según los niveles de corte que incluye medias, coeficientes de variación, rangos y contenido de humedad. La figura 6 ilustra los valores promedio de las resistencias. Del mismo modo, en el cuadro 11 se presentan los resultados obtenidos de la prueba de significancia (ANOVA) para los tres niveles de corte.

La prueba estadística ($\alpha = 0,05$) muestra significancia para los ensayos de compresión paralela, flexión estática y tenacidad en el sentido tangencial. De manera general, la prueba de comparación múltiple de Tuckey para los tres ensayos muestra una diferencia clara entre la sección basal con la sección media y apical, pero si la comparación es entre cada nivel y resistencia se observa que la sección media y apical muestran similitud para las resistencias de ELP y MOR en compresión paralela, MOE en flexión estática y el lado tangencial en tenacidad; de manera similar ocurre en comparación con la sección basal en ELP y MOE en compresión paralela.

De ello, puede observarse en el cuadro 8 y 9 que la media de las resistencias de la sección basal (correspondiente al 1 nivel de corte), se obtienen los valores más altos para todas las propiedades mecánicas seguidos por la sección media y sección apical. Esto sugiere una percepción de diferenciación en los niveles corte para la especie en estudio a la edad de 4 años, para lo cual puede estar relacionado a los valores de peso específico encontrados por cada nivel de corte, como se muestra en el cuadro 10.

Del cuadro 8 y 9, podemos destacar como las medias del MOE decrecen con respecto a la altura indicando un aumento en la elasticidad de la madera; el cual puede deberse como menciona Niva (2006) y, Pearson y Gilmore citado por Cown (1992) a la presencia de la madera juvenil con mayor ángulo microfibrilar atribuido por ser una especie de rápido crecimiento. Esta tendencia también se muestra en las medias del MOR, este hecho fue también reportado por Langum *et al.* (2009) para maderas de teca y otras especies con alto porcentaje de madera juvenil.

Por otro lado, las medias de los ensayos de tenacidad muestran una ligera diferencia entre el sentido tangencial y radial, siendo la primera la que obtiene los valores mayores esto ocasionado por la anisotropía de la madera y la disposición de los elementos anatómicos para cada sentido. Asimismo, en el ensayo de dureza los extremos presentan un valor promedio ligeramente superiores con respecto a los lados, tendencia esperada en este tipo de pruebas.

Cuadro 8: Valores promedios de las propiedades mecánicas de acuerdo al nivel de corte.

PROPIEDADES MECÁNICAS	SECCIÓN	UNIDAD	MEDIA	CV%	RANGO		CH%	
					MÍNIMO	MÁXIMO		
COMPRESIÓN PARALELA	ELP	BASAL	kg/cm ²	190,88	22,41	113,62	299,95	13,15
	MOR			234,63	17,44	147,82	310,54	
	MOE		t/cm ²	92,97	24,18	49,13	137,38	
	ELP	MEDIO	kg/cm ²	162,10	22,59	104,89	235,82	13,00
	MOR			197,05	18,57	124,65	272,41	
	MOE		t/cm ²	81,51	23,05	49,47	139,16	
	ELP	APICAL	kg/cm ²	140,29	22,14	85,76	190,38	13,37
	MOR			175,46	18,58	124,90	216,72	
	MOE		t/cm ²	56,95	35,74	23,28	86,82	
FLEXIÓN ESTÁTICA	ELP	BASAL	kg/cm ²	347,71	15,01	252,89	459,21	13,49
	MOR			509,89	14,86	401,24	676,04	
	MOE		t/cm ²	72,52	11,44	56,67	92,19	
	ELP	MEDIO	kg/cm ²	242,39	21,22	130,90	338,97	13,43
	MOR			322,92	25,93	148,91	508,98	
	MOE		t/cm ²	53,16	19,40	31,08	79,85	
	ELP	APICAL	kg/cm ²	190,84	24,65	126,97	283,33	13,25
	MOR			253,09	29,77	157,40	389,02	
	MOE		t/cm ²	48,78	12,73	35,72	61,01	
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
		APICAL		0,33	24,71	0,25	0,42	12,18
	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
		APICAL		0,33	9,01	0,30	0,36	14,28

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 9, los valores de la media, coeficiente de variación y rango para la sección media y apical están dadas como referencia debido a que solo se obtuvo dos y una probeta para las propiedades de compresión perpendicular, cizallamiento y dureza, respectivamente.

Cuadro 9: Valores promedios de las propiedades mecánicas de acuerdo al nivel de corte (Continuación).

PROPIEDADES MECÁNICAS		SECCIÓN	UNIDAD	MEDIA	CV%	Rango		CH%
						MÍNIMO	MÁXIMO	
COMPRESIÓN PERPENDICULAR	ELP	BASAL	kg/cm ²	32,06	33,63	15,50	50,23	14,67
		MEDIO*		20,05	17,49	16,58	23,59	14,57
		APICAL**		18,85	-	-	-	14,55
CIZALLAMIENTO		BASAL	kg/cm ²	53,58	22,70	40,80	74,86	11,80
		MEDIO*		39,09	5,07	32,13	39,46	11,63
		APICAL**		39,07	-	-	-	11,74
DUREZA	EXTREMO	BASAL	kg/cm ²	247,94	25,11	176,90	331,12	14,55
	LADO			153,84	28,64	90,72	236,58	
	EXTREMO	MEDIO*		253,53	1,87	249,78	258,90	14,47
	LADO			106,20	11,56	93,86	118,40	
	EXTREMO	APICAL**		166,70	-	-	-	12,78
	LADO			157,96	-	-	-	

(*) Valores provenientes de tres probetas, (**) Valor proveniente de una probeta

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 10: Valores promedio del peso específico de las propiedades mecánicas de la especie en estudio.

PROPIEDADES MECÁNICAS	NIVEL DE CORTE	PESO ESPECÍFICO PROMEDIO	CH (%)
FLEXIÓN ESTÁTICA	1	0,38	13,5
	2	0,31	13,4
	3	0,30	13,2
COMPRESIÓN PARALELA	1	0,37	13,2
	2	0,33	13,0
	3	0,32	13,4
COMPRESIÓN PERPENDICULAR	1	0,31	14,7
	2*	0,26	14,6
	3**	0,25	14,6
DUREZA	1	0,30	14,6
	2*	0,25	14,5
	3**	0,25	12,8

(*) Valor referencial proveniente de tres probetas, (**) Valor referencial proveniente de una probeta

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 11: Análisis de varianza para los tres niveles estudiados.

PROPIEDADES MECÁNICAS		UNIDAD	ANOVA	PRUEBA ESTADÍSTICA
COMPRESIÓN PARALELA	ELP	kg/cm ²	*	<u>3</u> 2 1
	MOR		*	<u>3</u> 2 1
	MOE	t/cm ²	*	3 <u>2</u> 1
FLEXIÓN ESTÁTICA	ELP	kg/cm ²	*	3 2 1
	MOR		*	3 2 1
	MOE	t/cm ²	*	<u>3</u> 2 1
TENACIDAD	TANGENCIAL	kg.-m	*	<u>3</u> 2 1
	RADIAL	kg.-m	NS	

Fuente: Elaboración propia.

