



SUBPROYECTO:
"OPCIONES PARA LA PROMOCIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA DE MADERAS
PROCEDENTES DE PLANTACIONES FORESTALES CON ESPECIES NATIVAS DE LA REGIÓN
AMAZÓNICA"

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**"PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE *Simarouba amara* Aubl.
(MARUPA) PROVENIENTE DE LAS PLANTACIONES DE LA
ESTACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT"**

**Tesis para optar el título de ingeniero forestal
ELENA VILCAYAURI VILLA**

Lima-Perú

2009

DEDICATORIA

A Dios y a mis padres porque siempre
me apoyaron y confiaron en mí.

AGRADECIMIENTOS

A mi patrocinador el Ing, Moisés Acevedo Mallque, por brindarme sus conocimientos, su apoyo y sobretodo su amistad.

Al Ing, Jaime Porras Cerrón por su paciencia y su ayuda en el análisis estadístico.

Al Ing. Neptalí Bustamante Guillen por su apoyo y dedicación en la elaboración de las probetas para realizar esta investigación.

Al INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria) que me brindó la oportunidad y las facilidades para llevar a cabo ésta investigación.

Al Ing. Auberto Ricse por su valioso apoyo en la visita al Bosque Nacional Alexander Von Humboldt.

A mis amigos Liana Torres y José Pantigoso por su apoyo y su amistad en todo momento.

RESUMEN

En el presente trabajo se evalúan las propiedades físico- mecánicas 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. Finalmente se compararon los resultados obtenidos con otros autores y otras especies para determinar las aptitudes de uso de la especie en estudio. Estas aptitudes son: cajonería liviana, carpintería (persianas, zócalos, ficheros, paneles de muebles interiores), revestimiento interno, encofrados, juguetería, tablero de partículas, entre otros.

INDICE

<i>DEDICATORIA</i>	II
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	III
<i>RESUMEN</i>	IV
<i>INDICE</i>	V
<i>Lista de cuadros</i>	VI
<i>Lista de figuras</i>	VII
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1 Características de la Especie	3
2.1.1 Clasificación taxonomica	3
2.1.2 Distribución y Habitat	4
2.1.3 Descripción del árbol	4
2.1.4 Aspectos Silviculturales	7
2.1.5 Descripción de la Madera.....	8
2.2 Influencia de la Anatomía sobre las Propiedades de la Madera.....	13
2.3 Características comunes en árboles provenientes de Plantación	15
2.4 Variabilidad de la Madera.....	19
2.4.1 Variabilidad entre árboles de una misma especie	19
2.4.2 Variabilidad dentro de los árboles de una misma especie.....	22
3. MATERIALES Y METODOS	28
3.1 Lugar de Ejecución	28
3.2 Materiales y Equipos.....	28
3.2.1 Materiales	28
3.2.2 Equipos y Accesorios.....	29
3.3 Metodología	30
3.3.1 Ubicación de la Zona en Estudio	31
3.3.2 Selección y Colección de muestras	32
3.3.3 Preparación de las Viguetas	33
3.3.4 Selección de las Viguetas.....	33
3.3.5 Codificación de las Viguetas.....	34
3.3.6 Preparación de las probetas	34
3.3.7 Determinación de las Propiedades Físicas y Mecánicas	38
3.3.8 Procesamiento de datos y Análisis de resultados.....	38
4. RESULTADOS Y DISCUSION	41
4.1 Propiedades Físicas	41
4.2 Propiedades Mecánicas	53
4.3 Usos.....	73
5. CONCLUSIONES	78
6. RECOMENDACIONES	80
7. BIBLIOGRAFIA	81
9. ANEXOS	85

Lista de cuadros

CUADRO 1: Propiedades Físicas de <i>Simarouba amara</i> Aubl.	171
CUADRO 2: Propiedades Mecánicas de <i>Simarouba amara</i> Aubl.	172
CUADRO 3: Características de la plantación	29
CUADRO 4: Características de los árboles y las trozas seleccionadas para el estudio de las propiedades físico- mecánicas del Marupá	33
CUADRO 5: Distribución del número de probetas a nivel longitudinal para los ensayos Físico-Mecánicos de un árbol.....	35
CUADRO 6: Distribución del número de probetas a nivel transversal para los ensayos Físico-Mecánicos de cinco árboles.....	36
CUADRO 7: Propiedades Físicas a nivel longitudinal	402
CUADRO 8: Análisis estadístico a nivel longitudinal.....	44
CUADRO 9: Propiedades Físicas a nivel transversal	46
CUADRO 10: Análisis Estadístico de las Propiedades Físicas a nivel transversal ...	48
CUADRO 11: Propiedades Físicas del Marupá.....	48
CUADRO 12: Prueba de Correlación de las Propiedades Físicas a nivel de especie	47
CUADRO 13: Comparación de las Propiedades Físicas con Bosque Natural y Plantaciones.....	47
CUADRO 14: Propiedades Mecánicas a nivel longitudinal	54
CUADRO 15: Análisis Estadístico a nivel longitudinal	53
CUADRO 16: Propiedades Mecánicas a nivel transversal	64
CUADRO 17: Análisis Estadístico a nivel transversal	67
CUADRO 18: Propiedades Mecánicas del Marupá.....	68
CUADRO 19: Análisis de regresión para las Propiedades Mecánicas	70
CUADRO 20: Comparación de las Propiedades Mecánicas del estudio con Bosque Natural.....	71
CUADRO 21: Comparación de la Propiedades Físico-Mecánicas con 4 especies provenientes de Bosque Natural.....	74
CUADRO 22: Usos del Marupá y de otras especies de similar densidad	77

Lista de figuras

FIGURA 1: Arbol de <i>Simarouba amara</i> Aubl.....	5
FIGURA 2: Hojas, Frutos y Semillas de <i>Simarouba amara</i> Aubl.....	6
FIGURA 3: Secciones microscópicas de <i>Simarouba amara</i> Aubl.....	9
FIGURA 4: Área experimental del Bosque Alexander Von Humboldt.....	32
FIGURA 5: Distribución de las probetas a nivel longitudinal.....	35
FIGURA 6: Distribución de las probetas a nivel transversal.....	35
FIGURA 7: Valores promedios de Densidad a nivel longitudinal.....	43
FIGURA 8: Valores promedios de Contracción a nivel longitudinal.....	44
FIGURA 9: Valores promedios de Densidad a nivel transversal.....	47
FIGURA 10: Valores promedios de Contracción a nivel transversal.....	47
FIGURA 11: Comparaciones de la Densidad con Bosque Natural y Plantaciones..	51
FIGURA 12: Comparaciones de la Contracción con Bosque Natural y Plantaciones	52
FIGURA 13: Valores promedios de las Propiedades Mecánicas a nivel longitudinal	52
FIGURA 14: Valores promedios de las Propiedades Mecánicas a nivel transversal	66
FIGURA 15: Comparación de las Propiedades Mecánicas con Bosque Natural.....	62
FIGURA 16: Comparación de la Contracción con otras especies.....	75
FIGURA 17: Comparación de las Propiedades Mecánicas con otras especies.....	76

1. INTRODUCCION

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. REVISION BIBLIOGRAFICA

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 : *Simarouba amara* 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, Craiba; 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 foliolos 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.

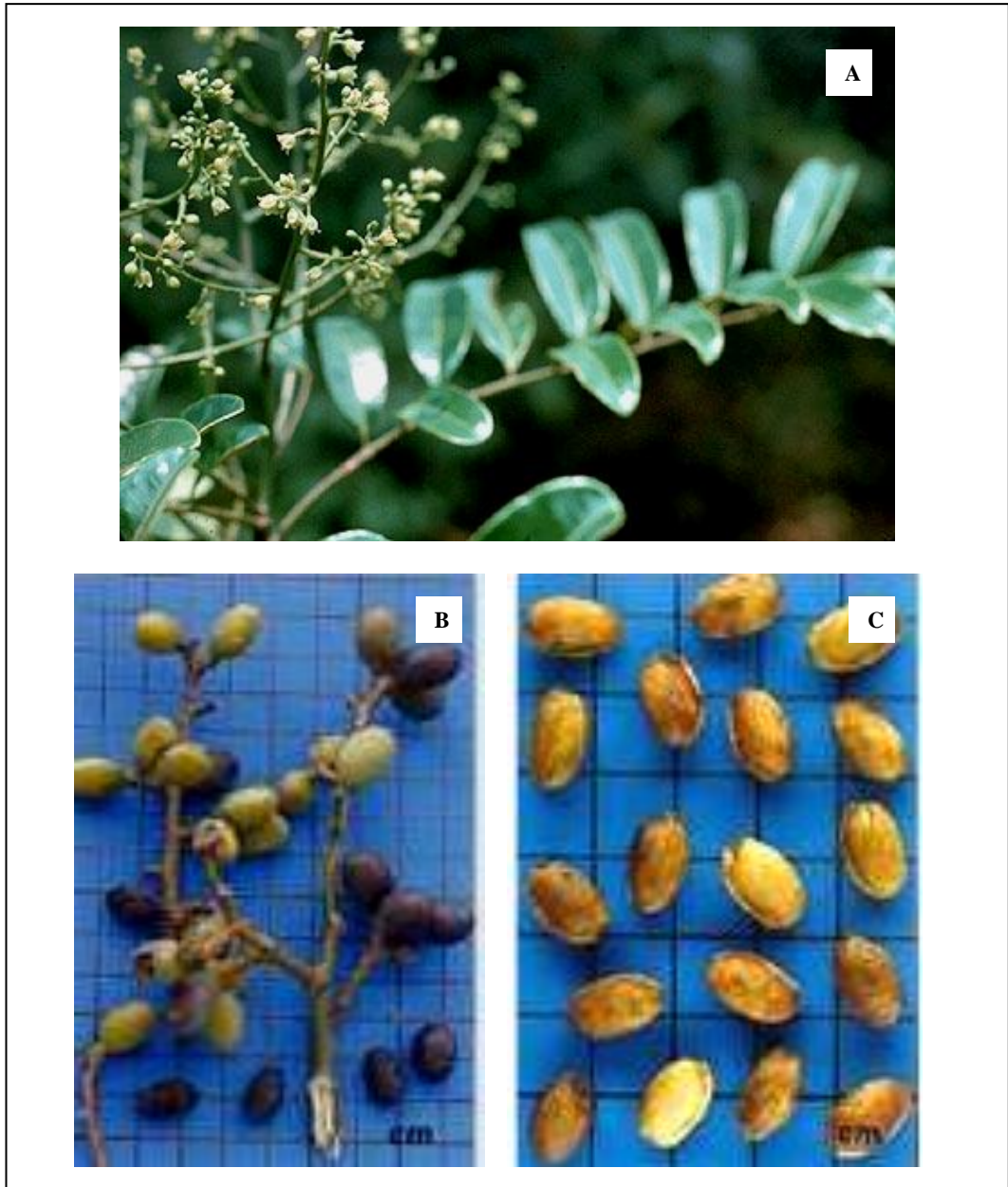


FIGURA 2: Muestra botánica de *Simarouba amara* Aubl. (A) Ramita terminal (B) Frutos (C) Semillas

Fuente: www.rain-tree.com

2.1.4 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 INIA (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.

2.1.5 DESCRIPCIÓN DE LA MADERA

CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

Aróstegui (1974) indica que el duramen recién cortado es de color crema, frecuentemente con un tinte amarillo o verduzco; cuando se seca se vuelve blancuzco o blanco amarillento. La albura no está 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 vetado 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 167 a 171µm y la longitud entre 269 y 499µm. Parénquima apotraqueal difuso en agregados y paratraqueal vasicéntrico, no estratificadas. Presencia de células cristalíferas septadas. Radios

heterogéneos tipo III, multiseriados, no estratificados. Altura entre 638 y 680 μ m. Presencia de gomas en células procumbentes. Fibras libriformes, no estratificadas. El diámetro total es 18 μ m, el grosor de pared celular 3 μ m y la longitud varía entre 484 y 830 μ m.

