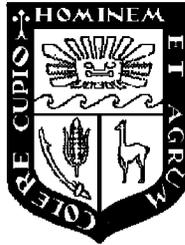


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

Facultad de Ciencias Forestales



**Propiedades Físico-Mecánicas de
Simarouba amara Aubl. (Marupá)
proveniente de la plantaciones de la
Estación Experimental Alexander Von
Humboldt**

Tesis para optar el Título de
INGENIERO FORESTAL

Elena Vilcayauri Villa

Lima – Perú
2009

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. ELENA VILCAYAURI VILLA, intitulado “PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE *SIMAROUBA AMARA* AUBL. (MARUPÁ) PROVENIENTE DE LA PLANTACIONES DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL ALEXANDER VON HUMBOLDT”.

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, 13 de Julio de 2009

.....
Ing. Manuel Chavesta Custodio

Presidente

.....
Ing. Julio Canchucaya Rojas
Miembro

.....
Ing. Kethy Martínez Castro
Miembro

.....
Ing. Moisés Acevedo Mallque
Patrocinador

.....

RESUMEN

En el presente trabajo se evalúan las propiedades físico- mecánicas de la madera de *Simarouba amara* Aubl. (Marupá) de 23 años, proveniente de las plantaciones experimentales del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt, con el fin de identificar su aptitud de uso. Para tal fin se prepararon probetas y realizaron los ensayos respectivos según la Norma ASTM (American Society for Testing and Materials) e INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Privada). Los valores obtenidos se analizaron con una comparación de medias (Tukey y T-student), en los casos de distribución normal, y una comparación de medianas (Kruskall-Wallis y Mann-Witney) en los casos de distribución no normal.

Los resultados obtenidos confirman que el nivel longitudinal influye significativamente en la contracción radial, dureza, clivaje y tenacidad, asimismo, el nivel transversal influye significativamente en la contracción longitudinal, flexión estática (MOR y ELP) y extracción de clavos (lados).

Además se realizaron análisis de regresión de las propiedades físicas y mecánicas con la densidad básica y el peso específico, respectivamente. Obteniéndose que el peso específico es un buen estimador sólo para la dureza de lados.

Así también, se compararon los resultados obtenidos con otras plantaciones provenientes de Jenaro Herrera de 16 y 27 años, determinándose que la madera en estudio presenta mayor densidad básica, pero es más inestable y con mayor contracción volumétrica. Comparándola con bosque natural, la madera presenta menor densidad y menores valores en sus propiedades mecánicas, destacándose la gran diferencia en su comportamiento en tenacidad que es tres veces menor y presenta fallas en quebradura.

Finalmente se compararon los resultados con otras especies de uso conocido para determinar las aptitudes de uso, que son: cajonería liviana, carpintería (persianas, zócalos, ficheros, paneles de muebles interiores), revestimiento interno, encofrados, juguetería, tablero de partículas, entre otros.

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	V
ÍNDICE	VI
LISTA DE CUADROS	VIII
LISTA DE FIGURAS	X
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE	2
2.1.1 CLASIFICACION TAXONOMICA	2
2.1.2 DISTRIBUCION Y HABITAT	3
2.1.3 DESCRIPCION DEL ARBOL.....	3
2.1.4 DESCRIPCIÓN DE LA MADERA.....	5
2.2 INFLUENCIA DE LA ANATOMIA SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA MADERA.....	10
2.3 CARACTERÍSTICAS COMUNES EN ÁRBOLES PROVENIENTES DE PLANTACION	11
2.4 VARIABILIDAD DE LA MADERA.....	13
2.4.1 VARIABILIDAD ENTRE ÁRBOLES DE UNA MISMA ESPECIE	14
2.4.2 VARIABILIDAD DENTRO DE LOS ÁRBOLES DE UNA MISMA ESPECIE	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN.....	19
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS.....	19
3.2.1 MATERIALES.....	19
3.2.2 EQUIPOS Y ACCESORIOS	20
3.3 METODOLOGÍA.....	21
3.3.1 UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO	21
3.3.2 SELECCIÓN Y COLECCIÓN DE MUESTRAS.....	23
3.3.3 PREPARACIÓN DE LAS VIGUETAS	23
3.3.4 SELECCIÓN DE LAS VIGUETAS.....	24
3.3.5 CODIFICACIÓN DE LAS VIGUETAS.....	24
3.3.6 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS.....	25
3.3.7 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS.....	28
3.3.8 PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1 PROPIEDADES FÍSICAS	30
4.2 PROPIEDADES MECÁNICAS	39
4.3 USOS.....	52
5. CONCLUSIONES	56
6. RECOMENDACIONES	57
ANEXO 1	63
ANÁLISIS DE REGRESIÓN	63
ANEXO 2	68
RANGOS DE CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS	68

ANEXO 3	70
ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA.....	70
ANEXO 4	71
ENSAYO DE COMPRESION PARALELA.....	71
ANEXO 5	72
ENSAYO DE CIZALLAMIENTO.....	72
ANEXO 6	73
ENSAYO DE TENSIÓN PERPENDICULAR.....	73
ANEXO 7	74
ENSAYO DE CLIVAJE.....	74
ANEXO 8	75
ENSAYO DE TENACIDAD.....	75

Lista de cuadros

	Página
CUADRO 1	PROPIEDADES FÍSICAS DE <i>SIMAROUBA AMARA</i> AUBL. PROVENIENTES DE PLANTACIONES Y BOSQUE NATURAL, SEGÚN DIVERSOS AUTORES.....8
CUADRO 2	PROPIEDADES MECÁNICAS DE <i>SIMAROUBA AMARA</i> AUBL. PROVENIENTES DE PLANTACIONES Y BOSQUE NATURAL, SEGÚN DIVERSOS AUTORES..... 9
CUADRO 3	CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTACIÓN DE <i>SIMAROUBA AMARA</i> AUBL. DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL ALEXANDER VON HUMBOLDT.....19
CUADRO 4	CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRBOLES Y TROZAS SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS..... 23
CUADRO 5	DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE PROBETAS A NIVEL LONGITUDINAL PARA LOS ENSAYOS FÍSICO-MECÁNICOS DE UN ÁRBOL.....26
CUADRO 6	DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE PROBETAS A NIVEL TRANSVERSAL PARA LOS ENSAYOS FÍSICO-MECÁNICOS DE CINCO ÁRBOLES.....26
CUADRO 6	DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE PROBETAS A NIVEL TRANSVERSAL (CONTINUACIÓN).....27
CUADRO 7	PROPIEDADES FÍSICAS A NIVEL LONGITUDINAL DEL MARUPÁ DE UNA PLANTACIÓN DE 23 AÑOS..... 31
CUADRO 8	ANÁLISIS ESTADÍSTICO A NIVEL LONGITUDINAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL MARUPÁ DE UNA PLANTACIÓN DE 23 AÑOS..... 33
CUADRO 9	PROPIEDADES FÍSICAS A NIVEL TRANSVERSAL DE LA MADERA DE MARUPÁ DE UNA PLANTACIÓN DE 23 AÑOS.....34
CUADRO 10	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS A NIVEL TRANSVERSAL DE LA MADERA DE MARUPÁ DE UNA PLANTACIÓN DE 23 AÑOS..... 36
CUADRO 11	PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE MARUPÁ DE UNA PLANTACIÓN DE 23 AÑOS..... 36
CUADRO 12	PRUEBA DE CORRELACIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA CON LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE MARUPÁ EN ESTUDIO..... 37
CUADRO 13	COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA EN ESTUDIO CON BOSQUE NATURAL Y PLANTACIONES DE JENARO HERRERA.....38
CUADRO 14	PROPIEDADES MECÁNICAS A NIVEL LONGITUDINAL DEL MARUPÁ DE UNA PLANTACIÓN DE 23 AÑOS.....40
CUADRO 17	PROPIEDADES MECÁNICAS A NIVEL LONGITUDINAL DEL MARUPÁ (CONTINUACIÓN).....41
CUADRO 17	PROPIEDADES MECÁNICAS A NIVEL LONGITUDINAL DEL MARUPÁ (CONTINUACIÓN).....42
CUADRO 15	ANÁLISIS ESTADÍSTICO A NIVEL LONGITUDINAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MARUPÁ DE UNA PLANTACIÓN DE 23 AÑOS.....44
CUADRO 16	PROPIEDADES MECÁNICAS A NIVEL TRANSVERSAL DE LA MADERA DE MARUPÁ DE UNA PLANTACIÓN DE 23 AÑOS..... 46
CUADRO 17	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A NIVEL TRANSVERSAL DE LA MADERA DE MARUPÁ DE UNA PLANTACIÓN DE 23 AÑOS..... 48
CUADRO 18	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE MARUPÁ DE UNA PLANTACIÓN DE 23 AÑOS..49
CUADRO 19	PRUEBA DE CORRELACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO CON LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE MARUPÁ EN ESTUDIO.....50

CUADRO 20	COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL LA MADERA EN ESTUDIO CON BOSQUE NATURAL.....	51
CUADRO 21	COMPARACIÓN DE LA PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS CON CUATRO ESPECIES PROVENIENTES DE BOSQUE NATURAL.....	53
CUADRO 22	USOS DEL MARUPÁ EN ESTUDIO Y DE OTRAS ESPECIES DE SIMILAR DENSIDAD.....	55
CUADRO 23	RANGOS DE CLASIFICACIÓN DE LAS MADERAS SEGÚN SUS PROPIEDADES FÍSICAS.....	68
CUADRO 24	RANGOS DE CLASIFICACIÓN DE LAS MADERAS MEXICANAS EN CONDICIÓN SECA, SEGÚN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS.....	69

Lista de figuras

	Página
FIGURA 1	ÁRBOL DE <i>SIMAROUBA AMARA</i> AUBL.....4
FIGURA 2	MUESTRA BOTÁNICA DE <i>SIMAROUBA AMARA</i> AUBL4
FIGURA 3	SECCIONES MICROSCÓPICAS DE LA MADERA DE <i>SIMAROUBA AMARA</i> AUBL7
FIGURA 4	ÁREA EXPERIMENTAL DEL BOSQUE ALEXANDER VON HUMBOLDT.....22
FIGURA 5	TRANSFORMACIÓN DE TROZAS A VIGUETAS24
FIGURA 6	CODIFICACIÓN DE LAS VIGUETAS POR NIVELES25
FIGURA 7	VALORES PROMEDIOS DE DENSIDAD BÁSICA Y ANHIDRA A NIVEL LONGITUDINAL DEL MARUPÁ PROVENIENTE DE UNA PLANTACIÓN DE 23 AÑOS.....32
FIGURA 8	VALORES PROMEDIOS DE LAS CONTRACCIONES A NIVEL LONGITUDINAL DEL MARUPÁ PROVENIENTE DE UNA PLANTACIÓN DE 23 AÑOS.....32
FIGURA 9	VALORES PROMEDIOS DE DENSIDAD A NIVEL TRANSVERSAL DE LA MADERA DE MARUPÁ PROVENIENTE DE UNA PLANTACIÓN DE 23 AÑOS.....35
FIGURA 10	VALORES PROMEDIOS DE CONTRACCIÓN A NIVEL TRANSVERSAL DE LA MADERA DE MARUPÁ PROVENIENTE DE UNA PLANTACIÓN DE 23 AÑOS.....35
FIGURA 11	COMPARACIONES DE LA DENSIDAD DE LA MADERA DE BOSQUE NATURAL Y PLANTACIONES DE MARUPÁ.....38
FIGURA 12	COMPARACIONES DE LA CONTRACCIÓN DE LA MADERA DE BOSQUE NATURAL Y PLANTACIONES DE MARUPÁ.....39
FIGURA 13	VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A NIVEL LONGITUDINAL DE LA MADERA DE MARUPÁ PROVENIENTE DE UNA PLANTACIÓN DE 23 AÑOS.....43
FIGURA 14	VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A NIVEL TRANSVERSAL DE LA MADERA DE MARUPÁ PROVENIENTE DE UNA PLANTACIÓN DE 23 AÑOS.....47
FIGURA 15	COMPARACIONES DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE MARUPÁ CON MADERA DE BOSQUE NATURAL.....52
FIGURA 16	COMPARACIÓN DE LA CONTRACCIÓN CON OTRAS ESPECIES DE SIMILAR DENSIDAD.....54
FIGURA 17	COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS CON OTRAS ESPECIES DE SIMILAR DENSIDAD.....54

1. INTRODUCCIÓN

La deforestación en el Perú cada año va en aumento, estimaciones del Ministerio del Ambiente indican que en la amazonía peruana al año 2000 ascienden a 7,2 millones de hectáreas; situación que es preocupante debido al incremento de la demanda de madera y por tanto la presión hacia los bosques naturales es más alta. Una alternativa para disminuir la presión lo constituye el aprovechamiento de la madera proveniente de plantaciones forestales, cuya ventaja es la homogeneidad de los árboles pero con presencia de madera juvenil y madera de reacción; sobre todo en plantaciones jóvenes.

Conocer la evolución de la madera de plantaciones implica evaluaciones periódicas de las propiedades tecnológicas de la madera, para definir el turno tecnológico; es decir la edad óptima para su aprovechamiento. En este contexto el presente trabajo contribuye al estudio de una especie de rápido crecimiento y buen comportamiento en trabajos de carpintería como lo es *Simarouba amara* (Marupá); como alternativa para el establecimiento en plantaciones forestales.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CARACTERISTICAS DE LA ESPECIE

2.1.1 CLASIFICACION TAXONOMICA

Cronquist (citado por Marzocca, 1985) clasifica a esta especie de la siguiente forma:

División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsidae
Sub – Clase	: Rosidae
Orden	: Sapindales
Familia	: Simaroubaceae
Nombre científico	: <i>Simarouba amara</i> Aubl,
Nombre común	: “Marupá”, “Cedro blanco”

Encarnación (1983) menciona que comúnmente en el Perú, se le denomina a ésta especie como Marupá; Bolivia: Amaro; Brasil: Marupá, Tamanqueira, Marupauba, Parapaíba, Papariuba, Craíba; Colombia: Marupá; Ecuador: Cuña; Guyana: Simarouba; Guyana Francesa: Simarouba, Marupa, Simarupa; Suriname: Soemaroeba; Panamá: Aceituno; Venezuela: Carruco, Cedro blanco; Inglés: Bitterwood; Francés: Acaju blanc, Bois blanc, Bois de cajú.

2.1.2 DISTRIBUCION Y HABITAT

Reynel (2003) señala que el Marupá en su hábitat natural, se distribuye en toda la región amazónica, mayormente debajo de los 700 msnm. Agrega que a ésta especie se le observa en ámbitos con pluviosidad elevada y constante; tiene tendencia esciófita y está presente en bosques secundarios y bosques primarios, además se encuentra en suelos arcillosos y ácidos, usualmente fértiles, bien drenados y con baja pedregosidad.

Aróstegui y Díaz (1992) añaden que ésta especie se distribuye desde el norte de Sur América como Venezuela, Guyana hasta la región amazónica del Perú y Brasil y también en Trinidad y Tobago.

2.1.3 DESCRIPCION DEL ARBOL

Reynel (2003) afirma que los árboles provenientes de bosque natural presentan de 50-100 cm de diámetro y 25-35 m de altura total, con fuste cilíndrico y con ramificación desde el segundo tercio, la base del fuste recto y con raíces redondas. La corteza externa es lisa a agrietada, color marrón claro a gris, el ritidoma suberoso, en placas irregulares. La corteza interna es arenosa de color amarillo blanquecino y de sabor amargo. Además agrega que las hojas son compuestas imparipinnadas, alternas, dispuestas en espiral. Los folíolos son de forma oblonga, de borde entero y nervación pinnada, el ápice a menudo es emarginada.

Esta especie es dioica, las inflorescencias son panículas terminales multifloras. Con flores pequeñas, unisexuales y de ovario súpero; frutos drupáceos, oblongoide o elipsoide, de color rojo oscuro a negro. Raramente dos drupas agregados en cada grupo. Las figura 1 y 2 ilustran esta especie.



Figura 1 Árbol de *Simarouba amara* Aubl.

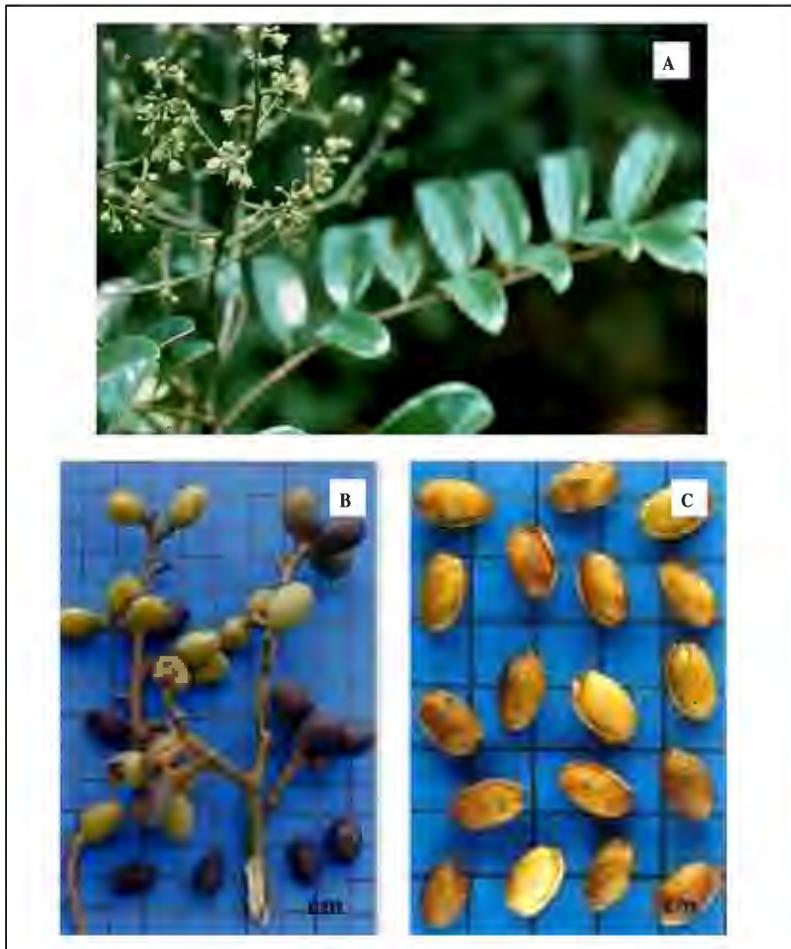


Figura 2 Muestra botánica de *Simarouba amara* Aubl. (A) Ramita terminal (B) Frutos (C) Semillas

ASPECTOS SILVICULTURALES

Aróstegui y Díaz (1992) al referirse a la fenología indican que el ritmo de floración y fructificación es irregular pues según las observaciones registradas en el Centro de Investigación de Jenaro Herrera durante un período de cinco años, los registros de floración se dan en los meses de octubre, noviembre y diciembre y la fructificación en los meses de diciembre, enero y febrero; lo que coincide con lo encontrado en el Bosque Nacional Alexander Von Humboldt. La maduración y diseminación de frutos y semillas se produce en los meses de enero, febrero y marzo, correspondiente a la época lluviosa. Los mismos autores refieren, que tratamientos pre-germinativos como inmersión en agua fría durante 6, 12 y 24 horas y 5 minutos en ácido acético logran porcentajes de germinación que no difieren estadísticamente de la germinación con semillas frescas. En ensayos como en camas de vivero recomiendan distanciamientos de 10x10 y 15x15 cm, para el mejor desarrollo de la plántula en diámetro y altura, y 100% (plena luz) para mayor supervivencia y mayor incremento en diámetro; después de 3,5 meses de repique en cama de vivero, poca luz (25%) favorecen el mayor incremento en altura. En relación al trasplante a terreno definitivo, recomiendan el trasplante con pan de tierra en campo abierto y a raíz desnuda en fajas. Además a campo abierto (6 meses de trasplante) dan mejores resultados que con el sistema en fajas (12 meses). Esto confirma que es una especie que requiere luz solar completa.

