



**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 FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA CAPIRONA  
(*Calycophyllum spruceanum* (Benth) hook ex Schumann) PROCEDENTE  
DE UNA PLANTACIÓN EXPERIMENTAL EN SAN ALEJANDRO UCAYALI -  
PERÚ”**

**Tesis para optar el Título de  
INGENIERO FORESTAL**

**JOSÉ ARMANDO PANTIGOSO GARCÍA**

**Lima – Perú  
2009**

## DEDICATORIA

A mis padres María Teresa y Rafael por su gran ejemplo e infinito apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ing. Moisés Acevedo, mi patrocinador, por su enorme dedicación y orientación en toda la duración de la tesis.

Al Ing. Neptalí Bustamante, por su buen trabajo y paciencia en la preparación de probetas además de brindar sus valiosos conocimientos.

Al Instituto Nacional de Innovación Agraria y a INCAGRO por el financiamiento de la tesis.

Al Ing. José Eloy Cuellar por brindar todas las facilidades requeridas del proyecto.

Al Ing. Auberto Ricse, por toda la atención durante la visita a Pucallpa.

A mis compañeras de tesis Elena y Lía.

Y a todas aquellas personas que hicieron posible la ejecución de esta investigación.

## Resumen

Se obtuvieron promedios, rangos, intervalos de confianza y coeficientes de variación para las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) hook ex Schumann (Capirona), procedente de una plantación experimental de 9 años ubicada en San Alejandro en el departamento de Ucayali, Perú.

Asimismo, se determinaron diferencias entre los niveles de corte tanto para las propiedades físicas como para las mecánicas. Mediante análisis de regresión se relacionó la densidad básica con las propiedades físicas y mecánicas. La madera fue clasificada según sus valores promedios obtenidos, además se comparó con valores de la misma especie procedente de bosque natural y luego se proponen usos en base a su similitud con especies de uso conocido y requisitos de uso.

Los resultados muestran que las propiedades contracción longitudinal y flexión estática varían axialmente. Se observa también altos coeficientes de variación para las propiedades de contracción longitudinal, tenacidad, tensión perpendicular (radial) y clivaje (radial). La densidad básica es un buen estimador sólo en la resistencia a la dureza y compresión perpendicular. Los valores promedios del estudio son inferiores a los reportados por bosque natural, sin embargo permiten clasificar a la madera como de resistencia media, con densidad básica alta y contracción volumétrica media. Finalmente se recomienda utilizarla en estructuras ligeras, obras de carpintería, revestimiento, molduras, ebanistería y artesanía, además de presentar aptitud para ser usadas como postes.

## INDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
Resumen.....	IV
INDICE .....	V
LISTA DE CUADROS .....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1 Clasificación Sistemática y Descripción Botánica.....	2
2.2 Fenología.....	4
2.3 Silvicultura .....	4
2.4 Hábitat y Distribución .....	5
2.5 Descripción de la Zona en Estudio .....	5
2.6 Descripción de la Madera .....	6
2.6.1 Características Generales.....	6
2.6.2 Características Anatómicas.....	6
2.6.2.1 Características Macroscópicas.....	6
2.6.2.2 Características Microscópicas.....	6
2.6.3 Durabilidad Natural.....	8
2.6.4 Secado y Trabajabilidad.....	8
2.6.5 Uso de la Madera .....	8
2.7 Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera.....	8
2.7.1 Propiedades Físicas.....	8
2.7.2 Propiedades Mecánicas .....	12
2.7.3 Clasificación de la Maderas según sus Propiedades Físicas y Mecánicas .....	17
2.7.4 Influencia de la Anatomía en las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera .....	20
2.7.4.1 Anatomía y Propiedades Físicas.....	20
2.7.4.2 Anatomía y Propiedades Mecánicas .....	20
2.8 Variabilidad de la Madera .....	21
2.8.1 Variabilidad de la Madera dentro un Árbol .....	22
2.8.2 Variabilidad de la Madera entre Árboles.....	23
2.8.3 Variabilidad en las Características Anatómicas de la Madera.....	24
2.9 Crecimiento del Árbol .....	25
2.10 Implicancias del Uso de Árboles a Temprana Edad .....	28
2.10.1 Madera Juvenil .....	28
2.10.1.1 Características de la Madera Juvenil.....	29
2.10.1.2 Problemas Relacionados con la Madera Juvenil .....	30
2.10.1.3 Relación de la Silvicultura con la Madera Juvenil .....	30
2.10.2 Tensiones de Crecimiento .....	32
2.10.3 Madera de Reacción.....	33

3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	34
3.1 Lugar de Ejecución del Ensayo .....	34
3.2 Materiales y Equipos.....	34
3.2.1 Especie.....	34
3.2.2 Equipo para la Preparación de Probetas.....	34
3.2.3 Equipos de Laboratorio .....	34
3.2.4 Otros .....	35
3.3 Metodología .....	35
3.3.1 Ubicación de la Plantación en Estudio .....	35
3.3.2 Colección y Selección de Muestras.....	37
3.3.3 Procesamiento de Trozas.....	37
3.3.4 Disposición de los Listones en la Sección Transversal de la Troza	40
3.3.5 Codificación de los Listones .....	41
3.3.6 Preparación y Acondicionamiento de Probetas.....	42
3.3.7 Métodos para determinar las Propiedades Físico - Mecánicas .....	45
3.3.8 Procesamiento de datos y Evaluación de Resultados.....	45
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1 Propiedades Físicas .....	47
4.1.1 Densidad Peso Específico y Contracción.....	47
4.1.2 Análisis de regresión y correlación Densidad Básica - Contracción	49
4.1.3 Análisis Comparativo de la Especie en Estudio .....	50
4.1.4 Clasificación de las Propiedades Físicas .....	52
4.2 Propiedades Mecánicas .....	53
4.2.1 Resistencia y Rigidez .....	53
4.2.2 Análisis de regresión y correlación Densidad Básica – Resistencia	
Mecánica .....	59
4.2.3 Características resaltantes en el Comportamiento de la Madera	
Estudiada .....	61
4.2.4 Análisis Comparativo de la Especie en Estudio .....	62
4.2.5 Clasificación de las Propiedades Mecánicas.....	63
4.3 Aptitud de Uso .....	65
5. CONCLUSIONES.....	69
6. RECOMENDACIONES .....	70
BIBLIOGRAFÍA .....	71
ANEXOS	
Anexo 1 Propiedades Físicas por Arbol.....	76
Anexo 2 Propiedades Mecánicas por Árbol.....	77
Anexo 3 Gráfico de Regresión Lineal - Propiedades Físicas.....	81
Anexo 4 Gráfico de Regresión Lineal - Propiedades Mecánicas.....	82
Anexo 5 Tipos de Falla en Tenacidad por Árbol.....	85
Anexo 6 Tipos de Fallas encontrados por Árbol en Flexión Estática.....	90
Anexo 7 Tipos de Fallas encontrados en Tracción Perpendicular Radial.....	93
Anexo 8 Tipos de Fallas en Clivaje Radial .....	95
Anexo 9 Tipos de Fallas encontrados en Cizallamiento Radial .....	97
Anexo 10 Información Adicional de la Plantación en Estudio .....	99
Anexo 11 Estudio preliminar de las propiedades físico mecánicas de	
<i>calycophyllum spruceanum</i> procedente de bosque natural.....	100

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Propiedades Físicas de la Madera de <i>Calycophyllum spruceanum</i> según diferentes autores.....	11
Cuadro 2: Propiedades Mecánicas de <i>Calycophyllum spruceanum</i> señaladas por diferentes autores .....	17
Cuadro 3: Clasificación de las Maderas Peruanas según sus Propiedades Físicas y Mecánicas en Condición Verde.....	18
Cuadro 4: Clasificación de las Propiedades Mecánicas de las Maderas Mexicanas en Condición Seca al Aire (CH=12%) .....	19
Cuadro 5: Clasificación de las Propiedades Mecánicas de las Maderas Mexicanas en Condición Verde.....	19
Cuadro 6: Información de la Plantación de la cual se Seleccionaron los Árboles en Estudio.....	34
Cuadro 7: Características de las Trozas Seleccionadas para el Estudio .....	38
Cuadro 8: Número de Probetas para Ensayos Físicos - Mecánicos para la Especie Estudiada .....	43
Cuadro 9: Valores Promedio de las Propiedades Físicas de Acuerdo al Nivel de Corte .....	47
Cuadro 10: Variabilidad de la Densidad y Contracción de la Madera de Capirona.....	48
Cuadro 11: Análisis de Varianza para los Tres Niveles Estudiados.....	48
Cuadro 12: Valores Promedios de las Propiedades Físicas de la Madera de Capirona.....	49
Cuadro 13: Comparación de los Coeficientes de Variación Totales Obtenidos con los Presentados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.....	49
Cuadro 14: Coeficientes de Correlación, Determinación y Ecuaciones Resultantes de las Regresiones Lineales .....	50
Cuadro 15: Valores Promedios de las Propiedades Mecánicas de Acuerdo al Nivel de Corte .....	54
Cuadro 16: Variabilidad de las Propiedades Mecánicas de la Madera de Capirona.....	56
Cuadro 17: Análisis de Varianza para los Tres Niveles Estudiados. ....	57
Cuadro 18: Valores Promedios de las Propiedades Mecánicas de la Madera de Capirona.....	58
Cuadro 19: Comparación de los Coeficientes de Variación Totales Obtenidos con los Presentados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.....	59
Cuadro 20: Coeficientes de Determinación y Ecuaciones de Regresión Lineal para las Propiedades Mecánicas de la Capirona .....	60
Cuadro 21: Clasificación de las Propiedades Mecánicas de <i>Calycophyllum spruceanum</i> a la Edad de 9 Años .....	64
Cuadro 22: Usos de las Maderas de Tornillo, Cachimbo, Copaiba .....	67