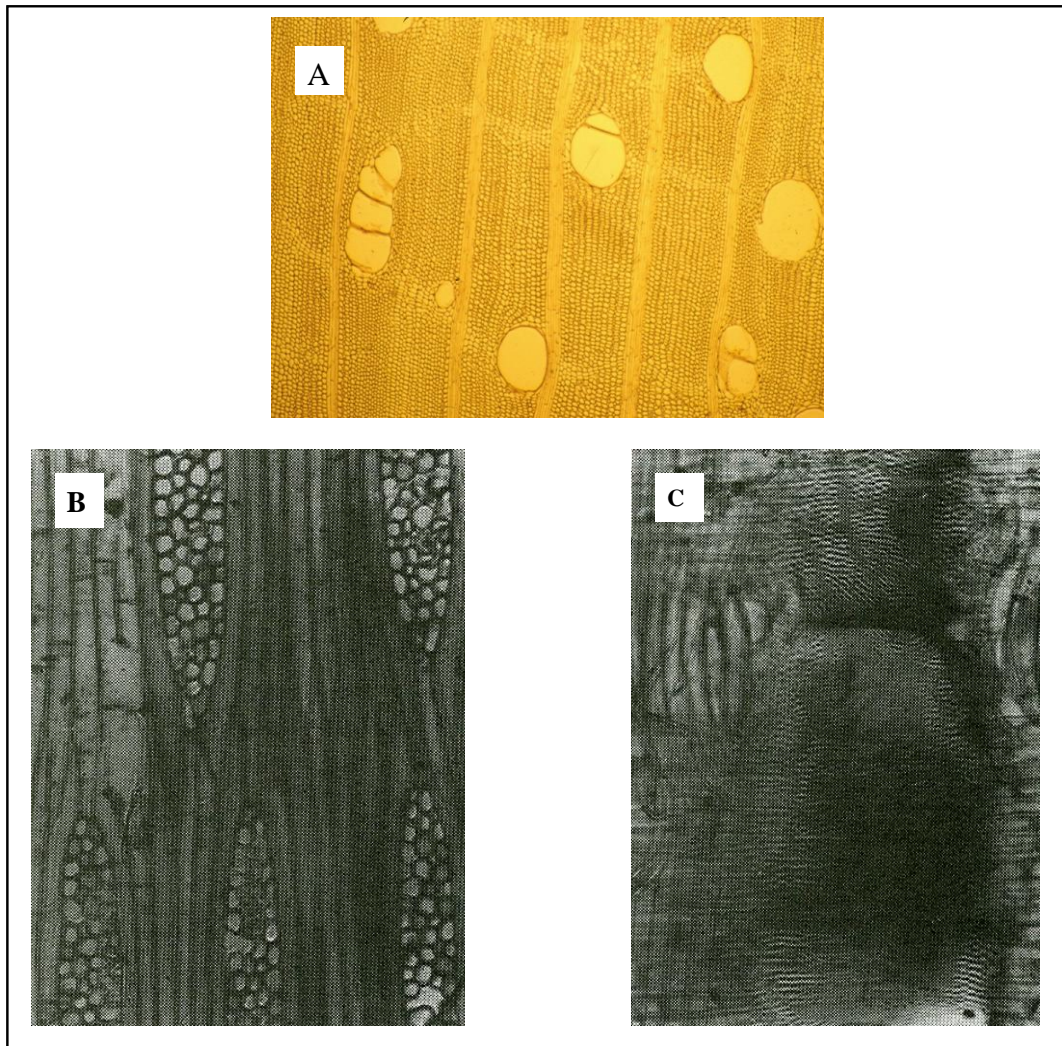


FIGURA 3: Secciones microscópicas de la madera de *Simarouba amara* Aubl. A: Sección transversal (40x). B: Sección tangencial (100x). C: Sección radial (100x)

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) (1974)** estudió las propiedades físicas y mecánicas con muestras provenientes de 10 árboles, en dos condiciones verde y seco 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 (lados) 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 fuertes.

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 mas delgada, el ángulo fibrilar es grande, la proporción de fibras es grande, la proporción de vasos es baja y el contenido de holocelulosa 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

tensiones están formadas en tres dimensiones como son longitudinales, radiales y tangenciales, pero las tensiones longitudinales son las más importantes en las maderas duras, debido a sus efectos en la torcedura, cuando la madera está en uso 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. **Mc Kimmy (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 éstos 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* (Marupa) 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 METODOS

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, de los árboles seleccionados y de las trozas para cada árbol, se muestran en el cuadro 3.

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

INFORMACIÓN DE LA PLANTACIÓN	
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
- Sierra radial fija
- Sierra radial portátil “Black & Decker”
- Sierra circular
- Garlopa
- Cepilladora
- Taladro
- Wincha de metal
- Escuadra
- Lupa 10x
- Lápices de cera
- Cuchilla

Laboratorio:

- Prensa universal y accesorios “Tinius Olsen”
- Probadora de tenacidad “Baldwin”
- Hornos eléctricos “Mettler” 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.

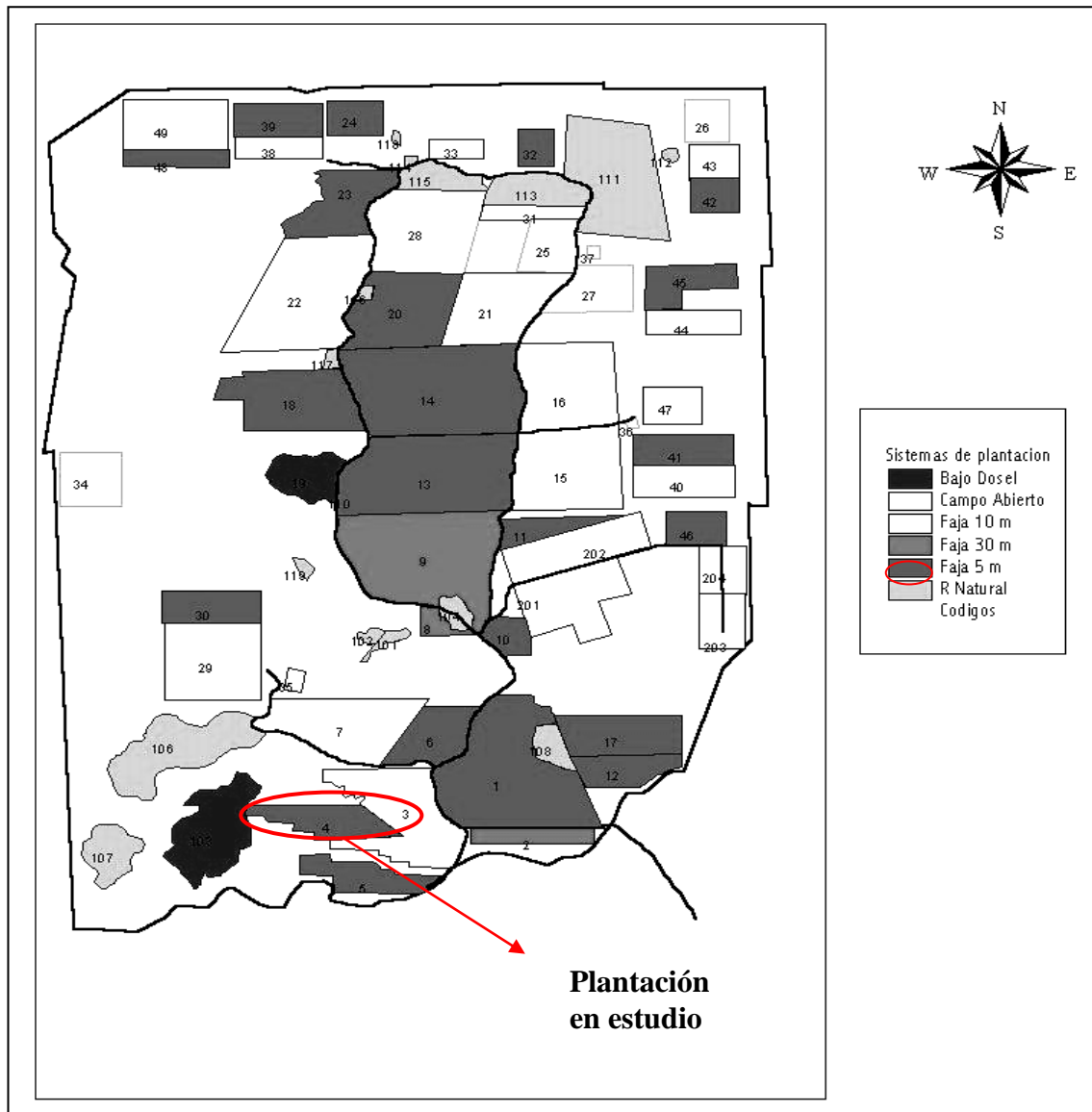


FIGURA 4: Área experimental del Bosque Alexander Von Humboldt

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

Dimensiones de los árboles				Dimensiones de las trozas			
N° árbol	Altura (m)		DAP (cm)	N° troza	Longitud (m)	Diámetro (cm)	
	Total	Comercial				Mayor	Menor
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 recibieron 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 tablonés de sección 5 pulgadas x ancho variable y 4 pies de longitud (B) Escuadrado de los tablonés 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”

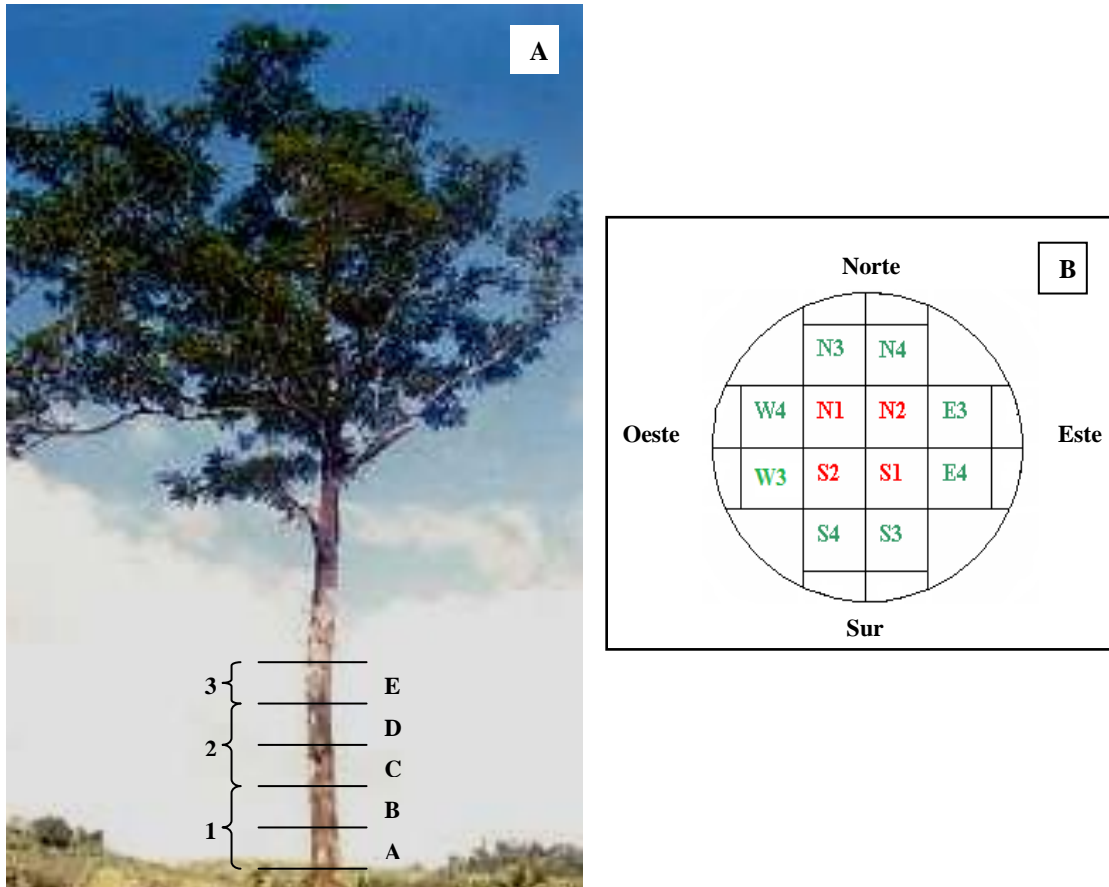


FIGURA 5: Codificación de las viguetas por niveles (A) Distribución de las viguetas a nivel longitudinal y (B) Distribución de las viguetas a nivel transversal; nivel “a” (N1,N2,N3,N4) y nivel “b” (N3,N4,E3,E4,S3,S4,W3,W4)

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
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 obtener promedios, coeficiente de variación, rangos y límites de confianza. 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 Figuras 9 y 10 ilustran los niveles tanto longitudinal como transversal.

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 DISCUSION

4.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Los resultados a nivel longitudinal de las propiedades físicas se muestran en el cuadro 7 y figuras 10, 11 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 sentido 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. La baja contracción radial en el nivel A y la 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 en estudio

Propiedad	Niveles por altura	Unidades	Promedio	Coefficiente de Variación (%)
Densidad básica	A	g/cm ³	0,35	1,99
	B		0,34	2,94
	C		0,35	2,44
	D		0,34	2,50
	E		0,38	5,02
Densidad anhidra	A	g/cm ³	0,37	1,01
	B		0,37	3,13
	C		0,37	2,10
	D		0,37	4,19
	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		6,99	13,38
	C		7,99	7,20
	D		6,76	29,70
	E		7,67	10,10

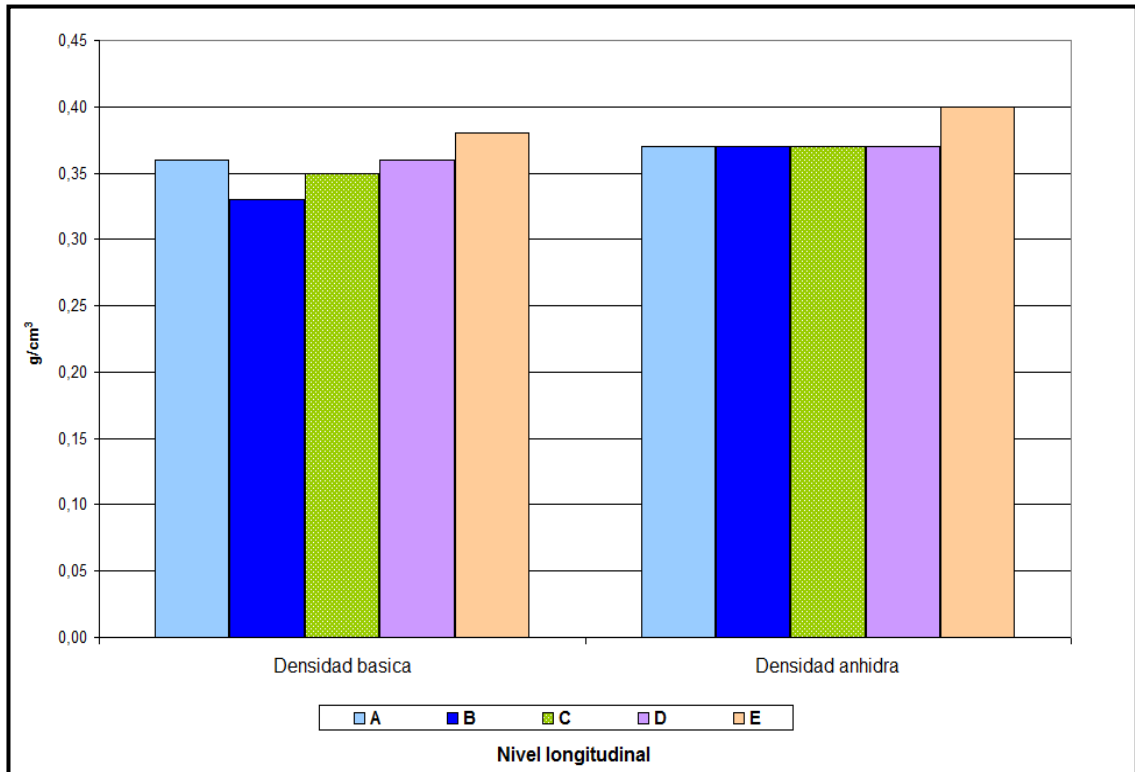


FIGURA 7: Valores promedios de Densidad a nivel longitudinal del Marupá proveniente de una plantación de 23 años