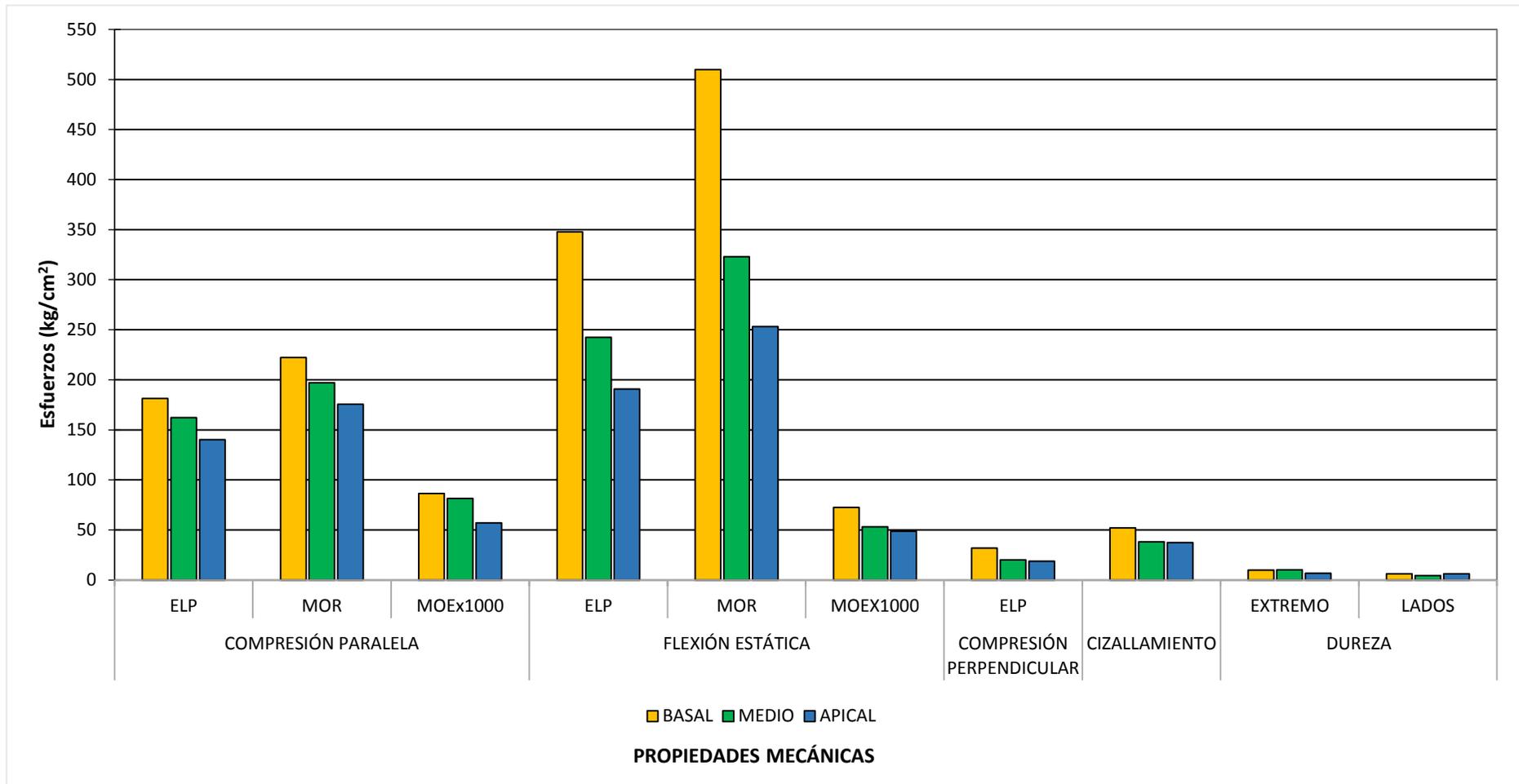


Figura 6: Valores promedio de las propiedades mecánicas a nivel longitudinal de la especie *Guazuma crinita* proveniente de una plantación de 3 años

En relación a la variabilidad de las propiedades mecánicas, los esfuerzos de tenacidad son los que presentan mayor coeficiente de variación como se muestran en el cuadro 12.

Cuadro 12: Variabilidad de las propiedades mecánicas procedente de madera de raleo de bolaina.

PROPIEDADES MECÁNICAS	UNIDAD	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)		
		ENTRE	DENTRO	TOTAL
FLEXIÓN ESTÁTICA				
<i>Esfuerzo al límite proporcional</i>	kg/cm ²	9,86	10,14	10,10
<i>Módulo de ruptura</i>		15,99	10,27	11,29
<i>Módulo de elasticidad x10³</i>		9,56	8,96	9,05
COMPRESIÓN PARALELA				
<i>Esfuerzo al límite proporcional</i>	kg/cm ²	20,85	16,47	17,37
<i>Módulo de ruptura</i>		15,77	11,83	12,65
<i>Módulo de elasticidad x 10³</i>		20,03	14,14	15,40
TENACIDAD				
<i>Tangencial</i>	kg.-m	25,09	29,10	28,23
<i>Radial</i>		38,24	34,77	35,73

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 14 se presentan los límites inferior y superior para cada una de las propiedades, a un nivel de confianza del 95%.

Cuadro 14: Propiedades mecánicas en madera de raleo de bolaina proveniente de una plantación de 4 años.

PROPIEDADES MECÁNICAS	UNIDAD	PROMEDIO			COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	95% INTERVALO DE CONFIANZA	
		RESISTENCIA	CH%	G		LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
FLEXIÓN ESTÁTICA							
<i>Esfuerzo al límite proporcional</i>	kg/cm ²	333,45	13,39	0,34	10,10	321,88	345,02
<i>Módulo de ruptura</i>		486,60	13,39		11,30	467,72	505,49
<i>Módulo de elasticidad x 10³</i>	t/cm ²	69,25	13,39		9,06	67,10	71,40
COMPRESIÓN PARALELA							
<i>Esfuerzo al límite proporcional</i>	kg/cm ²	190,88	13,17	0,35	17,37	178,02	203,74
<i>Módulo de ruptura</i>		234,63	13,17		12,66	223,11	246,15
<i>Módulo de elasticidad x 10³</i>	t/cm ²	92,97	13,17		15,40	87,42	98,53
TENACIDAD							
<i>Tangencial</i>	kg.-m	0,59	12,97	-	28,23	0,52	0,66
<i>Radial</i>		0,56	12,80		35,73	0,50	0,64

Fuente: Elaboración propia.

2. ANALISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Los coeficientes de correlación y determinación resultaron moderadamente altos, para las propiedades de flexión estática y compresión perpendicular, mientras que las propiedades compresión paralela y dureza obtuvieron coeficientes bajos, como se detalla en el cuadro 15. Para expresar las escalas de interpretación se tomó como referencia lo descrito por Martínez *et al.* (2009).

Estos resultados obtenidos son explicados pues la efectividad de la madera para resistir distintas fuerzas no está solo en función de la cantidad de sustancia de la pared celular, sino de las proporciones y dimensiones en que se encuentran los componentes de la pared celular en una pieza dada, así como por la cantidad de gomas en células procumbentes y tipo baldosas.

De ello podemos afirmar que la variable independiente, peso específico, es un buen estimador mediante las ecuaciones lineales para las propiedades de flexión estática y compresión perpendicular.

Cuadro 15: Coeficientes de determinación y ecuaciones de regresión lineal para las propiedades mecánicas de la madera de bolaina blanca en estudio al primer nivel de corte.