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Descripción Botánica de <i>Calycophyllum spruceanum</i> (Bentham) Hooker F. Ex Schumann..	3
Figura 2: Secciones Microscópicas de <i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth) Hook Ex Schumann.	7
Figura 3: Comparación de la Densidad Básica de <i>Calycophyllum spruceanum</i> según Diferentes Autores.	12
Figura 4: Tipos de Falla en Ensayos de Impacto.	14
Figura 5: Secuencia del Crecimiento de un Tallo	27
Figura 6: Distribución de la Madera Juvenil y Madera Madura en el Fuste	29
Figura 7: Efecto de las Tensiones de Crecimiento, durante el Aserrío de la Madera.	33
Figura 8: Croquis de Ubicación de la Plantación en Estudio	36
Figura 9: Sección Transversal de una Troza en Estudio de <i>Calycophyllum spruceanum</i> .	39
Figura 10: Disposición de Listones de 2½" x 2½" y 1¼" x 1¼" debidamente Orientados.	40
Figura 11: Disposición de Listones de 1¼" x 1¼" no Orientados.	41
Figura 12: Árbol de la Plantación en Estudio mostrando los Niveles de Corte.	42
Figura 13: Comparación de la Densidad Básica de <i>Calycophyllum spruceanum</i> .	51
Figura 14: Comparación de la Contracción total de <i>Calycophyllum spruceanum</i> .	52
Figura 15: Plasticidad en las Probetas de Flexión Estática	61
Figura 16: Pandeo en las Probetas de Compresión Paralela	61
Figura 17: Resistencia Promedio de la Madera de Plantación de 9 Años de Edad y Bosque Natural al 12 % de Contenido de Humedad para la Capirona.	62
Figura 18: Resistencia Promedio de la Madera de Plantación de 9 Años de Edad y Bosque Natural en Condición Verde para la Capirona.	63
Figura 19: Comparación de las Propiedades Físicas del Tornillo, Cachimbo, Copaiba y Huayruro Provenientes de Bosque Natural con Capirona de Plantación de 9 Años.	66
Figura 20: Comparación de las Propiedades Mecánicas (Condición Verde) del Tornillo, Cachimbo, Copaiba y Huayruro Provenientes de Bosque Natural Con Capirona De Plantación De 9 Años.	66
Figura 21: Comparación de las Propiedades Mecánicas (Condición al 12%) del Tornillo, Cachimbo, Copaiba y Huayruro Provenientes de Bosque Natural con Capirona de Plantación de 9 Años.	67
Figura 22: Comparación de las Propiedades Mecánicas de la Capirona de Plantación de 9 Años con las de Aptitud para Postes.	68



## 1. INTRODUCCIÓN

La tendencia mundial se orienta a la utilización de madera procedente de plantaciones forestales como consecuencia de la escasez de especies comerciales de grandes diámetros procedentes de los bosques naturales además de las restricciones cada vez más fuertes hechas sobre el aprovechamiento procedentes de estos tipos de bosques; esta tendencia se respalda por la promoción de plantaciones por razones ambientales, aprovechamiento de tierras deforestadas, mayor productividad, mejores incentivos para las inversiones privadas, mejora en los conocimientos tecnológicos, entre otros.

Sin embargo para el desarrollo de plantaciones comerciales es necesario el conocimiento de la especie plantada para que tenga buen desarrollo como son la calidad de sitio, material genético, prácticas silviculturales. Estas investigaciones están siendo priorizadas para la especie *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) en diversos programas como el de domesticación e incorporación en sistemas agroforestales estudiado por el Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería (ICRAF).

Del mismo modo es necesario conocer las características de la madera que se encuentra en aquellos árboles plantados con evaluaciones a diferentes edades para determinar la edad de madurez tecnológica o ir determinando la utilidad de la madera antes que se llegue a la madurez considerada. Para esto es necesario estudios de propiedades físico- mecánicas, comportamiento en el aserrío, trabajabilidad, secado para que a través de esta información poder estar incorporando las maderas procedentes de plantación a las necesidades del mercado nacional e internacional.

El presente estudio tiene por objetivo evaluar las propiedades físicas y mecánicas de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) a la edad de 9 años para proponer los posibles usos a esta edad.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Clasificación sistemática y Descripción Botánica

Raspod mencionado por Torres (1993), clasifica a la especie en:

Reino	: Vegetal
Subreino	: Cormofito
División	: Fanerógama
Subdivisión	: Angiosperma
Clase	: Dicotiledónea
Subclase	: Dialipétales
Orden	: Rubiales
Familia	: Rubiaceae
Genero	: Calycophyllum
Especie	: spruceanum.

De acuerdo a Reynel *et al* (2003), la especie *Calycophyllum spruceanum* es llamada comúnmente “Capirona” o “Capirona negra”, tiene el sinónimo botánico de *Eukylista spruceana*.

Según Chichignoud *et al* y el PADT – Refort , citados por Meléndez (1999) indican para la especie estudiada los siguientes nombres internacionales comerciales: Capirona (Perú), Palo blanco (Argentina), Guayabochi (Bolivia), Pau mulato (Brasil), Alazano (Colombia), Cousicao (Ecuador), Araguato (Venezuela), Palo camarón (España), Citronnier bresilien (Francia).

Reynel *et al* (2003) describe que el árbol tiene un diámetro entre 50 – 120 cm y entre 20 – 35 m de alto, de fuste muy recto, cilíndrico regular y la copa en el último tercio. La corteza externa es lisa, color verde, homogénea tersa y lustrosa, dando la impresión de un poste bien pulido, provista de ritidoma papiráceo rojizo que se desprende en placas grandes, irregulares, revelando la superficie verdusca de la corteza; mientras que la corteza interna es homogénea, muy delgada, de 1- 2 mm de espesor y de color crema verdusco.

Presenta hojas simples, opuestas decusadas, elípticas u oblongas la base obtusa, la nervación pinnada; las inflorescencias son cimas terminales de 10-15 cm de longitud, provistas de numerosas flores; las flores son hermafroditas, con cáliz y corola presentes, las flores son de 1-1,5 cm de longitud, presenta frutos del tipo cápsulas pequeñas, elipsoide-alargadas, de 5-8 mm de longitud, pubescentes en su superficie contiene semillas diminutas, aladas y alargadas. Estas características se pueden observar en Figura 1.