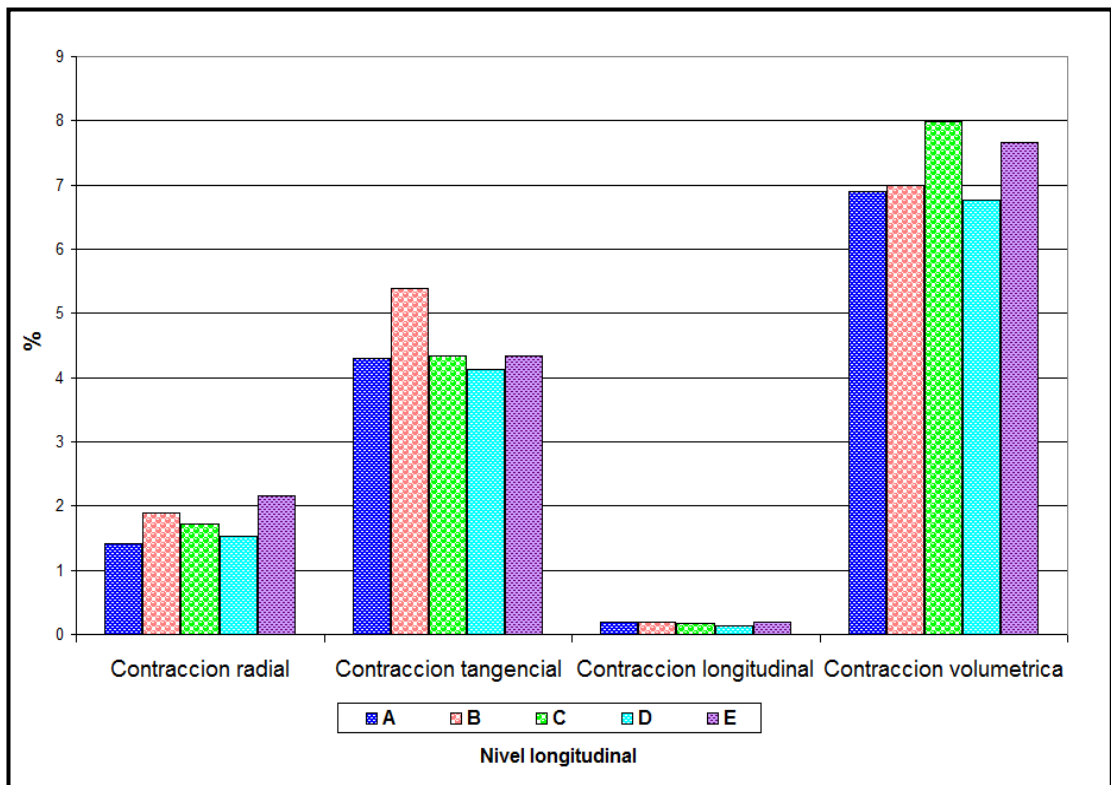


FIGURA 8: Valores promedios de la Contracción a nivel longitudinal del Marupá proveniente de una plantación de 23 años

CUADRO 8: Análisis estadístico a nivel longitudinal de las Propiedades Físicas del Marupá en estudio

Propiedad	ANVA	Prueba de Tukey
Densidad básica	NS	
Contracción radial	*	
Contracción tangencial	NS	A D C B E
Contracción longitudinal	NS	—————
Contracción volumétrica	NS	

*:Significativo
 N,S: No significativo

A D C B E
 —————
 —————

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 12 y 13, para dos posiciones: “a” cercana a la medula 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 (ANVA) (cuadro 10). Los valores promedios de la contracción longitudinal, aumentan su valor a medida que están más lejos 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 contribuiría 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 clasificación 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 del Marupá en estudio

Propiedad	Nivel transversal	Unidades	Promedio	Coefficiente de Variación (%)	Rango
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

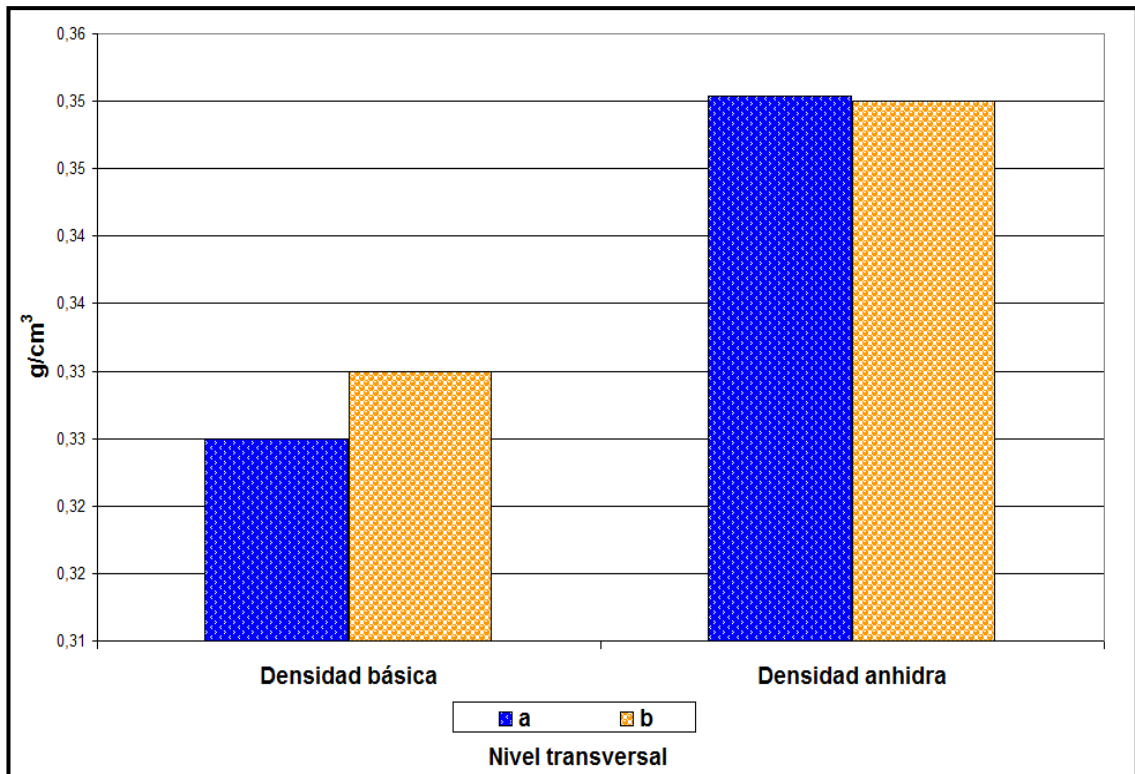


FIGURA 9: Valores promedios de Densidad a nivel transversal del Marupá proveniente de una plantación de 23 años

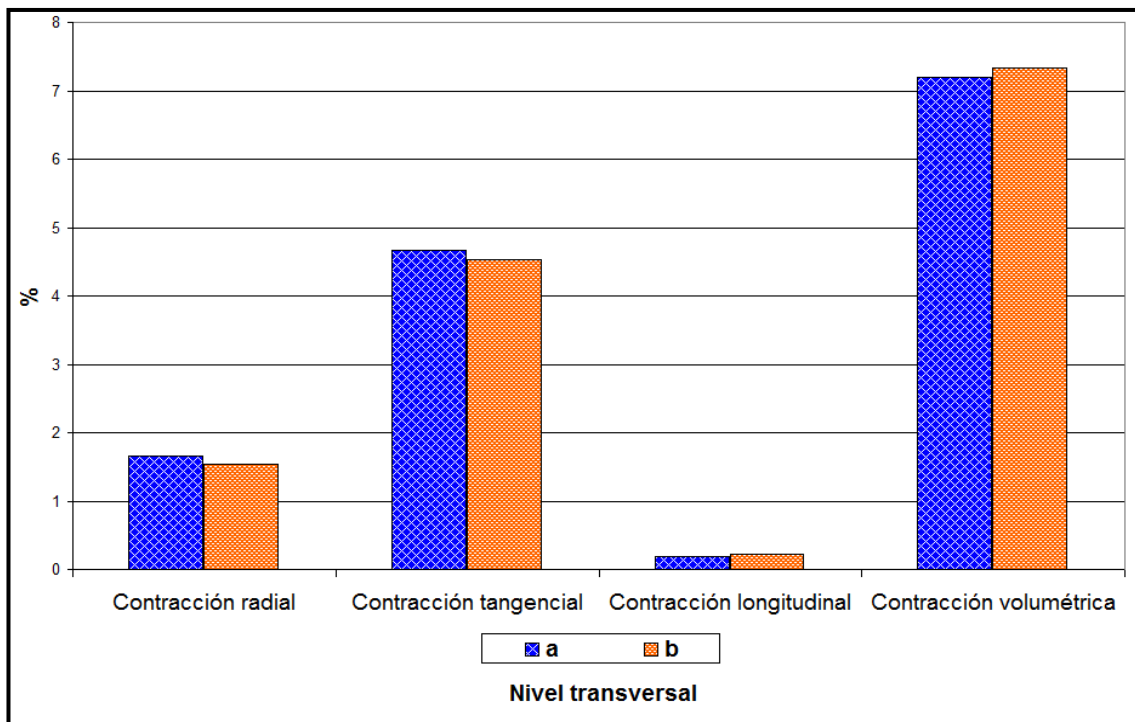


FIGURA 10: Valores promedios de Contracción a nivel transversal de Marupá proveniente de una plantación de 23 años

CUADRO 10: Análisis Estadístico de las Propiedades Físicas a nivel transversal del Marupá en estudio

Propiedad	Prueba T-student	
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 del Marupá en estudio

Propiedad	Unidades	Promedio	Intervalo de confianza	Coeficiente de variación (%)				Rango
				Entre árboles	Dentro del árbol	Total	¹ Handbook	
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 14,08%

** Humedad en condición saturada 47,48%

(¹) Wood Handbook (1974)

Según la clasificación propuesta por Aróstegui (1982), ésta especie posee propiedades físicas (densidad básica y contracción volumétrica) bajas.

Los coeficientes tanto de correlación (r), determinación (r²) y sus ecuaciones respectivas, con el fin de predecir los valores de la estabilidad dimensional a partir de la densidad básica muestran para todos los casos coeficientes de determinación bajos

(menores al 50%), lo que indica que la variable independiente densidad básica no es útil para predecir los cambios dimensionales (cuadro 12).

En relación a los resultados de las propiedades físicas de la plantación en estudio y de dos edades provenientes de Jenaro Herrera, así como de bosque natural (cuadro 13 y figuras 14, 15), 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 por la presencia de madera juvenil; (ya que ésta madera presenta paredes celulares más delgadas que la de bosque natural y es por esta razón que la madera del estudio posee una baja densidad (Haygreen 1982). Sin embargo la densidad básica es mayor con respecto a las otras plantaciones, probablemente por la edad con respecto a la plantación de 16 años, y con la plantación de 27 años, posiblemente por tener mejores condiciones de suelo y la fisiografía es adecuada para la especie; ya que los estudios de Soudre (2004) demuestran que el factor edad, seguido del suelo y la fisiografía tienen gran influencia sobre la densidad básica.