Masson y Ricse citado por Flores et. al (2007) señalan que plantaciones de *Simarouba amara* en fajas en la Estación Experimental Alexander Von Humboldt, alcanzaron alturas totales de 15,79 m a los 10 años; y en plantaciones de la Estación Jenaro Herrera (Loreto, Perú) los mismos autores destacan incrementos medios anuales de más de 1,5 cm en diámetro y 1,5 m en altura.

2.1.4 DESCRIPCIÓN DE LA MADERA

CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

Aróstegui (1974) indica que el duramen recién cortado es de color crema, frecuentemente con un tinte amarillo o verdusco; cuando se seca se vuelve blancuzco o blanco amarillento. La albura no esta diferenciada. Anillos de crecimiento diferenciados, visibles a simple vista demarcados por bandas oscuras y claras de forma regular, ligeramente excéntricos. Textura media, grano generalmente recto y sabor amargo. De veteado tipo satinado suave.

CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS

Acevedo y Kikata (1994) señalan que la madera de Marupá presenta porosidad difusa. Poros visibles a simple vista, solitarios de forma redonda y múltiples radiales, con 2 a 3 poros/mm². Parénquima visible con lupa 10x. Radios visibles a simple vista, con 3 a 6/mm, no estratificados. Presencia de canales intercelulares verticales. En cuanto a las características microscópicas, indican que los vasos poseen un diámetro tangencial que varían desde 184 a 246 μ m y la longitud entre 319 y 511 μ m. Parénquima paratraqueal vasicéntrico y aliforme confluyente, no estratificadas. Presencia de células cristalíferas septadas. Radios heterogéneos tipo II, estratificados. Altura entre 441 y 649 μ m. Fibras libriformes, septadas, estratificadas. El diámetro total es 20 μ m, el grosor de pared celular 3 μ m y la longitud varía entre 1022 y 1293 μ m. La figura 3 ilustra éstas características.

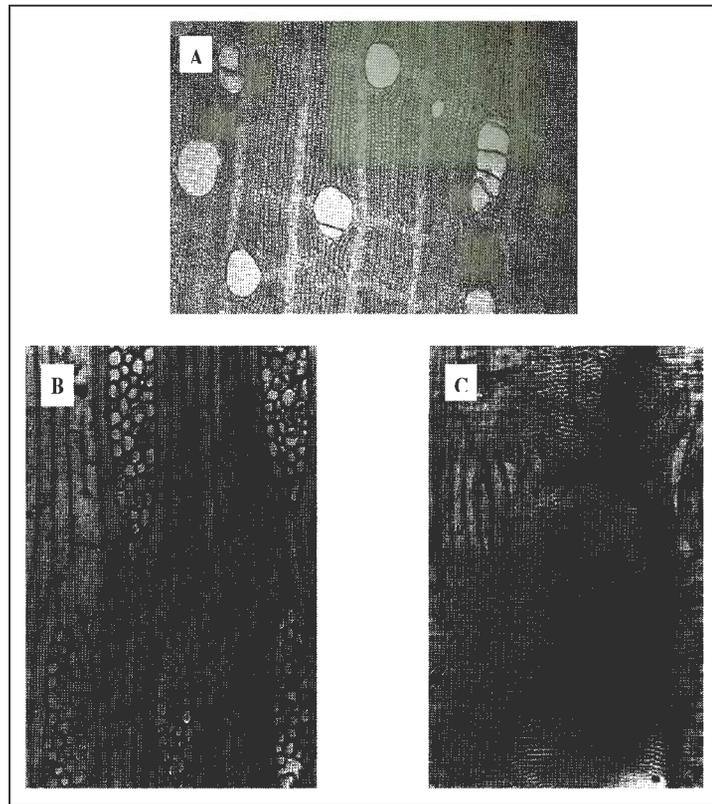


Figura 3 Secciones microscópicas de la madera de *Simarouba amara* Aubl. A: Sección transversal (40x). B: Sección tangencial (100x). C: Sección radial (100x)

Fuente: Atlas de Maderas del Perú. Acevedo y Kikata

PROPIEDADES FÍSICO-MECANICAS

En el país se ha estudiado *Simarouba amara* (Marupá), tanto de bosque natural como de plantaciones. En el primer caso Aróstegui (1970) que estudió las propiedades físicas y mecánicas provenientes de un árbol, menciona que ésta madera tiene densidad básica, contracción volumétrica y resistencia mecánica baja. Asimismo la Junta Nacional del Acuerdo de Cartagena (JUNAC) (1981) estudió las propiedades físicas y mecánicas con muestras provenientes de 10 árboles, en dos condiciones verde y seca al aire.

En relación a la madera de plantaciones, a la fecha solo existe el estudio realizado por Patiño (2002), quien evaluó las propiedades físico-mecánicas en maderas de 16 y 27 años, provenientes de las plantaciones de Jenaro Herrera. En éste estudio se menciona que el comportamiento de ésta madera en las propiedades físicas es baja, tanto en densidad básica como en contracción volumétrica. Similar comportamiento muestra en las propiedades mecánicas: flexión (módulo de ruptura, MOR), compresión paralela (resistencia máxima, RM), compresión perpendicular (esfuerzo al límite proporcional ELP), dureza (lad) y cizallamiento; mientras que para los valores de tenacidad los resultados son muy bajos. Los cuadros 1 y 2 ilustran los valores promedios de estas propiedades.

Cuadro 1 Propiedades físicas de *Simarouba amara* Aubl. provenientes de plantaciones y bosque natural, según diversos autores

Propiedad	Unidades	PROCEDENCIA			
		Pucallpa		Iquitos	
		(A)	(B)	(C)	(D)
1. Densidad	g/cm ³				
1.1 básica		0,39	0,36	0,31	0,32
1.2 anhidra		0,41	0,39	0,33	0,34
2. Contracción	%				
2.1 radial		2,70	2,90	3,32	3,30
2.2 tangencial		6,10	6,70	4,79	5,23
2.3 volumétrica		-	9,40	6,09	6,43
3. Relación T/R		2,26	2,31	1,49	1,63

Fuente: (A) Arostegui (1970), (B) JUNAC (Junta del Acuerdo de Cartagena) (1981), (C) Patiño (2002)- Plantación de 16 años, (D) Patiño (2002) – Plantación de 27 años

Cuadro 2 Propiedades mecánicas de *Simarouba amara* Aubl. provenientes de plantaciones y bosque natural, según diversos autores

Propiedad	Unidades	PROCEDENCIA			
		Pucallpa		Iquitos	
		(A)	(B)	(C)	(D)
1. Flexión Estática	kg/cm ²				
1.1 Esfuerzo al Límite Proporcional (ELP)		253,50	337,00	220,75	240,00
1.2 Módulo de Ruptura (MOR)		506,80	534,00	374,76	391,99
1.3 Módulo de Elasticidad x 10 ⁻³ (MOE)		102,75	85,00	63,89	62,41
2. Compresión Paralela	kg/cm ²				
2.1 Esfuerzo al Límite Proporcional (ELP)		171,10	-	177,83	170,02
2.2 Resistencia Máxima (RM)		315,80	312,00	192,95	193,84
2.3 Módulo de Elasticidad x 10 ⁻³ (MOE)		119,60	-	63,28	69,98
3. Compresión Perpendicular	kg/cm ²				
3.1 Esfuerzo al Límite Proporcional (ELP)		39,80	41,00	25,01	20,71
4. Dureza	kg/cm ²				
4.1 Extremos		322,30	328,00	225,85	237,50
4.2 Lados		215,20	206,00	154,58	174,90
5. Cizallamiento	kg/cm ²	47,40	70,00	50,00	45,40
6. Clivaje	kg/cm	34,29	-	32,11	31,09
7. Tensión Perpendicular	kg/cm ²	25,03	-	27,58	26,02
8. Tenacidad	kg-m	0,71	1,39	0,52	0,54

Fuente: (A) Aróstegui (1970) – (CH=12%), (B) JUNAC (1981) – (CH=12%), (C) Patiño (2002) – Plantación de 16 años, (CH=verde), (D) Patiño (2002) – Plantación de 27 años, (CH=verde)

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Aróstegui (1982) afirma que la madera es de secado natural rápido, y de buen comportamiento al secado artificial con un programa de secado fuerte.

El mismo autor menciona, que la madera es excelente en el cepillado y moldurado, buena en el taladrado y regular en el torneado; moderadamente durable con respecto a la pudrición blanca y durable con respecto a la pudrición marrón. Es fácil de preservar por los sistemas de baño caliente-frío y vacío- presión.

USOS PROBABLES

Aróstegui (1970) menciona que ésta madera se puede utilizar en obras de carpintería, construcciones livianas, muebles ordinarios, cajonería, carpintería en general, laminados, tonelería de líquidos y sólidos, juguetería, lápices, paletas, palitos de chupetes, entre otros. Patiño (2002) añade que esta especie proveniente de plantaciones, puede usarse en persianas de madera, revisteros, cajonería liviana, separadores de libros, ficheros, carpeta de trabajo, rondanas, machihembrado para revestimiento y zócalos.

2.2 INFLUENCIA DE LA ANATOMIA SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA MADERA

Chambergó (1984) señala que entre las dimensiones de los elementos anatómicos y las propiedades físico-mecánicas existe asociación lineal, ya sea directa e inversa; pero el grado en que influyen las dimensiones de los elementos anatómicos sobre las propiedades físico-mecánicas es muy bajo.

León y Espinoza (2001) indican que la característica anatómica de mayor influencia en las propiedades de resistencia mecánica de la madera es el grosor de las paredes de las fibras. Asimismo añaden que las propiedades de resistencia no son el reflejo de una sola característica anatómica, sino que son el resultado de la interacción de diferentes características estructurales, como son una alta proporción de poros o de parénquima axial, radios de gran tamaño, etc. Por ejemplo aquellas maderas que presenten altas cantidades de tejido parenquimático, así como radios anchos y altos tienden a desarrollar menores valores de resistencia mecánica; mientras que la longitud de las fibras ejerce un papel preponderante en la resistencia cuando se aplican esfuerzos en dirección paralela al grano, como compresión y tensión paralela.

Herrera (1987) encontró, en *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Tornillo) y *Aspidosperma macrocarpon* (Pumaquiro) proveniente del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt,

coeficientes de determinación (r^2) 0,29 y 0,39 respectivamente, entre los elementos xilemáticos y la densidad.

Silva (2005) estudio las plantaciones de Tornillo proveniente de Jenaro Herrera, y encontró que el 55,2% (r^2) del comportamiento de las propiedades físicas, pueden ser atribuidas a los elementos xilemáticos, demostrando cuantitativamente que la estructura de la madera está asociada con las propiedades físicas.

2.3 CARACTERÍSTICAS COMUNES EN ÁRBOLES PROVENIENTES DE PLANTACION

Las características más comunes en los árboles provenientes de plantación son la madera de tensión, madera juvenil y las tensiones de crecimiento.

Madera de tensión: Arroyo (1983), señala que esta madera se forma en la parte superior de los tallos inclinados y ramas de latifoliadas y en algunos casos un número reducido de especies forman madera de tensión en la parte inferior. Las secciones transversales de la madera de tensión presentan excentricidad con el radio mayor en la parte superior. En las especies tropicales hay evidencia de que éste tipo de madera se puede formar en árboles que no están inclinados, como un medio de orientar la copa para obtener luz suficiente en el bosque denso Maeglin (1987) añade que la madera de tensión, es una respuesta fisiológica de la fuerza gravitacional para mantener el árbol en forma vertical. Además la madera de tensión puede formarse en algún momento de la vida del árbol, siendo el árbol joven sujeto a la formación de madera de tensión; esto se debe en gran parte a que el árbol joven es pequeño y flexible y puede ser fácilmente doblado ya sea por la nieve, hielo o el viento o sujeto a cambios de las condiciones de luz.

Arroyo (1983) indica que la madera de tensión, es mucho más lustrosa que la madera normal, presentando un brillo plateado, el cual es difícil de detectar en la albura de algunas especies. Haygreen (1982) menciona que la madera de tensión de latifoliadas provenientes de bosques,

presenta coloración oscura. Maeglin (1987) señala que la madera de tensión esta compuesta de fibras que contienen paredes con menor porcentaje de celulosa, llamadas células gelatinosas. Además la madera de tensión, contiene pocos y pequeños vasos y pocos radios que la madera normal. Las paredes de las fibras, frecuentemente son más gruesas con lúmenes muy pequeños y comúnmente las capas de las paredes secundarias no están conectadas con la pared celular primaria.

Arroyo (1983) menciona en cuanto a las características físico-mecánicas, que la madera de tensión generalmente es más densa que la madera normal, por la presencia de células gelatinosas y presenta mayor contracción longitudinal que la madera normal. Y de acuerdo con los pocos datos disponibles, la madera de tensión en relación con su densidad presenta propiedades mecánicas inferiores en compresión paralela al grano, compresión perpendicular, cizallamiento y módulo de elasticidad en flexión estática. Haygreen (1982) agrega que la mayoría de las medidas de la resistencia son menores que la madera normal de igual densidad, y esto es particularmente cierto en el esfuerzo a la compresión paralela al grano, en condición seca al aire, la madera de tensión es un poco mas resistente en impacto de flexión que la madera normal.

Madera juvenil: Panshin y De Zeeuw (1980) menciona que la madera formada cerca de la médula se llama madera juvenil, que es el xilema secundario formado en los primeros años de vida del árbol. La formación de la madera juvenil está asociada a la prolongada influencia de los meristemas apicales en las partes activas de la copa durante el período 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 madera adulta.

Arroyo (1983) señala que la madera juvenil se caracteriza por un incremento progresivo en sus dimensiones y cambios correspondientes de forma, estructura y disposición de las células en los sucesivos incrementos de crecimiento. Haygreen (1982) menciona que ésta madera tiende a presentar grano espiralado.

Zobel et al citado por Maeglin (1987) añade que microscópicamente ésta madera presenta un ángulo microfibrilar alto en la capa S-2 de la pared secundaria. Añade que algunas de las

características de la madera juvenil, comparado con la madera madura, son que la longitud de las fibras, los vasos y el diámetro de las células son más cortas, la pared celular es más delgada, el ángulo fibrilar es grande, la proporción de fibras es grande, la proporción de vasos es baja y el contenido de holo celulosa es más alta.

En cuanto a las propiedades físico-mecánicas, Haygreen (1982) menciona que la madera juvenil se caracteriza por tener bajo peso específico, una alta contracción longitudinal y una correspondiente disminución en la contracción transversal, debido a la orientación de las microfibrillas. Un ángulo microfibrilar grande está asociado también con una baja resistencia a la tensión.

Tensiones de crecimiento: Maeglin (1987) señala que estas tensiones se dan en los árboles en crecimiento en el momento de la formación de la nueva madera, las nuevas células se dividen desde el cambium para luego separarse e inmediatamente comenzar a hincharse en diámetro causando rajaduras en las trozas, alabeo en la madera aserrada y chapas, también rajaduras en las trozas durante el aserrío. Estructuralmente, el árbol usa las tensiones, para mantenerse en posición vertical.

2.4 VARIABILIDAD DE LA MADERA

Arroyo (1983) señala que la variabilidad entre maderas de diferentes especies como resultado de sus diferencias en estructuras anatómicas y propiedades físicas asociadas, es suficientemente evidente para ser aceptada sin ninguna discusión. Sin embargo, la variabilidad dentro de una especie es más sutil y por tal motivo menos fácil de descubrir.

2.4.1 VARIABILIDAD ENTRE ÁRBOLES DE UNA MISMA ESPECIE

Arroyo (1983) indica que la variabilidad dentro de una especie, es producto de un sistema complejo de factores interrelacionados, los cuales actúan como modificadores de los procesos fisiológicos que originan la formación de la madera. Asimismo agrega que la variabilidad entre árboles puede ser hasta más de 10 veces superior a la variabilidad dentro de los árboles de una misma especie. Estas magnitudes diferentes de la variabilidad, se deben a que los árboles entre uno y otro varían por las condiciones de crecimiento (tratamientos silviculturales) y factores genéticos.

TRATAMIENTOS SILVICULTURALES

Chadwick (1985) destaca que los tratamientos así como causan un aumento en la velocidad de crecimiento en los árboles provocan una disminución en la densidad. Haygreen y Bowyer (1982) añaden que este aumento de la velocidad a una temprana edad podría ocasionar la presencia de una alta proporción de madera juvenil.

Arroyo (1983) señala que los tratamientos silviculturales que han demostrado tener mayores efectos sobre algunas propiedades de la madera son la manipulación del espacio entre árboles (distancia de siembra y posteriores aclareos) y la estimulación mediante el suministro de nutrientes y agua. Así el tamaño de la copa y el espaciamiento entre árboles de coníferas ha demostrado ser muy importante para controlar la velocidad de crecimiento; mientras que la disponibilidad de agua disminuye en el porcentaje de madera tardía. McKimmy (1985) añade que la fertilización tiene un variable efecto sobre la densidad de la madera indicando que la mayoría de investigadores coinciden en que hay una tendencia de la disminución de la densidad.

La ubicación geográfica sumada a los efectos climáticos relativos a la temperatura, precipitación y los tratamientos silviculturales producen variaciones entre los árboles de una misma especie.

FACTORES GENETICOS

Arroyo (1983) señala que la variación entre árboles en muchas especies de coníferas y latifoliadas, es mucho mayor que la variación dentro de los árboles y a menudo mayor que la variación dependiente de las variedades geográficas dentro de la especie. Se ha demostrado que diversas características importantes en la calidad de la madera tienen origen hereditario. Por ejemplo, parece que la longitud de los elementos fibrosos es más una característica hereditaria que el diámetro. También ha quedado bien establecido que el peso específico promedio de todo el anillo, como el de las zonas de madera temprana y tardía separadamente, son caracteres hereditarios.

2.4.2 VARIABILIDAD DENTRO DE LOS ÁRBOLES DE UNA MISMA ESPECIE

Panshin y de Zeeuw (1980) señala, que la variación dentro de un mismo árbol puede deberse a variaciones anatómicas y químicas de los elementos fibrosos, incidiendo luego en la variación de las propiedades físicas y mecánicas. Estas variaciones se pueden dar en dirección longitudinal, es decir a nivel de alturas y en dirección transversal, es decir por cercanía o lejanía de la médula.

VARIABILIDAD EN LAS CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS

Panshin y de Zeeuw (1980) menciona con respecto al ángulo de las microfibrillas en las traqueídas y otros elementos fibrosos que es inversamente proporcional a la longitud de las células. Por eso este ángulo varía en dirección transversal, desde la médula hacia la corteza en función de los cambios en la longitud de traqueidas. El ángulo es grande en las células cercanas a la médula, disminuye rápidamente en los incrementos sucesivos, hasta hacerse casi paralelo al eje longitudinal de las células en la parte inferior del tronco.

El mismo autor refiere, que los diámetros de los elementos vasculares de las latifoliadas de climas templados, varían en dirección transversal, disminuyendo desde la madera temprana hacia la madera tardía. Según Bailey citado por Arroyo (1983) indica que para numerosas coníferas el diámetro tangencial de traqueídas, aumenta desde la médula hacia la corteza.