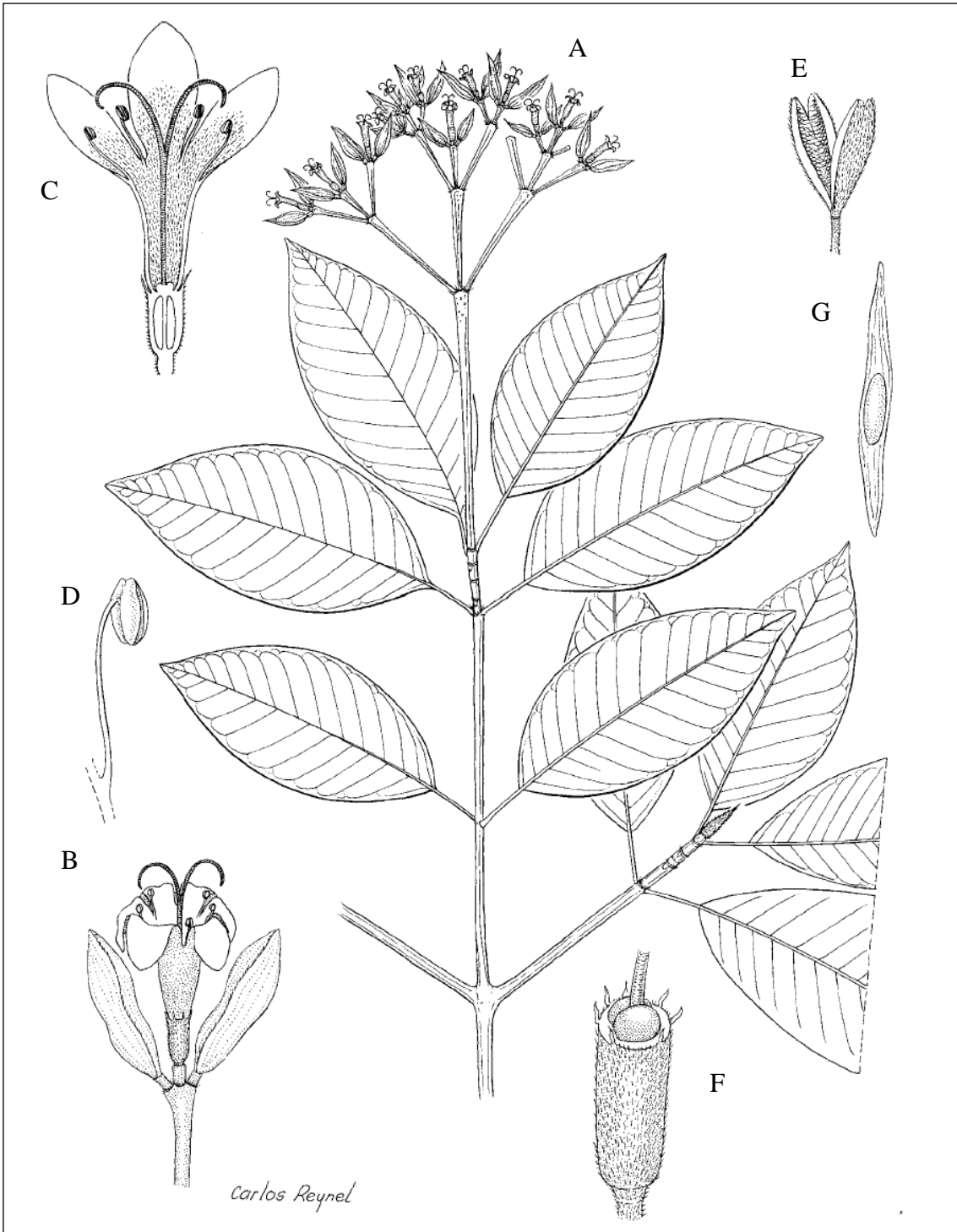


Figura 1: Descripción botánica de *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann. A. Ramita con hojas y flores, B. Flores, las dos laterales en botón, la central abierta, C. Flor, sección longitudinal, D. Estambre, E. Hipantio con la corola removida, F. Fruto, G. Semilla.

Fuente: Reynel, *et al* (2003)

## 2.2 Fenología

Según Flores (2004) cita que la floración y fructificación ocurren todos los años. La floración dura de 2 – 4 meses (marzo a junio). Posteriormente las flores caen y aparecen los frutos en forma de cápsulas alargadas de color verde amarillento. La maduración de los frutos dura 3 a 5 meses y la diseminación de semillas empieza en agosto pero alcanza su máxima intensidad en los meses de setiembre y octubre, a fines de la época seca.

Reynel *et al* (2003) mencionan registros de floración desde inicios de la estación seca hasta su final, entre Abril – Setiembre y fructificación a fines de la estación seca, entre Agosto – Setiembre.

## 2.3 Silvicultura

Reynel *et al* (2003), indica que la propagación de *Calycophyllum spruceanum* por semilla es exitosa; la germinación se inicia a los 3 – 5 días de la siembra; el poder germinativo es de 80 – 90% con semillas frescas. Las semillas son diminutas y se germinan en almácigos con sustrato arenoso. Las plántulas se transplantan luego a bolsas plásticas, en las cuales se las mantiene hasta que alcanzan unos 50 cm. de alto, tamaño al cual pueden ser llevadas al terreno definitivo.

El mismo autor, citando a Sotelo *et al*, menciona que un estudio efectuado para esta especie con semillas de diferentes procedencias en la amazonía peruana reporta crecimientos en altura de 1,4 – 1,6 m a los 6 meses y 3,5 – 4,7 m al año de edad.

Angulo *et al* (2004) mencionan que la Capirona en un sistema agroforestal a una edad de 5 años presenta un IMA (Incremento medio anual) del DAP de 1,68 cm/año/árbol y de volumen igual a 0,0073 m<sup>3</sup>/año/árbol. Asimismo para una edad de 4 años mediante el mismo sistema esta especie presenta un IMA del DAP de 1,52 cm/año/árbol y de volumen igual a 0,0031 m<sup>3</sup>/año/árbol.

Toledo (1999) indica que la capirona posee excelentes cualidades para la plantación a campo abierto en macizos puros o en combinaciones agroforestales, adiciona que tiene buena regeneración natural por la que es una especie ideal para el manejo de sucesiones secundarias. Menciona que esta especie puede manejarse en rotaciones cortas de 20 – 30 años para la producción de maderas de dimensiones medianas.

Wightman *et al* (2006) señalan que la cosecha de capirona en los mejores sitios y con un tratamiento intensivo, puede ser a los 15 años después de ser plantada; si el mantenimiento no es tan intensivo, una edad más realista sería de 20 años de plantada, por otro lado los árboles eliminados en los raleos hechos entre los 4 y los 5 años de edad pueden ser usados en construcción rural y para hacer leña. Estos mismos autores al referirse a la adaptabilidad de las plantas de capirona, mencionan que una vez que las plantas llegan a más de 40 centímetros de altura, soportan muy bien la inundación; recomiendan

evitar plantar la capirona en suelos de drenaje excesivo, en pendientes fuertes y en zonas donde la época seca dure más de 3 meses.

## 2.4 Hábitat y distribución

Según Reynel *et al* (2003) *Calycophyllum spruceanum* se puede encontrar en toda la Amazonía, hasta el sur de Brasil y Bolivia, debajo de los 1200 msnm. Es común en zonas de bosques secundarios, aunque se le encuentra también en los bosques primarios. El mismo autor menciona que esta especie se observa en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, pero también en zonas con una estación seca marcada. Es una especie heliófita, frecuente en bosques secundarios pioneros y tardíos, en suelos mayormente limosos a arenosos, aluviales, fértiles, a veces temporalmente inundables y en las zonas ribereñas, tolera la pedregosidad elevada.

Aróstegui (1974), menciona que la especie *Calycophyllum spruceanum* se presenta en los bosques tropicales de América del Sur, principalmente en la Amazonía. En el Perú generalmente se encuentra en los departamentos de Loreto (Iquitos, Yurimaguas), Ucayali (Pucallpa) y Huánuco (Tingo María), en las formaciones de Bosque seco Tropical, Bosque Húmedo Tropical y Bosque muy Húmedo Subtropical; en suelos aluviales, bosques primarios y secundarios. Chavesta (2005) añade que esta especie se encuentra asociada a *Manilkara bidentata*, *Pourouma cecropiaefolia*, *Guarea trichilioides*, *Genipa americana* y otras.

## 2.5 Descripción de la Zona en estudio

La plantación se encuentra ubicada en la localidad de San Alejandro en el distrito de Irazola, provincia de Padre Abad en la región Ucayali con coordenadas 08°51.164S, 75°10.748 W.

Según Holdrige (1987) el área de estudio se encuentra ubicada dentro de la zona de vida bosque húmedo tropical.

Flores (2002) indica que la temperatura promedio es de 26°C; la temperatura máxima promedio es de 29°C y la temperatura mínima promedio es de 24°C. La humedad relativa promedio es de 78%. La precipitación anual promedio es de 3600 mm con una estación muy lluviosa de Noviembre a Marzo y otra de menor precipitación de Abril a Octubre.

La plantación se encuentra en una zona plana con casi ningún accidente topográfico. Los suelos son por lo general profundos y ácidos, de arcillas de naturaleza caolinita de coloraciones rojas o amarillas INRENA (1994).

## **2.6 Descripción de la Madera**

### **2.6.1 Características Generales**

Aróstegui (1974), describe a *Calycophyllum spruceanum*, como una madera de albura marrón rosada y duramen marrón pardo. Grano recto e irregular. Textura uniforme y fina. Brillo medio. Sin olor ni sabor.

Según Chavesta (2005) la madera en condición seca al aire presenta albura de color blanco cremoso y duramen blanco amarillento. Presenta anillos de crecimiento algo diferenciados por bandas oscuras de forma regular, en promedio 8 anillos en 2,5 cm. Presenta grano recto a ligeramente entrecruzado. Acevedo y Kikata (1994) mencionan que la especie presenta vetado en bandas paralelas.

### **2.6.2 Características Anatómicas**

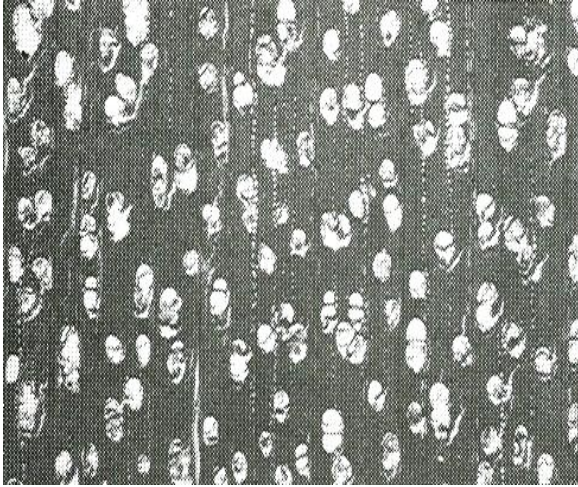
#### **2.6.2.1 Características Macroscópicas**

Chavesta (2005) señala que la madera presenta porosidad difusa, poros muy pequeños y numerosos visibles con lupa de 10x, exclusivamente solitarios; parénquima indistinguible aún con lupa de 10x; radios visibles con lupa de 10x, no estratificados.