<i>Propiedades (variable dependiente)</i>	<i>CH%</i>	<i>Variable independiente</i>	<i>Coefficiente de determinación r^2</i>	<i>Coefficiente de correlación r</i>	<i>Ecuación lineal</i>
Flexión estática					
<i>ELP</i>	13,49	G	0,58	0,76	$Y = -67,64 + 1028 G$
<i>MOR</i>			0,66	0,81	$Y = -219,6 + 1810 G$
<i>MOE</i>			0,56	0,75	$Y = 1382 + 175514 G$
Compresión paralela					
<i>ELP</i>	13,15	G	0,29	0,53	$Y = 31,27 + 395,2 G$
<i>MOR</i>			0,50	0,71	$Y = 16,65 + 547,4 G$
<i>MOE</i>			0,14	0,37	$Y = 25295 + 159757 G$
Compresión perpendicular					
<i>ELP</i>	14,67	G	0,64	0,80	$Y = -40,87 + 239,1 G$
Dureza					
<i>Extremos</i>	14,55	G	0,08	0,28	$Y = -2,959 + 43,44 G$
<i>Lados</i>			0,02	0,12	$Y = -3,815 + 33,33 G$

Donde: Y: Propiedad mecánica; G: Peso específico

Fuente: Elaboración propia.

3. ANALISIS COMPARATIVO DE LA ESPECIE EN ESTUDIO

Los valores promedios de flexión estática, compresión paralela y compresión perpendicular procedente de madera de raleo se han comparado con madera libre de defectos provenientes de bosque natural al 13%, como muestra en el cuadro 16.

Se observa que las resistencias en bosque natural resultaron superiores en 30% para el ELP en compresión paralela, en 29% para MOE en flexión estática y en 40% para compresión perpendicular. Por otro lado, el valor de MOR de flexión estática en madera de raleo resultó 5% inferior; sin embargo, el ELP en flexión estática fue superior en 5% con respecto a la madera procedente de bosque natural.

Esto puede estar relacionado al comportamiento del peso específico (G). La madera de raleo con un valor de 0,37; mientras que la madera proveniente de bosque natural presenta un valor de 0,40. Además, puede estar vinculado a la combinación de varios factores como las características anatómicas de la madera, ángulo microfibrilar en la capa S₂, porcentaje de madera juvenil, edad y factores genéticos. La figura 7 ilustra estas diferencias.

Cuadro 16: Comparación de las propiedades mecánicas de la especie en estudio con otros autores.

PROPIEDADES	UNIDAD	PROCEDENCIA	
		Puerto Inca (A)	Tingo María (B)
DENSIDAD BÁSICA		0,37	0,41
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	13	13
FLEXIÓN ESTÁTICA			
Esfuerzo al límite Proporcional (ELP)	kg/cm ²	333,45	318,30
Módulo de Ruptura (MOR)		486,60	507,80
Módulo de Elasticidad (MOE)	t/cm ²	69,25	97,80
COMPRESIÓN PARALELA			
Esfuerzo al Límite Proporcional (ELP)	kg/cm ²	190,88	270,60
Resistencia Máxima (RM)		234,63	375,70
Módulo de Elasticidad (MOE)	t/cm ²	92,97	121,81
COMPRESIÓN PERPENDICULAR			
Esfuerzo al Límite Proporcional (ELP)	kg/cm ²	31,86	50,91
CIZALLAMIENTO	kg/cm ²	51,15	-

Fuente: (A), especie en estudio; (B) Aróstegui y Sato (1970).

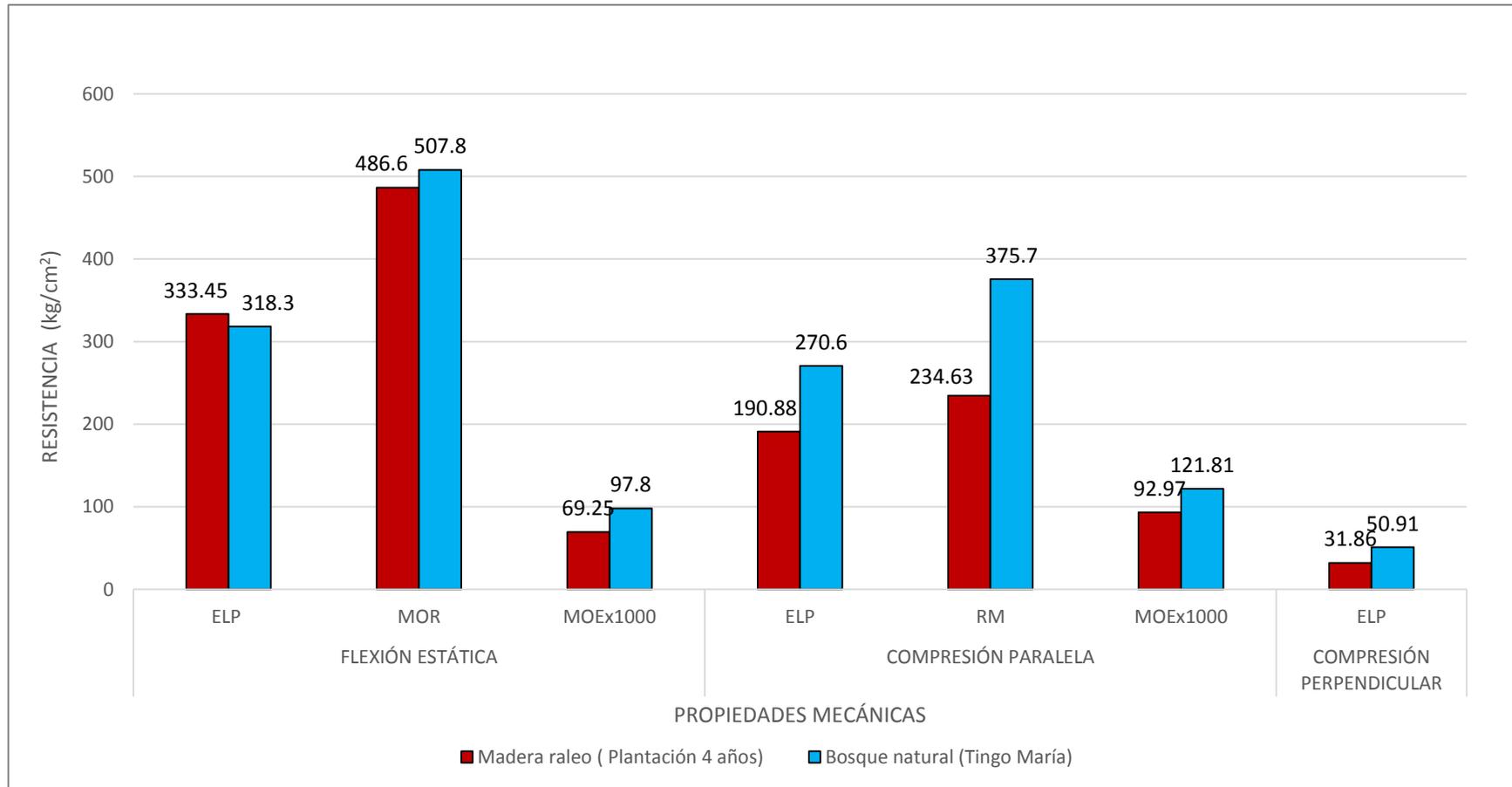


Figura 7: Resistencia promedio de bolaina blanca procedente de la madera de raleo de plantación de 4 años de edad y madera libre de defectos de bosque natural al 13% de contenido de humedad.