Herrera (1987) menciona que únicamente el diámetro total de fibras en *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Tornillo), es significativa en dirección longitudinal y la longitud de vasos en *Aspidosperma macrocarpon* (Pumaquiro), es significativa en dirección transversal.

Silva (2005) en *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Tornillo) proveniente de las plantaciones de Jenaro Herrera, encontró que el factor edad (15 y 29 años) influye significativamente en el diámetro de fibras y la altura de los radios de forma inversa, mientras que con el diámetro de los vasos de forma directa. En el caso de las otras características de estos elementos xilemáticos, tienden a variar con este factor aunque estadísticamente no son significativos, así: en poros, la longitud y número por milímetro cuadrado disminuyen; en radios, el ancho y número de radios por milímetro lineal aumenta; en fibras, el espesor de pared y la longitud disminuyen.

VARIABILIDAD EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS

Arroyo (1983) menciona que los patrones de variación del peso específico, en dirección transversal, se clasifican de la siguiente manera: 1. El peso específico aumenta desde la médula hasta la corteza, 2. El peso específico es alta cerca de la médula, disminuye durante algunos años y luego aumenta hasta alcanzar un máximo al llegar a la corteza, 3. El peso específico aumenta en los primeros años, luego se mantiene más o menos constante, o algunas disminuye en los últimos incrementos, 4. El peso específico disminuye desde la médula hacia la corteza en todos los niveles del tallo. Mientras que los patrones en dirección longitudinal son: 1. El peso específico disminuye uniformemente desde la base hasta la copa, 2. El peso específico disminuye en la parte inferior del tronco y aumenta en la parte superior y 3. El peso específico aumenta desde la base hasta la copa en forma irregular.

Silva (2005) en *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Tornillo) proveniente de las plantaciones de Jenaro Herrera, encontró que la influencia de la edad sobre la densidad básica hay un incremento significativo entre las edades de 15 y 29 años, mientras que a los 24 años es menor.

Foulger (1966) citado por Arroyo (1983) menciona que en dirección transversal, el *Pinus strobus* L, tiene contracción longitudinal máxima cerca a la médula, disminuye rápidamente en los primeros 10 anillos y luego disminuye en forma irregular hacia la corteza.

Patiño (2002) en *Simarouba amara* (Marupá) de 16 y 27 años, proveniente de las plantaciones de Jenaro Herrera, encontró que el factor edad se relaciona en forma directamente proporcional con la contracción volumétrica, tangencial y densidad básica; mientras que el factor nivel de corte (longitudinal) en plantaciones de 16 años influyen en la densidad básica y la contracción tangencial; y en las de 27 años ejerce influencia en la contracción radial y longitudinal

VARIABILIDAD EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Arroyo (1983) indica que en dirección longitudinal, las propiedades de resistencia a la flexión estática aumentan desde la médula y disminuyen con la altura en *Pinus resinosa* Alt, y *Shorea almon* Foxw. Sin embargo en *Liriodendron tulipifera* L, los máximos valores se encuentran a la altura del tocón (66cm), disminuyen con la altura hasta 16 pies la altura del tocón.

Patiño (2002) encontró que el esfuerzo al clivaje de la plantación de Marupá de 16 años, varía significativamente en dirección longitudinal, y tiende a aumentar desde la base hacia la copa del árbol. Asimismo la plantación de Marupá de 27 años, muestra variación significativa en las propiedades de compresión paralela (MR), dureza, cizallamiento, tenacidad y resistencia al clivaje, cuyos valores aumentan desde la parte más baja del fuste hasta la base de la copa.

Condori (2007) estudio las propiedades mecánicas del Tornillo, proveniente de las plantaciones de Jenaro Herrera a campo abierto, y determino que en dirección longitudinal no presentan variaciones significativas; mientras que en fajas de enriquecimiento se presentan variaciones significativas en los esfuerzos de tensión perpendicular, clivaje y cizallamiento.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

El estudio se realizó en el Laboratorio de Propiedades Físico-Mecánicas de la madera del Departamento Académico de Industrias Forestales de la Universidad Agraria La Molina.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 MATERIALES

La especie para el presente estudio es la *Simarouba amara* Aubl, proveniente de la Estación Experimental Alexander Von Humboldt. Las características de la plantación se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3 Características de la plantación de *Simarouba amara* Aubl. de la Estación Experimental Alexander Von Humboldt

TOPOGRAFIA Y SUELO	Colina alta, suelo de tipo Acrisol y Cambisol
EDAD DE LA PLANTACIÓN	23 años
TIPO DE PLANTACIÓN	En fajas de 5 metros
AREA PLANTADA	26 500 m ² , espaciamiento 5x5, árboles plantados 1162
MANTENIMIENTO	2 raleos

3.2.2 EQUIPOS Y ACCESORIOS

Preparación de Probetas:

- Sierra de cinta “HD”
- Sierra radial fija “De walt (Dw) 725”
- Sierra radial portátil “Black & Decker”
- Sierra circular “Chambon- Paris”
- Garlopa “Wadkin Burggreen”
- Cepilladora “Wadkin Burggreen”
- Taladro “bimak 25 le”
- Wincha de metal
- Escuadra
- Lupa 10x
- Lápices de cera
- Cuchilla

Laboratorio:

- Prensa universal y accesorios “Tinius Olsen”
- Probadora de tenacidad “Baldwin”
- Hornos eléctricos “Memmert” de 103 ± 2 ° C

- Micrómetro digital “Mitutoyo” de precisión 0,001 mm
- Vernier digital “Mitutoyo” de precisión 0,01 mm
- Balanza digital “Adam” de precisión 0,01 g
- Desecadores de laboratorio con silicagel
- Sierra radial portátil “Black & Decker”
- Lupa 10x
- Lápices de cera
- Cuchilla
- Cámara digital Kodak modelo “EasyShare CD703”

Procesamiento de datos:

- Formularios
- Materiales de escritorio
- Computadora Pentium IV
- Programa Minitab 15,0

3.3 METODOLOGÍA

3.3.1 UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO

Las muestras fueron extraídas de las Plantaciones del Campo Experimental Alexander Von Humboldt ubicado a 86 km de la ciudad de Pucallpa en el distrito de Irazola, provincia de Padre Abad, departamento de Ucayali. Geográficamente se encuentra a 8° 22" de Latitud sur y 74° 28" de Longitud oeste (Figura 4). La temperatura promedio es de 26,7° C; con temperaturas máxima y mínima promedio de 29,3 °C y 24°C respectivamente. La humedad relativa promedio de 78,9 % y precipitación anual promedio de 3600 mm con una estación muy lluviosa entre los meses de noviembre a marzo y otra de menor precipitación entre abril a octubre.

El área se ubica en las zonas ecológicas de bosque húmedo tropical (bh-T) y bosque húmedo pre-montano tropical (bh-PT). La zona se halla entre los 200 a 340 msnm de altitud y presenta un relieve plano a colina.

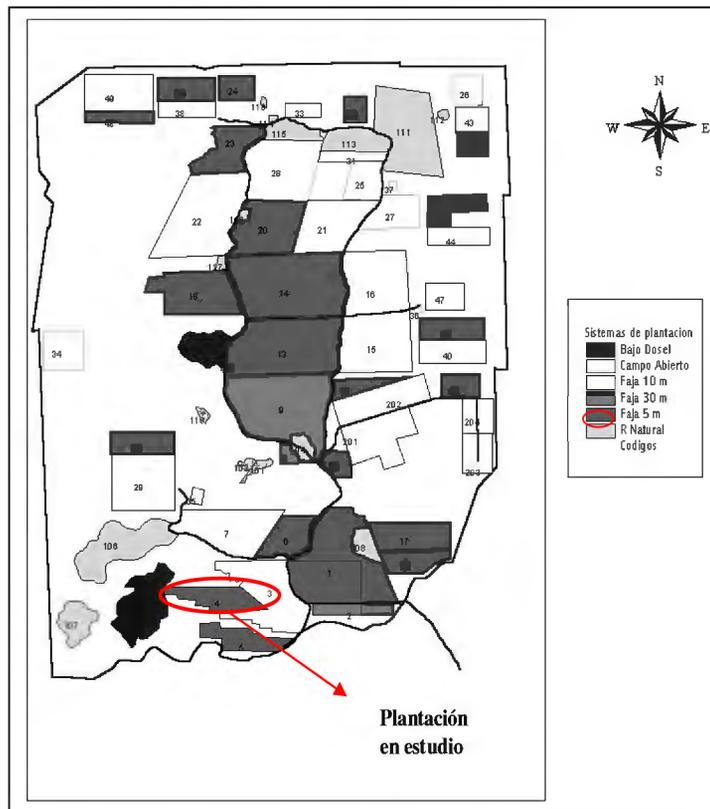


Figura 4 Área experimental del Bosque Alexander Von Humboldt

Fuente: INIA (2007)

3.3.2 SELECCIÓN Y COLECCIÓN DE MUESTRAS

La selección y colección de los árboles y trozas fue realizada por el INIA, según la Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) Designación: D5536 – 94 (Reapproved 2004) “Standard Test Methods for Sampling Forest Trees Determination of Clear Wood Properties”. En el cuadro 4 se muestran las dimensiones de los árboles y trozas seleccionadas para el estudio.

Cuadro 4 Características de los árboles y trozas seleccionadas para el estudio de las propiedades Físico- Mecánicas

<i>Dimensiones de los árboles</i>				<i>Dimensiones de las trozas</i>			
<i>Nº árbol</i>	<i>Altura (m)</i>		<i>DAP (cm)</i>	<i>Nº troza</i>	<i>Longitud (m)</i>	<i>Diámetro (cm)</i>	
	<i>Total</i>	<i>Comercial</i>				<i>Mayor</i>	<i>Menor</i>
41	29,50	13,00	40,10	1	2,44	40,00	35,50
				2	2,44	35,80	33,00
				3	1,22	33,30	30,25
43	34,20	10,00	32,40	2	2,44	38,80	36,25
48	29,30	16,00	34,10	2	2,44	37,50	35,00
84	27,40	15,00	34,50	2	2,44	40,30	34,50
96	48,90	13,00	31,60	2	2,44	36,80	35,25

3.3.3 PREPARACIÓN DE LAS VIGUETAS

Según la Norma ASTM Designación: D5536 – 94 (Reapproved 2004), las trozas se codificaron y aserraron longitudinalmente en tablones de 5 pulgadas de espesor, ancho variable y 4 pies de longitud. Estos tablones se recepcionaron en el Taller de Tecnología de la Madera de la Universidad Agraria La Molina, de los cuales se elaboraron las viguetas con sección transversal 5x5 cm. En la Figura 5 se muestra el proceso de aserrado desde trozas hasta la obtención de las viguetas.



Figura 5 Transformación de trozas a viguetas (A) Corte longitudinal de las trozas para la obtención de tablones de sección 5 pulgadas x ancho variable y 4 pies de longitud (B) Escuadrado de los tablones para la obtención de las viguetas.

3.3.4 SELECCIÓN DE LAS VIGUETAS

Las viguetas se seleccionaron de acuerdo a lo estipulado en la Norma ASTM Designación: D5536 – 94 (Reapproved 2004) para madera seca al aire.

3.3.5 CODIFICACIÓN DE LAS VIGUETAS

4 : Tipo de plantación

41, 43, 48, 84, 96 : Número de árbol

1, 2, 3 : Nivel de posición de la troza según la altura del árbol

A, B, C, D, E : Nivel de posición de la sub-troza según la altura del árbol

N, S, E, W : Posición del árbol según los puntos cardinales

a, b : Nivel por cercanía a la médula “a” y por nivel adyacente a la corteza “b”

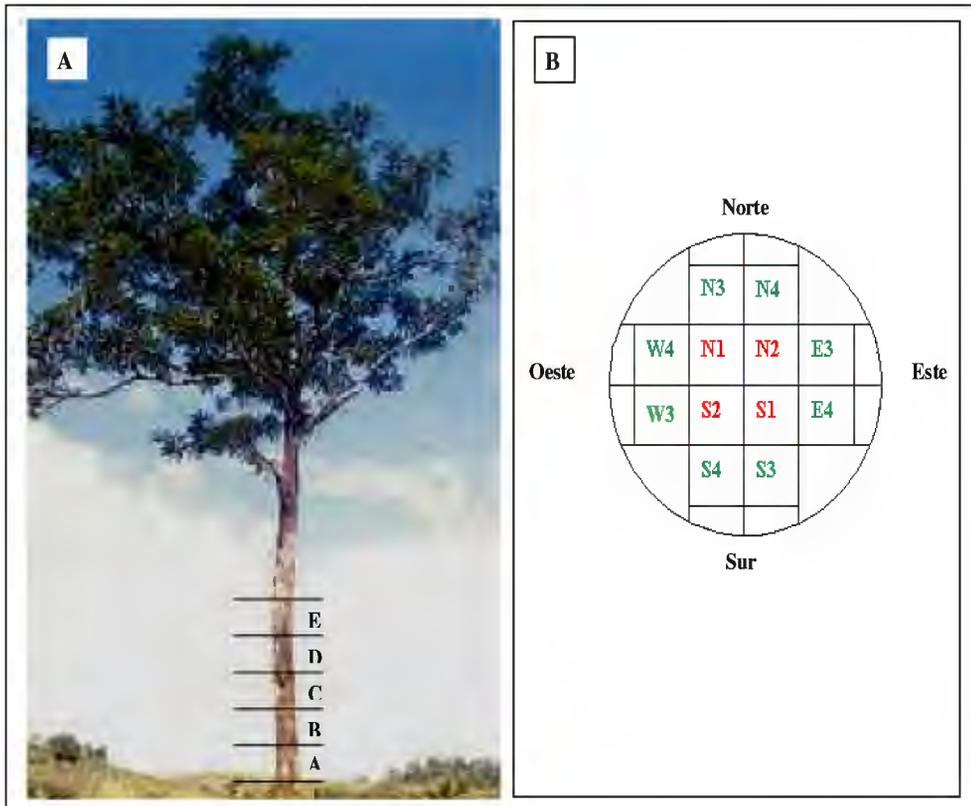


Figura 6 Codificación de las viguetas por niveles (A) Distribución de las viguetas a nivel longitudinal y (B) Distribución de las viguetas a nivel transversal; nivel “a” (N1,N2,N3,N4) y nivel “b” (N3,N4,E3,E4,S3,S4,W3,W4)

3.3.6 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

A partir de la viguetas seleccionadas se prepararon las probetas, según la Norma ASTM Designación: D143 – 94 (2000), con excepción de las probetas de contracción radial, tangencial y longitudinal, las cuales se prepararon según la Norma Técnica Peruana

251.012:2004. En los cuadros 5 y 6 se detallan el número de probetas ensayadas tanto a nivel longitudinal como a nivel transversal.

Cuadro 5 Distribución del número de probetas a nivel longitudinal para los ensayos Físico-Mecánicos de un árbol

ENSAYOS	ARBOL 41					TOTAL
	NIVELES DE ALTURA					
	A	B	C	D	E	
Densidad básica/ Contracción volumétrica	2	4	3	3	4	16
Contracción radial/ tangencial/longitudinal	5	3	3	6	6	23
Flexión estática	2	3	2	3	4	14
Compresión paralela	5	5	5	5	6	26
Compresión perpendicular	2	2	3	3	2	12
Dureza	2	3	2	2	3	12
Extracción de clavos	4	3	4	4	2	17
Cizallamiento	8	4	6	6	8	32
Clivaje	8	6	8	4	8	34
Tensión perpendicular	8	4	10	4	8	34
Tenacidad	7	10	8	12	10	47
TOTAL	65	57	62	66	78	

Cuadro 6 Distribución del número de probetas a nivel transversal para los ensayos Físico-Mecánicos de cinco árboles

ENSAYOS	NIVELES	NUMERO DE ARBOL					TOTAL
		41	43	48	84	96	
Densidad básica/ Contracción volumétrica	a	3	3	2	3	3	
	b	3	3	3	3	5	
	Total	6	6	5	6	8	31
Contracción radial/ tangencial/longitudinal	a	5	10	5	5	4	
	b	5	3	10	8	5	
	Total	10	13	15	13	9	60

Cuadro 6 Distribución del número de probetas a nivel transversal (Continuación)

ENSAYOS	NIVELES	NUMERO DE ARBOL					TOTAL
		41	43	48	84	96	
Flexión estática	a	2	2	2	2	3	
	b	3	4	4	4	4	
	Total	5	6	6	6	7	30
Compresión paralela	a	4	2	2	5	4	
	b	6	8	8	8	5	
	Total	10	10	10	13	9	52
Compresión perpendicular	a	2	3	2	3	2	
	b	4	2	2	3	3	
	Total	6	5	4	6	5	26
Dureza	a	2	2	3	3	3	
	b	2	3	3	2	3	
	Total	4	5	6	5	6	26
Extracción de clavos	a	2	3	3	2	2	
	b	6	6	3	5	3	
	Total	8	9	6	7	5	35
Cizallamiento	a	4	2	4	5	4	
	b	8	8	12	7	8	
	Total	12	10	16	12	12	62
Clivaje	a	4	4	8	6	6	
	b	8	8	12	6	6	
	Total	12	12	20	12	12	68
Tensión perpendicular	a	6	2	6	3	6	
	b	6	8	10	6	6	
	Total	12	10	16	9	12	59
Tenacidad	a	8	2	6	2	8	
	b	12	11	14	13	12	
	Total	20	13	20	15	20	88
TOTAL	131	131	159	136	130		

3.3.7 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

A) PROPIEDADES FÍSICAS

La determinación de las propiedades físicas se realizaron de acuerdo a lo estipulado por las Normas ASTM Designación: D143 – 94 (2000) y Norma Técnica Peruana 251.012:2004.

B) PROPIEDADES MECÁNICAS

Estas propiedades se realizaron en condición seca al aire, siguiendo lo estipulado en la Norma ASTM Designación: D143 – 94 (2000).

3.3.8 PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para ingresar los datos se utilizó el programa Microsoft Excel. Seguidamente se aplicaron las fórmulas respectivas para las propiedades físicas y mecánicas.

Se utilizó el programa Minitab 15 para el análisis estadístico tanto a nivel longitudinal como a nivel transversal, se realizó el modelo estadístico de Diseño Completamente al Azar (DCA). Para lo cual, según la Norma ASTM Designación: D143 – 94 (2000), el análisis a nivel longitudinal, consistió en evaluar las probetas provenientes de las secciones A, B, C, D y E sólo del árbol 41 y para el análisis estadístico a nivel transversal, se analizaron las probetas de las secciones C y D provenientes de los cinco árboles.

En los casos que existan diferencias significativas a nivel longitudinal, se realizó la prueba de Tukey en una distribución paramétrica y la prueba de Kruskal- Wallis en los casos no paramétricos. En el caso de encontrar diferencias significativas, a nivel transversal, se realizó la prueba de t-student en una distribución paramétrica y la prueba de Mann-Witney en los casos no paramétricos. La Figura 6 ilustra los niveles tanto longitudinal como transversal.

Una vez realizados los análisis estadísticos, se obtuvo promedios, coeficiente de variación, rangos y límites de confianza para cada nivel analizado y a nivel de especie.

Asimismo se realizó un análisis de regresión y correlación para determinar la relación entre las propiedades físicas y la densidad básica, así como las propiedades mecánicas y el peso específico a diferentes contenidos de humedad.