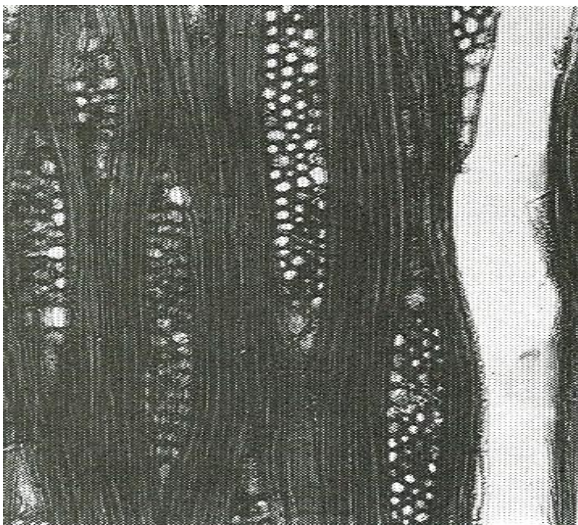
#### **2.6.2.2 Características Microscópicas**

Acevedo y Kikata (1994) describen que los vasos presentan diámetro tangencial de 39 a 145  $\mu\text{m}$  y longitud entre 615 y 1190  $\mu\text{m}$ ; platina de perforación simple, punteado intervascular y radiovascular opuesto con puntuaciones ovaladas y abertura incluida. El parénquima es del tipo apotraqueal difuso, no estratificado. Presenta radios heterogéneos tipo II, en algunos casos radios fusionados, no estratificados, con altura entre 144 y 470  $\mu\text{m}$ . Presenta fibras libriformes no estratificadas con diámetro total de 22  $\mu\text{m}$ , el grosor de la pared celular es de 6  $\mu\text{m}$ , la longitud varía entre 1,306 y 2,150  $\mu\text{m}$ . En cuanto a la cantidad de poros señala que están de 13 – 25 poros/ $\text{mm}^2$ . La ilustración a nivel microscópico en el sentido transversal, radial y tangencial se observa en la Figura 2.

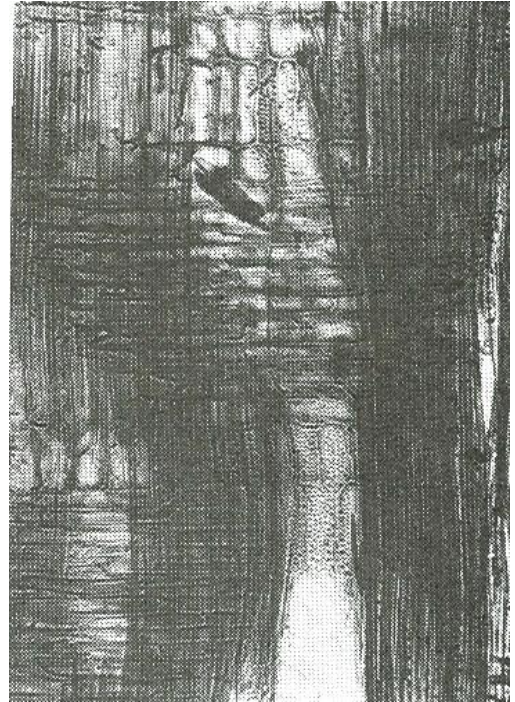
PADT – REFORT (1981) agrega que la especie en estudio presenta gomas y sílice en los radios y no presentan conductos gomíferos.



**Sección Transversal**



**Sección Tangencial**



**Sección Radial**

Figura 2: Secciones microscópicas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) hook ex Schumann.

Fuente: Acevedo y Kikata (1994)



### **2.6.3 Durabilidad Natural**

Chavesta (2005), menciona que esta especie es resistente al ataque de hongos xilófagos. La albura presenta una absorción alta; penetración parcial regular de grado fácilmente penetrable. El duramen tiene buena absorción, de penetración parcial irregular y de grado moderadamente penetrable. La Cámara Nacional Forestal (1996) menciona que la especie no requiere preservación debido a que es moderadamente resistente.

### **2.6.4 Secado y Trabajabilidad**

Aróstegui (1974) señala que la madera de Capirona, puede secarse bien si las condiciones del secado natural o artificial son bien controladas. En cuanto a la trabajabilidad tiene un acabado y cepillado bueno. Según González (1996) tiene una tendencia a grietas y rajaduras durante su secado, catalogándola como una madera difícil de secar. Chavesta (2005) agrega que la madera es de fácil aserrío y de labrado satisfactorio; se puede tallar manualmente y se logra buen acabado superficial.

### **2.6.5 Uso de la Madera**

La Cámara Nacional Forestal (1996) señala que *Calycophyllum spruceanum* puede ser utilizada en vigas, columnas, pisos, machihembrados y postes. Reynel *et al* (2003), indica que tiene excelentes cualidades para carpintería y moldurado además de poder ser utilizada en construcción rural (puntales, travesaños), Chavesta (2005) adiciona pasos de escaleras y ebanistería. Sotelo *et al* (2000), señala que los productos de valor agregado que se pueden obtener son tablillas para tarugos, enchapes decorativos y parihuelas.

## **2.7 Propiedades Físicas y Mecánicas de la madera**

### **2.7.1 Propiedades Físicas**

Aróstegui (1982) al referirse a la densidad básica la califica como una de las características más importantes de la madera definiéndola como la relación entre el peso seco al horno y su volumen verde; finaliza mencionando que la densidad de la madera tiene gran influencia en las propiedades mecánicas como, la resistencia a la flexión, dureza y otros.

Arroyo (1983) define el peso específico de la madera como la relación que existe entre el peso seco al horno de una muestra de ella y el peso del volumen de agua desplazado por la muestra a un contenido de humedad cualquiera.

Señala además, que debido a que el peso específico es una medida de la cantidad relativa de sustancia de la pared celular, es el mejor índice para predecir las propiedades de resistencia de la madera, es así que cita la siguiente relación peso específico - resistencia:

$$R = K (\text{Peso Específico})^n$$



Donde  $n$  define la forma de la curva que representa la relación Peso específico – resistencia,  $K$  es una constante de proporcionalidad y  $R$  es cualquier propiedad.

Haygreen y Bowyer (1982) haciendo referencia a la relación peso específico – resistencia señala que no todas las propiedades mecánicas son afectadas en igual grado debido a cambios en el peso específico. Es así que algunas propiedades incrementan con el peso específico mucho más rápido que otras. Así el U.S. Department of Agriculture (1974) menciona que es necesario hacer la relación con los resultados obtenidos para los diferentes ensayos.

Arroyo (1983) al referirse a la contracción de la madera la define como la reducción dimensional que experimenta la madera cuando pierde humedad por debajo del punto de saturación de las fibras.

Menciona que la contracción longitudinal es generalmente bastante pequeña. La mayoría de especies presentan valores promedios de contracción de 0,1 y 0,2% de verde a anhidro, este rango lo amplía Siau, citado por Espinoza de Pernía y León (2001), al mencionar que la contracción longitudinal en madera normal oscila entre 0,1 y 0,3 %.

En cuanto a la relación de la densidad con la contracción volumétrica de la madera, Espinoza de Pernía y León (2001) indican que como regla general se podría decir que la contracción volumétrica es proporcional a la densidad de la madera.

Aróstegui (1982) menciona que la estabilidad dimensional de la madera se puede observar mediante la relación entre la contracción tangencial y radial, este índice de estabilidad cuando se acerca a 1 significa que la madera es más estable y tiene buen comportamiento al secado.

Arroyo (1983) señala que se ha demostrado que el comportamiento físico de la madera está estrechamente relacionado con las características anatómicas, la composición química de las paredes celulares y la naturaleza y cantidad de extractivos presentes.

Asimismo menciona que todas las propiedades físicas de la madera dependen de los factores que determinan su organización estructural. Estos factores pueden resumirse de la siguiente manera:

1. Cantidad de sustancia de la pared celular presente en una muestra cualquiera.
2. Cantidad de agua presente en la pared celular.
3. Proporción de los componentes primarios en la pared celular y la cantidad y naturaleza de las sustancias extrañas.
4. Arreglo y orientación de los materiales en los diferentes tejidos.
5. Tipo, tamaño, proporción y arreglo de las células que forman el tejido maderable.

Haygreen y Bowyer (1982) en el mismo sentido, adicionan que al igual que las propiedades mecánicas, las propiedades físicas son determinadas por tres características estas son: a) La porosidad o proporción de volumen vacío, b) La organización de la estructura celular, la cual incluye la microestructura de la pared celular y la variabilidad y proporción del tipo de células, c) El contenido de humedad.