Con respecto 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 del Marupá en estudio

Propiedad	Variable Independiente	r ²	Ecuación Lineal	r ²	Ecuación cuadrática
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)

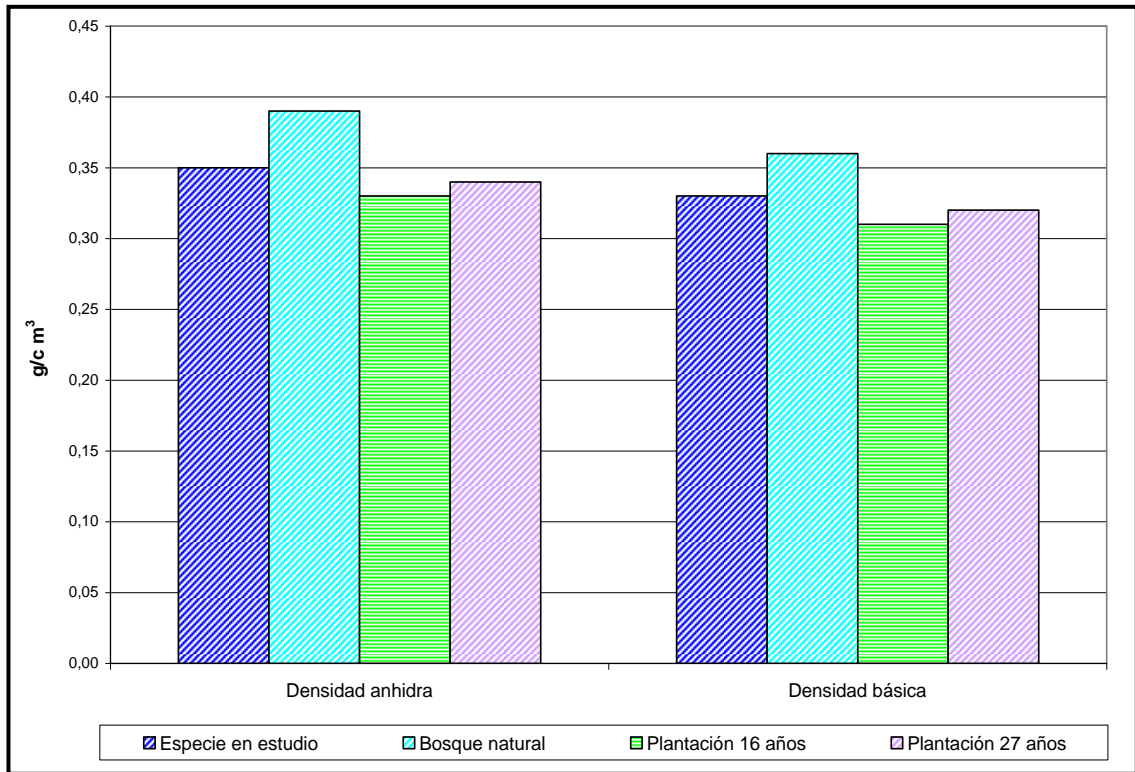


FIGURA 11: Comparaciones de la Densidad de la madera de Bosque Natural y Plantaciones de Marupá

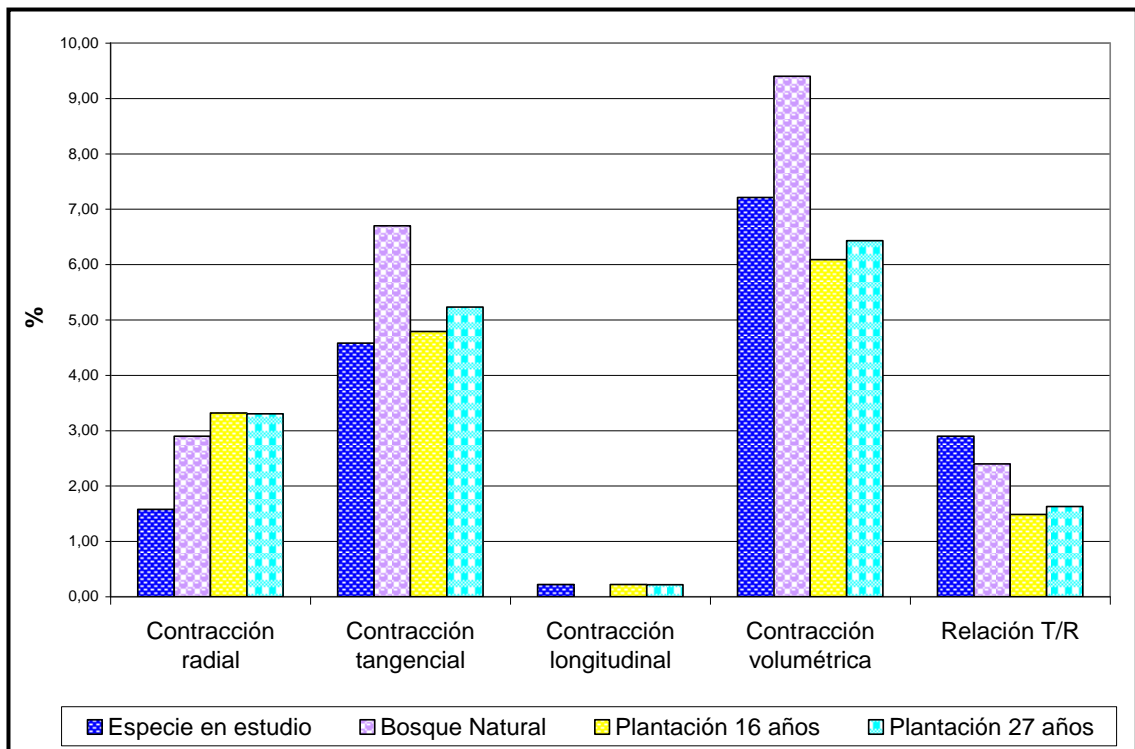


FIGURA 12: Comparaciones de la Contracción de la madera de Bosque Natural y Plantaciones de Marupá

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 16 ilustra estos valores promedios de resistencia. Asimismo en el cuadro 15 se presentan los resultados de varianza (ANVA) que identificaron diferencias significativas únicamente en la resistencia a la dureza (lados y extremos), clivaje y tenacidad.

En relación a la dureza Janka la prueba de Tukey, indica que la resistencia a la dureza de lados para los niveles A, B y C no hay diferencias significativas pero si entre los niveles C con D y E. Por lo tanto podemos decir que en el nivel C se presentan los menores valores para esta propiedad. Similar comportamiento se observa para la dureza de extremos. A simple vista parece que el peso específico (por tener una alto coeficiente de determinación con la dureza de extremos y lados siendo 0,55 y 0,45 respectivamente) y la longitud de fibras (posiblemente por ser más corta a este nivel), explicaría esta diferencia pues a este nivel se presentan los menores valores. Por otro lado la prueba de Kruskal- Wallis señala que las resistencias al clivaje y a la tenacidad, disminuyen desde la base hacia la parte intermedia y luego aumentan hacia las partes altas del árbol. La tendencia de la resistencia a la tenacidad también puede deberse directamente afectadas por el peso específico, ya que en el nivel intermedio del árbol, se presentan los menores valores, siendo esto significativo estadísticamente.

CUADRO 14: Propiedades Mecánicas a nivel longitudinal del Marupá en estudio

Propiedad		Unidades	Nivel de altura	Promedio	Coefficiente de Variación (%)	CH %	G
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	
	ELP	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	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	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	12,32	0.39
			B	52,97	18,52	12,99	0.37
			C	62,75	17,69	13,10	0.38
			D	44,56	10,82	12,75	0.37
			E	65,59	1,10	12,55	0.37
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	-
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	30,10	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	33,20	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

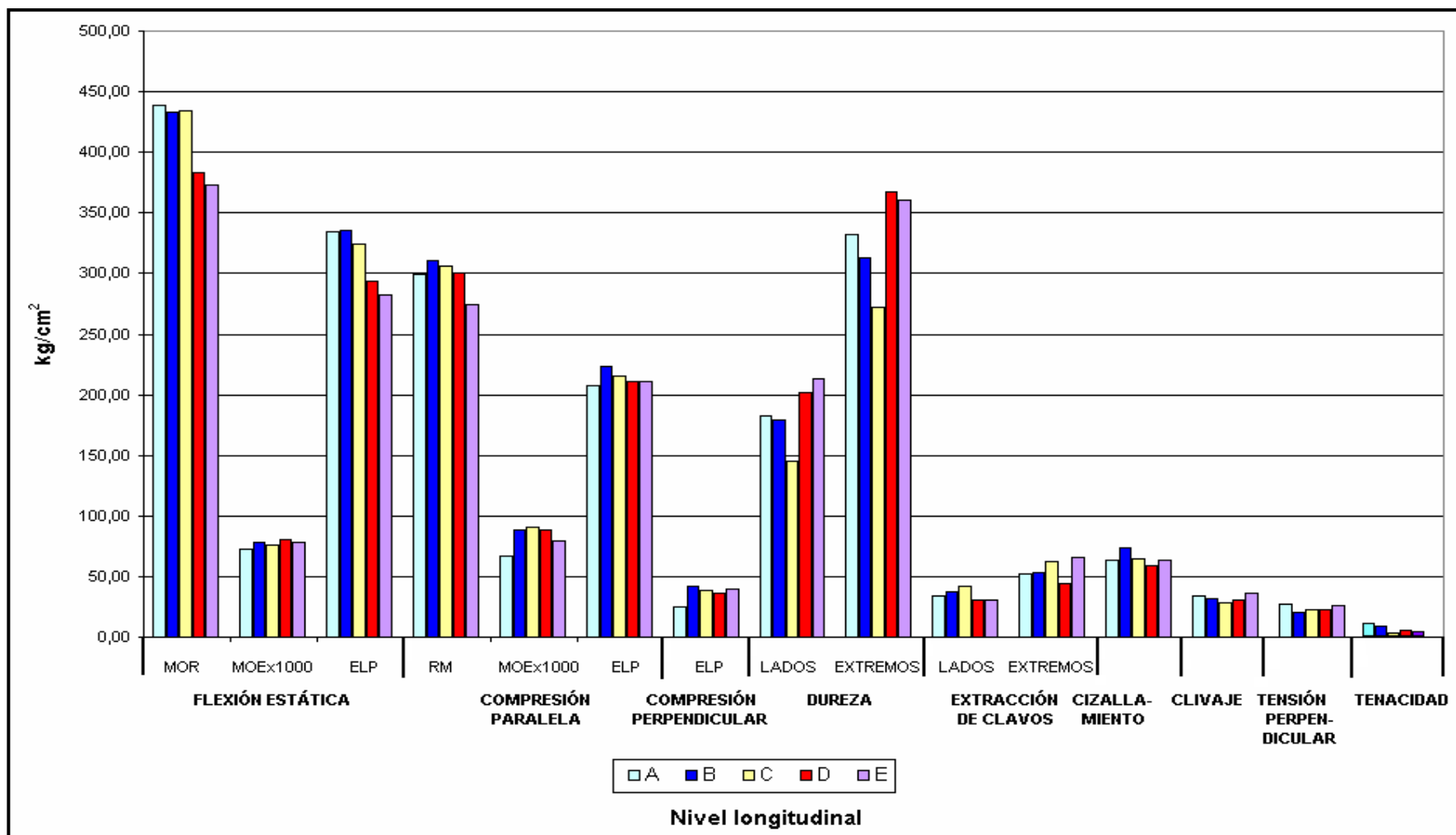


FIGURA 13: Valores promedios de las Propiedades Mecánicas a nivel longitudinal de la *Simarouba amara* Aubl. en estudio

CUADRO 15: Análisis Estadístico a nivel longitudinal del Marupá en estudio

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

*: Significativo
N.S.: No significativo

Los resultados de los valores promedios, coeficientes de variación, rangos, contenidos de humedad y peso específico, a nivel transversal para la especie, se presentan en el cuadro 16 y figura 17 y el análisis estadístico, 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 mas lejos de la medula; mientras que en la ultima, 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 la resistencia a la extracción de clavos (lados), no sigue este patrón y presenta un alto coeficiente de variación (38,84%), probablemente por la presencia de madera juvenil. En el cuadro 18 se presentan para la especie en estudio los promedios, intervalos de confianza con un nivel de significancia de 0,05 ($\alpha = 0,05$), coeficientes de variación, rangos y contenidos de humedad.

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

Según la Clasificación de Maderas Mexicanas en estado seco al aire (Davalos y Barcenás, 1999), esta especie presenta baja resistencia al cizallamiento y dureza

(lados y extremos). Mientras que en flexión estática, su modulo de ruptura y rigidez, resistencia máxima en compresión paralela y esfuerzo al limite proporcional en compresión perpendicular, presentan resistencias muy bajas. En consecuencia la especie en estudio se puede clasificar como una madera de resistencia muy baja, resultado que coincide con lo obtenido por Patiño en Marupá de 16 y 27 años.

Los coeficientes tanto de correlación (r), determinación (r^2) y sus ecuaciones respectivas, con el fin de predecir los valores de las propiedades mecánicas a partir del peso específico muestran para todos los casos valores bajos (menores al 50%), lo que indica que la variable independiente peso específico no es un buen estimador para predecir las propiedades mecánicas (cuadro 19).

CUADRO 16: Propiedades Mecánicas a nivel transversal del Marupá en estudio

Propiedad		Unidades	Nivel transversal	Promedio	Coefficiente de Variación (%)	CH %	G
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	13,03	0.34
			b	54,19	22,81	12,76	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

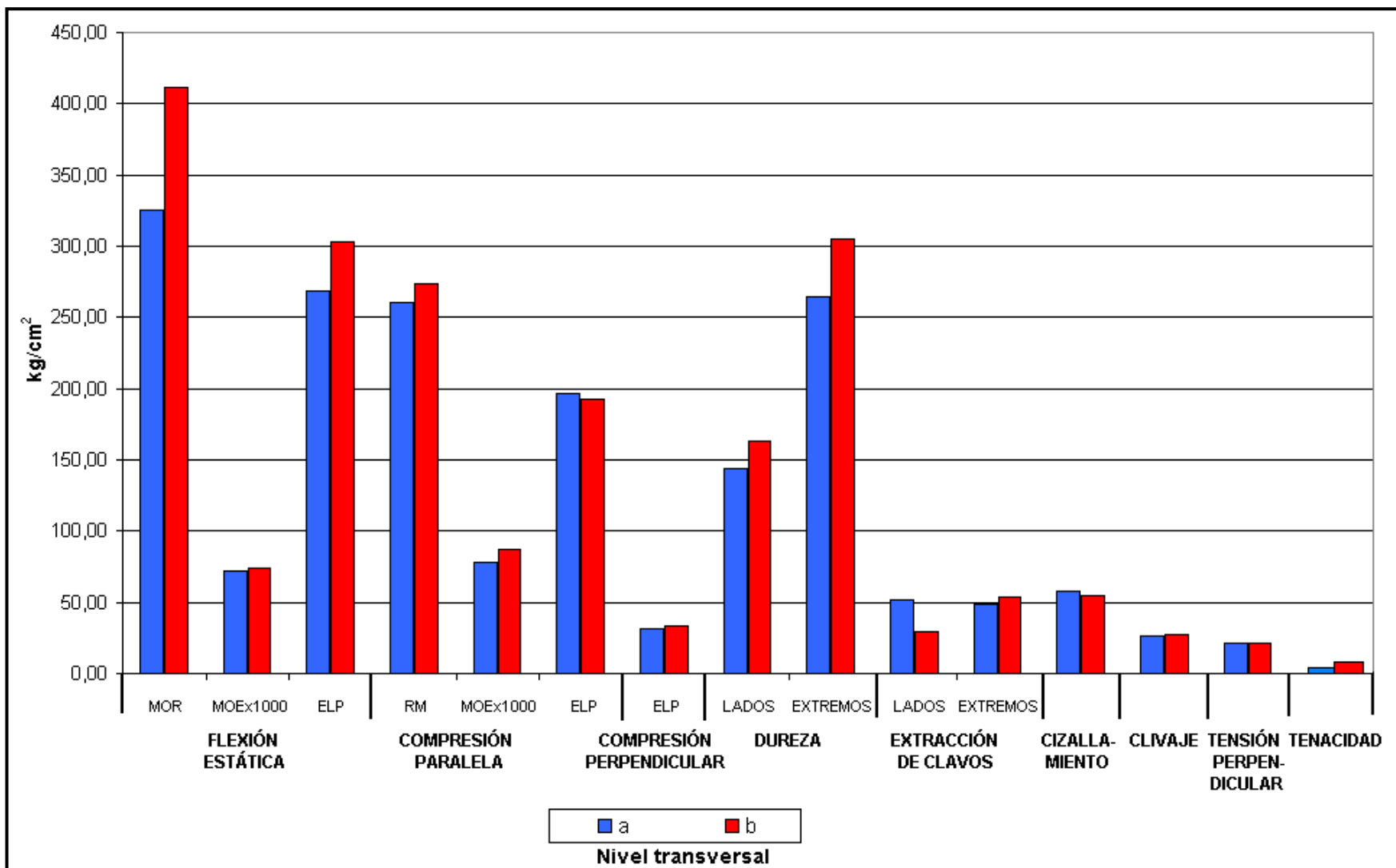


FIGURA 14: Valores promedio de las Propiedades Mecánicas a nivel transversal de *Simarouba amara* Aubl. en estudio