Para determinar las aptitudes de uso, se compararon los resultados obtenidos de las propiedades físicas y mecánicas con otras especies de uso conocido y de similar densidad, para luego con los requisitos de uso propuesto por Aróstegui y otros autores, determinar los usos probables para esta especie.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Los resultados a nivel longitudinal de las propiedades físicas se muestran en el cuadro 7 y figuras 7, 8 que incluyen los valores promedios, coeficientes de variación y rangos de las propiedades estudiadas. Se observa que la densidad básica disminuye desde A hacia B y luego aumenta hacia E, sin embargo el análisis de varianza (ANVA) no confirma esta tendencia, pues no hay diferencias significativas estadísticamente. El cuadro 8 detalla estos resultados que no coincide con lo encontrado por Patiño (2002), en donde señala que la densidad de las plantaciones de Marupá de 16 y 27 años, aumenta desde la base del tronco hacia la copa.

En relación al cambio dimensional, se observa que los valores promedios tienen un comportamiento aleatorio en las orientaciones radial, tangencial, longitudinal y volumétrica, desde la base hacia las partes altas del árbol; sin embargo el análisis de ANVA, señala que sólo existen diferencias significativas en la contracción radial ($P = 0,03$). Patiño (2002), en las plantaciones de 27 años, encontró que la contracción radial aumenta desde la base del tronco hacia la copa.

En consecuencia esta especie presenta una densidad básica similar para las diferentes alturas y un comportamiento irregular en contracción radial: baja contracción radial en el nivel A y alta contracción en el nivel E, tal vez sea una característica inherente a la especie, cuyo estudio anatómico contribuiría a explicar este comportamiento.

Cuadro 7 Propiedades físicas a nivel longitudinal del Marupá de una plantación de 23 años

<i>Propiedad</i>	<i>Niveles por altura</i>	<i>Unidades</i>	<i>Promedio</i>	<i>Coefficiente de Variación (%)</i>
Densidad básica	A	g/cm ³	0,34	1,55
	B		0,34	3,28
	C		0,33	2,11
	D		0,34	3,87
	E		0,37	5,02
Densidad anhidra	A	g/cm ³	0,36	0,31
	B		0,37	3,20
	C		0,36	2,58
	D		0,37	5,95
	E		0,40	5,06
Contracción radial	A	%	1,42	21,56
	B		1,90	9,07
	C		1,72	51,94
	D		1,52	16,38
	E		2,15	17,68
Contracción tangencial	A	%	4,29	14,58
	B		5,38	1,69
	C		4,34	10,67
	D		4,13	27,20
	E		4,33	16,67
Contracción longitudinal	A	%	0,19	28,04
	B		0,20	31,22
	C		0,18	2,67
	D		0,14	39,72
	E		0,20	45,35
Contracción volumétrica	A	%	6,89	25,09
	B		6,98	13,38
	C		7,98	7,20
	D		6,76	29,70
	E		7,67	10,10

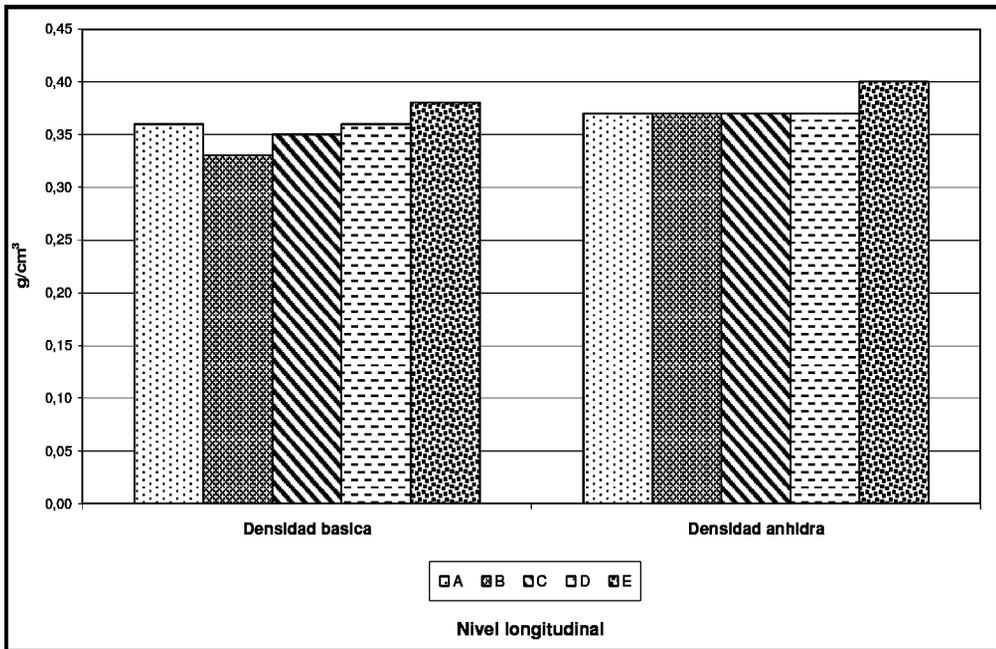


Figura 7 Valores promedios de densidad básica y anhidra a nivel longitudinal del Marupá proveniente de una plantación de 23 años

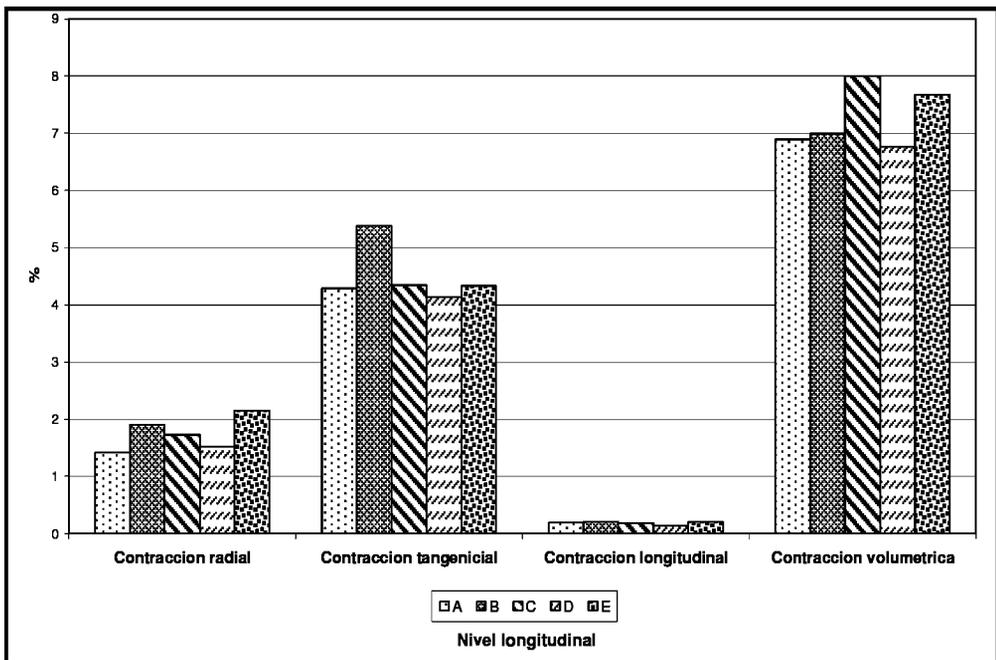


Figura 8 Valores promedios de las contracciones a nivel longitudinal del Marupá proveniente de una plantación de 23 años

Cuadro 8 Análisis estadístico a nivel longitudinal de las propiedades físicas del Marupá de una plantación de 23 años

<i>Propiedad</i>	<i>ANVA</i>	<i>Prueba de Tukey</i>
Densidad básica	NS	
Contracción radial	*	<u>A D C B E</u>
Contracción tangencial	NS	
Contracción longitudinal	NS	
Contracción volumétrica	NS	

*: *Significativo*

N.S: *No significativo*

A nivel de especie los valores promedios, coeficientes de variación y rangos de las propiedades físicas se presentan en el cuadro 9 y en las figuras 9 y 10, para dos posiciones: “a” cercana a la médula y “b” adyacente a la corteza. Se observa que la densidad básica y el cambio dimensional, excepto el cambio longitudinal, no muestran diferencias entre las posiciones a-b; lo que es corroborado con la Prueba t-student (cuadro 10).

Los valores promedios de la contracción longitudinal, aumentan a medida que se alejan de la médula. Este comportamiento es contrario a lo normalmente esperado, pues Arroyo (1983) señala que el ángulo de la microfibrillas disminuye rápidamente hasta hacerse paralelo al eje longitudinal de las células en la parte exterior del tronco, lo que implica, menor contracción longitudinal; tal vez sea una característica inherente a la especie, cuyo estudio a nivel submicroscópico contribuirá a explicar este comportamiento. Aparentemente la probable presencia de madera de tensión podría contribuir a explicar estos resultados.

En consecuencia, esta especie presenta una densidad básica similar para las diferentes posiciones y un comportamiento peculiar en contracción longitudinal, por lo que en el cuadro 11 se presentan para la especie los promedios, intervalos de confianza con un nivel de significancia de 0,05 ($\alpha = 0,05$), rangos y coeficientes de variación. Este último comparado con la variabilidad propuesta por Wood Handbook (1974), se nota que los coeficientes de variación total son inferiores en todos los casos excepto en densidad básica.

Cuadro 9 Propiedades físicas a nivel transversal de la madera de Marupá de una plantación de 23 años

<i>Propiedad</i>	<i>Nivel transversal</i>	<i>Unidades</i>	<i>Promedio</i>	<i>Coefficiente de Variación (%)</i>	<i>Rango</i>
Densidad básica	a	g/cm ³	0,33	3,19	0,31 – 0,34
	b		0,33	5,88	0,29 – 0,36
Densidad anhidra	a	g/cm ³	0,35	3,32	0,33 – 0,37
	b		0,35	5,84	0,31 – 0,39
Contracción radial	a	%	1,66	37,86	0,69 – 2,75
	b		1,54	36,68	0,54 – 2,93
Contracción tangencial	a	%	4,66	15,02	3,28 – 5,83
	b		4,53	22,08	2,09 – 6,15
Contracción longitudinal	a	%	0,18	46,27	0,03 – 0,31
	b		0,23	32,29	0,10 – 0,40
Contracción volumétrica	a	%	7,20	15,38	4,45 – 8,49
	b		7,34	17,96	2,82 – 8,85

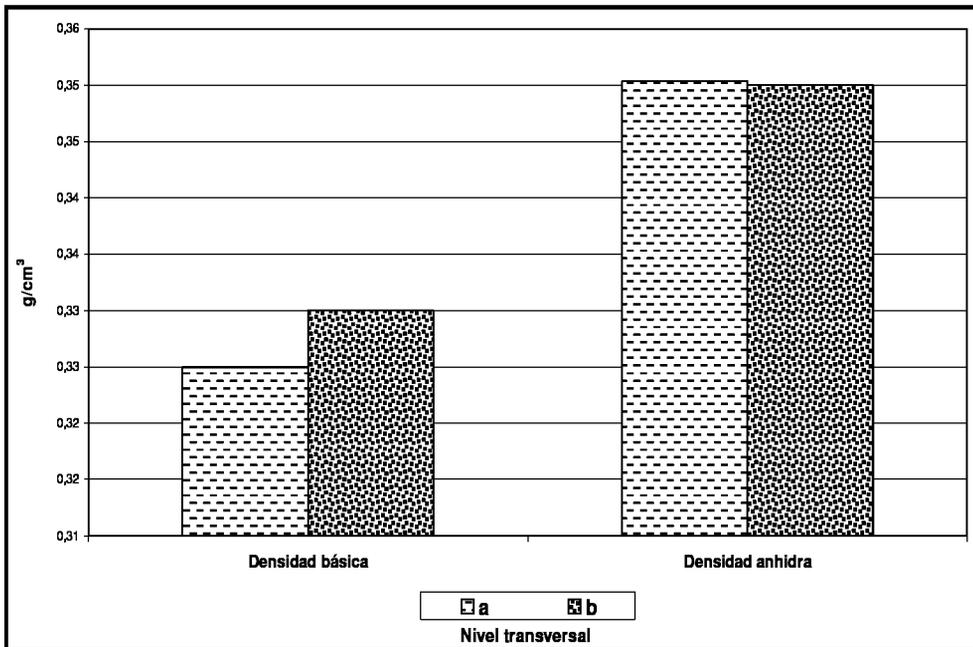


Figura 9 Valores promedios de densidad a nivel transversal de la madera de Marupá proveniente de una plantación de 23 años

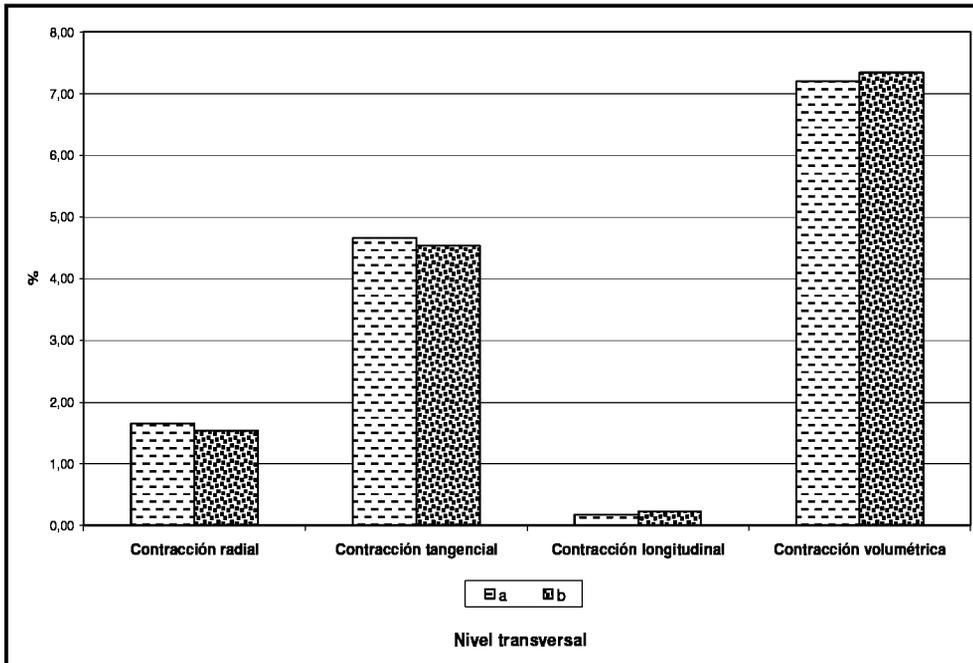


Figura 10 Valores promedios de contracción a nivel transversal de la madera de Marupá proveniente de una plantación de 23 años

Cuadro 10 Análisis estadístico de las propiedades físicas a nivel transversal de la madera de Marupá de una plantación de 23 años

<i>Propiedad</i>	<i>Prueba T-student</i>	
Densidad básica	NS	
Contracción radial	NS	
Contracción tangencial	NS	
Contracción longitudinal	*	a b
Contracción volumétrica	NS	

*:Significativo

N,S: No significativo

Cuadro 11 Propiedades físicas de la madera de Marupá de una plantación de 23 años

<i>Propiedad</i>	<i>Unidades</i>	<i>Promedio</i>	<i>Intervalo de confianza</i>	<i>Coficiente de variación (%)</i>				<i>Rango</i>
				<i>Entre árboles</i>	<i>Dentro del árbol</i>	<i>Total</i>	<i>Handbook¹</i>	
1. Densidad	g/cm ³							
1.1 básica		0,33	± 0,01	11,91	2,83	4,92	10,00	0,29-0,36
1.2 anhidra		0,35	± 0,01	11,84	3,08	5,02	-	0,31-0,39
1.3 seca al aire *		0,38	± 0,02	14,72	8,49	9,37	-	0,22-0,43
1.4 saturada **		0,47	± 0,03	18,91	17,27	17,65	-	0,06-0,57
2. Contracción	%							
2.1 radial		1,58	± 0,15	16,72	37,5	36,46	15,00	0,54-2,93
2.2 tangencial		4,58	± 0,23	28,52	18,43	19,27	14,00	2,09-6,15
2.3 longitudinal		0,21	± 0,02	50,13	36,32	37,41	-	0,03-0,40
2.4 volumétrica		7,21	± 0,42	9,31	17,66	16,87	16,00	2,82-8,87
3. Relación T/R		3,28	± 0,34	50,19	39,87	40,61	-	1,25-6,99

* *Humedad seca al aire 14,1%*

** *Humedad en condición saturada 47,5%*

(1) *Wood Handbook (1974)*

Según la clasificación propuesta por Aróstegui (1982), ésta especie está considerada por su densidad básica y contracción volumétrica como del grupo de maderas de propiedades físicas bajas.

Los coeficientes de determinación (r^2) y ecuaciones de regresión con el fin de predecir los valores de la estabilidad dimensional a partir de la densidad básica muestran para todos los casos valores bajos (menores al 50%), lo que indica que la variable independiente densidad básica no es útil para predecir los cambios dimensionales (cuadro 12).

Al comparar los resultados de las propiedades físicas de la plantación en estudio con dos edades provenientes de Jenaro Herrera y del bosque natural (cuadro 13 y figuras 11, 12), se observa que la densidad básica promedio obtenida, es menor que la del bosque natural, pero mayores a las dos edades de plantaciones de Jenaro Herrera. Estas diferencias pueden explicarse, en el caso del estudio con la de bosque natural por la presencia de madera juvenil; mientras que con las plantaciones de Jenaro Herrera por la edad y por mejores condiciones de suelo y la fisiografía para esta especie pues estudios de Soudre (2004) demuestran que el factor edad, seguido del suelo y la fisiografía tienen gran influencia sobre la densidad básica.

En relación a los cambios dimensionales, en principio hay una relación lineal directa de la densidad básica con la contracción volumétrica no así en contracción radial y tangencial que son menores, tanto para las plantaciones como bosque natural, pero la relación T/R indica que la especie en estudio es inestable dimensionalmente, por lo que la madera en estudio podría tener mayores defectos de secado. Estudios anatómicos ayudarían a explicar estas diferencias.