Estos mismos autores señalan, que la madera frecuentemente contiene cantidades medibles de extractivos los cuales se localizan en la pared celular, depositados durante la maduración de la pared secundaria y durante la formación del duramen; es esta cantidad de extractivos que van a poder tener un efecto sobre la densidad, es así que en algunas especies se ha encontrado que la presencia de extractivos contribuye significativamente en la variedad del peso específico por lo que se recomienda determinar la densidad de la madera sin extractivos.

Esto último lo afirma el U.S. Department of Agriculture (1955) donde se menciona que los valores de peso específico son afectados por gomas, resinas y extractivos los cuales contribuyen poco en la resistencia de la madera.

Haygreen y Bowyer (1982) menciona a la humedad, disponibilidad de luz solar y nutriente, viento y temperatura como factores del sitio que pueden afectar el peso específico.

Estos cambios que ocurren en la madera son función no sólo de la cantidad de humedad presente, sino también de la cantidad de sustancia de la pared celular; sin embargo menciona que esta última afirmación debe considerarse sólo como un índice aproximado, dado que la correlación no se mantiene para todas las maderas.

Arroyo (1983) al referirse específicamente a la contracción longitudinal señala que la madera de reacción sea madera de compresión en maderas blandas o madera de tensión en maderas duras, tienden a tener excesiva contracción longitudinal llegando según Haygreen y Bowyer (1982) a 1%. Del mismo modo la madera cercana al centro del árbol (madera juvenil) de algunas especies también presenta contracción excesiva en el sentido longitudinal. Este comportamiento de maderas atípicas hace que estas sean descartadas para un uso donde la estabilidad longitudinal es importante.

### **Propiedades Físicas de *Calycophyllum spruceanum***

Las Propiedades Físicas de *Calycophyllum spruceanum* de bosque natural que se presenta en el Cuadro 1 son referidas a dos fuentes estas son; JUNAC (1981a), esta presenta las propiedades físicas de 20 especies de Bolivia donde incluye a la Capirona, otra fuente es la presentada por Aróstegui (1974).

Meléndez (1999) determinó la densidad básica de *Calycophyllum spruceanum* también procedente de bosque natural. La figura 3 muestra la densidad básica señaladas por este y otros autores.

En lo referente a las propiedades físicas de *Calycophyllum spruceanum* procedente de plantaciones forestales, Sotelo (2006a) determinó la densidad básica a la edad de 39 meses, a la misma edad Sotelo (2006b) determinó la contracción; ambos se refieren a estudios en la cuenca del Aguaytia en la amazonía peruana. Los resultados se presentan en el cuadro 1

Por otro lado Aróstegui (1982) clasifica a las maderas del Perú en cinco grupos, según esto y lo citado por este mismo autor en 1974 en donde la Capirona presenta una densidad básica de 0,76 g/cm<sup>3</sup>, correspondería la clasificación de muy alta caracterizándose por tener muy buena resistencia mecánica y alta durabilidad.

Cuadro 1: Propiedades Físicas de la madera de *Calycophyllum spruceanum* según diferentes autores.

Propiedad		Unidades	Fuente		
			Sotelo (2006 a,b)	JUNAC (1981a)	Aróstegui (1974)
Densidad	Anhidra	g/cm <sup>3</sup>	.....	0,86	....
	Básica		0,58	0,74	0,76
Contracción Total	Radial	%	3,48	5	5
	Tangencial		7,5	9,2	9
	Volumétrica		11,19	13,7	
	Relación T/R	....	2,18	1,9	1,8

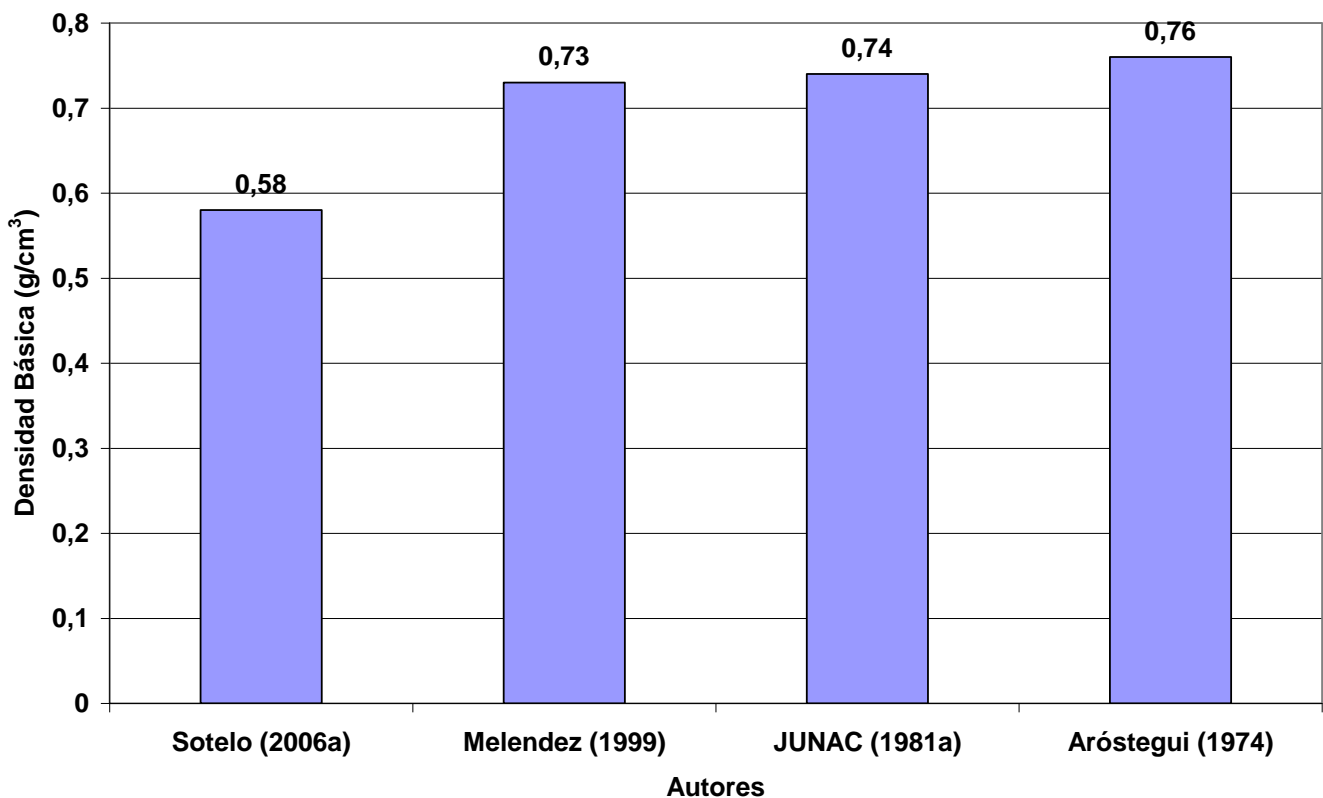


Figura 3: Comparación de la densidad básica de *Calycophyllum spruceanum* según diferentes autores.

### 2.7.2 Propiedades Mecánicas

Arroyo (1983), define a las propiedades mecánicas de la madera como la expresión de su comportamiento bajo la aplicación de fuerzas o cargas; esta fuerza expresada por unidad de área o volumen es un esfuerzo. El mismo autor señala tres tipos de esfuerzos primarios que pueden actuar sobre un cuerpo, siendo el primero un esfuerzo compresivo luego de tracción y por último el esfuerzo de cizallamiento. Asimismo existe la combinación de los tres esfuerzos produciendo el efecto de flexión o pandeo.

Aróstegui (1982) al referirse a la flexión estática menciona que es la resistencia que ofrece la madera a una carga que actúa sobre una viga y los valores numéricos promedios sirven de base para obtener los valores de diseño, que son los que se emplean en los cálculos de las vigas. Dentro de los esfuerzos en flexión estática está el módulo de elasticidad (MOE), que es un índice de la facilidad o dificultad que tiene las maderas para su deformación señalando que mientras la madera presente mayor MOE, menor será su deformación

Arroyo (1983) señala que la deformación total no recuperable que una pieza de madera puede absorber hasta el punto de falla es un índice de su tenacidad. Maderas que se doblan mucho y fallan gradualmente con la absorción de mucha energía son tenaces. Maderas que fallan abruptamente en forma completa con relativamente poca flexión, son frágiles o quebradizas. Asimismo

la forma de la línea carga – deformación en flexión estática mas allá de la carga máxima esta caracterizada por la tenacidad de la madera; la curva terminará en forma abrupta para maderas quebradizas y en forma escalonada para maderas tenaces.

Según ASTM (2000) divide en dos los tipos de falla que se puede mostrar en la madera sometida a flexión estática; la primera se refiere a una falla abrupta o de quebradura mientras que la segunda se observa cuando la falla muestra astilladura; también ilustra la falla producida por la desviación del grano y falla de corte o cizallamiento en el lado.

Aróstegui (1982) señala que la compresión paralela al grano tiene importancia en la construcción, cuando la madera se usa en puntales y columnas; al referirse a la resistencia máxima a la compresión paralela al grano menciona que es la carga que produce la falla. En cuanto a la compresión perpendicular menciona que tiene gran importancia en el uso de la madera en construcciones, en las cuales se transmiten cargas mediante piezas hechas de madera, así como para el caso de durmientes, señala que la madera se puede cargar en esta dirección en forma prácticamente ilimitada sin conseguir una carga máxima bajo la cual la madera se rompa.