4. APTITUD DE USO

En consideración de los resultados obtenidos y su comparación con especies de uso conocido y similar densidad básica, los posibles usos para la madera de raleo de *Guazuma crinita* proveniente de plantaciones forestales de 4 años edad son: cajonería liviana, artesanías y juguetería, como se muestra en el cuadro 17 y 18 e ilustrado en la figura 8.

Asimismo, de acuerdo al estudio realizado por Miguel (2013), la madera de raleo de bolaina blanca es apta para ser utilizada como tableros de partículas de mediana densidad.

Cuadro 17: Comparación de las propiedades mecánicas de la madera en estudio con otra especie de similar densidad.

PROPIEDADES MECÁNICAS		UNIDADES	Guazuma crinita¹	Ceiba pentandra²	Ceiba pentandra³
Densidad básica			0,37	0,26	0,31
Contenido de humedad*		%	12	12	12
Flexión Estática	ELP	kg/cm ²	305,75	238,40	-
	MOR		423,81	356,82	447
	MOE		63,30	49,90	57
Compresión paralela	ELP	kg/cm ²	179,37	127,70	-
	RM		222,70	162,90	174
	MOE		86,46	46,89	-
Compresión perpendicular	ELP	kg/cm ²	33,81	19,40	-
Cizallamiento		kg/cm ²	52,21	42,20	33
Dureza	Extremos	kg/cm ²	268,95	189,28	-
	Lados		158,28	104,88	-

Donde: (1) especie en estudio; (2) Izquierdo; (3) Sallenave (*) valores ajustados al 12% de contenido de humedad.

Fuente: Izquierdo (1993); Sallenave (1955)

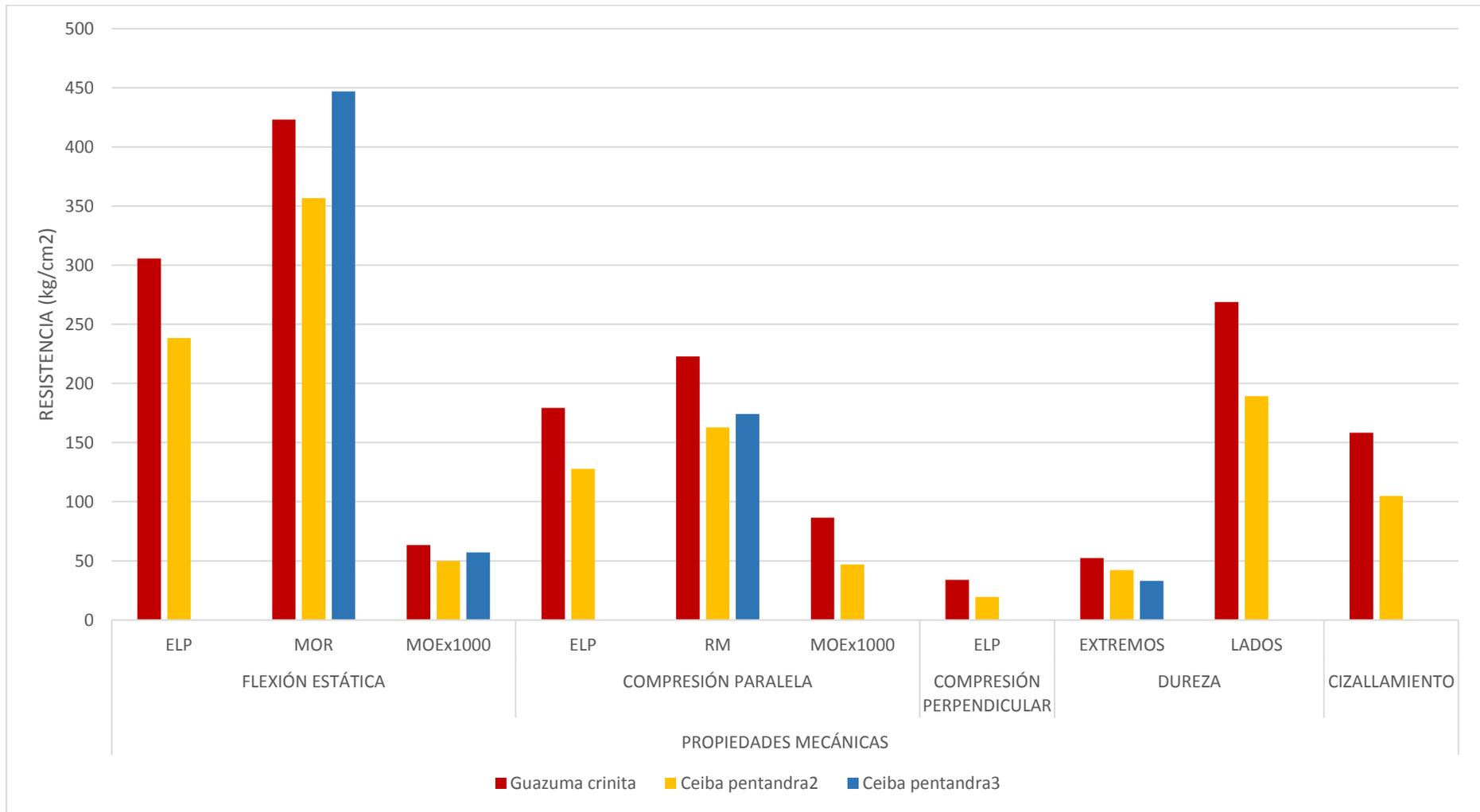


Figura 8: Comparación de las propiedades mecánicas con otra especie de similar densidad.

Cuadro 18: Usos de la bolaina blanca en estudio y otra especie de similar densidad.

NOMBRE CIENTÍFICO	USOS		
	Artesanía y juguetería	Cajonería liviana	Tablero de partículas
<i>Ceiba pentandra</i>	x	x	
<i>Guazuma crinita</i>	x	x	x

V. CONCLUSIONES

- 1) La madera de *Guazuma crinita* procedente del raleo de plantaciones de 4 años presenta diferencias significativas entre los tres niveles de corte para las propiedades mecánicas de flexión estática, compresión paralela y tenacidad (tangencial).
- 2) Los valores de las medias de las propiedades mecánicas estudiadas reflejan una tendencia decreciente con respecto a la altura.
- 3) El peso específico es un buen estimador para flexión estática y compresión perpendicular.
- 4) La madera de raleo presenta valores inferiores de las propiedades mecánicas con relación a las maderas provenientes de bosques naturales.
- 5) Las propiedades mecánicas de la madera en estudio permite proponer los siguientes usos: cajonería liviana, artesanía, juguetería y tableros de partículas.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la realización de estudios de trabajabilidad de la madera de raleo con el propósito de obtener mayor información de su comportamiento.

- Realizar estudios complementarios que permitan conocer su durabilidad natural y comportamiento al secado, preservado y encolado de la madera de raleo.