Cuadro 12 Prueba de correlación de la densidad básica con las propiedades físicas de la madera de Marupá en estudio

<i>Propiedad</i>	<i>Variable Independiente</i>	r^2	<i>Ecuación Lineal</i>	r^2	<i>Ecuación cuadrática</i>
1. Contracción	Densidad básica				
1.1 radial		0,04	$y = 3,70 - 6,56 x$	0,04	$y = 12,31 - 59,7x + 81,70x^2$
1.2 tangencial		0,04	$y = 7,79 - 9,86 x$	0,04	$y = 1,50 + 29,00x - 59,80x^2$
1.3 longitudinal		0,01	$y = 0,374 - 0,48 x$	0,02	$y = 3,34 - 18,79x + 28,17x^2$
1.4 volumétrica		0,03	$y = 8,64 - 4,40 x$	0,07	$y = -103,10 + 682,70x - 1054,00x^2$

Cuadro 13 Comparación de las propiedades físicas de la madera en estudio con bosque natural y plantaciones de Jenaro Herrera

Propiedad	Unidades	Especie en estudio (A)	Bosque Natural (B)	Plantación de 16 años	Plantación de 27 años
				(C)	
1. Densidad	g/cm ³				
1.1 básica		0,33	0,36	0,31	0,32
1.2 anhidra		0,35	0,39	0,33	0,34
2. Contracción	%				
2.1 radial		1,58	2,90	3,32	3,30
2.2 tangencial		4,58	6,70	4,79	5,23
2.3 longitudinal		0,22	-	0,22	0,22
2.4 volumétrica		7,21	9,40	6,09	6,43
3. Relación T/R		2,90	2,31	1,49	1,63

(A) Estudio actual

(B) JUNAC (1981)

(C) Patiño (2002)

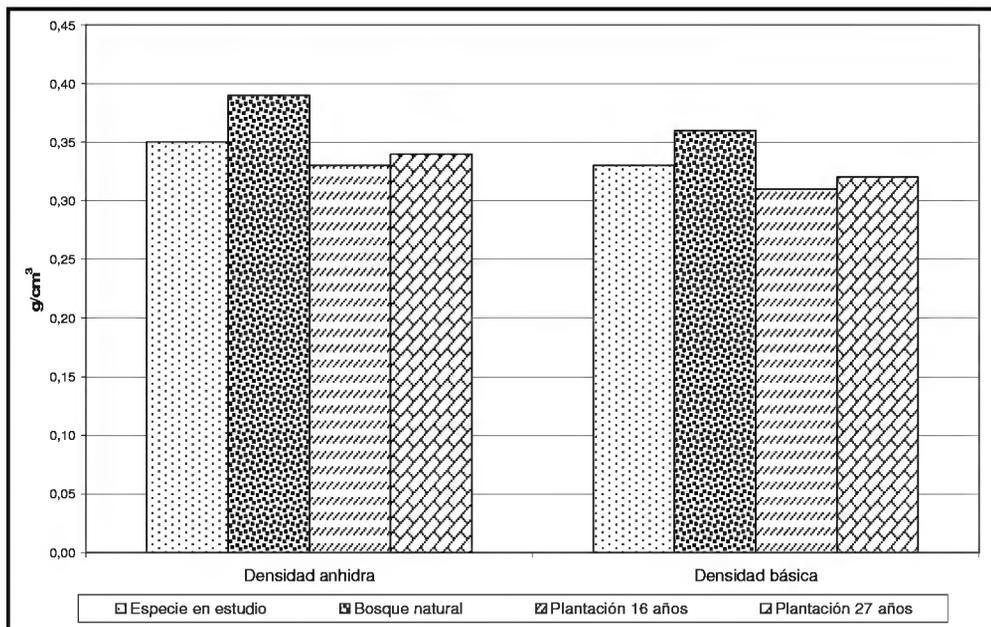


Figura 11 Comparaciones de la densidad de la madera de bosque natural y plantaciones de Marupá

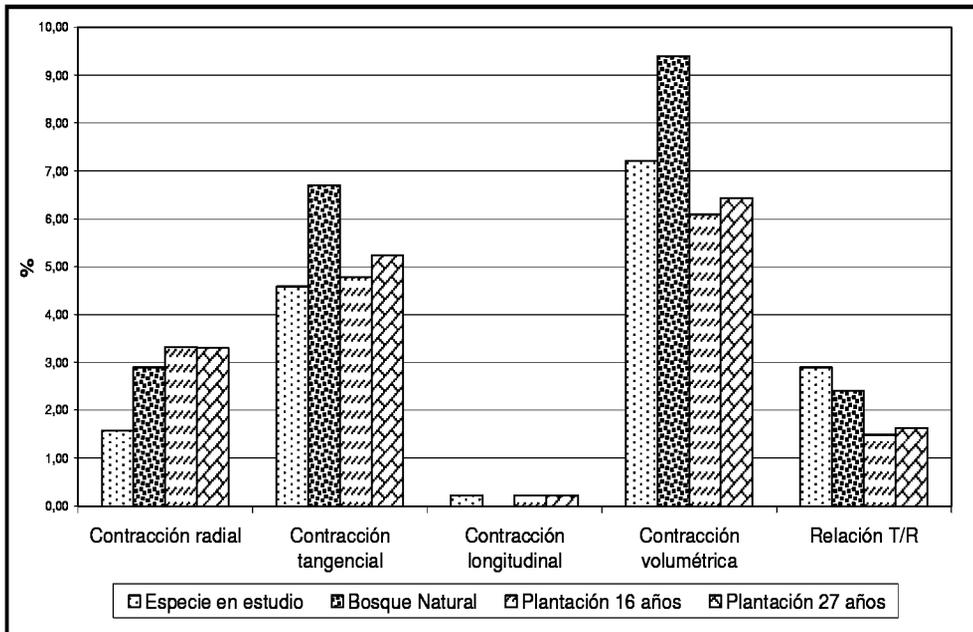


Figura 12 Comparaciones de la contracción de la madera de bosque natural y plantaciones de Marupá

4.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

Los resultados a nivel longitudinal de las propiedades mecánicas se presentan en el cuadro 14 que incluyen los valores promedios, coeficientes de variación, rangos, contenidos de humedad y peso específico a diferentes niveles de altura. La figura 13 ilustra estos valores promedios de resistencia. Asimismo en el cuadro 15 se presentan los resultados del análisis de varianza (ANVA) que indican diferencias significativas únicamente en dureza (lados y extremos), clivaje y tenacidad.

En relación a la dureza Janka la prueba de Tukey, permite afirmar que no se encontraron diferencias significativas entre los niveles A, B y C pero si entre los niveles C con D y E, en consecuencia los mayores valores para esta propiedad se presentan en los niveles D y E. Similar comportamiento se observa para la dureza de extremos. Este comportamiento no es el esperado pues en los niveles D y E hay mayor presencia de madera juvenil, sin embargo su

valor es más alto que los niveles A, B y C en los cuales podría estar presente la madera de reacción.

Respecto a clivaje y tenacidad la prueba de Kruskal- Wallis señalan que los valores de resistencia no tienen un comportamiento definido. Las pruebas experimentales muestra que en tenacidad la falla es por quebradura en todos los casos con valores bajos y altos coeficientes de variación esto indicaría que tienen un comportamiento típico de las maderas quebradizas

Cuadro 14 Propiedades mecánicas a nivel longitudinal del Marupá de una plantación de 23 años

<i>Propiedad</i>		<i>Unidades</i>	<i>Nivel de altura</i>	<i>Promedio</i>	<i>Coefficiente de Variación (%)</i>	<i>CH %</i>	<i>G</i>
Flexión estática	MOR	kg/cm ²	A	438,80	4,44	14,10	0,37
			B	432,70	22,59	14,12	0,35
			C	434,10	3,82	13,75	0,35
			D	382,80	33,62	14,18	0,35
			E	372,90	20,40	13,87	0,37
	MOE x 10 ³		A	72,20	1,11	14,10	0,37
			B	77,75	6,78	14,12	0,35
			C	75,49	3,81	13,75	0,35
			D	80,60	15,49	14,18	0,35
			E	78,19	3,24	13,87	0,37
	ELP		A	334,30	11,83	14,10	0,37
			B	335,10	12,88	14,12	0,35
			C	324,39	1,41	13,75	0,35
			D	293,30	19,85	14,18	0,35
			E	282,30	19,42	13,87	0,37
Compresión paralela	RM	A	299,58	7,22	13,88	0,36	
		B	310,18	6,16	13,76	0,35	
		C	305,82	6,89	13,67	0,35	
		D	300,40	7,65	13,71	0,36	
		E	274,70	22,78	13,88	0,37	
	MOE x 10 ³	A	66,83	7,61	13,88	0,36	
		B	88,33	13,84	13,76	0,35	
		C	90,40	14,69	13,67	0,35	
		D	88,94	9,89	13,71	0,36	
		E	79,61	19,73	13,88	0,37	

Cuadro 14 Propiedades mecánicas a nivel longitudinal del Marupá (Continuación)

<i>Propiedad</i>		<i>Unidades</i>	<i>Nivel de altura</i>	<i>Promedio</i>	<i>Coefficiente de Variación (%)</i>	<i>CH %</i>	<i>G</i>
Compresión paralela	ELP	kg/cm ²	A	207,10	21,46	13,88	0,36
			B	223,83	9,14	13,76	0,35
			C	215,40	14,17	13,67	0,35
			D	210,90	16,34	13,71	0,36
			E	211,10	25,29	13,88	0,37
Compresión perpendicular	ELP	kg/cm ²	A	25,14	6,27	14,00	0,37
			B	42,49	4,89	12,45	0,37
			C	38,47	9,95	13,04	0,37
			D	36,35	15,10	13,70	0,36
			E	39,14	19,91	12,55	0,37
Dureza	Lados	kg/cm ²	A	182,99	5,26	12,57	0,40
			B	178,75	1,46	13,72	0,36
			C	145,12	4,42	14,37	0,34
			D	202,26	6,34	12,72	0,39
			E	212,60	13,80	12,67	0,44
	Extremos		A	332,20	4,34	12,57	0,40
			B	312,92	3,32	13,72	0,36
			C	272,10	2,36	14,37	0,34
			D	367,11	2,18	12,72	0,39
			E	360,50	8,89	12,67	0,44
Extracción de clavos	Lados	kg	A	33,84	9,94	12,47	0,41
			B	37,80	27,00	13,02	0,36
			C	41,60	49,13	13,15	0,38
			D	30,72	17,50	12,79	0,38
			E	31,13	29,19	12,67	0,44
	Extremos		A	52,55	9,20	12,47	0,41
			B	52,97	18,52	13,02	0,36
			C	62,75	17,69	13,15	0,38
			D	44,56	10,82	12,79	0,38
			E	65,59	1,10	12,67	0,44
Cizallamiento		kg/cm ²	A	63,72	14,77	12,78	-
			B	74,04	6,48	12,74	-
			C	64,63	14,82	12,81	-
			D	59,36	17,12	12,17	-
			E	63,65	28,50	12,46	-

Cuadro 14 Propiedades mecánicas a nivel longitudinal del Marupá (Continuación)

<i>Propiedad</i>	<i>Unidades</i>	<i>Nivel de altura</i>	<i>Promedio</i>	<i>Coefficiente de Variación (%)</i>	<i>CH %</i>	<i>G</i>
Clivaje	kg/cm	A	33,61	8,18	12,00	-
		B	31,62	8,61	12,06	-
		C	28,62	12,68	12,04	-
		D	30,1	8,24	11,94	-
		E	36,68	20,12	12,01	-
Tensión perpendicular	kg/cm ²	A	26,92	17,12	11,28	-
		B	20,31	33,24	11,46	-
		C	22,69	33,2	11,38	-
		D	22,73	38,21	11,06	-
		E	25,76	32,57	11,23	-
Tenacidad	kg-m	A	0,67	73,27	14,33	0,36
		B	0,55	63,77	14,27	0,36
		C	0,19	47,91	14,55	0,35
		D	0,42	66,85	14,61	0,35
		E	0,32	50,01	14,38	0,37

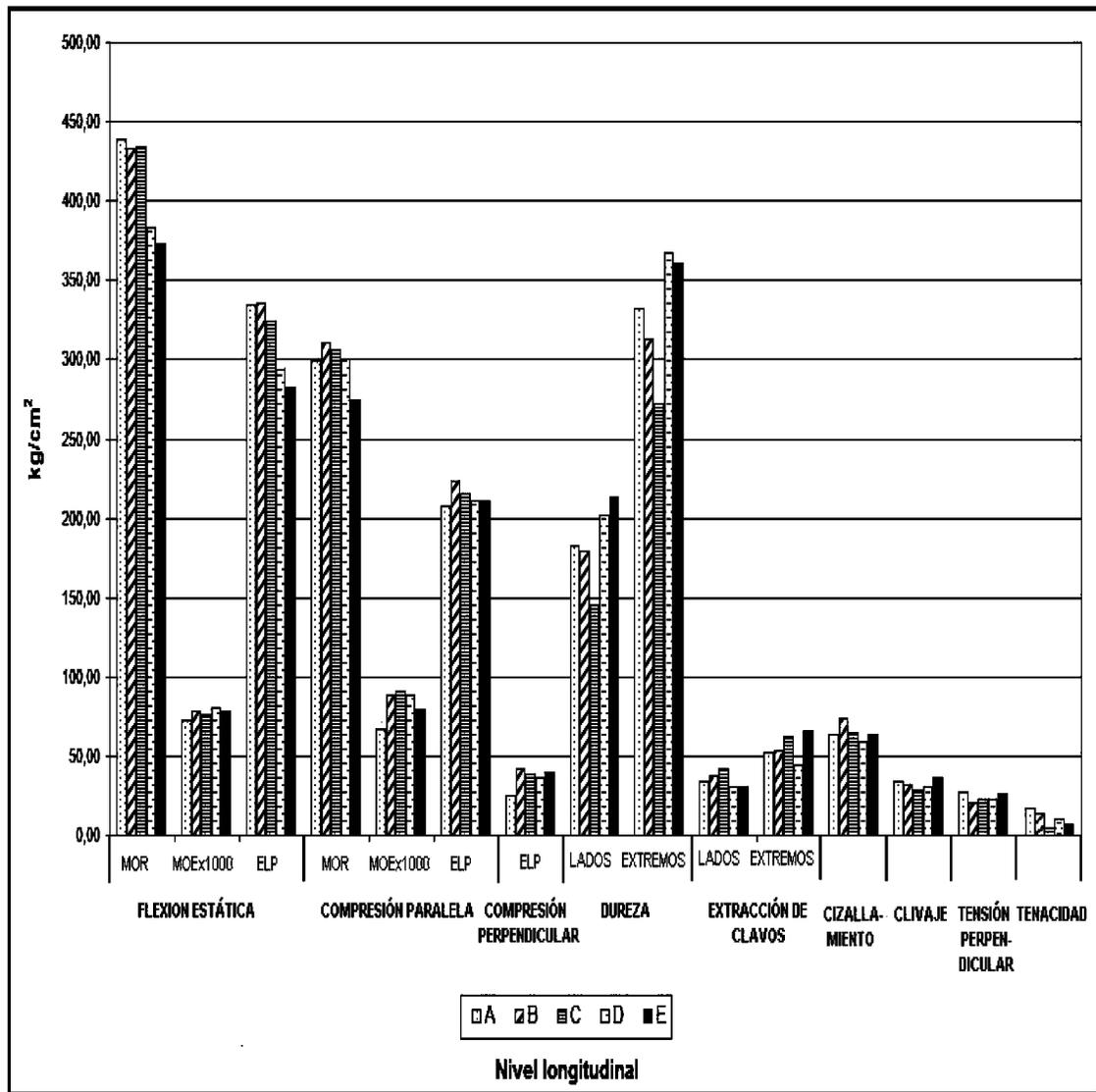


Figura 13 Valores promedio de las propiedades mecánicas a nivel longitudinal de la madera de Marupá proveniente de una plantación de 23 años

Cuadro 15 Análisis estadístico a nivel longitudinal de las propiedades mecánicas del Marupá de una plantación de 23 años

<i>Propiedad</i>	<i>ANVA</i>	<i>Pruebas estadísticas</i>
1. Flexión Estática		
1.1 MOR	NS	
1.2 MOE x 10 ³	NS	
1.3 ELP	NS	
2. Compresión Paralela		
2.1 RM	NS	
2.2 MOE x 10 ³	NS	
2.3 ELP	NS	
3. Compresión Perpendicular		
3.1 ELP	NS	
4. Dureza		
4.1 Extremos	*	C B A E D ————— C B A D E —————
4.2 Lados	*	
5. Extracción de Clavos		
5.1 Extremos	NS	
5.2 Lados	NS	
6. Cizallamiento		
	NS	
7. Clivaje		
	*	C D B A E ————— —————
8. Tensión Perpendicular		
	NS	
9. Tenacidad		
	*	C E D B A ————— —————

*: *Significativo*

N.S: *No significativo*

Los resultados de los valores promedios, coeficientes de variación, rangos, contenidos de humedad y peso específico para la madera de esta especie a nivel transversal, se presentan en el cuadro 16 y figura 14. Mientras que el análisis estadístico de t-student se muestran en el cuadro 17.

La mencionada prueba detecta únicamente diferencias significativas en flexión estática (MOR y ELP) y extracción de clavos (lados), apreciándose que en la primera los valores promedios aumentan a medida que están más lejos de la medula; mientras que en la última, de distribución

no normal, ocurre lo contrario. Para el caso de flexión estática (MOR y ELP), se cumple que a mayor peso específico mayor resistencia. Mientras que en extracción de clavos (lados), no sigue este patrón y además presenta un alto coeficiente de variación (38,84%), probablemente por la presencia de madera juvenil. En el cuadro 18 se incluyen los valores promedios, intervalos de confianza con un nivel de significancia de 0,05 ($\alpha = 0,05$), coeficientes de variación, rangos y contenidos de humedad para la madera de la especie en estudio.

En relación a los coeficientes de variación se nota que los valores obtenidos para las propiedades mecánicas de tenacidad, tensión perpendicular, cizallamiento y flexión estática (MOR), son superiores a los propuestos por Wood Handbook (1974). Es menester señalar que en extracción de clavos, estos coeficientes de variación son altos.

De acuerdo a la Clasificación de Maderas Mexicanas en estado seco al aire (Davalos y Barcenas, 1999), esta especie presenta baja resistencia al cizallamiento y dureza (lados y extremos). Mientras que en flexión estática, su módulo de ruptura y rigidez, así como la resistencia máxima en compresión paralela y esfuerzo al límite proporcional en compresión perpendicular, presentan resistencias muy bajas. En consecuencia la especie en estudio se puede catalogar como una madera de resistencia muy baja, resultado que coincide con lo encontrado por Patiño en Marupá de 16 y 27 años.

Los coeficientes de determinación (r^2) y ecuaciones de regresión respectivas de las propiedades mecánicas con el peso específico muestran valores bajos (menores al 50%), excepto en dureza (lados). Lo que indica que la variable independiente peso específico es sólo un buen estimador para la dureza (cuadro 19).