Arroyo (1983) menciona que el cizallamiento o esfuerzo cortante de la madera se determina solamente en la dirección paralela al grano, porque la madera es más débil en esta dirección. Haygreen y Bowyer (1982) señalan que el cizallamiento paralelo a las fibras es importante cuando se diseña conexiones entre elementos estructurales en construcción. Adicionalmente, el esfuerzo de cizallamiento también se desarrolla internamente en una viga de madera bajo carga debido a que las diferentes capas tienden a deslizarse horizontalmente

Al referirse a la resistencia al impacto, menciona que esta, es esencialmente una medida de la absorción de energía o propiedades de trabajo de la madera y de su tenacidad. Aróstegui (1982) al referirse a la tenacidad la define como la resistencia de la madera al impacto o al choque, señalando que la madera con una baja resistencia a la ruptura por golpe, es decir quebradiza, se rompe con una rotura corta, siendo los planos de rotura lisos y su deformación por el golpe pequeño. Agrega que la madera tenaz, es decir, con una gran resistencia a la ruptura por golpe, falla con astilladura larga.

Bárcenas *et al* (2003) clasifica según el tipo de falla mostrada en el ensayo de tenacidad según la figura 4 en donde se muestra la falla de astilladura, falla por desviación del grano y falla vidriosa o frágil. Indica que los defectos que tienen mayor influencia en el comportamiento de la madera sujeta a cargas de impacto son: la desviación de fibra y la presencia de hongos manchadores.

Los mismos autores adicionan que este tipo de resistencia aumenta a medida que aumenta el contenido de humedad explicando que la tenacidad es una combinación de los esfuerzos de flexión y plasticidad de la madera esta última se incrementa directamente en proporción al incremento del contenido de humedad. Dentro de la aplicación que le da a esta propiedad la considera una propiedad mecánica de gran importancia, sobre todo para determinar la

susceptibilidad de una madera para ser usada en mangos de herramientas o artículos deportivos, como mangos de pistola, bates de béisbol u otros usos en los que sea necesario absorber y disipar la energía de impacto.

U.S. Department of Agriculture (1974) en lo que respecta a los valores de resistencia que son medidos comúnmente y que son representativos para el diseño incluye el módulo de ruptura en flexión estática, resistencia máxima en compresión paralela al grano, compresión perpendicular al grano y cizallamiento paralelo al grano por otro lado las propiedades menos comunes están la tensión paralela al grano, tenacidad, entre otros.

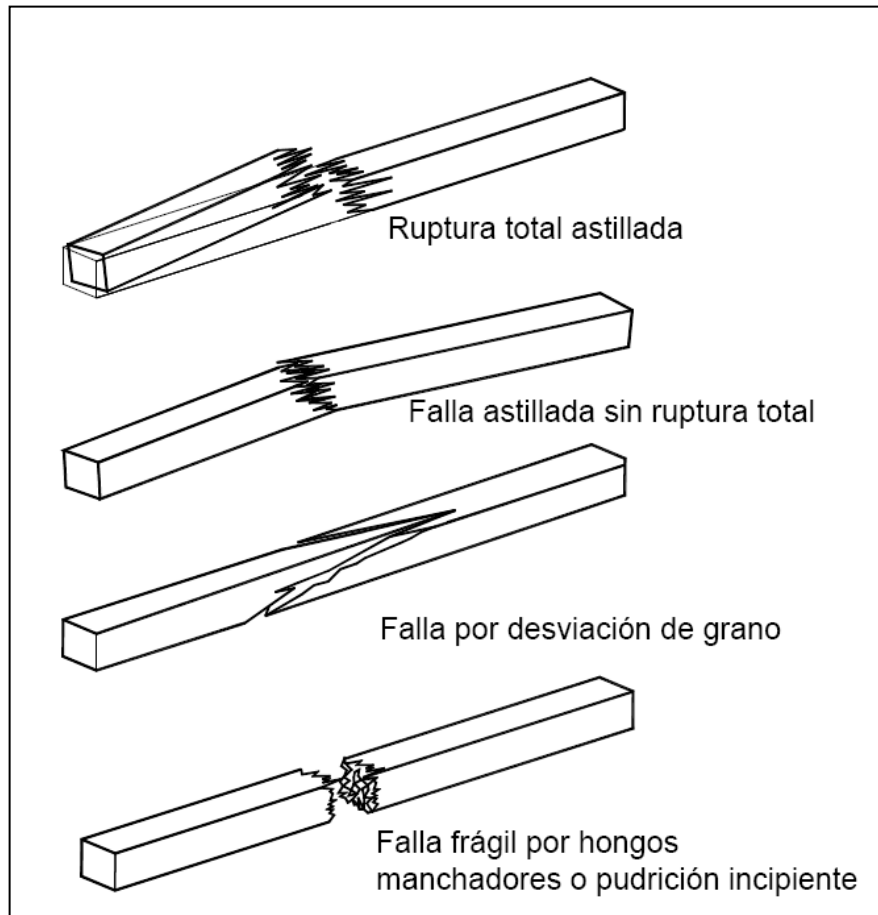


Figura 4: Tipos de falla en ensayos de impacto.

Fuente: INECOL citado por Bárcenas *et al* (2003)

Arroyo (1983) indica que la efectividad de una madera para resistir cualquier fuerza es función no sólo de la cantidad de sustancia de la pared celular, sino de las proporciones en que se encuentran los componentes de esa pared celular en una pieza dada y también de la cantidad de extractivos depositados en los lúmenes de las células.

Adicionalmente, la pared celular presenta anisotropía debido a la organización estructural de los materiales que la componen. Además de la anisotropía de la pared celular, la naturaleza de las células en forma de tubos de paredes delgadas y su orientación con respecto a los ejes del tallo, refuerza esta

heterogeneidad. La forma de las células y la orientación de la celulosa en las paredes celulares son el motivo de la alta resistencia de la madera a la tensión y compresión en el eje longitudinal. Cuando la madera se somete a fuerzas en la dirección lateral, los mismos tubos de paredes delgadas pueden ser deformados fácilmente. Las propiedades mecánicas también son algo diferentes en las direcciones radial y tangencial, debido a las diferencias anatómicas en la estructura maderable.

Vignote y Jiménez (1996), mencionan que la madera no es un material homogéneo, sino un material muy diferente según el plano o la dirección que se considere. Como resultado de esa desigual configuración, presenta un desigual comportamiento. Es decir es un material anisotrópico y para dar una idea de este comportamiento señalan que la madera, resiste entre 20 y 200 veces más en el sentido del eje del árbol, que en el sentido transversal.

AL referirse a los defectos como producto del crecimiento y que tienen importancia sobre las propiedades de la madera Arroyo (1983) explica los siguientes:

- a) Nudos: este tiene importancia cuando la madera es utilizada para fines estructurales, debido a que la presencia de nudos disminuye su calidad, porque el grano es distorsionado o desviado alrededor de los nudos dejando áreas de grano cruzado, el cual afecta las propiedades mecánicas.
- b) Madera de reacción: es un tipo especial de madera o tejido xilemático que se produce en los tallos inclinados y en los lados superiores e inferiores de las ramas. Las trozas que presentan este tipo de madera tienen médula excéntrica debido a un crecimiento mayor en uno de sus lados. La madera de tensión generalmente es más densa que la madera normal. Según el autor de acuerdo a pocos datos disponibles, la madera de tensión en relación con su densidad presenta propiedades mecánicas inferiores en compresión paralela al grano, compresión perpendicular, módulo de ruptura, cizallamiento y módulo de elasticidad en flexión estática.
- c) Grano inclinado: cuando se trata de madera estructural, cualquier tipo de grano inclinado se considera un defecto debido a la reducción de resistencia del miembro en el cual ocurre, sin embargo el grano entrecruzado aumenta considerablemente la resistencia a la rajadura (clivaje) en el plano radial y afecta, tanto la resistencia a la flexión, como la elasticidad, investigaciones sobre el comportamiento de vigas indican que la presencia de grano entrecruzado disminuye grandemente su resistencia a la flexión y su rigidez.

Haygreen y Bowyer (1982) señalan los siguientes factores que afectan la resistencia en maderas libres de defectos así como la forma que esta es afectada:

- a) Contenido de Humedad.- A medida que la madera se seca debajo del punto saturación de las fibras, la mayoría de propiedades elásticas y resistencia se incrementan.
- b) Tiempo.- El envejecimiento de la madera sin el efecto de microorganismos, altas temperaturas o carga continúa; tiene poco efecto en las propiedades.
- c) Temperatura.- La mayoría de propiedades mecánicas disminuye cuando la madera es calentada e incrementa cuando esta es enfriada.
- d) Fatiga.- Ésta es la habilidad del material para retener la fuerza cuando esta expuesta a repetidas cargas.
- e) Exposición a químicos.- la resistencia de la madera puede ser reducido por exposición severa de ambientes ácidos o alcalinos, sin embargo la madera es más resistente que el acero a condiciones acidas.