CUADRO 17: Análisis Estadístico a nivel transversal del Marupá en estudio

Propiedad	ANVA	
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 del Marupá en estudio

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	383,70;441,10	20,31	20,23	20,24	16,00	248,40-603,20	
1.2 MOE x 10 ³		72,92	90,51;97,12	14,58	8,84	9,77	22,00	76,29-121,93	
1.3 ELP		290,50	299,60;332,99	11,24	15,08	14,64	22,00	188,81-418,88	
2. Compresión Paralela	kg/cm ²								13,89
2.1 RM		267,84	261,29;277,60	23,26	9,39	11,04	18,00	189,33-327,78	
2.2 MOE x 10 ³		83,26	81,39;86,54	24,03	11,88	13,17	29,00	38,14-106,69	
2.3 ELP		192,99	185,35;203,23	23,07	15,82	16,46	24,00	126,81-264,38	
3. Compresión Perpendicular	kg/cm ²								13,28
3.1 ELP		32,71	29,98;35,44	32,46	17,56	20,67	28,00	20,02-43,22	
4. Dureza	kg/cm ²								13,33
4.1 Extremos		285,11	271,24;298,98	14,18	11,93	12,30	17,00	213,14-372,78	
4.2 Lados		153,8	144,80;162,79	21,27	13,26	14,78	20,00	113,38-211,33	
5. Extracción de Clavos	kg								12,86
5.1 Extremos		51,51	47,63;55,40	22,22	21,88	21,94	-	26,98-74,94	
5.2 Lados		36,75	31,93;41,58	36,00	39,15	38,82	-	21,71-72,22	
6. Cizallamiento	kg/cm ²	55,5	52,39;58,51	32,53	21,62	22,52	14,00	26,19-83,78	12,48
7. Clivaje	kg/cm	27,19	25,71;28,68	23,66	20,90	21,09	-	9,72-40,70	12,2
8. Tensión Perpendicular	kg/cm ²	21,09	19,52;22,66	20,23	29,38	28,84	25,00	9,88-33,63	11,46
9. Tenacidad	kg-m	0,41	0,33;0,49	173,59	88,88	94,13	34,00	0,03-1,10	14,45

CUADRO 19: Análisis de regresión del peso específico con las Propiedades Mecánicas del Marupá en estudio

Propiedad	Variable Independiente	r ²	Ecuación Lineal	r ²	Ecuación cuadrática
1. Flexión Estática	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	$y = -6149,00 + 37629,00x - 53659,00x^2$
2. Compresión Paralela	G 13,9%				
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	$y = -506,30 + 3714,00x + 4212,00x^2$
3. Compresión Perpendicular	G 13,28%				
3.1 ELP		0,25	$y = -27,20 + 172,00x$	0,26	$y = 227,70 - 1320,00x + 2177,00x^2$
4. Dureza	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	$y = -696,70 + 4211,00x - 5012,00x^2$

G = Peso específico

Comparativamente, los resultados de las propiedades mecánicas de la plantación son menores que la del bosque natural (cuadro 20 y figura 18), 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 determinar la presencia de madera juvenil.

CUADRO 20: Comparación de las Propiedades Mecánicas del la madera en estudio con Bosque Natural

Propiedad	Unidades	Especie en estudio (A)	Bosque Natural (B)
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 14,45%

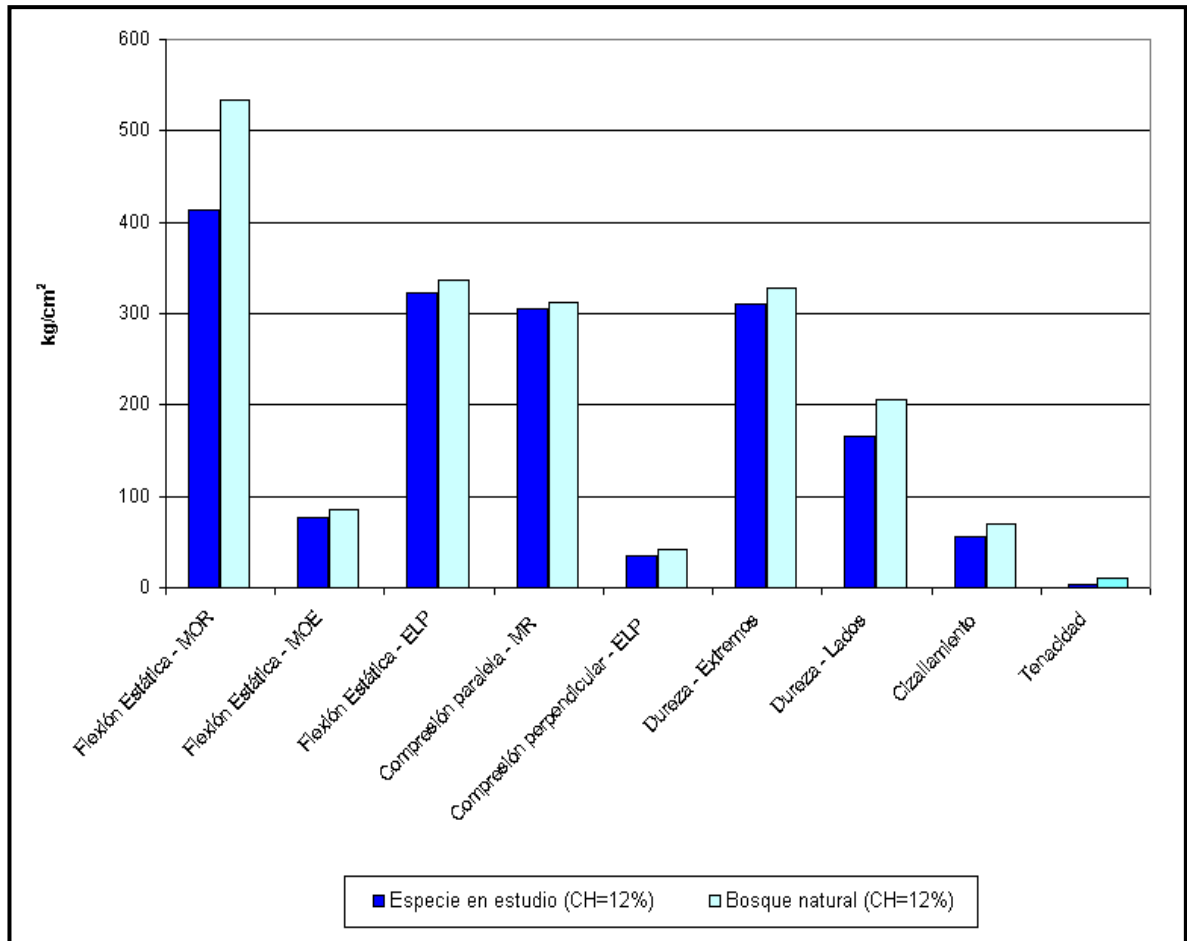


FIGURA 15: Comparación de las propiedades mecánicas de la madera de *Simarouba amara* Aubl. con Bosque Natural

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 19, 20) 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 4 especies provenientes de Bosque Natural

Propiedades	Unidades	Especie				
		<i>Simarouba amara</i> ¹	<i>Ceiba pentandra</i> ²	<i>Chorisia insignis</i> ²	<i>Ochroma pyramidale</i> ²	<i>Schizolobium amazonicum</i> ³
I. PROPIEDADES FÍSICAS						
1. Densidad						
1.1 Anhidra	g/cm ³	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 MECÁNICAS⁴						
1. Flexión estática						
1.1 ELP	kg/cm ²	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						
2.1 RM	kg/cm ²	267,84	162,90	234,60	150,90	210,18
3. Compresión perpendicular						
3.1 ELP	kg/cm ²	32,71	19,40	21,10	17,90	22,49
4. Cizallamiento		55,50	36,62	45,20	30,90	45,34
5. Dureza						
5.1 Lados	kg/cm ²	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%