- Se recomienda tener en consideración pruebas adicionales para la aptitud de uso de tutores.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACEVEDO, M; KIKATA, Y. 1994. Atlas de maderas del Perú. Lima, PE. Publifor. pp. 93. 202 p.
2. AROSTEGUI, A. & SATO, A. 1970. Estudio de las propiedades físico-mecánicas de la madera de 16 especies forestales del Perú. Revista Forestal del Perú. v.4 (1-2):13 -24.
3. ARÓSTEGUI, A. 1974. Estudio tecnológico de maderas del Perú. Características tecnológicas y usos de la madera de 145 especies del país. Ministerio de Agricultura. Lima, PE. 483 p.
4. ARÓSTEGUI, A. 1982. Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. Lima, PE, PNUD/FAO/PER/71/511. 57 p. (Documento de trabajo N°2)
5. ARROYO, J. 1983. Propiedades Físico-Mecánicas de la Madera. Universidad de los Andes. Mérida, VE. 186 p.

6. ASTM (American Society for Testing and Materials). 2004. Standard practice for sampling forest trees for determination of clear wood properties, designation: D 5536– 94 (Reapproved 2004) - Secondary methods. Philadelphia, US. 9 p.

7. BÁRCENAS, G.; ZARATE, R.; ORDÓÑEZ, V.; GUERRERO, A.; HONORATO, J. 2003. Correlación de los resultados de impacto o tenacidad de 16 maderas mexicanas utilizando dos métodos de prueba (en línea). *Madera y Bosques* 9 (1): 55-70. Consultado 20 may. 2016. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/237037642_Correlacion_de_los_resultados_de_impacto_o_tenacidad_de_16_maderas_mexicanas_utilizando_dos_metodos_de_prueba

8. BHAT, K.; PRIYA, P. 2004. Influence of provenance variation on wood properties of teak from the western ghat region in India. *IAWA Journal* 25(3): 273 – 282.

9. BUSTAMANTE, N. 2003. Secado natural de tablas de Bolaina blanca (*Guazuma crinita* Martius) a través de los métodos de apilado horizontal y vertical en “Caballete”, en Pucallpa. Universidad Nacional Agraria La Molina. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE. 117 p.

10. COWN, D. 1992. Corewood (Juvenile Wood) in *Pinus radiata* - should we be concerned?. *New Zealand Journal of Forestry Science* 22(1): 87-95.

11. CFE (CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL). 2013. Efecto del tamaño de la sección y la médula sobre la resistencia y rigidez de la madera aserrada estructural de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don.). Hermoso, E.; Diez, M.; Fernández-Golfin, J.; Íñiguez-Gonzales, G. Eds. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Vitoria Gasteiz, ES. 10 p.

12. DGFFS (DIRECCIÓN GENERAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE). 2014. Perú forestal en números 2013. Ministerio de Agricultura. Lima, PE. 223 p.

13. DOMINGUEZ, G. 1991. Conozcamos nuestras especies nativas. Lima, PE. 4 p.

14. EGOAVIL, A.; CHÁVEZ, J. 1991. Silvicultura de la bolaina blanca. Proyecto de Capacitación, Extensión y Divulgación Forestal/ COTESU (Cooperación Técnica Suiza)/ Dirección Regional Forestal de Fauna y de medio Ambiente. Pucallpa, PE. 70 p.

15. ESPINOZA de P., N. & LEON, W. 1993. Influencia de las Características Anatómicas sobre las Propiedades Mecánicas de la Madera. Revista Forestal Venezolana no 37: 21 – 38.

16. FPL (FOREST PRODUCTS LABORATORY). 1999. Wood handbook. Wood a Engineering material. United States Department of Agriculture Forest Service. General Technical Report FPL-GTR-113. Madison, Wi. 463 p.

17. GREEN, D.; WINANDY, J.; KRETSCHMANN, D. 1999. Mechanical properties of Wood. General Technical Report (GTR). Nueva York, USA. 113 p.
18. HAYGREEN, J. y BOWYER, J. 1982. Forest Products and Wood Science. An Introduction. Iowa State University Press. USA. 495 p.
19. HAWLEY, R.; SMITH, D. 1972. The practice of silviculture. John Wiley & Sons, Inc Ed. Nueva York, USA. 554p.
20. IZQUIERDO, C. 1993. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de nueve Bombacaceae de la unidad experimental “Dantas”. Tesis (Ing. Forestal). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 89 p.
21. LANGUM, C.; YADAMA, V.; LOWELL E. 2009. Physical and mechanical properties of Young-growth Douglas-Fir and Western Hemlock from Western Washington. Washington State University. Forest Products Society no 59(11/12): 37-47.
22. MARTINEZ, R.; TUYA, L.; MARTÍNEZ, M.; PÉREZ, A.; CÁNOVAS, A. 2009. El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman – Caracterización (en línea). Revista Habanera de Ciencias Médicas – Cuba 8(2). Consultado 01 may. 2016. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017

23. MINAG (MINISTERIO DE AGRICULTURA). 2011. Volumen de madera aserrada y rolliza de 20 especies de mayor aprovechamiento a nivel nacional, años 2007 – 2011(en línea). Lima, PE. Consultado 12 de oct. 2015. Disponible en: http://dgffs.minag.gob.pe/pdf/estadistica_forestal/tendenciasforestales.pdf
24. MIGUEL, C. 2013. Elaboración de tableros de partículas con bolaina (*Guazuma crinita* Martius) perteneciente a una plantación de cuatros años. Tesis (Ing. Forestal). Universidad Nacional Agraria – La Molina. Lima, Perú. 60 p.
25. MORI, J. 2011. Influencia de la densidad de plantación en el crecimiento inicial y calidad de rodales de bolaina blanca *Guazuma crinita* Martius en tierras forestales de colinas bajas de Macuya, Padre Abad, Ucayali. Tesis (Mag. Sc.). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 156 p.
26. MUTIZABAL, A. 2008. Comportamiento de tensiones de crecimiento en tres procedencias de *Eucalyptus nitens* (Deans *et* Maiden) Maiden, región del Bío – Bío. Universidad Austral de Chile. Tesis (Ing. Forestal). Valdivia, CH. 55 p.
27. NAVIA, F. 2006. Comportamiento del módulo de elasticidad en madera juvenil de *Pinus radiata* D. en tres condiciones de sitio. Tesis (Ing. Forestal). Unisersidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. 57 p.
28. NTP (Norma Técnica Peruana). 2004. Método de determinación de compresión perpendicular al grano. NTP 251.012.

29. NTP (Norma Técnica Peruana). 2004. Método de cizallamiento paralelo al grano. NTP 251.013.

30. NTP (Norma Técnica Peruana). 2004. Método de determinación de compresión paralela al grano. NTP 251.014.

31. NTP (Norma Técnica Peruana). 2004. Método de determinación de dureza. NTP 251.015.

32. NTP (Norma Técnica Peruana). 2004. Método de ensayo de flexión. NTP 251.017.

33. NTP (Norma Técnica Peruana). 2004. Método de determinación de tenacidad. NTP 251.018.

34. OIMT (Organización Internacional de las Maderas Tropicales); CNF (Cámara Nacional Forestal); INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales). 1996. Utilización industrial de nuevas especies forestales en el Perú. Proyecto “OIMT-CÁMARA NACIONAL FORESTAL-INRENA”. Lima, PE. 100 p.