### **Propiedades Mecánicas de *Calycophyllum spruceanum***

Las Propiedades Mecánicas de *Calycophyllum spruceanum* son mostradas en el cuadro 2, en este se presenta el estudio de JUNAC (1981a) y la información mostrada en U.S. Department of Agriculture (1974) el cual presenta la resistencia máxima en compresión paralela y la dureza de lados; estas dos citas corresponden a información de bosque natural.

En cuanto a plantaciones forestales se presenta la resistencia máxima y módulo de elasticidad en compresión paralela determinada por Sotelo (2006c). En este estudio determinó que la madera juvenil de *Calycophyllum spruceanum* es relativamente resistente y rígida.

Chavesta (2005) menciona que la madera de Capirona tiene altos valores en sus propiedades mecánicas las que están acorde con su alta densidad.



Cuadro 2: Propiedades Mecánicas de *Calycophyllum spruceanum* señaladas por diferentes autores

Propiedad	Unidades	Fuente			
		U.S. Department of Agriculture (1974)	Sotelo (2006c)	JUNAC (1981a)	
Contenido de Humedad	%	14	12	12	Verde
Flexión Estática					
1. ELP	kg/cm <sup>2</sup>	.....	.....	813	683
2. MOR		.....	.....	1312	1028
3. MOE	t/cm <sup>2</sup>		.....	162	108
Compresión Paralela					
1. ELP	kg/cm <sup>2</sup>	.....	.....	.....	.....
2. RM		652,45	510,88	660	500
3. MOE	t/cm <sup>2</sup>		135,51	.....	.....
Compresión Perpendicular					
1. ELP	kg/cm <sup>2</sup>	.....	.....	183	131
Cizallamiento					
1. Radial	kg/cm <sup>2</sup>	.....	.....	141	124
2. Tangencial		.....	.....	178	159
Dureza					
1. Lados	kg/cm <sup>2</sup>	1156,66	.....	1374	979
2. Extremos		.....	.....	1486	865
Tenacidad					
1. Radial	kg-m	.....	.....	4,17	5,66
2. Tangencial		.....	.....	4,68	6

### 2.7.3 Clasificación de la Madera según sus propiedades Físicas y Mecánicas

Aróstegui (1982) menciona los rangos para clasificar las maderas según sus propiedades físicas y mecánicas esta última en condición verde.(Cuadro 3)

En los cuadros 4 y 5 se muestran la clasificación de propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en las condiciones seca al aire (12%) y verde respectivamente.

Cuadro 3: Clasificación de las maderas peruanas según sus propiedades físicas y mecánicas en condición verde

Grupo	Propiedades Físicas		Propiedades Mecánicas (kg/cm <sup>2</sup> )					Clasificación
	Densidad Básica (g/cm <sup>3</sup> )	Contracción Volumétrica (%)	Flexión Estática (MOR)	Compresión Paralela (RM)	Compresión Perpendicular (ELP)	Dureza Lados	Cizallamiento	
I	< 0,30	< 7	< 300	< 120	< 10	< 100	< 30	Muy Mala
II	0,30 - 0,40	7 – 10	300 - 500	120 – 240	10 – 40	100 - 300	30 - 60	Baja
III	0,41 - 0,60	10,1 – 13	501 - 800	241 – 360	41 – 70	301 - 600	61 - 90	Media
IV	0,61 - 0,75	13,1 – 15	801 - 1000	361 – 480	71 – 100	601 - 900	91 - 120	Alta
V	> 0,75	> 15	> 1000	> 480	> 100	> 900	> 120	Muy Alta

Fuente: Aróstegui (1982)

Cuadro 4: Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición seca al aire (CH=12%)

Flexión Estática		Compresión Paralela RM (kg/cm <sup>2</sup> )	Compresión Perpendicular ELP (kg/cm <sup>2</sup> )	Cizallamiento (kg/cm <sup>2</sup> )	Dureza		Clasificación
MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (t/cm <sup>2</sup> )				Lateral (kg)	Extremos (kg)	
< 550	< 75	< 325	< 35	< 50	< 150	< 160	Muy Bajo
551-800	76 – 105	326-450	36-65	51-90	151-350	161-400	Bajo
801-1000	106-125	451-530	66-85	91-120	351-550	401-625	Medio
1001-1300	126-150	531-650	86-125	121-165	551-900	626-1050	Alto
> 1300	> 150	> 650	> 125	> 165	> 900	> 1050	Muy Alto

Fuente: Dávalos y Bárcenas (1999)

Cuadro 5: Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición verde

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

Fuente: Dávalos y Bárcenas (1998)

## **2.7.4 Influencia de la Anatomía en las Propiedades Físicas y Mecánicas de la madera**

### **2.7.4.1 Anatomía y Propiedades Físicas**

Espinoza de Pernia y León (2001) indican que existe una correlación entre la densidad de la madera y el porcentaje de la pared celular utilizándose de esta forma la anatomía de la madera como un indicativo de la calidad de esta.

Fujiwara et al. citados por los autores mencionados; encontraron que los parámetros más correlacionados con la densidad básica son el espesor de las paredes de las fibras, el porcentaje de pared de las fibras y el volumen de los radios de los cuales el que ejerce un mayor efecto es el porcentaje de pared de las fibras; esto según un estudio con 50 especies latifoliadas del Japón.

Herrera (1987) halló para tornillo un valor alto de correlación (0,627) entre la longitud de fibra y la densidad atribuyendo que gran parte del comportamiento de la densidad se debe a las características anatómicas. Sin embargo Chambergó citado por Silva (2005), encontró al estudiar la relación de los elementos xilémicos con las propiedades físicas que entre estos existe una asociación lineal pero con un grado de influencia muy bajo esto para el estudio de 45 maderas peruanas.

Espinoza de Pernia y León (2001), explican que la mayor proporción de las microfibrillas se encuentran orientadas en dirección casi paralela al eje longitudinal de la célula de 10-30% en la capa S2, la mayor parte de hinchamiento o contracción se va a producir en dirección transversal debido a que es la de mayor espesor que la capa S1 y S3 donde predominantemente la contracción es en dirección longitudinal debido a mayores ángulos de inclinación.

Los mismos autores mencionan que los extractivos influyen sobre la tasa de contracción de la madera debido a que estos tienden a concentrarse en la estructura fina de la pared celular la cual normalmente es ocupada por agua y eso tiende a reducir la tasa de contracción de esta forma, la remoción de extractivos incrementa la correlación entre la contracción volumétrica y el peso específico en algunas especies como *Pinus sp.*, *Taxodium distichum* y *Nyssa aquatica*.

### **2.7.4.2 Anatomía y Propiedades Mecánicas**

Zhang y Zhong, citados por Espinoza de Pernia y León (2001) señalan que el peso específico puede servir como un estimador bastante confiable en la resistencia mecánica de maderas coníferas por poseer una estructura bastante homogénea sin embargo, para maderas latifoliadas, con una estructura de tipo heterogénea, el peso específico no proporciona el mismo nivel de confiabilidad esto porque pueden existir grandes diferencias estructurales entre maderas que poseen un mismo peso específico.

Estos mismos autores citando un estudio realizado por estos en 1993 establecieron comparaciones entre las propiedades de resistencia mecánica de

maderas de igual densidad y encontraron que características tales como la proporción de tejido parenquimático, presencia de conductos gomíferos longitudinales y floema incluso pueden ejercer un efecto negativo sobre las propiedades de resistencia de la madera.

Mencionan que tal vez la característica anatómica de mayor influencia en las propiedades de resistencia mecánica de la madera es el grosor de las paredes de las fibras, observándose que en aquellas maderas en donde se desarrollan fibras de paredes gruesas sus propiedades de resistencia son mayores a las de maderas con fibras de paredes delgadas. Sin embargo 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 por ejemplo alta proporción de poros o de parénquima axial, radios de gran tamaño, etc.

Al referirse a la longitud de las fibras señala que esta ejerce un papel preponderante cuando se aplican esfuerzos en dirección paralela al grano. La resistencia a la compresión paralela a las fibras, la resistencia a la tensión y la dureza de los extremos son propiedades que se encuentran altamente relacionadas por esta característica. En este mismo sentido Leclercq citado por los mismos autores indica que la longitud de las fibras ejerce un efecto importante sobre la resistencia a la flexión estática, resistencia al impacto en flexión y en la compresión paralela a las fibras

Arroyo (1983) señala que la resistencia a la tensión esta directamente relacionada con la morfología de los elementos fibrosos, es decir, con la longitud de las células, diámetro, espesor de las paredes celulares y ángulo de las fibrillas así como la relación celulosa – lignina.

Espinoza de Pernia y León (2001) agregan que la proporción y distribución del parénquima axial también juegan un papel importante en las propiedades de resistencia mecánica. Aquellas maderas que presentan altas cantidades de tejido parenquimático tienden a desarrollar menores valores en las diferentes propiedades de resistencia mecánica.