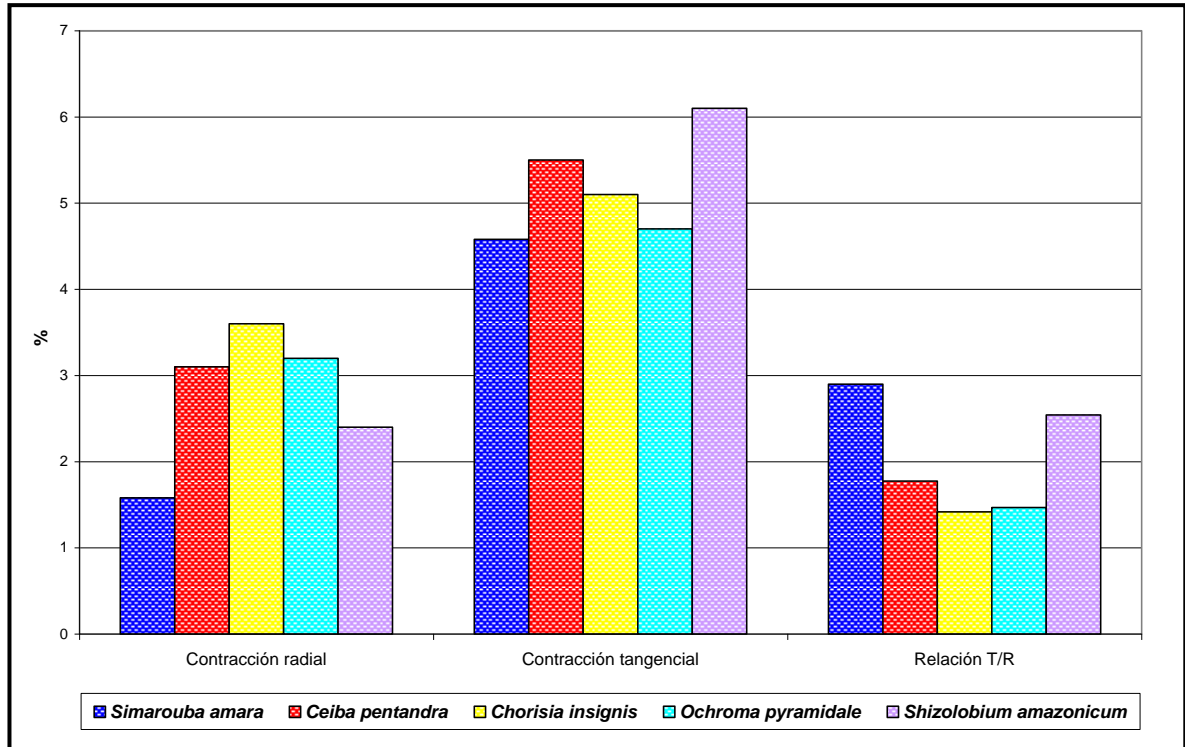


FIGURA 16: Comparación de la Contracción con otras especies de similar densidad

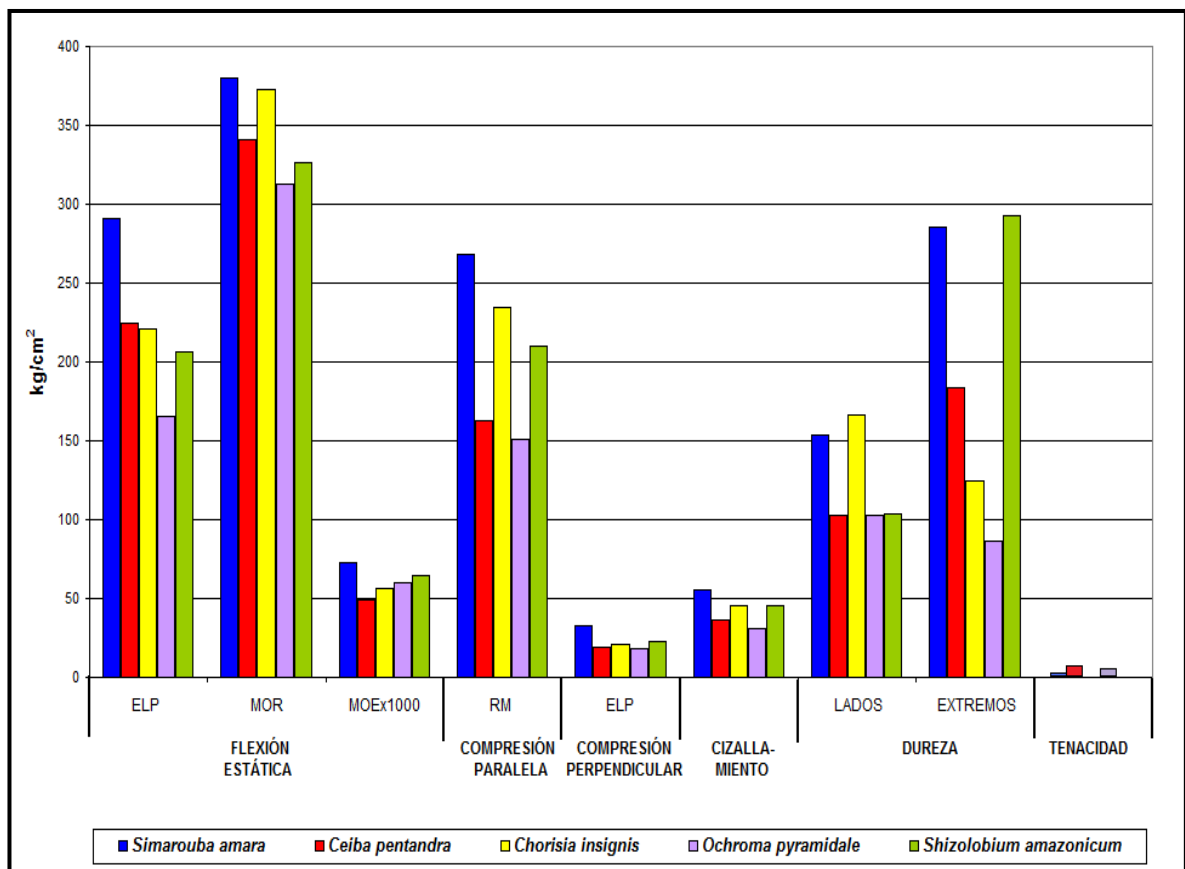


FIGURA 17: Comparación de las Propiedades Mecánicas con otras especies de similar densidad

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

Especie	Usos					
	Cajonería liviana	Carpintería en general	Revestimiento interno	Moldes o encofrados	Juguetería	Artesanía
Marupa	X	X	X	X	X	
Lupuna blanca	X				X	X
Huimba blanca	X					
Topa					X	X
Yura caspi		X				

5. CONCLUSIONES

5.1. La especie *Simarouba amara* Aubl. presenta variaciones significativas a nivel longitudinal en contracción radial, dureza, clivaje y tenacidad; y a nivel transversal en contracción longitudinal, flexión estática (ELP y MOR) y extracción de clavos (lados).

5.2. La madera estudiada se considera de densidad básica y contracción volumétrica baja; así como baja resistencia al cizallamiento y dureza, mientras que en flexión estática (MOE) y (MOR), compresión paralela (RM), compresión perpendicular (ELP) presenta resistencias muy bajas.

5.3. 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.

5.4. Las ecuaciones de regresión obtenidas demuestran que la densidad básica no es un buen estimador tanto de las propiedades físicas como de las mecánicas pues los coeficientes de determinación son inferiores al 50 %.

5.5. La madera en estudio, (en comparación con otras provenientes de plantaciones de 16 y 27 años presenta mayor densidad básica y mayor inestabilidad

5.6. dimensional, sin embargo comparada con bosque natural presenta menor densidad básica, mayor inestabilidad dimensional y mayor contracción volumétrica) en comparación con otras provenientes de plantaciones de 16 y 27 años, presenta mayor inestabilidad dimensional y contracción volumétrica; mientras que comparado con madera de bosque natural, presenta solo mayor inestabilidad dimensional.

5.7. 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

6.1. Complementar los estudios anatómicos y químicos de esta especie con el fin de disponer de mayor información que permita explicar mejor su comportamiento.

6.2. 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.

6.3. Complementar los estudios realizados con otras evaluaciones que faciliten conocer su durabilidad natural, comportamiento al secado y preservación.

7. BIBLIOGRAFIA

1. ACEVEDO, M.; KIKATA, Y. 1994. Atlas de Maderas del Perú. Lima: Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina: Universidad de Nagoya Japón. 202 p.
2. AROSTEGUI, A. 1970. Descripción, propiedades físico mecánicas y usos de la madera del Perú. Centro de Investigaciones Forestales. Lima: Perú. 76 p.
3. AROSTEGUI, A. 1974. Estudio Tecnológico de Maderas del Perú (Zona Pucallpa). Vol I. Características Tecnológicas y Usos de la Madera de 145 Especies del País. UNALM. Lima: Perú. 483 p.
4. AROSTEGUI, A. 1982. Recopilación y Análisis de Estudios Tecnológicos de Maderas Peruanas. Lima: Perú. 57 p.
5. AROSTEGUI, A.; DIAZ, M. 1992. Propagación de Especies Forestales Nativas Promisorias en Jenaro Herrera. Iquitos: Perú. 119 p.
6. ARROYO, J. 1983. Propiedades Físico-Mecánicas de la Madera. Universidad de los Andes. Mérida: Venezuela. 186 p.

7. ASTM (American Society for Testing and Materials). 2000. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber.
8. CHAMBERGO, P. 1984. Influencia de los Elementos Xilemáticos en las Propiedades Físico-Mecánicas de 45 Maderas del Perú. Tesis Ing. Forestal. Lima: Perú. 110 p.
9. 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: Perú. 90 p.
10. DÁVALOS, R.; BARCENAS, G. 1999. Clasificación de las Propiedades Mecánicas de las Maderas Mexicanas en Condición Seca. (en línea). Madera y Bosques. vol. 5, pp. 61-69. Consultado 15 de Marzo. Disponible en <http://www.inecol.edu.mx/myb/resúmenes/5.1/pdf/Davalos%20y%20Barcenas%201999.PDF>.
11. ENCARNACION, F. 1983. Nomenclatura de las Especies Forestales Comunes en el Perú. Lima: Perú. 149 p.
12. HAYGREEN, J.; BOWYER, J. 1982. Forest Products and Wood Science. An Introduction. USA. 495 p.
13. 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. UNALM. Lima: Perú. 217 p.

14. INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria). 2007. Informe Técnico-Científico de la evaluación de las plantaciones seleccionadas según el sistema de plantaciones empleado, tipo de suelo y topografía. Pucallpa: Perú. 15 p.

15. IZQUIERDO, C. 1993. Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera de nueve Bombacaceae de la Unidad Experimental – Dantas. Tesis Ing. Forestal. Lima: Perú. 115 p.

16. INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Privada). 2004. Maderas. Método de determinación de Contracción. NTP 251,012. Lima: Perú. 7 p.

17. 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. 53 p.

18. LEON, W.; ESPINOZA, N. 2001. Anatomía de la Madera. Mérida: Venezuela. 397 p.

19. MAEGLIN, R. 1987. Aplying the latest research to hardwood problems: Proceedings of the 15th annual hardwood symposium of the Hardwood Research Council. Memphis. TN. 100-108 p.

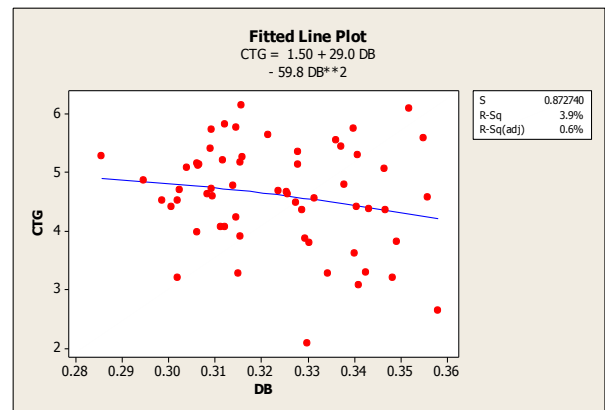
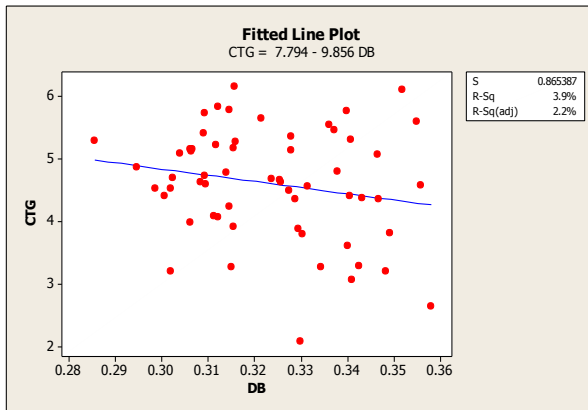
20. MARZOCCA, A. 1985. Nociones Básicas de Taxonomía Vegetal. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José: Costa Rica. 272 p.
21. PATIÑO, F. 2002. Propiedades Físico-Mecánicas de *Simarouba amara* Aubl (Marupa) proveniente de Plantaciones de Diferentes Edades. Tesis Ing. Forestal. UNALM. Lima: Perú. 46 p.
22. RAINTREE (2002) Pagina Web. Herbal Secrets of the Rainforest. Texas – USA. www.rain-tree.com.
23. REYNEL, C. 2003. Árboles útiles de la Amazonía Peruana. Un manual con apuntes de identificación ecología y propagación de las especies.
24. SILVA LA TORRE, 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: Perú 105 p.
25. VIGNOTE, S. JIMÉNEZ, F. 1996. Tecnológica de la Madera. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid: España. 602 p
26. VIZCARRA, S.; LARA, R. 1992. Maderas de Bolivia. Santa Cruz: Bolivia. 291p.

ANEXOS

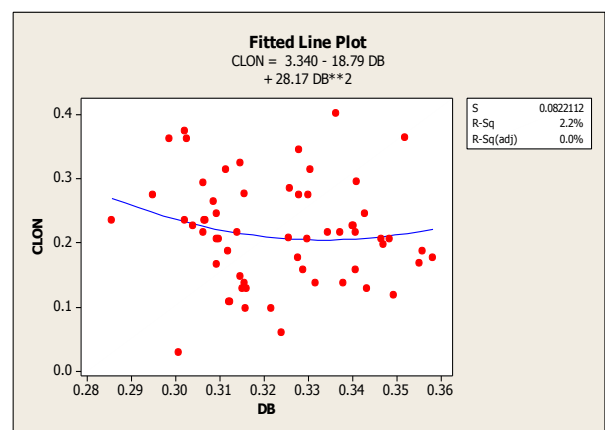
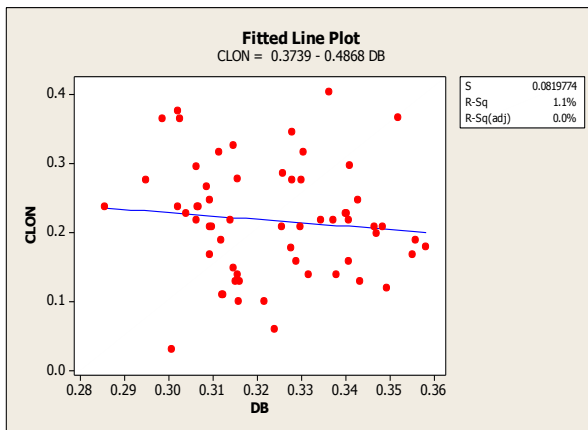
1.- ANALISIS DE REGRESIÓN

PROPIEDADES FISICAS

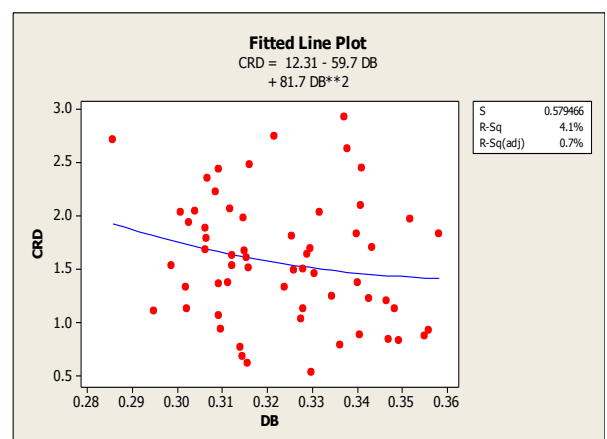
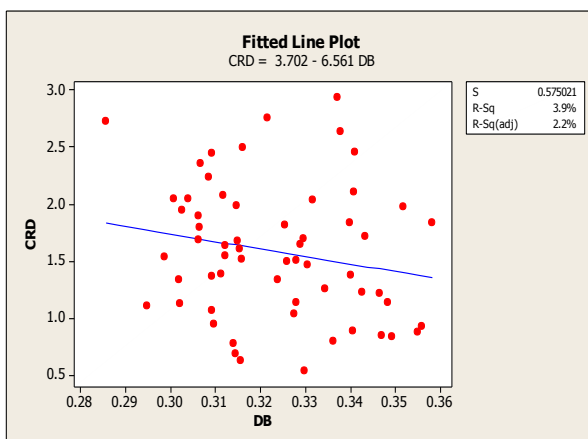
1. Regression Analysis: Contracción tangencial versus Densidad básica