35. ORMEÑO, J. 2008. Comparación de tensiones de crecimiento en plantaciones adultas de híbridos entre *Eucalyptus nitens* (Deane et Maiden) Maiden y *Eucalyptus globulus* Labill. Universidad Austral de Chile. Tesis (Ing. Forestal). Valdivia, CH. 49 p.

36. 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.
37. PUTZEL, L.; CRONKLETON, P.; LARSON, A.; PINEDO-VÁSQUEZ, M.; SALAZAR, O.; SEARS, R. 2013. Producción y comercialización de bolaina (*Guazuma crinita*) una especie amazónica de rápido crecimiento. Un llamado a la adopción de un marco de políticas que apoye los medios de vida. Boletín Brief no. 25. Lima, PE. 6 p.
38. REYNEL C.; PENNINGTON R.T; PENNINGTON T.D; FLORES C.; DAZA A.; 2003. Árboles Útiles de la Amazonía Peruana y sus Usos. Darwin Initiative – ICREF. Lima, PE. 48 p.
39. RÍOS, J. 1990. Manual de los árboles más comunes de los bosques secundarios de Pucallpa. Proyecto de utilización de bosques secundarios. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Lima, PE. 163 p.
40. SALLENAVE, P. 1955. Propietes physiques et mecaniques des bois tropicaux de l'union Francaise. Centre Technique Forestier Tropical Sur Name (France). En Publicación – CTFT. N°08
41. SILVA, M. 2005. Estudio y caracterización dendrológica de las familias botánicas del orden Malvales en el Fundo Génova - Chanchamayo. Tesis (Ing. Forestal). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 237 p.

42. TAQUIRE, A. 1995. Relación Entre la Estructura Anatómica y Las Propiedades Físico Mecánicas de Tres Especies Forestales Procedentes de los Altos Llanos Occidentales de Venezuela. Universidad de los Andes. Tesis (Mag. Sc.).Centro de Estudios Forestales de Postgrado. Mérida, Venezuela. 185 p.
43. TUSSET, T.; DURAN, P. 1979. Manual de Maderas Comerciales, Equipos y Procesos de Utilización. Montevideo - Uruguay. 668 p.
44. VIGNOTE, S.; MARTÍNEZ, I. 2006. Tecnología de la madera. Ediciones Mundi-Prensa. 3° Ed. Madrid, ES. 678 p.
45. ZOBEL, B.; VAN BUIJTENEN, J. 1989. Wood variation: its causes and control. State University of New York. New York, USA. 307 p.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRBOLES Y TROZAS SELECCIONADAS

<i>Árbol</i>						<i>Trozas</i>			
<i>N° árbol</i>	<i>Altura</i>		<i>DAP (cm)</i>	<i>Calidad de fuste</i>	<i>Estado sanitario</i>	<i>N° troza</i>	<i>Longitud (m)</i>	<i>Diámetro (cm)</i>	
	<i>Total</i>	<i>Comercial</i>						<i>Mayor</i>	<i>Menor</i>
6	12,50	9,10	11,10	2	1	1	2,50	12,20	10,30
						2		10,30	8,45
						3		8,45	7,20
11	12,65	9,60	10,70	1	1	1	2,50	11,90	9,70
						2		9,70	8,50
						3		8,50	7,00
12	13,50	10,00	13,30	1	1	1	3,20	14,20	12,00
						2	2,50	12,00	9,80
						3		9,80	7,50
13	14,50	11,00	12,50	1	1	1	3,20	12,55	11,40
						2	2,50	11,40	9,35
						3		9,35	7,10
14	11,00	8,40	10,40	2	1	1	2,50	11,40	10,20
						2		10,20	9,10
						3	1,55	8,80	7,30
15	12,70	8,60	11,50	2	1	1	2,50	12,60	10,70
						2		10,70	8,20
						3	1,55	8,20	7,10

ANEXO 2

DESCRIPCIÓN DE LOS CÓDIGOS DE CALIDAD DE FUSTE Y ESTADO SANITARIO

CÓDIGO	CALIDAD DE FUSTE	ESTADO SANITARIO	DESCRIPCIÓN
1	Alto	Buena	Sano y recto sin ningún signo visible de defectos.
2	Medio	Regular	Con señales de ataque de hongos, pudrición, heridas, curvatura, crecimiento espiral y bifurcaciones
3	Bajo	Malo	Curvatura y efectos graves en su estructura.

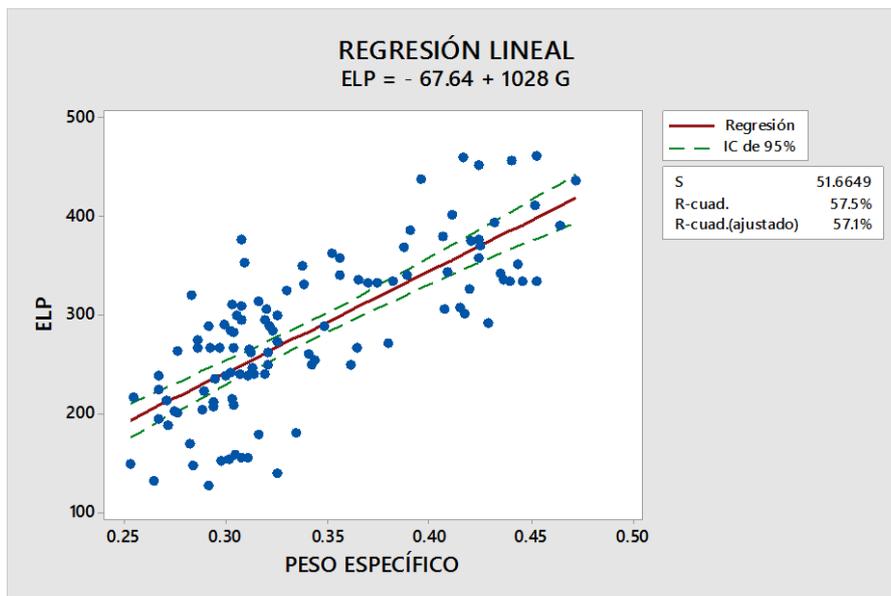
Fuente: Reforestadora Amazónica.

ANEXO 3

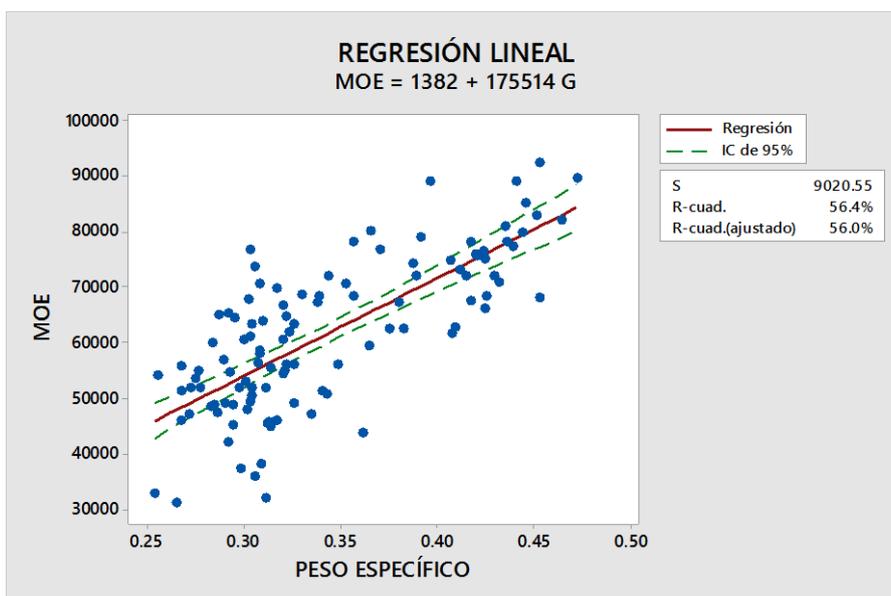
GRÁFICOS DE REGRESIÓN LINEAL – PROPIEDADES MECÁNICAS

FLEXIÓN ESTÁTICA.