Cuadro 16 Propiedades mecánicas a nivel transversal de la madera de Marupá de una plantación de 23 años

<i>Propiedad</i>		<i>Unidades</i>	<i>Nivel transversal</i>	<i>Promedio</i>	<i>Coefficiente de Variación (%)</i>	<i>CH %</i>	<i>G</i>
Flexión estática	MOR	kg/cm ²	a	325,20	25,97	14,04	0,32
			b	411,70	13,76	14,27	0,34
	MOE x 10 ³		a	71,62	14,36	14,04	0,32
			b	73,68	6,61	14,27	0,34
	ELP		a	268,20	19,14	14,04	0,32
			b	303,39	10,92	14,27	0,34
Compresión paralela	RM	kg/cm ²	a	260,78	13,15	13,81	0,33
			b	273,65	9,51	13,94	0,35
	MOE x 10 ³		a	78,38	10,69	13,81	0,33
			b	86,68	9,78	13,94	0,35
	ELP		a	197,10	15,52	13,81	0,33
			b	192,92	17,20	13,94	0,35
Compresión perpendicular	ELP	kg/cm ²	a	31,29	21,83	13,21	0,34
			b	33,92	19,77	13,47	0,35
Dureza	Lados	kg/cm ²	a	144,18	11,56	14,21	0,33
			b	162,77	15,65	12,62	0,36
	Extremos		a	264,69	9,60	14,21	0,33
			b	305,17	11,01	12,62	0,36
Extracción de clavos	Lados	kg	a	51,20	32,18	13,44	0,34
			b	29,51	14,12	12,66	0,36
	Extremos		a	48,29	16,84	13,44	0,34
			b	54,19	22,81	12,66	0,36
Cizallamiento	kg/cm ²	a	57,38	20,45	12,58	-	
		b	54,94	22,79	12,35	-	
Clivaje	kg/cm	a	26,76	18,97	12,49	-	
		b	27,59	22,76	12,10	-	
Tensión perpendicular	kg/cm ²	a	21,54	24,62	11,85	-	
		b	21,08	30,79	11,33	-	
Tenacidad	kg-m	a	0,28	82,81	14,47	0,33	
		b	0,49	87,40	14,51	0,34	

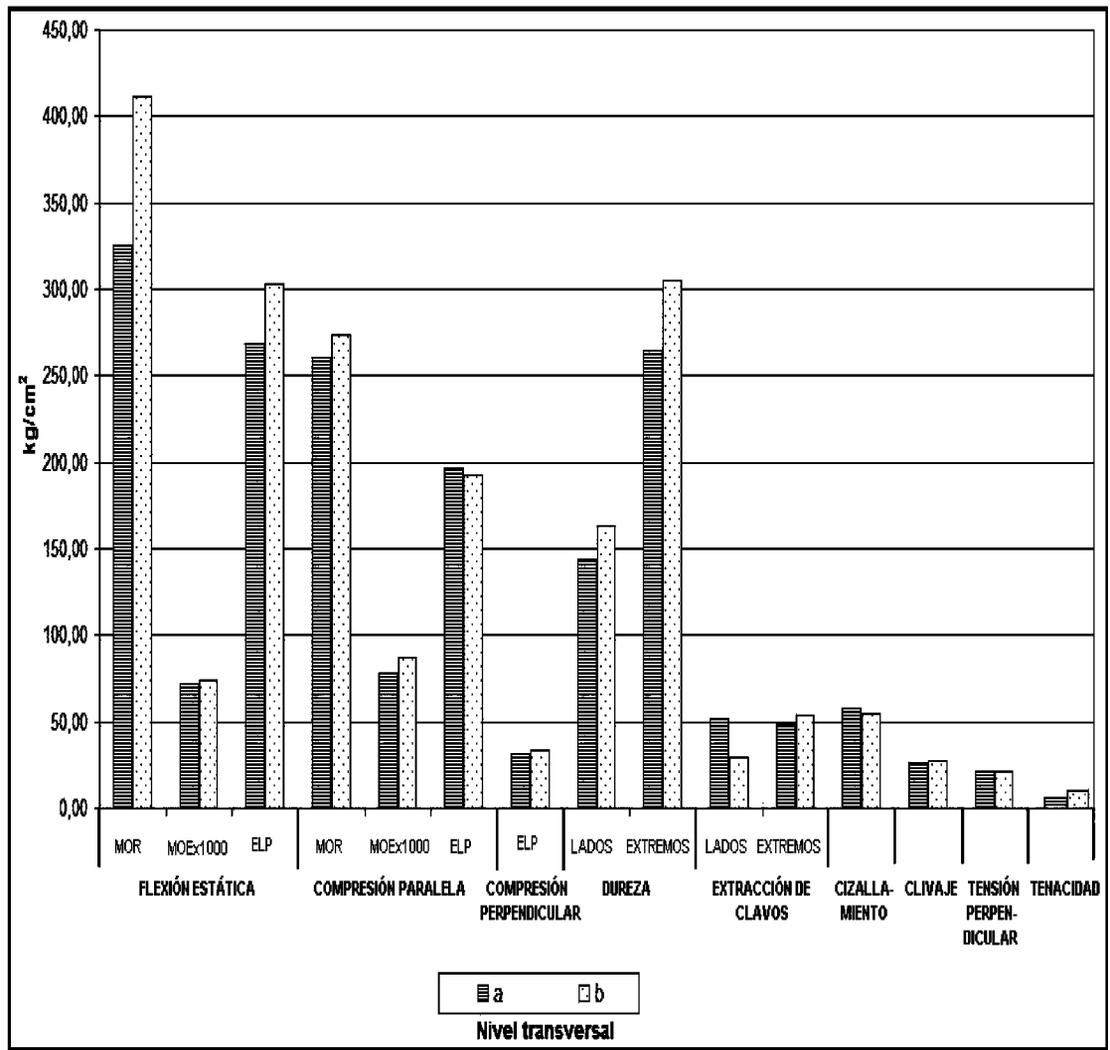


Figura 14 Valores promedio de las propiedades mecánicas a nivel transversal de la madera de Marupá proveniente de una plantación de 23 años

Cuadro 17 Análisis estadístico de las propiedades mecánicas a nivel transversal de la madera de Marupá de una plantación de 23 años

<i>Propiedad</i>	<i>ANVA</i>	
1. Flexión Estática		
1.1 MOR	*	a b
1.2 MOE x 10 ³	NS	
1.3 ELP	*	a b
2. Compresión Paralela		
2.1 RM	NS	
2.2 MOE x 10 ³	NS	
2.3 ELP	NS	
3. Compresión Perpendicular		
3.1 ELP	NS	
4. Dureza		
4.1 Extremos	NS	
4.2 Lados	NS	
5. Extracción de Clavos		
5.1 Extremos	NS	
5.2 Lados	*	b a
6. Cizallamiento	NS	
7. Clivaje	NS	
8. Tensión Perpendicular	NS	
9. Tenacidad	NS	

*: *Significativo*

N. S: *No Significativo*

Cuadro 18 Propiedades mecánicas de la madera de Marupá de una plantación de 23 años

Propiedad	Unidades	Promedio	Intervalo de confianza	Coeficiente de variación (%)				Rango	CH %
				Entre árboles	Dentro árbol	Total	Handbook		
1. Flexión Estática	kg/cm ²								14,55
1.1 MOR		380,00	±28,7	20,31	20,23	20,24	16,00	248,40-603,20	
1.2 MOE x 10 ³		72,92	±3,31	14,58	8,84	9,77	22,00	76,29-121,93	
1.3 ELP		230,31	±16,70	11,24	12,03	14,64	22,00	183,81-418,83	
2. Compresión Paralela	kg/cm ²								13,89
2.1 RM		267,84	±8,16	23,26	9,39	11,04	18,00	189,33-327,78	
2.2 MOE x 10 ³		83,26	±2,58	24,03	11,88	13,17	29,00	38,14-106,69	
2.3 ELP		192,93	±8,24	23,07	15,82	16,46	24,00	128,81-264,38	
3. Compresión Perpendicular	kg/cm ²								13,28
3.1 ELP		32,71	±2,71	23,46	17,95	20,67	28,00	20,02-48,22	
4. Dureza	kg/cm ²								13,33
4.1 Extremos		285,11	±13,87	14,18	11,93	12,30	17,00	213,14-372,78	
4.2 Lados		153,80	±8,00	21,27	13,28	14,78	20,00	113,38-211,33	
5. Extracción de Clavos	kg								12,86
5.1 Extremos		51,51	±3,89	22,22	21,88	21,94	-	26,98-74,94	
5.2 Lados		36,75	±4,83	36,00	38,15	36,82	-	23,71-72,22	
6. Cizallamiento	kg/cm ²	55,50	±3,06	32,53	21,62	22,52	14,00	28,19-83,76	12,98
7. Clivaje	kg/cm ²	27,19	±1,48	26,66	20,80	21,09	-	9,72-40,70	12,20
8. Tensión Perpendicular	kg/cm ²	21,09	±1,57	20,23	29,38	22,84	25,00	9,89-33,63	11,46
9. Tenacidad	kg·m	3,41	±0,38	173,59	89,83	94,13	34,00	0,59-1,10	14,45

Cuadro 19 Prueba de correlación del peso específico con las propiedades mecánicas de la madera de Marupá en estudio

Propiedad	Contenido de Humedad (%)	Variable Independiente	r^2	Ecuación Lineal	r^2	Ecuación cuadrática
1. Flexión Estática	14,15	G _{14,15%}				
1.1 ELP			0,09	$y = 85,00 + 691,00 x$	0,19	$y = -3223,00 + 20257,00x - 28818,00x^2$
1.2 MOE			0,16	$y = 39,50 + 162,00 x$	0,19	$y = -286,60 + 2091,00x - 2840,00x^2$
1.3 MOR			0,09	$y = 12,00 + 1197,00 x$	0,21	$y = -5149,00 - 37529,00x + 53559,00x^2$
2. Compresión Paralela	13,90	G _{13,90%}				
2.1 ELP			0,08	$y = 34,00 + 472,00 x$	0,09	$y = -378,70 + 2875,00x - 3485,00x^2$
2.2 RM			0,25	$y = -7,60 + 810,00 x$	0,26	$y = -566,30 + 3714,00x - 4212,00x^2$
3. Compresión Perpendicular	13,28	G _{13,28%}				
3.1 ELP			0,25	$y = -27,20 + 172,00x$	0,26	$y = 227,70 - 1229,00x + 2177,00x^2$
4. Dureza	13,33	G _{13,33%}				
4.1 Extremos			0,39	$y = 85,40 + 587,00 x$	0,55	$y = -1008,00 + 6412,00x - 7659,00x^2$
4.2 Lados			0,32	$y = 18,80 + 400,00 x$	0,44	$y = -636,70 + 4211,00x - 5032,00x^2$

G = Peso específico

Comparativamente, los resultados de las propiedades mecánicas de la plantación son menores que la del bosque natural (cuadro 20 y figura 15), destacando la gran diferencia en su comportamiento en tenacidad que es tres veces menor y presenta fallas en quebradura que indican que es una madera quebradiza e inapropiada para uso estructural. La diferencia entre la madera de plantación y bosque natural puede explicarse porque la especie aun no ha alcanzado su madurez, por ello es conveniente y necesario hacer determinaciones a nivel densitométrico para cuantificar la presencia de madera juvenil.

Cuadro 20 Comparación de las propiedades mecánicas del la madera en estudio con Bosque Natural

<i>Propiedad</i>	<i>Unidades</i>	<i>Especie en estudio (A)</i>	<i>Bosque Natural (B)</i>
1. Flexión Estática	kg/cm ²		
1.1 MOR		414,13	534,00
1.2 MOE x 10 ³		76,15	85,00
1.3 ELP		323,21	337,00
2. Compresión Paralela	kg/cm ²		
2.1 RM		305,47	312,00
3. Compresión Perpendicular	kg/cm ²		
3.1 ELP		34,92	41,00
4. Dureza	kg/cm ²		
4.1 Extremos		309,99	328,00
4.2 Lados		166,33	206,00
5. Cizallamiento	kg/cm ²	56,59	70,00
6. Tenacidad	kg-m	0,41*	1,39

(A) Plantación en estudio (Contenido de Humedad ajustado al 12%)

(B) JUNAC (1981) - Bosque Natural (Contenido de Humedad ajustado al 12%)

(*) Contenido de Humedad al 14,5%

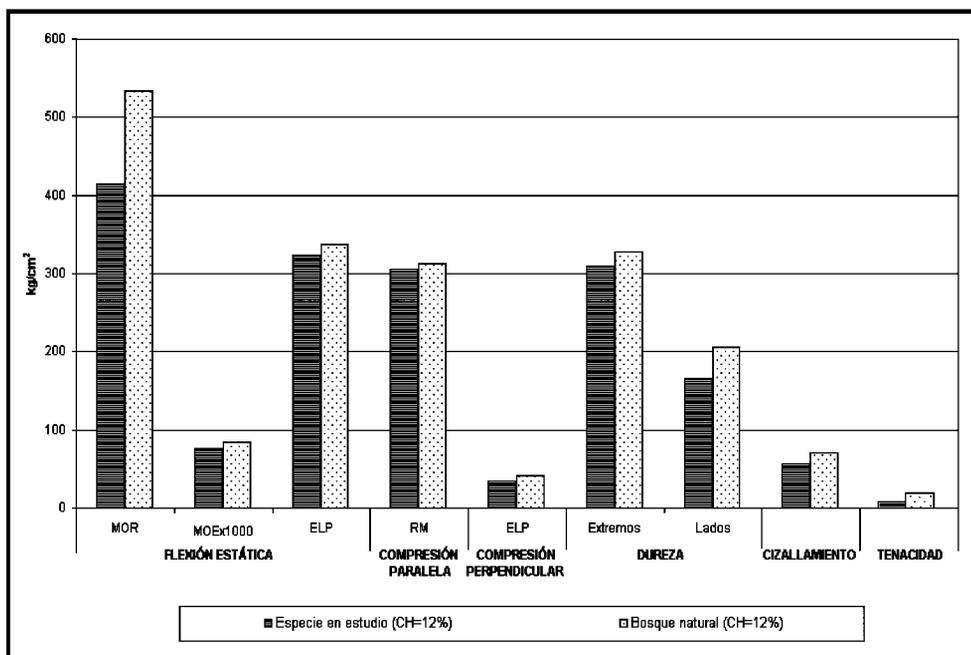


Figura 15 Comparaciones de las propiedades mecánicas de la madera de Marupá con madera de bosque natural

4.3 USOS

En consideración a los resultados obtenidos y su comparación con especies de similar densidad y de uso conocido, (cuadros 21, 22 y figuras 16, 17) los probables usos para el Marupá proveniente de las plantaciones Alexander Von Humboldt, son en cajonería liviana, carpintería (persianas, zócalos, ficheros, paneles de muebles interiores), revestimiento interno, encofrados, juguetería, tablero de partículas entre otros.

Esta especie satisface la mayoría de los requisitos para cajonería liviana y obras de interiores, propuestos por Aróstegui (1970) como son: madera de densidad básica entre 0,30 a 0,60, fácil aserrío, exenta de olores y secreciones, buen comportamiento a los clavos, buen comportamiento al secado (relación T/R igual o menor a 2,0), contracción volumétrica baja (menor al 12%), buena apariencia, textura media a fina, de acabado regular a bueno.

Cuadro 21 Comparación de la Propiedades Físico-Mecánicas con cuatro especies provenientes de Bosque Natural

Propiedades	Unidades	Especie				
		Simarouba <i>amara</i> ¹	Ceiba <i>pentandra</i> ²	Chorisia <i>insignis</i> ²	Ochroma <i>pyramidale</i> ²	Schizolobium <i>amazonicum</i> ³
I. PROPIEDADES FÍSICAS						
1. Densidad	g/cm ³					
1.1 Anhidra		0,35	0,29	0,29	0,21	0,25
1.2 Básica		0,33	0,26	0,27	0,19	0,24
2. Contracción						
2.1 Radial	%	1,58	3,10	3,60	3,20	2,40
2.2 Tangencial		4,58	5,50	5,10	4,70	6,10
3. Relación T/R		2,90	1,77	1,42	1,47	2,54
II. PROPIEDADES MECÁNICAS ⁴						
1. Flexión estática	kg/cm ²					
1.1 ELP		323,21	224,85	221,10	165,20	206,10
1.2 MOR		414,13	341,14	372,90	312,90	326,70
1.3 MOE x10 ³		76,15	48,73	56,41	59,91	64,90
2. Compresión paralela	kg/cm ²					
2.1 RM		267,84	162,90	234,60	150,90	210,18
3. Compresión perpendicular	kg/cm ²					
3.1 ELP		32,71	19,40	21,10	17,90	22,49
4. Cizallamiento	kg/cm ²	55,50	36,62	45,20	30,90	45,34
5. Dureza	kg/cm ²					
5.1 Lados		153,80	102,83	166,40	102,83	104,00
5.2 Extremos		285,11	183,43	124,20	86,10	292,50
6. Tenacidad	kg-m	0,41 ⁵	1,04 ⁶	-	0,98 ⁷	-

⁽¹⁾ Especie en estudio,

⁽²⁾ Izquierdo, C (1993)

⁽³⁾ Aróstegui (1970)

⁽⁴⁾ Contenido de humedad ajustado al 12%

⁽⁵⁾ Contenido de humedad al 14,5%

⁽⁶⁾ Contenido de humedad al 14,7%

⁽⁷⁾ Contenido de humedad al 14,5%

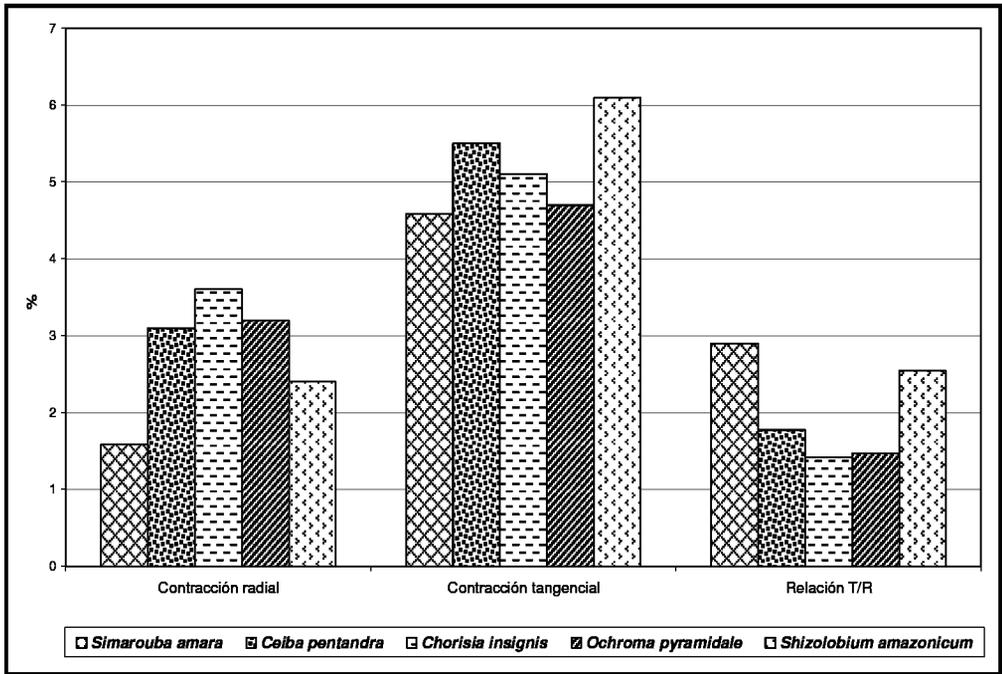


Figura 16 Comparación de la Contracción con otras especies de similar densidad

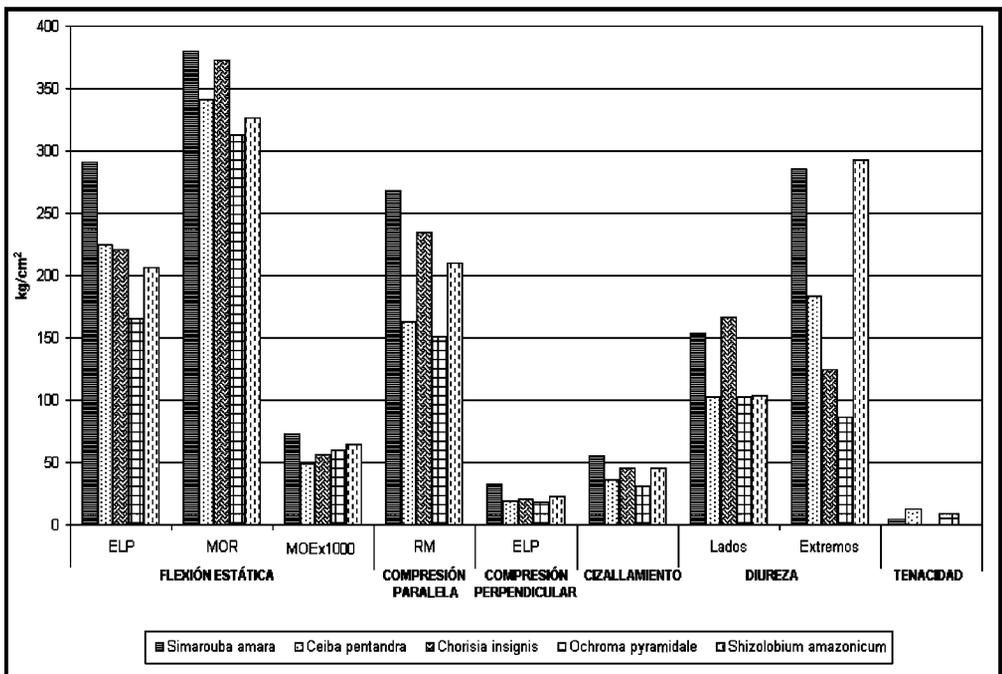


Figura 17 Comparación de las Propiedades Mecánicas con otras especies de similar densidad

Cuadro 22 Usos del Marupá en estudio y de otras especies de similar densidad

<i>Especie</i>	<i>Usos</i>					
	<i>Cajonería liviana</i>	<i>Carpintería en general</i>	<i>Revestimiento interno</i>	<i>Moldes o encofrados</i>	<i>Juguetería</i>	<i>Artesanía</i>
<i>Simarouba amara</i>	X	X	X	X	X	
<i>Ceiba pentandra</i>	X				X	X
<i>Chorisia insignis</i>	X					
<i>Ochroma pyramidale</i>					X	X
<i>Schizolobium amazonicum</i>		X				

5. CONCLUSIONES

1. La especie *Simarouba amara* Aubl. presenta a nivel longitudinal variaciones significativas en contracción radial, dureza, clivaje y tenacidad; y a nivel transversal en contracción longitudinal, flexión estática (ELP y MOR) y extracción de clavos (lados).
2. La madera estudiada presenta densidad básica, contracción volumétrica, cizallamiento y dureza bajas; mientras que en flexión estática: MOE y MOR, compresión paralela (RM) y compresión perpendicular presentan resistencias muy bajas.
3. Los coeficientes de variación total del estudio comparado con la clasificación propuesta por Wood Handbook, muestran valores altos en densidad básica, flexión estática (MOR), cizallamiento, tensión perpendicular y tenacidad.
4. Las ecuaciones de regresión obtenidas demuestran que el peso específico solo es un buen estimador para la dureza (lados).
5. La madera en estudio, en comparación con otras maderas provenientes de plantaciones de Jenaro Herrera de 16 y 27 años, presenta mayor densidad básica pero es más inestable y con mayor contracción volumétrica.
6. La aptitud de uso de la madera de esta especie son para cajonería liviana, carpintería: persianas, zócalos, ficheros, paneles de muebles interiores; revestimiento interno, encofrados, juguetería, tablero de partículas, entre otros.

6. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios anatómicos y químicos de esta especie con el fin de disponer de mayor información que permita explicar mejor su comportamiento.
2. Realizar estudios densitométricos que permita hacer evidente la magnitud de la presencia de madera juvenil, pues por los resultados mecánicos parece ser que la madera está próxima a alcanzar su madurez.
3. Complementar los estudios realizados con otras evaluaciones que permitan conocer su durabilidad natural, comportamiento al secado y preservación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo, M.; Kikata, Y. 1994. Atlas de maderas del Perú. Lima, PE, Publifor. 202 p.
2. Aróstegui, A. 1970. Descripción, propiedades físico mecánicas y usos de la madera del Perú. Lima, PE, UNALM. 76 p.
3. Aróstegui, A. 1974. Estudio tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa): Características tecnológicas y usos de la madera de 145 especies del país volumen 1. Lima, PE, UNALM. 483 p.
4. Aróstegui, A. 1982. Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. Lima, PE, Proyecto PNUD/FAO/PER/71/511. 57 p. (Documento de Trabajo N° 2)
5. Aróstegui, A.; Díaz, M. 1992. Propagación de especies forestales nativas promisorias en Jenaro Herrera. Iquitos, PE, IICA. 119 p.
6. Arroyo, J. 1983. Propiedades físico-mecánicas de la madera. Mérida, VE, Universidad de los Andes. 186 p.
7. ASTM (American Society for Testing and Materials). 2000. Standard test methods for small clear specimens of timber, Designation: D 143-94 (Reapproved 2000) – Primary methods. Philadelphia, US. 31 p.

8. ASTM (American Society for Testing and Materials). 2004. Standard test methods for small clear specimens of timber, Designation: D 5536-94 (Reapproved 2004) - Primary methods. Philadelphia, US. 9 p.
9. Chadwick, O. 1985. Silviculture and juvenile wood. In a technical workshop: juvenile-wood-what does it mean to forest management and forest products?. Madison, US. p 29-34.
10. Chambergo, A. 1984. Influencia de los elementos xilémáticos en las propiedades físico-mecánicas de 45 maderas del Perú. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 110 p.
11. Condori, C. 2007. Propiedades mecánicas de *Cedrelinga catenaeformis* Ducke (Tornillo) proveniente de dos tipos de plantaciones y diferentes edades del Centro de Investigación Jenaro Herrera-Loreto. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 90 p.
12. Dávalos, R.; Barcenás, G. 1999. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición seca. (en línea). Madera y Bosques. 9(1). Consultado 15 feb. 2009. Disponible en <http://www.inecol.edu.mx/myb/resúmenes/5.1/pdf/Davalos%20y%20Barcenás%201999.PDF>.
13. Encarnación, F. 1983. Nomenclatura de las especies forestales comunes en el Perú. Lima, PE, Proyecto PNUD/FAO/PER/81/002. 149 p. (Documento de Trabajo N° 7)
14. Flores, Y.; Angulo, W.; Amasifuen, T. 2007. Informe técnico-científico de la evaluación de las plantaciones seleccionadas según el sistema de plantaciones empleado, tipo de suelo y topografía. Pucallpa, PE, s.e. 15 p.

15. Haygreen, J.; Bowyer, J. 1982. Forest products and wood science. An introduction. Iowa, US, The Iowa State University Press. 495 p.

16. Herrera, Z. 1987. Interrelación entre la densidad básica y las características anatómicas del Tornillo (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke) y Pumaquiro (*Aspidosperma macrocarpon* Mart). Tesis (Mag Sc). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 217 p.

17. Izquierdo, C. 1993. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de nueve Bombacaceae de la Unidad Experimental – Dantas. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 115 p.

18. NTP (Norma Técnica Peruana). 2004. Maderas. Método de determinación de contracción. NTP 251,012.

19. JUNAC (Junta Nacional del Acuerdo de Cartagena). 1981. Estudio integral de la madera para la construcción: tablas de propiedades físicas y mecánicas de la madera de 20 especies del Perú. 1 ed. Lima, PE. 53 p.

20. León, W.; Espinoza, N. 2001. Anatomía de la madera. Mérida, VE, Universidad de los Andes. 397 p.

21. Maeglin, R. 1987. Juvenile wood, tension wood, and growth stress effects on processing applying hardwoods. In applying the latest research to hardwood problems: proceedings of the 15th annual hardwood symposium of the hardwood research council. Memphis. US. p 100-108.

22. Marzocca, A. 1985. Nociones básicas de taxonomía vegetal. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, CR, IICA. 272 p. (Libros y materiales educativos N° 62)
23. Mckimmy, M. 1985. The effect of forest practise on wood properties. In a technical workshop: juvenile wood-what does it mean to forest management and forest management and forest products?. Madison, US. p 35-47.
24. Panshin, A.; De Zeeuw, C. 1980. Textbook of wood technology. 4 ed. New York, US, McGraw-Hill. 722 p.
25. Patiño, F. 2002. Propiedades físico-mecánicas de *Simarouba amara* Aubl (Marupa) proveniente de plantaciones de diferentes edades. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 46 p.
26. Raintree (2002). Herbal secrets of the rainforest. (en línea). Consultado 3 feb. 2009. Disponible en [http:// www.rain-tree.com](http://www.rain-tree.com)
27. Reynel, C.; Pennington, R.; Pennington, T.; Flores, C.; Daza, A. 2003. Árboles útiles de la amazonía peruana. Lima, PE, Darwin Initiative, ICRAF. 509 p.
28. Silva, Z. 2005. Características anatómicas y propiedades físicas de *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, (Tornillo) de diferentes edades, provenientes de plantaciones de Jenaro Herrera. Tesis (Ing, Forestal). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 105 p.
29. Soudre, K. 2004. Influencia de cuatro factores de crecimiento en la variación de las propiedades físicas en la madera de *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Tornillo), de las

plantaciones establecidas en el bosque Alexander Von Humboldt, Ucayali. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 110 p.

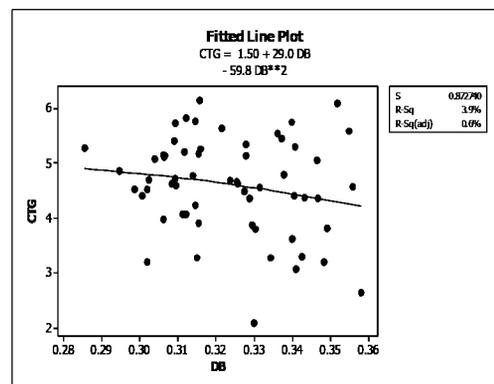
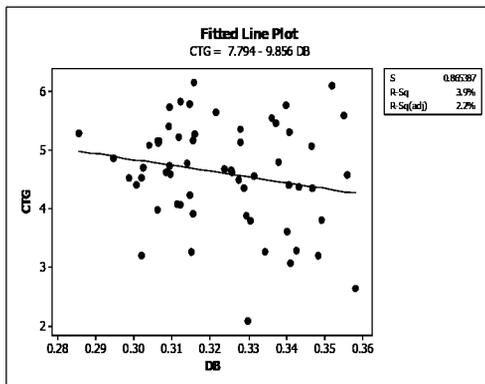
30. U.S. Department of Agriculture. 1974. Wood handbook. Agriculture handbook. Washington, US. 454 p.

ANEXO 1

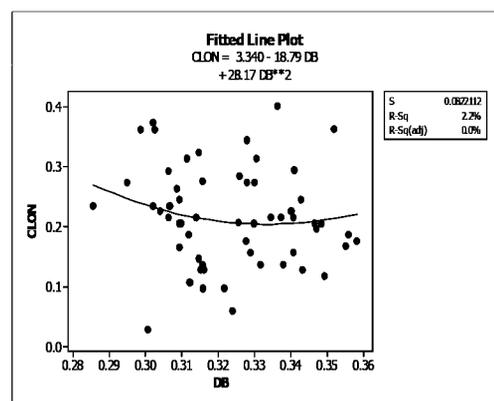
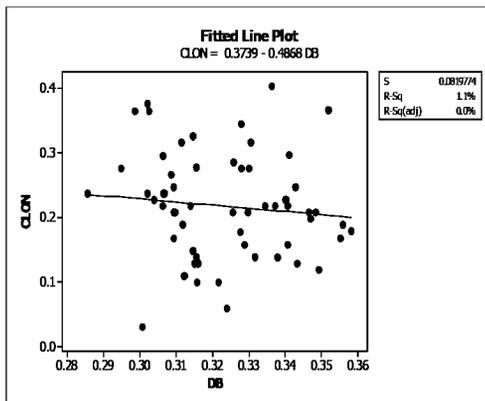
ANÁLISIS DE REGRESIÓN

PROPIEDADES FÍSICAS

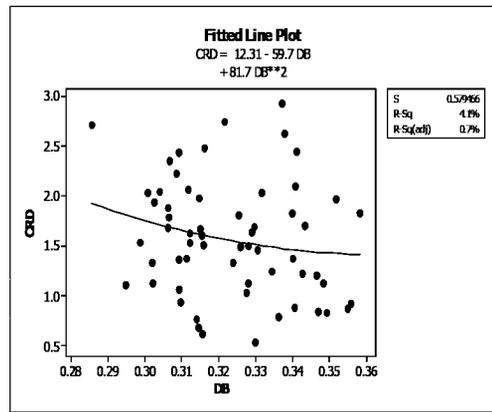
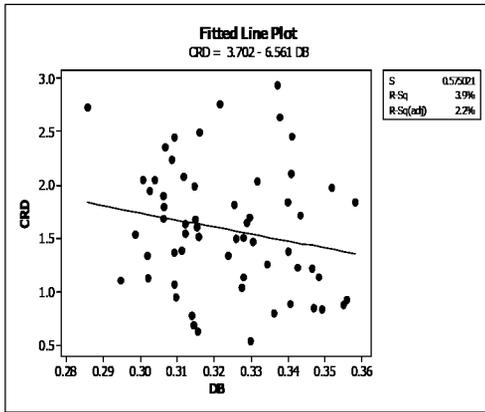
1. Regression Analysis: Contracción tangencial versus Densidad básica



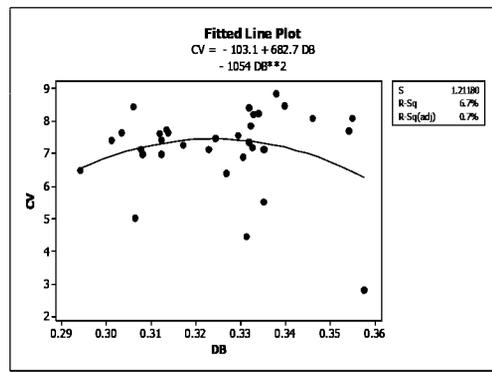
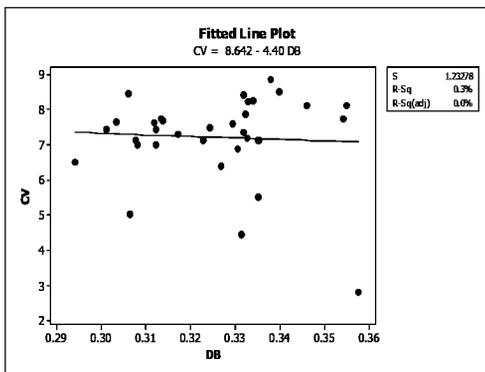
2. Regression Analysis: Contracción longitudinal versus Densidad básica



3. Regression Analysis: Contracción radial versus Densidad básica



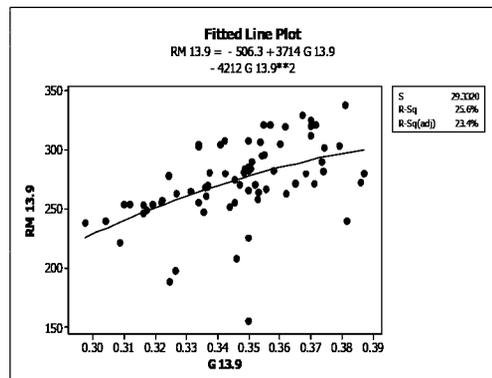
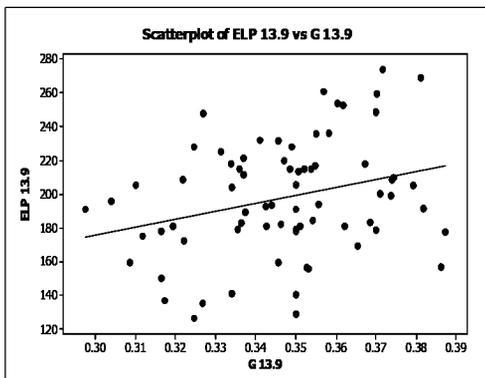
4. Regression Analysis: Contracción volumétrica versus Densidad básica



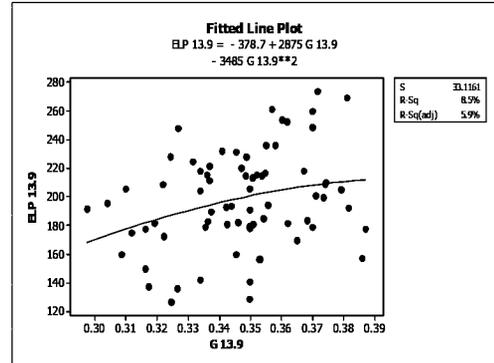
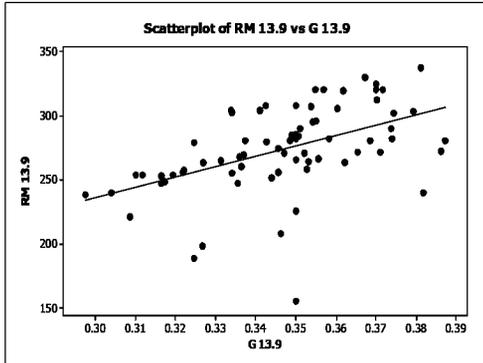
PROPIEDADES MECANICAS

1. Regression Analysis: Compresión Paralela

1.1 Regression Analysis: ELP versus peso específico

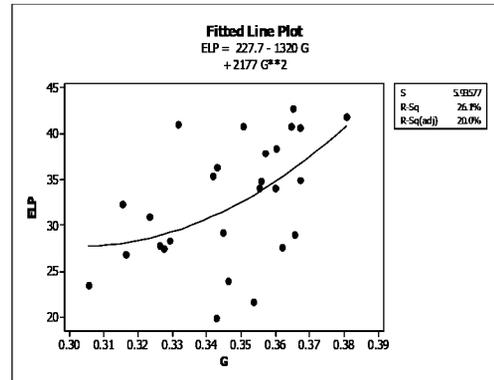
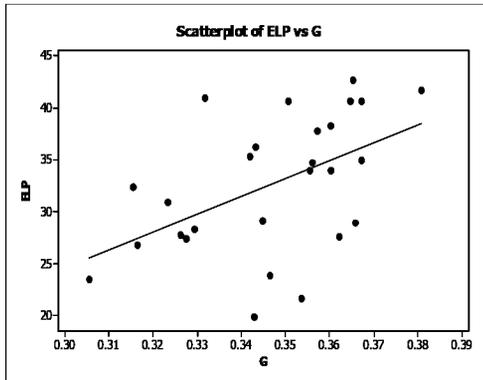


1.2 Regression Analysis: RM versus peso específico 13.9



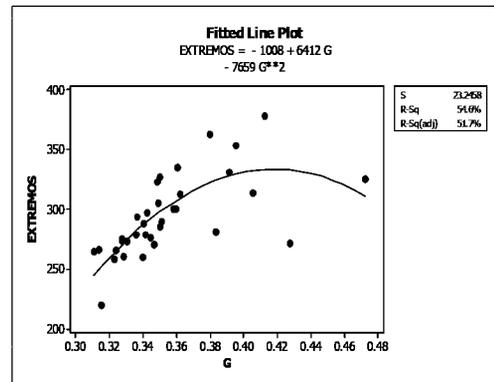
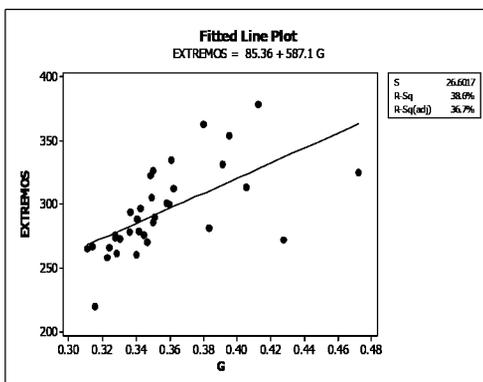
2. Regression Analysis: Compresión Perpendicular

2.1 Regression Analysis: Compresión perpendicular ELP vs peso específico

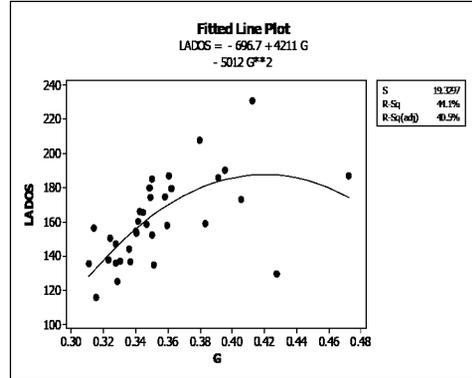
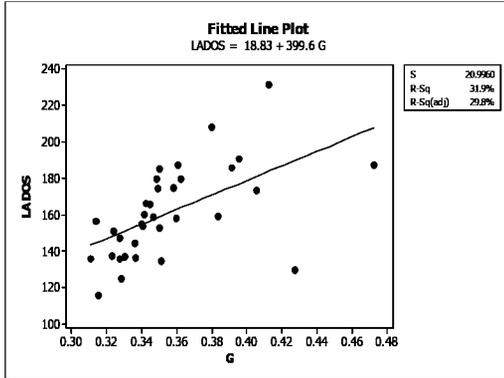