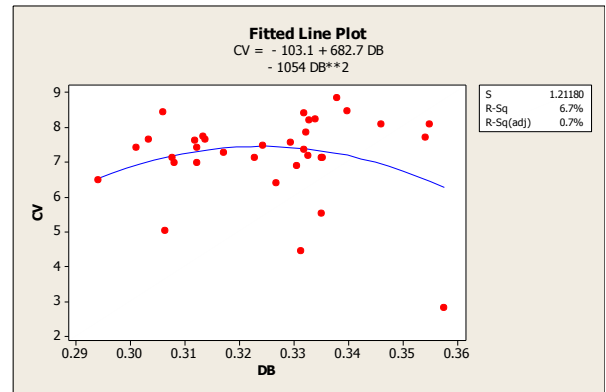
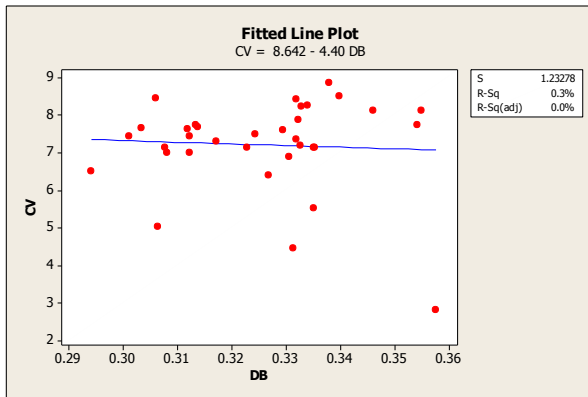
2. Regression Analysis: Contracción longitudinal versus Densidad básica



3. Regression Analysis: Contracción radial versus Densidad básica



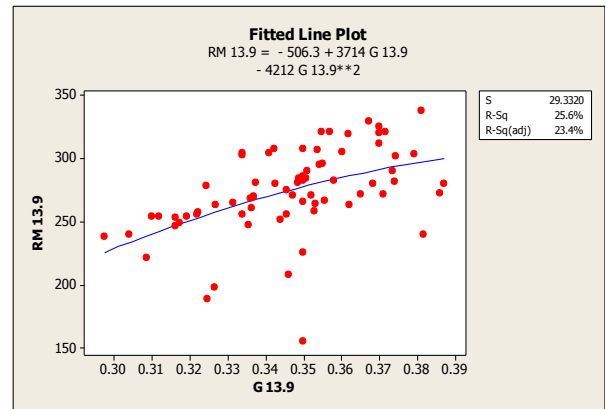
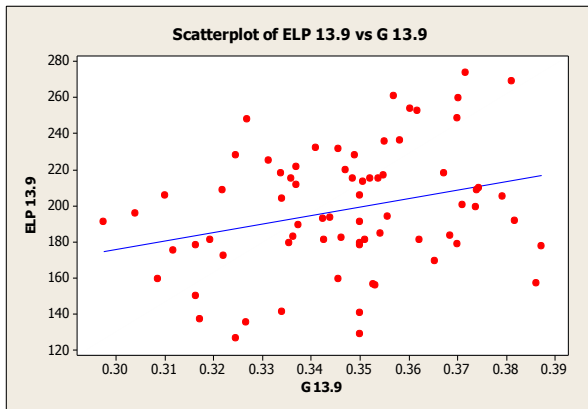
4. Regression Analysis: Contracción volumétrica versus Densidad básica



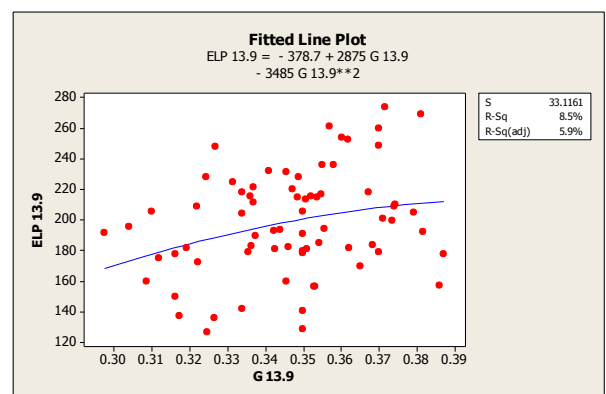
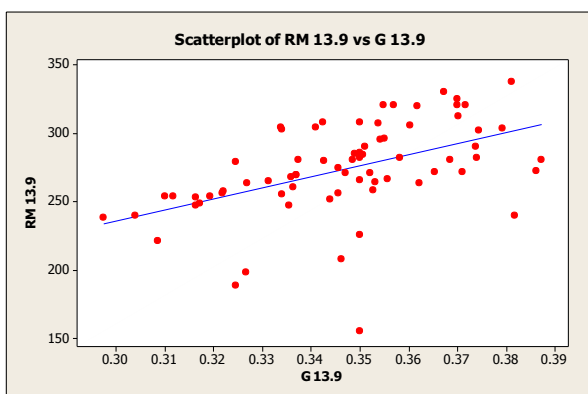
PROPIEDADES MECANICAS

1. Regression Analysis: Compresión Paralela

1.1 Regression Analysis: ELP versus peso específico

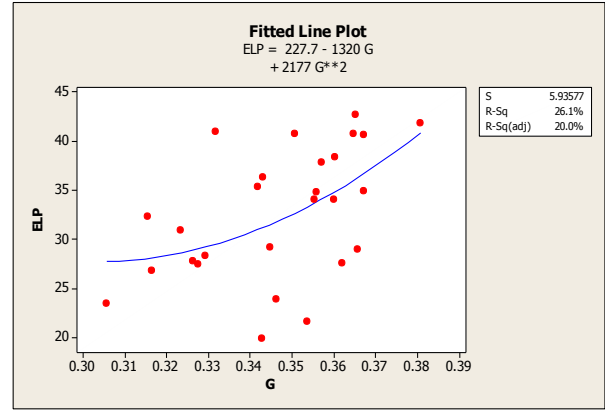
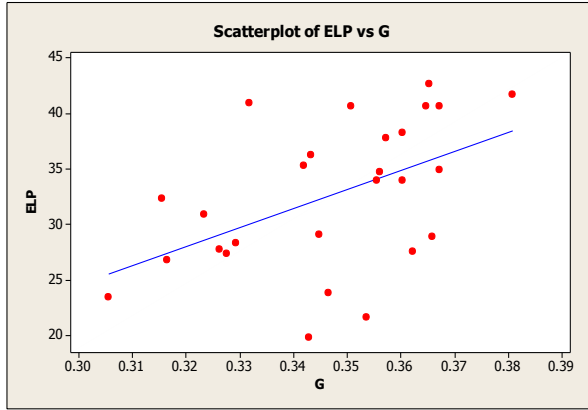


1.2 Regression Analysis: RM versus peso específico 13.9



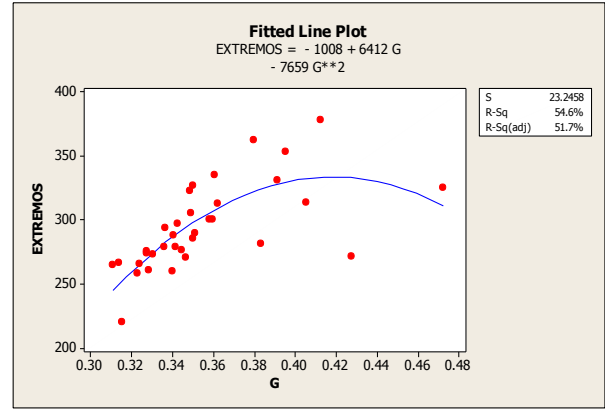
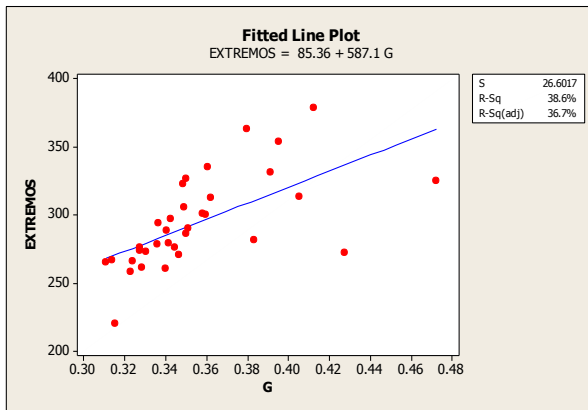
2. Regression Analysis: Compresión Perpendicular

2.1 Regression Analysis: Compresión perpendicular ELP vs peso específico

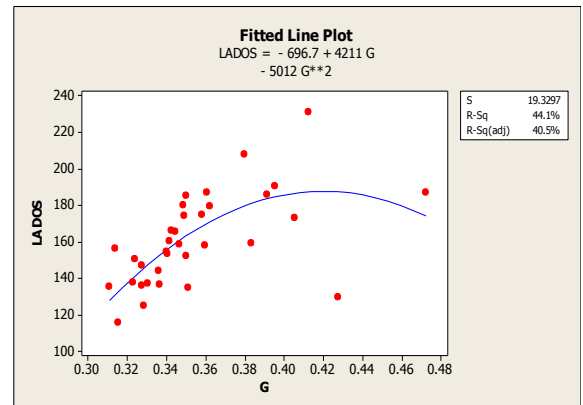
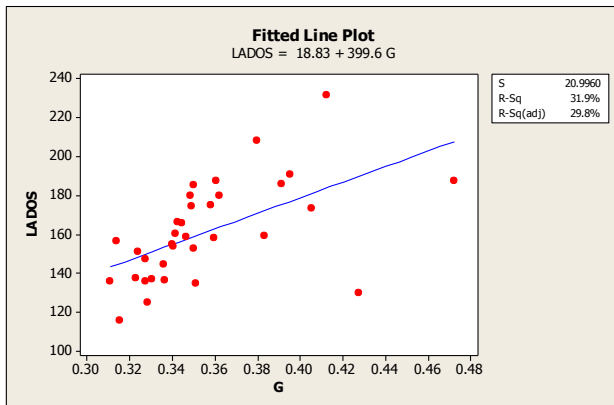


3. Regression Analysis: Dureza

3.1 Regression Analysis: Extremos versus peso específico

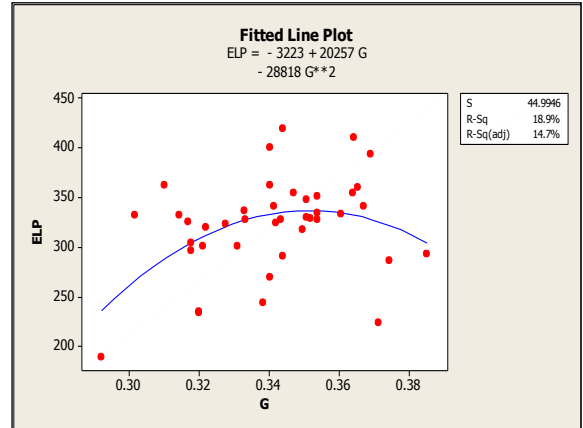
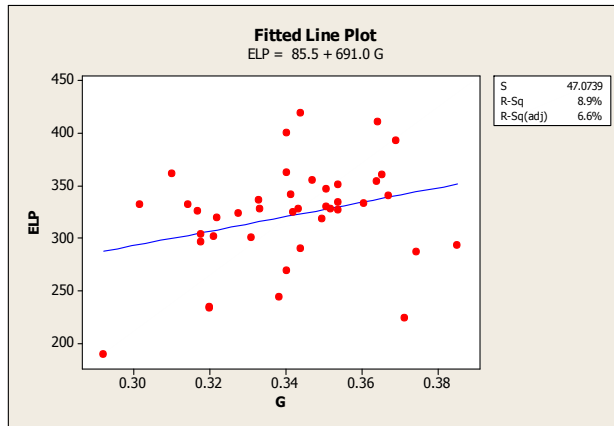


3.2 Regression Analysis: lados versus peso específico

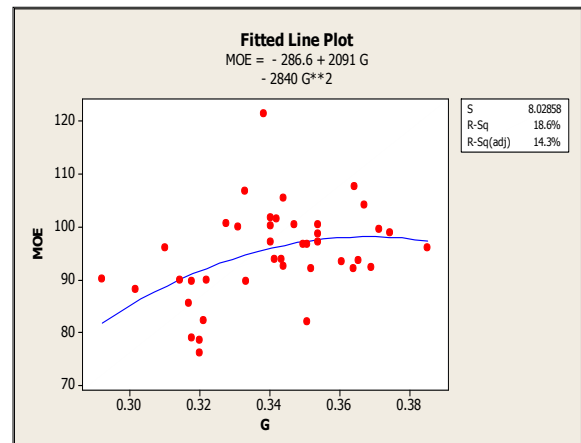
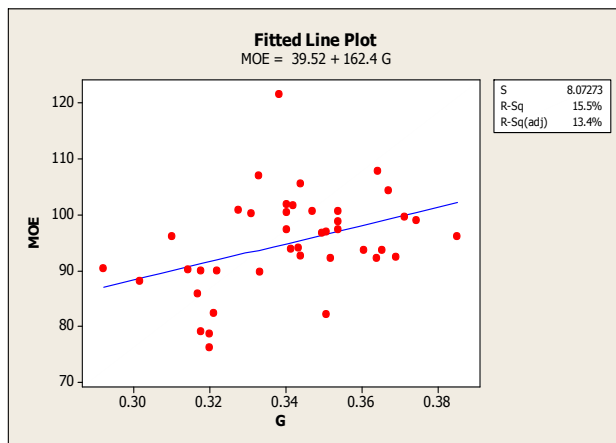