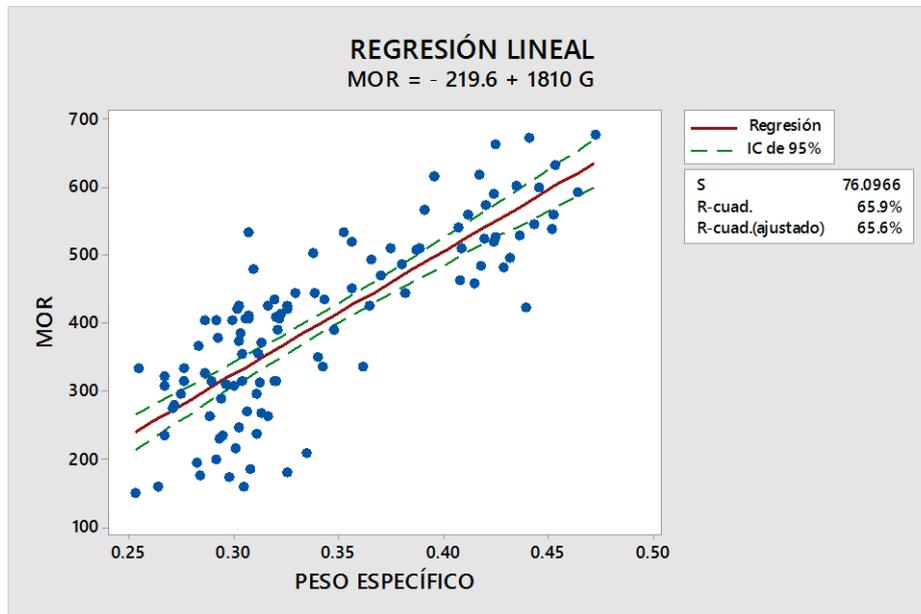
Análisis de regresión: ELP vs. PESO ESPECÍFICO



Análisis de regresión: MOE vs. PESO ESPECÍFICO

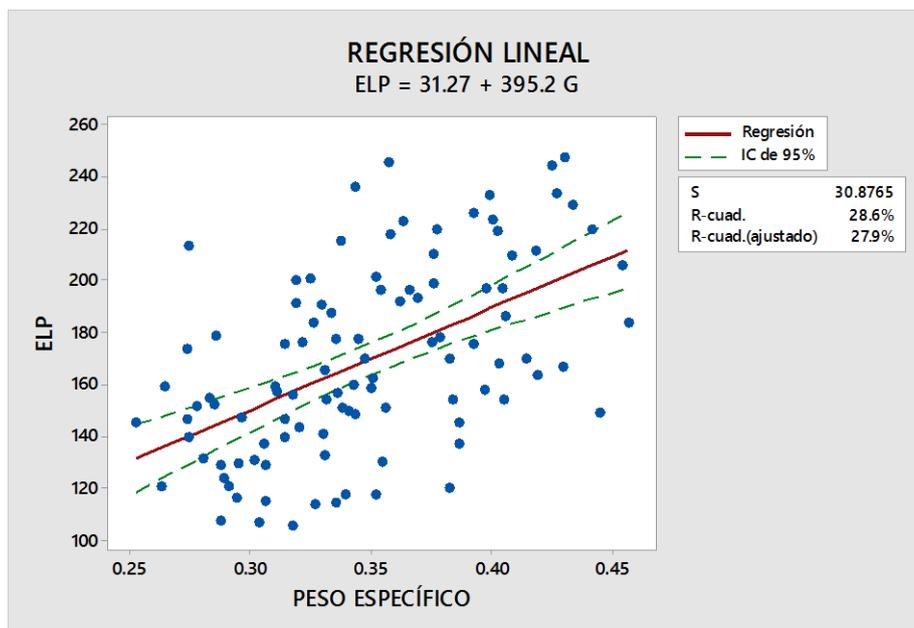


Análisis de regresión: MOR vs. PESO ESPECÍFICO

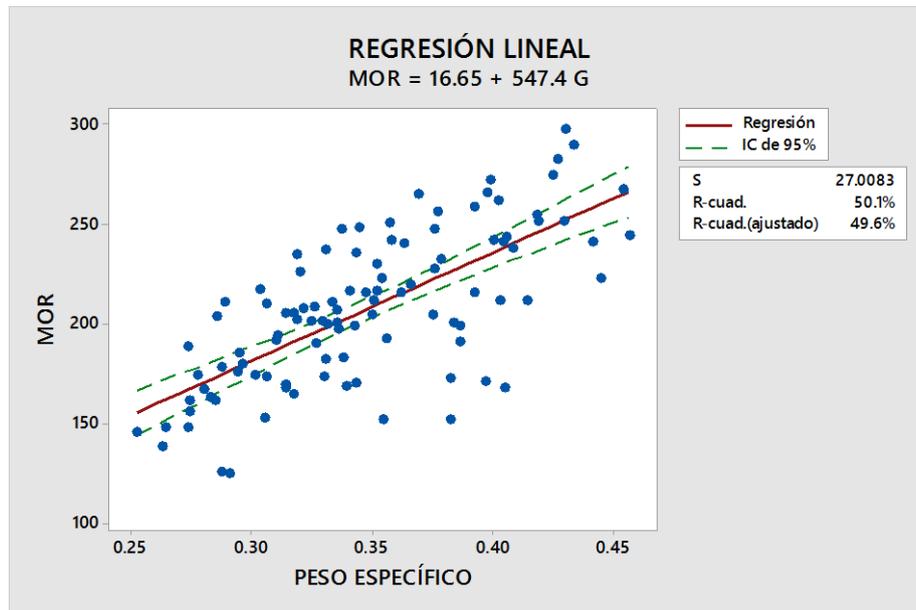


COMPRESIÓN PARALELA

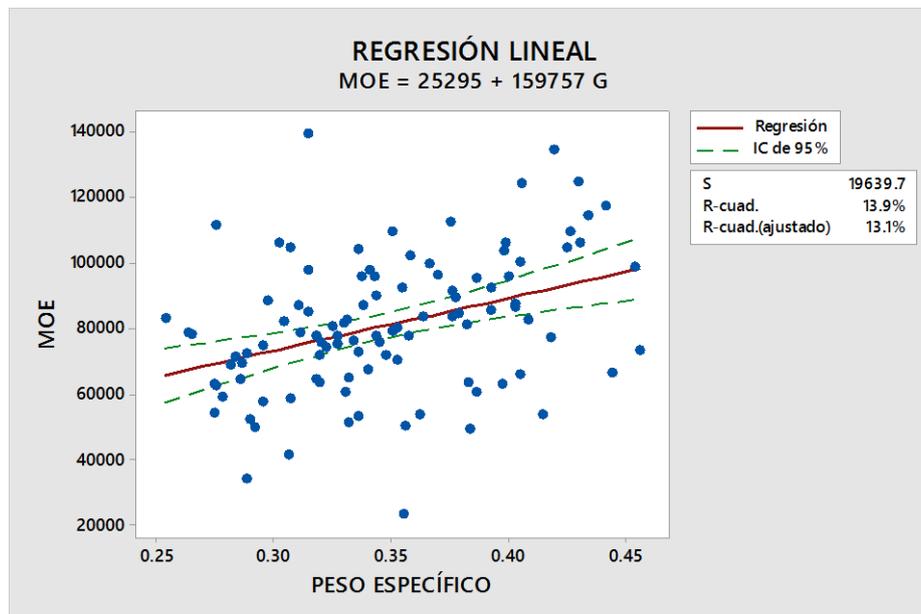
Análisis de regresión: ELP vs. PESO ESPECÍFICO