3. Regression Analysis: Dureza

3.1 Regression Analysis: Extremos versus peso específico

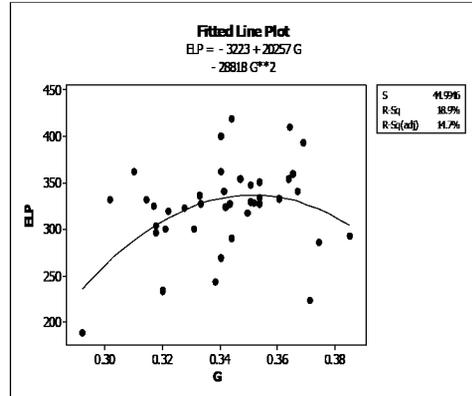
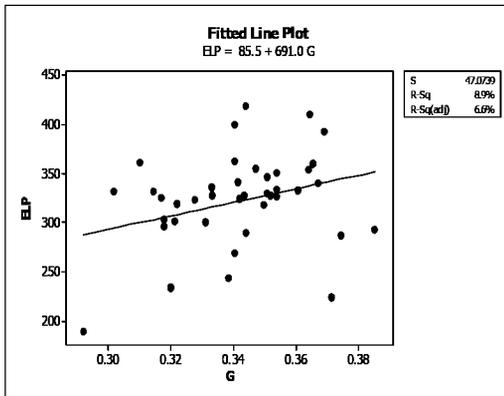


3.2 Regression Analysis: lados versus peso específico

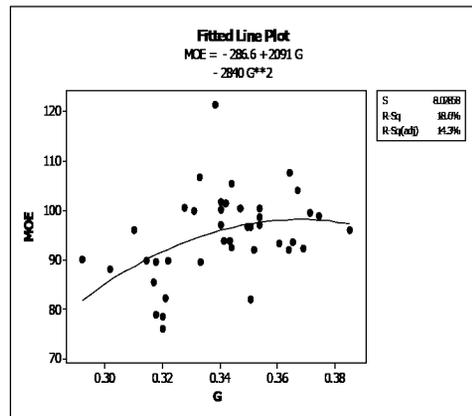
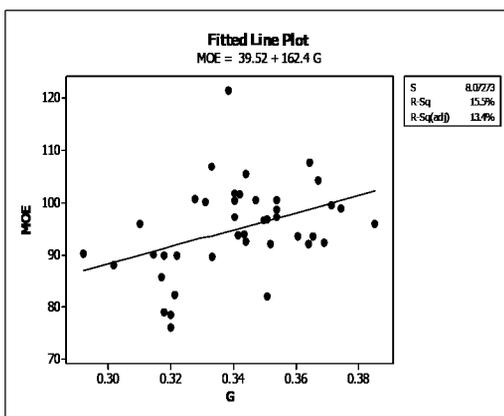


4. Regression Analysis: Flexión estática

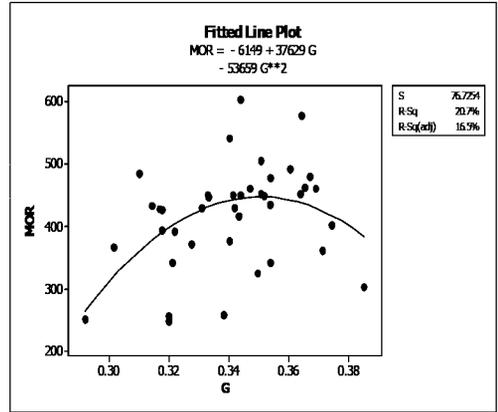
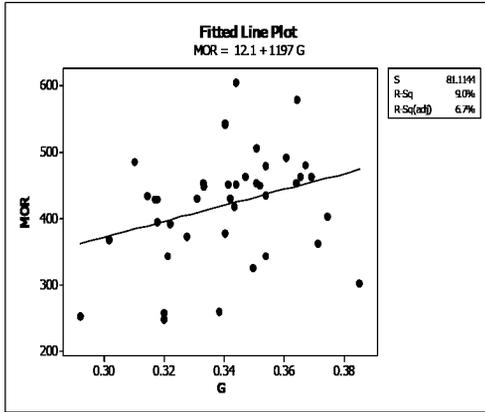
4.1 Regression Analysis: ELP versus peso específico



4.2 Regression Analysis: MOE versus Peso específico



4.3 Regression Analysis: MOR versus Peso específico



ANEXO 2

RANGOS DE CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS

Cuadro 23 Rangos de clasificación de las maderas según sus propiedades físicas

Propiedad	Unidad	Muy Baja	Baja	Medio	Alta	Muy Alta
1. Densidad básica		MENOR DE 0,3	0,3-0,4	0,41-0,6	0,61-0,75	MAYOR DE 0,75
2. Contracción volumétrica	%	MENOR DE 7	7-10	10,1-13	13,1-15	MAYOR DE 15

Fuente: AROSTEGUI (1982)

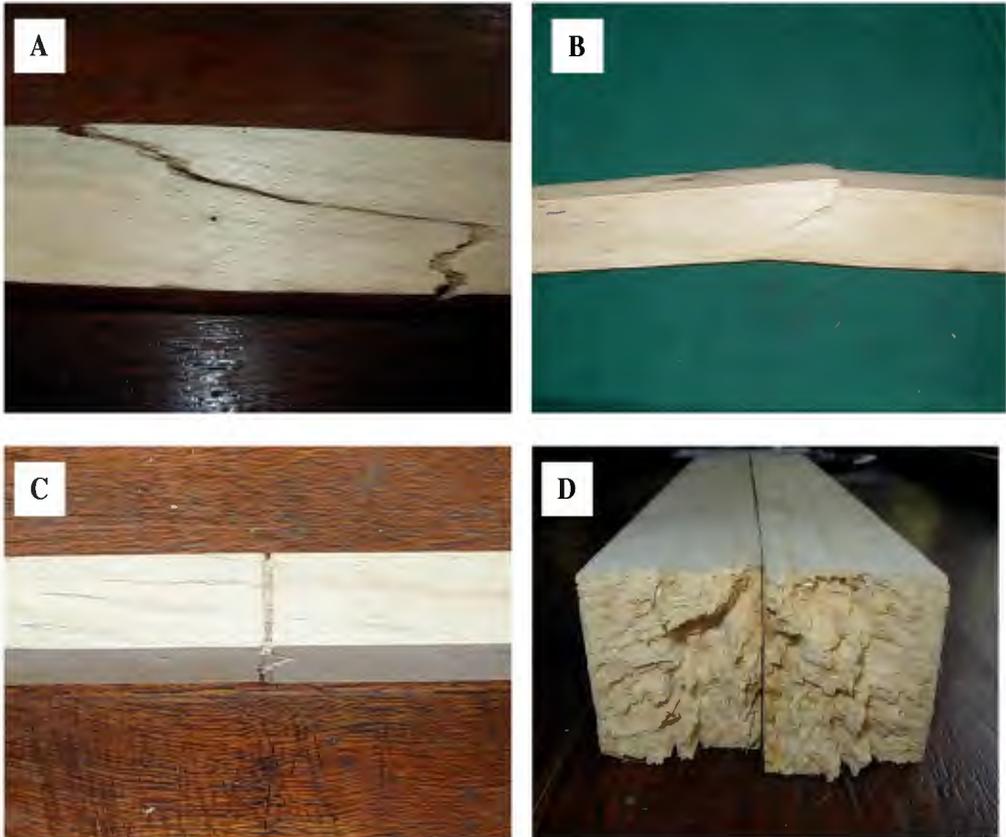
Cuadro 24 Rangos de clasificación de las maderas mexicanas en condición seca, según sus propiedades mecánicas

Propiedades	Unidades	Clasificación				
		Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
1. Flexión estática	kg/cm ²					
1.1 MOR		< 550	551-800	801-1000	1001-1300	> 1300
1.2 MOE x 1000		< 75	76 - 105	106-125	126-150	> 150
2. Compresión paralela	kg/cm ²					
2.1 RM		< 325	326-450	451-530	531-650	> 650
3. Compresión perpendicular	kg/cm ²					
3.1 ELP		< 35	36-65	66-85	86-125	> 25
4. Cizallamiento	kg	< 50	51-90	91-120	121-165	> 165
5. Dureza	kg/cm ²					
5.1 Lados		< 150	151-350	351-550	551-900	> 900
5.2 Extremos		< 160	161-400	401-625	626-1050	> 1050

Fuente: Dávalos y Barcenás (1999)

ANEXO 3

ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA



A y B. Fallas por desviación del grano C y D. Fallas de tipo quebradura

ANEXO 4

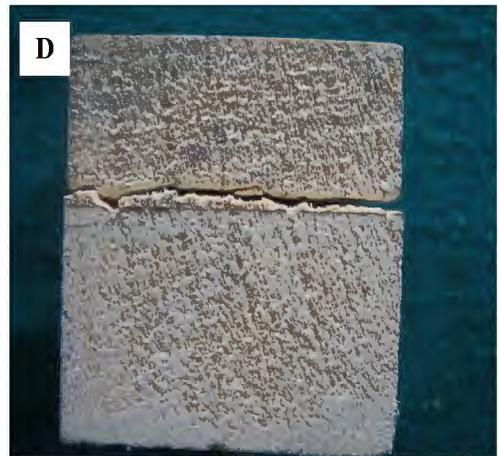
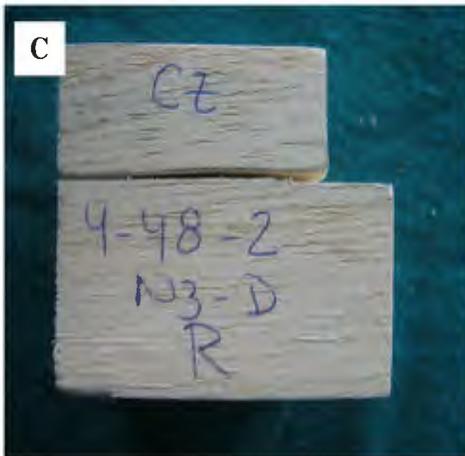
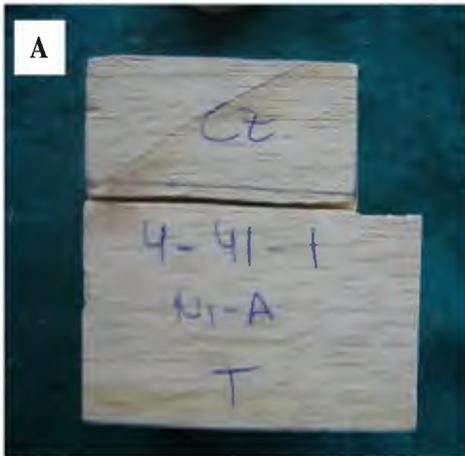
ENSAYO DE COMPRESION PARALELA



A. Falla de ruptura casi horizontal B. Falla asociada con un exceso de contenido de humedad en los bordes de la probeta

ANEXO 5

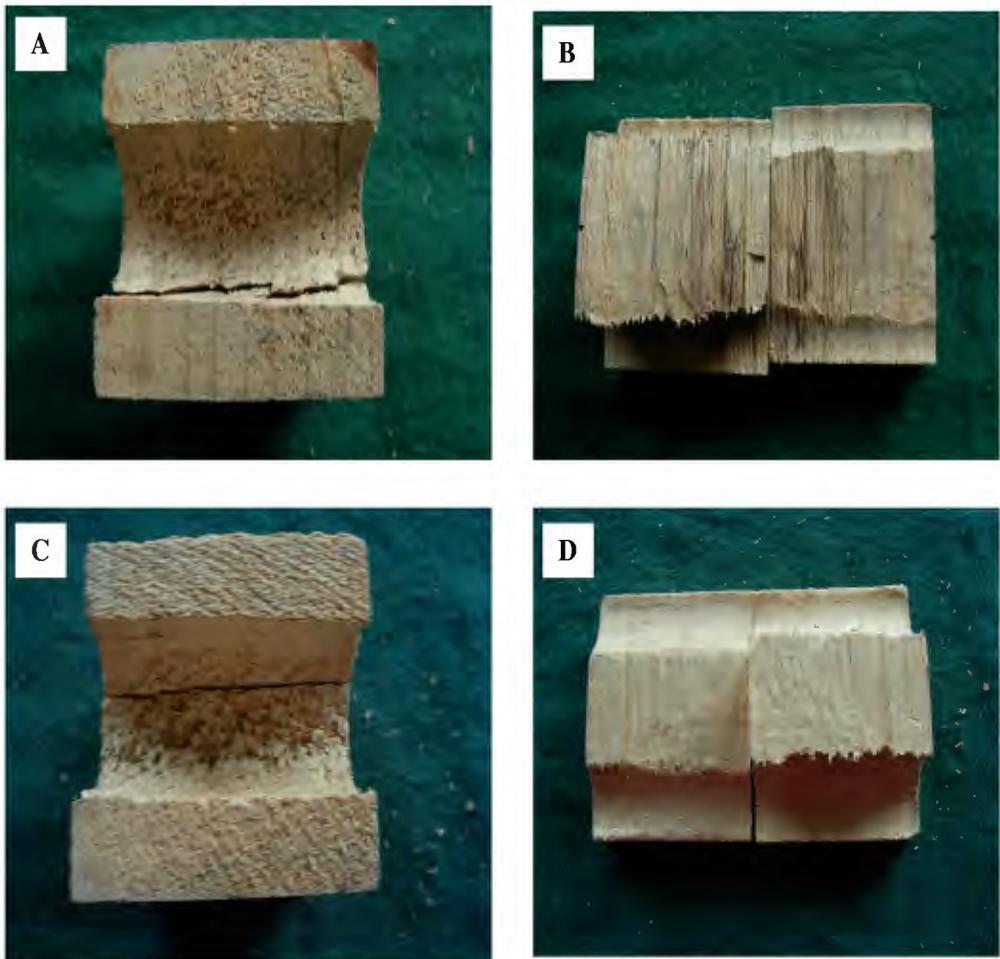
ENSAYO DE CIZALLAMIENTO



A y B. Fallas en probetas de sección tangencial C y D. Fallas en probetas de sección radial, observándose grano recto.

ANEXO 6

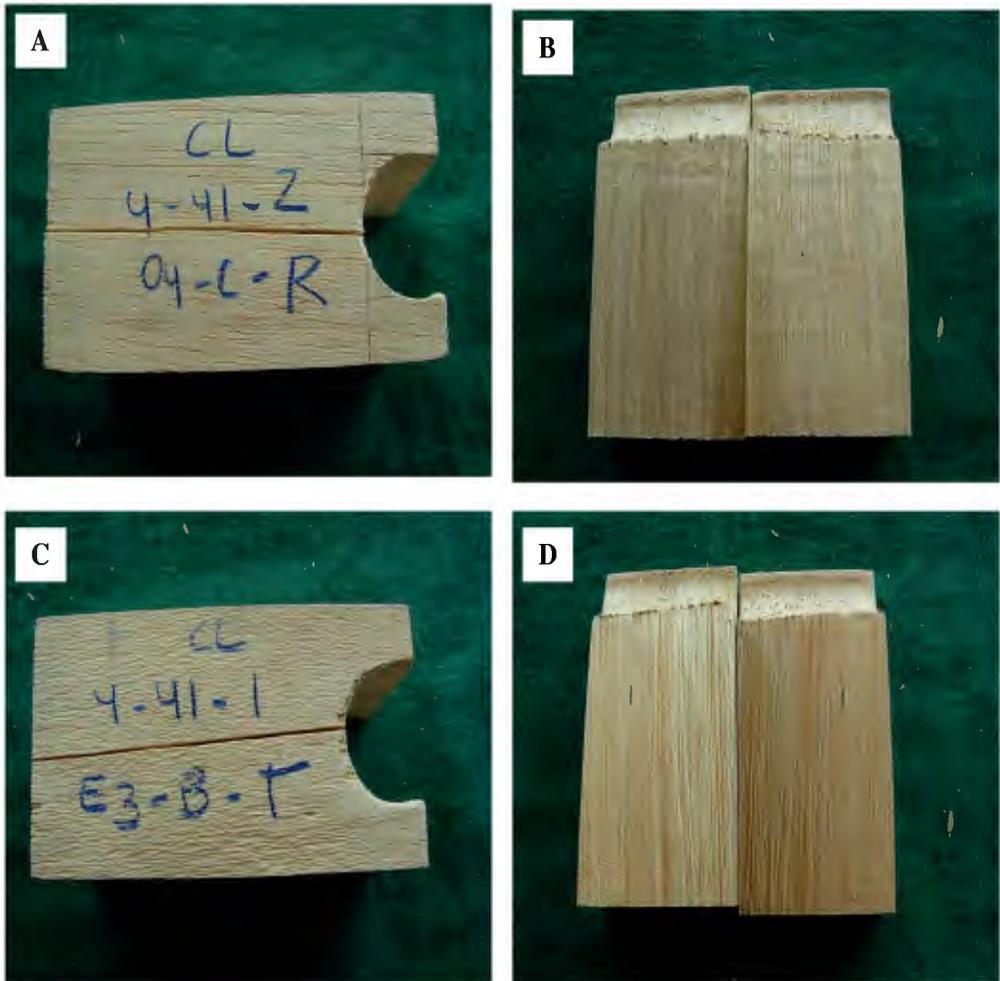
ENSAYO DE TENSIÓN PERPENDICULAR



A y B. Probeta ensayada en sección radial C y D. Probeta ensayada en sección tangencial

ANEXO 7

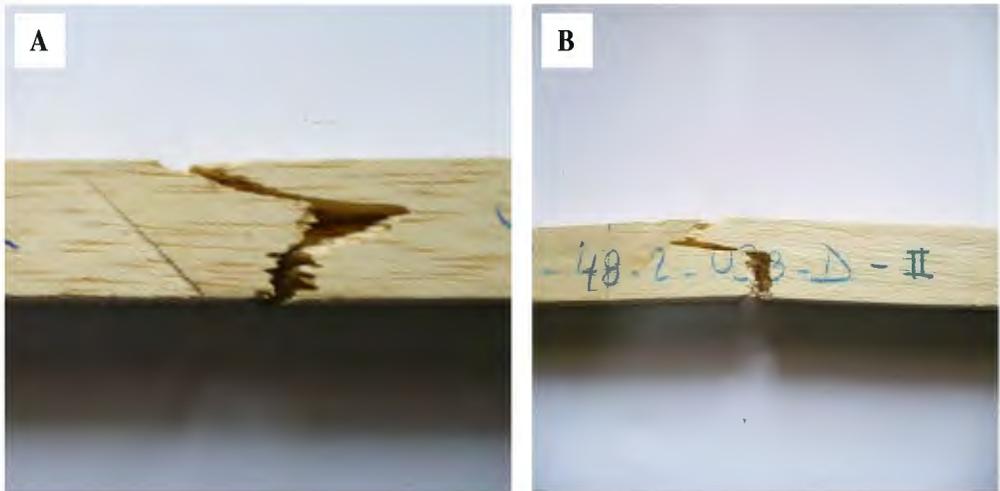
ENSAYO DE CLIVAJE



A y B. Probeta ensayada en sección radial C y D. Probeta ensayada en sección tangencial

ANEXO 8

ENSAYO DE TENACIDAD



A y B. Fallas de tipo quebradura