4 Regression Analysis: Flexión estática

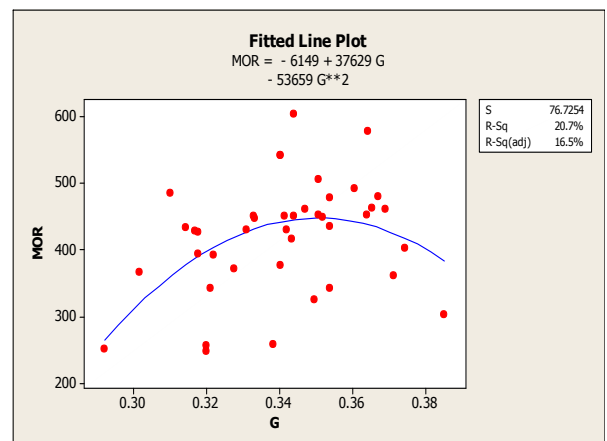
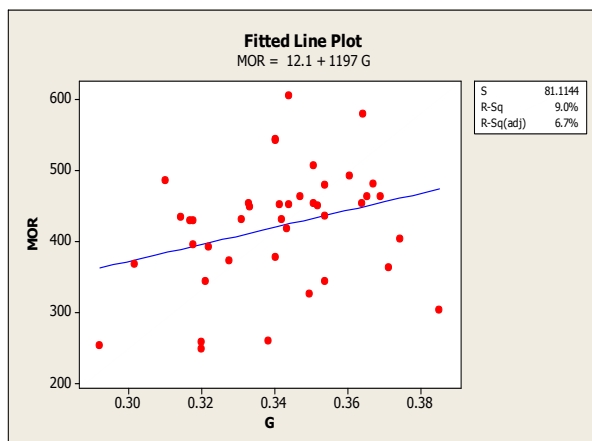
4.1 Regression Analysis: ELP versus peso específico



4.2 Regression Analysis: MOE versus Peso específico



4.3 Regression Analysis: MOR versus Peso específico



2.- RANGOS DE CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS

Cuadro 1 Rangos de clasificación de las maderas según sus propiedades físicas

<i>Propiedades</i>	<i>Unidades</i>	<i>Clasificación</i>				
		<i>Muy Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	<i>Muy alto</i>
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

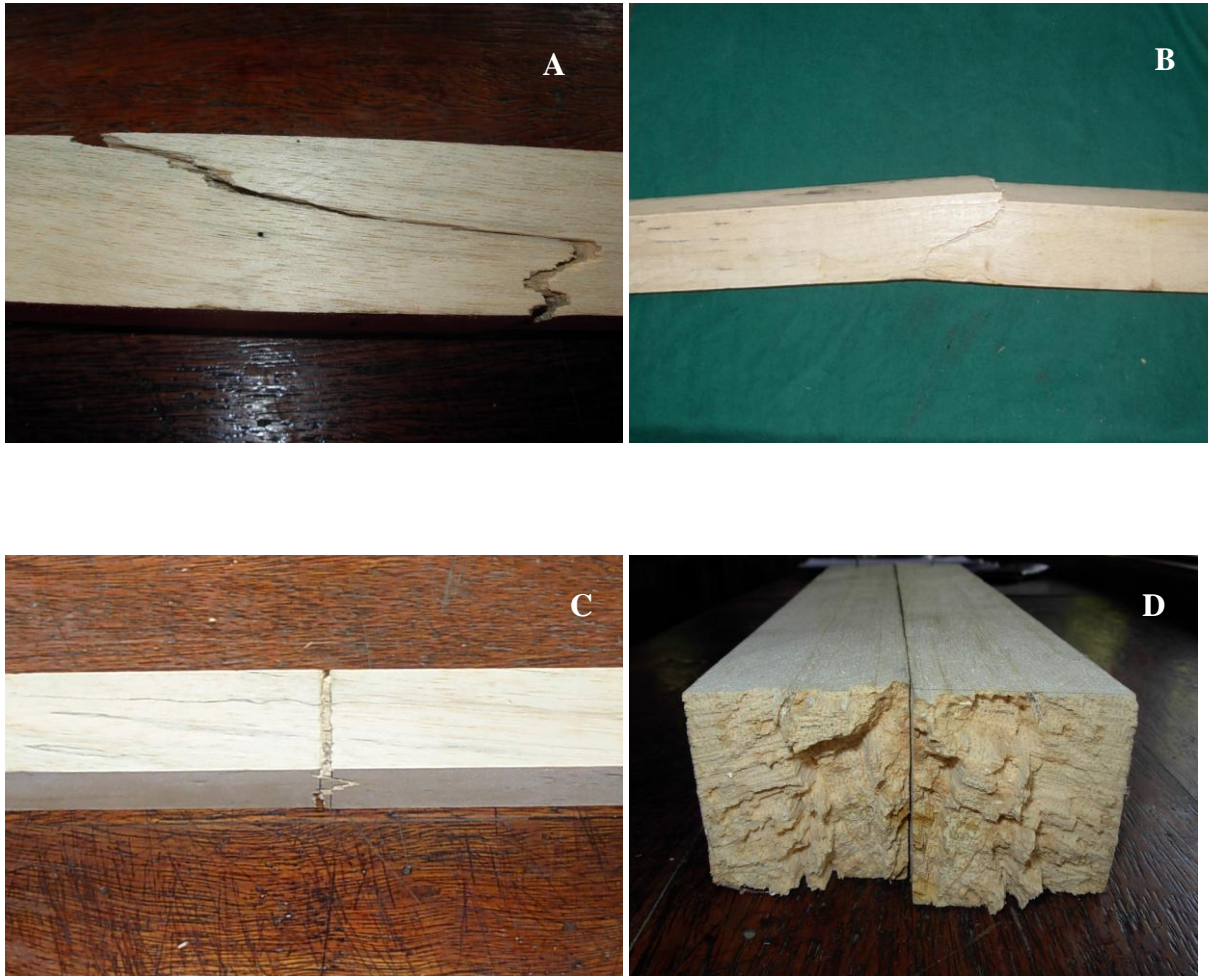
Fuente: AROSTEGUI (1982)

Cuadro 2 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		< 50	51-90	91-120	121-165	> 165
5. Dureza	kg					
5.1 Lados		< 150	151-350	351-550	551-900	> 900
5.2 Extremos		< 160	161-400	401-625	626-1050	> 1050

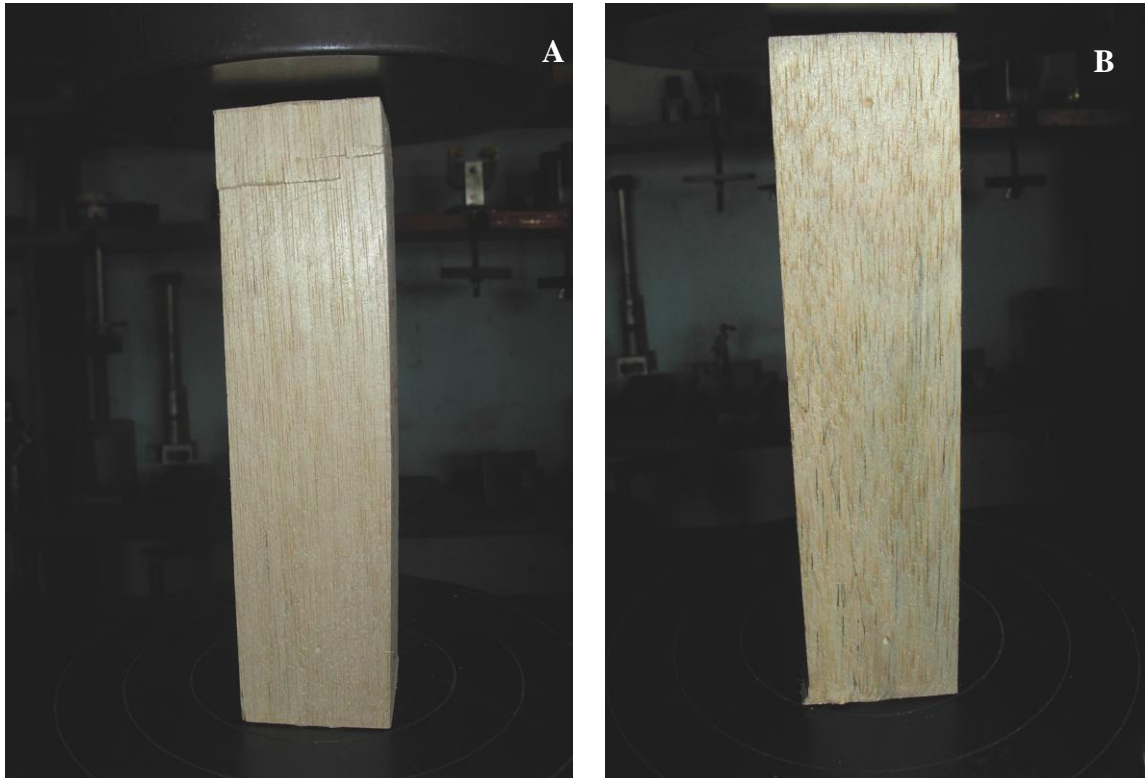
Fuente: Dávalos y Barcenás (1999)

3.- ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA



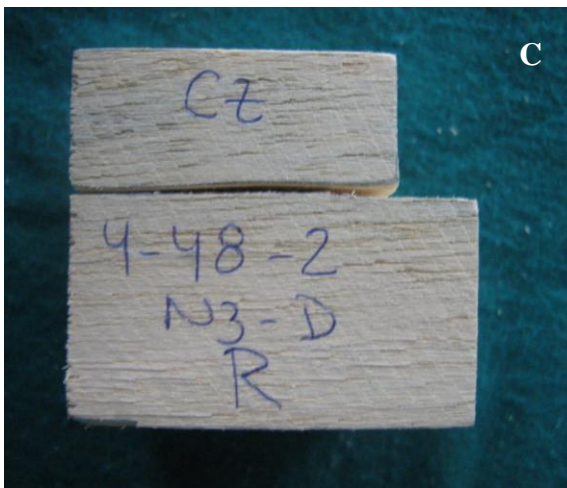
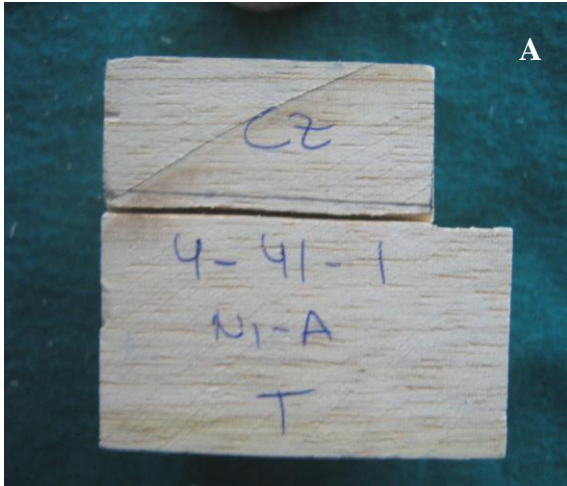
A y B. Fallas por desviación del grano C y D. Fallas de tipo quebradura

4.- ENSAYO DE COMPRESION PARALELA



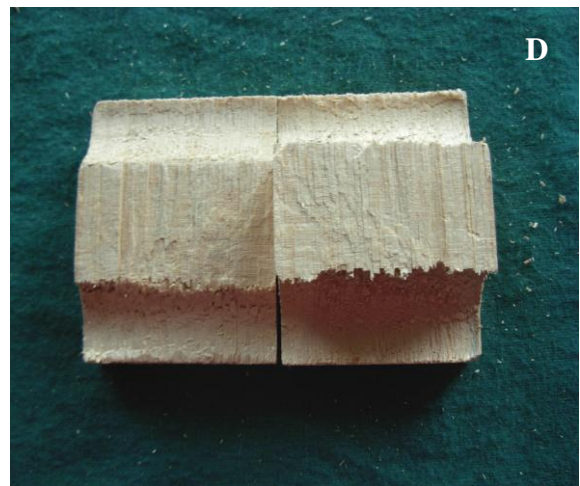
A. Falla de ruptura casi horizontal B. Falla asociada con un exceso de contenido de humedad en los bordes de la probeta

5.- ENSAYO DE CIZALLAMIENTO



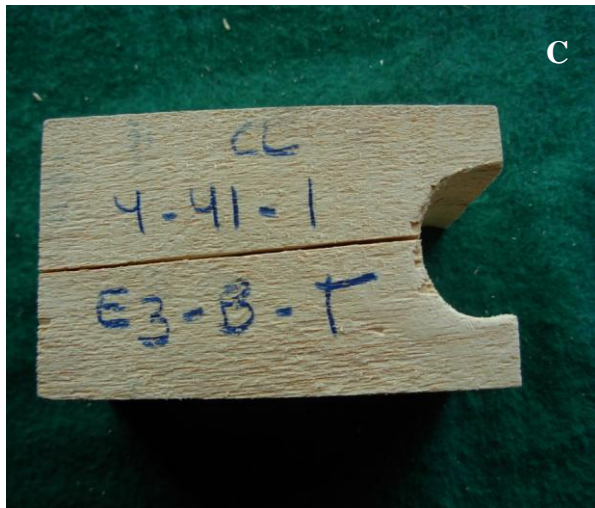
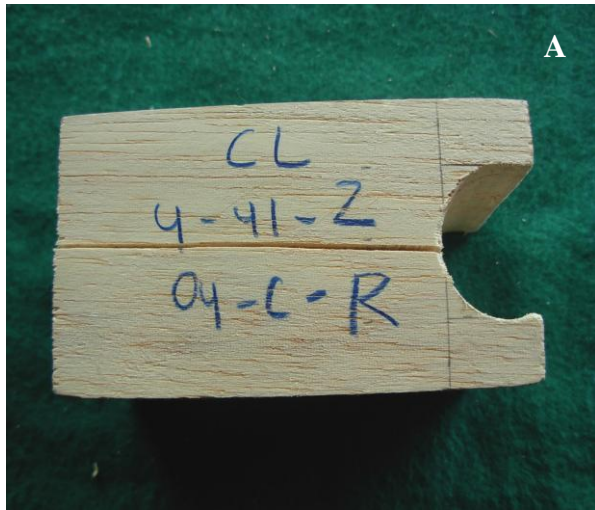
A y B. Fallas en probetas de sección tangencial C y D. Fallas en probetas de sección radial, observándose grano recto.

6.- ENSAYO DE TENSION PERPENDICULAR



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

7.- ENSAYO DE CLIVAJE



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

8.- ENSAYO DE TENACIDAD



A y B. Fallas de tipo quebradura