Análisis de regresión: MOR vs. ESO ESPECÍFICO

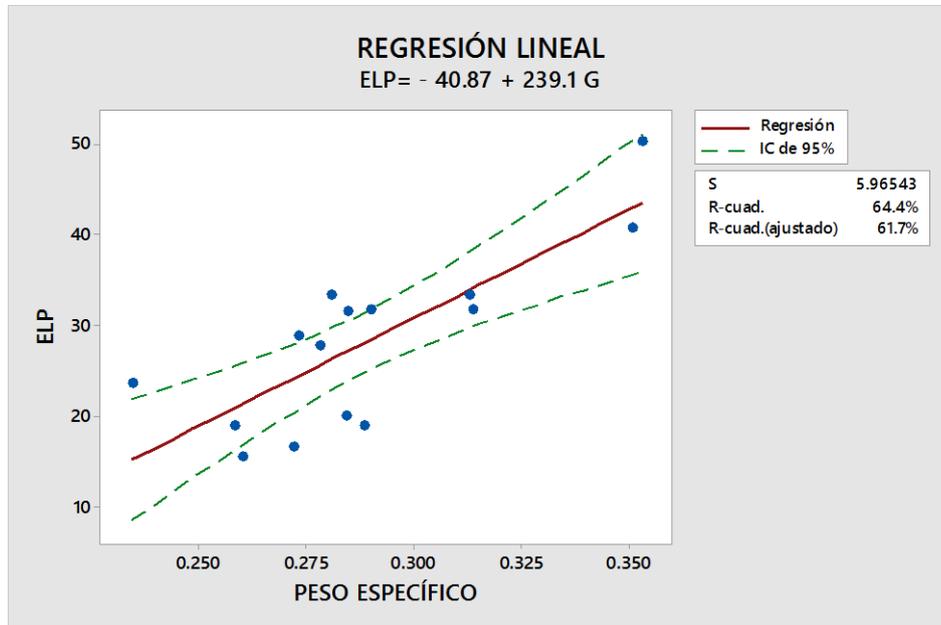


Análisis de regresión: MOE vs. PESO ESPECÍFICO



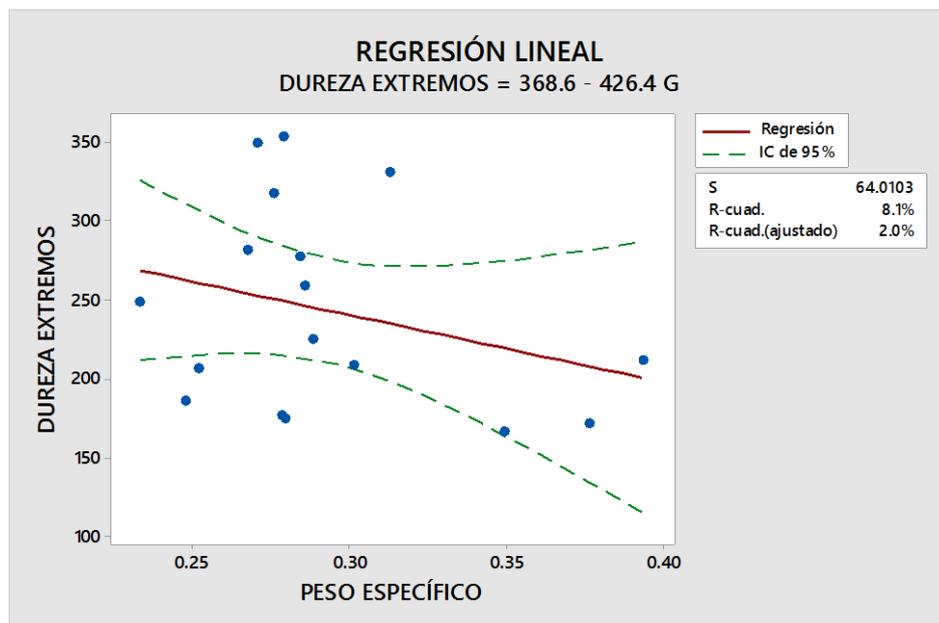
COMPRESIÓN PERPENDICULAR

Análisis de regresión: ELP vs. PESO ESPECÍFICO

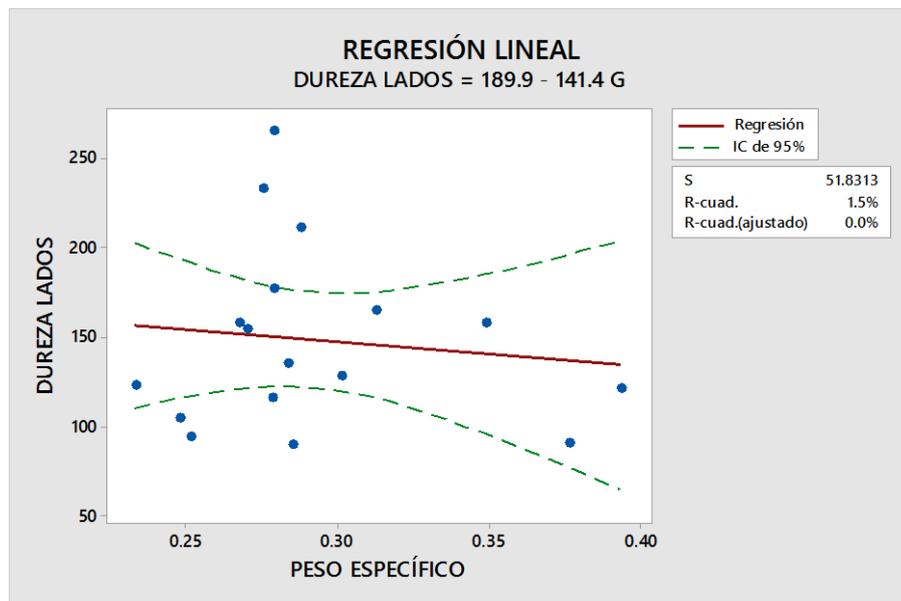


DUREZA

Análisis de regresión: DUREZA EXTREMOS vs. PESO ESPECÍFICO



Análisis de regresión: DUREZA LADOS vs. PESO ESPECÍFICO



ANEXO 4

ENSAYO FLEXIÓN ESTÁTICA



ANEXO 5

ENSAYO DE TENACIDAD



ANEXO 6

ENSAYO CIZALLAMIENTO



ANEXO 7

ENSAYO COMPRESIÓN PARALELA