Silva (2005) concluye al estudiar a *Cedrelinga cateniformis Ducke* que el 55,2% del comportamiento de las propiedades físicas pueden ser atribuidas a los elementos xilemáticos, demostrando cuantitativamente que la estructura de la madera esta asociada con las propiedades físicas.

## **2.8 Variabilidad de la Madera**

Arroyo (1983) menciona que la variabilidad en las características de la madera de una misma especie puede ocurrir de un árbol a otro, en la madera de diferentes partes dentro de un mismo árbol y aún dentro de una misma pieza de madera. Estas variaciones en las propiedades de la madera son en gran parte el resultado de los patrones de crecimiento de los árboles, así como también de las influencias ambientales que afectan ese crecimiento, tales como clima, suelo, humedad y competencia. Agrega también que los factores genéticos juegan un papel importante pero todavía no han sido estudiados en gran medida.

U.S. Department of Agriculture (1974) define la variabilidad en las propiedades como una característica común en la madera debido a que esta es un material natural y el árbol esta sujeto a numerosos cambios influenciados por las condiciones de suelo, humedad, espaciamiento, entre otros, es así que la variabilidad en las propiedades esta presente aún en materiales libres de defectos.

Arroyo (1983) explica que pequeñas variaciones en longitud, espesor y diámetro de las células, ángulo de las microfibrillas en las paredes celulares, porcentajes de los diferentes tipos de células en la madera los cuales producen cambios significativos en las propiedades físicas; se deben a que las actividades fisiológicas del árbol son afectadas por los siguientes factores:

1. Modificaciones en el cambium producidas por maduración o envejecimiento, de las cuales depende la variabilidad dentro de los árboles de una misma especie.
2. Factores genéticos que son una de las causas principales de la variabilidad entre árboles.
3. Factores ambientales, entre ellos, precipitación, temperatura y tratamiento silvicultural, de los cuales depende el suministro de agua y nutrientes al cambium. Estos factores afectan tanto la variabilidad dentro de los árboles, como entre árboles de una misma especie.

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

### **2.8.1 Variabilidad de la Madera dentro un Árbol**

Las propiedades mecánicas de la madera y el peso específico están influenciadas por la posición dentro del árbol de donde han sido tomadas las muestras, siguiendo un patrón general de incremento desde la médula hacia la corteza como es el caso de *Douglas fir*, *White spruce* y *Engelmann spruce* las cuales muestran un incremento tanto en la resistencia como en el peso específico. Respecto a la relación de la resistencia de la madera con la altura en el árbol esta muestra una tendencia considerablemente menor que la relación entre la resistencia y la posición radial dentro del árbol; es así que se muestran resultados contradictorios teniendo a *White spruce* y *Engelmann spruce* que muestran un incremento del peso específico desde la base hacia la copa a diferencia de *Douglas fir* en la cual disminuye en la parte inferior y superior del tronco alcanzando valores mayores entre los 10 y 30 pies de altura Wakefield (1951).

Fachin (1986) determinó en la *Parkia velutina* que la densidad básica disminuye con la altura permaneciendo constante en los dos primeros niveles; este autor citando a Brown y Curro, afirman que la densidad básica, disminuye desde la base del árbol hacia la copa.

En lo que respecta a la contracción volumétrica Fachin concluyó que la *Parkia velutina* tiene mayor contracción volumétrica en la base y luego decrece con el aumento de la altura. Valderrama (1984) estudiando la variación de las propiedades físicas en el tronco de la *Tachigalia longiflora* Ducke y *Sclerobium melinonii* Herns, no encontró diferencias considerables en la contracción volumétrica dentro del tronco.

Fouger, citado por Arroyo (1983), encontró en *Pinus strobus* L. que la contracción longitudinal es máxima cerca de la médula por lo que éste último explica que se debe a que la madera en la parte central alrededor de la médula tiene traqueidas cortas, ángulo fibrilar grande, bajo contenido de celulosa y baja cristalinidad de esta última, estos factores contribuyen a producir una contracción longitudinal anormalmente alta cerca de la médula de esta especie y de otras que han sido investigadas.

Patiño (2002) concluye que los niveles de corte en *Simarouba amara* influyen sobre un mayor número de propiedades al incrementarse la edad del árbol esto como consecuencia que a la edad de 27 años un mayor número de propiedades como compresión paralela (MR), dureza, cizallamiento tenacidad y clivaje, varían aumentando desde la parte más baja del fuste hasta la base de la copa, no sucede para la edad de 16 años en donde sólo la resistencia al clivaje muestra diferencias significativas a lo largo del fuste aumentando con la altura; menciona también que la densidad básica aumenta desde la base hacia la copa del árbol para las dos edades mientras que la contracción tangencial y longitudinal decrecen a la edad de 27 años

Arroyo (1983), al referirse a la variabilidad del peso específico en la dirección longitudinal señala que se pueden presentar 3 tendencias según la especie; disminución uniforme del peso específico desde la base hasta la copa, disminución en la parte inferior del tronco y aumento en la parte superior; por último aumento del peso específico desde la base hasta la copa en forma irregular. Este mismo autor al referirse a latifoliadas, menciona que se ha encontrado comúnmente la última tendencia o patrón, el de aumentar desde la base hasta la copa en forma irregular. Ejemplos de él son los casos de *Fagus sylvatica* L., *Fraxinus pennylvanica* Marsh., *Nyssa aquatica*. y *Quercus falcata* Michx. En cuanto a la variación en el sentido radial señala que hay una división casi igual entre aumento y disminución del peso específico desde la médula hasta la corteza.

### **2.8.2 Variabilidad de la Madera entre Árboles**

Arroyo (1983) señala que las condiciones de sitio y la variabilidad del clima pueden producir grandes modificaciones en las características de la madera entre árboles y dentro de los árboles de una misma especie. Además de la variabilidad relativa al crecimiento, existen diferencias hereditarias en cada

individuo, las cuales distinguen unos de otros, aún dentro de casi idénticas condiciones.

Dentro de las condiciones de crecimiento que provoca la variabilidad entre árboles se menciona los tratamientos silviculturales de los cuales el que ha demostrado tener mayor efecto sobre algunas propiedades de la madera son la manipulación del espacio entre árboles, llámese aclareos o distancia de siembra, también figura la estimulación del crecimiento mediante el suministro de nutrientes y agua.

La ubicación geográfica sumada a los efectos climático relativos a la temperatura y precipitación, producen variaciones entre los árboles de una misma especie. En cuanto a las diferencias hereditarias se menciona que es posible seleccionar y reproducir aquellos árboles para el mejoramiento de determinadas características, es decir se ha demostrado que diversas características importantes en la calidad de la madera tienen origen hereditario. En este sentido Sotelo (2006a) encontró una variación en la densidad básica debido a procedencia de los árboles madres y familias (árboles madres) dentro procedencia esto para *Calycophyllum spruceanum* evaluada a la edad de 39 meses. De la misma forma en otro estudio Sotelo (2006c) encontró que hubo diferencias significativas en las propiedades mecánicas (compresión paralela) debido a familias dentro de procedencias de semillas de árboles madres.

Castro citado por Condori (2007) menciona que el suelo donde se desarrolla un árbol ejerce gran influencia en el desarrollo este reflejándose en la calidad de la madera; así cuando el terreno es húmedo la fibra resulta ligera y esponjosa siendo el exceso de agua el que impide que la savia se concentre y forme un tejido compacto, en cambio los árboles de maderas duras se desarrollan en terrenos secos y arcillosos.

### **2.8.3 Variabilidad en las Características Anatómicas de la Madera**

Arroyo (1986) señala que el ángulo fibrilar o microfibrillas 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 exterior del tronco. Algunas investigaciones han comprobado esto para coníferas, aparentemente existe la misma tendencia en latifoliadas y ha sido comprobada en *Fraxinus americana* L.

Este mismo autor indica que dentro de un anillo de crecimiento la longitud de los elementos fibrosos aumenta directamente con la altura hasta alcanzar un máximo en un punto determinado del tronco; a partir de este nivel la longitud de las células disminuye hasta la yema apical formada por un sólo anillo que caracteriza a la madera juvenil, este sistema general de variación señala que es tanto en coníferas como en latifoliadas, sin embargo menciona que existen algunos estudios que no se ajustan a la generalización de la variabilidad expuesta anteriormente.



Fahn citado por Silva (2005), considera que la longitud de las fibras y traqueidas aumenta desde el centro del tronco a la periferie, a través de al menos cierto número de anillos anuales.

Silva (2005) menciona que maderas duras muestran que el grosor de la pared celular generalmente disminuye desde la base hacia la punta esto no coincide con sus resultados, estudiando *Cedrelinga cateniformis Ducke* la cual no muestra diferencia significativa entre el primer nivel de 3 m y el segundo nivel de la misma longitud, esta no significancia también se muestra en otras características anatómicas como poros, radios y fibras.

## 2.9 Crecimiento del Árbol

Haygreen y Bowyer (1982) señalan que existen ciertas zonas bien definidas del árbol en donde se formarán nuevas células y que provocarán el crecimiento del árbol estas regiones se denominan zonas meristemáticas las cuales son: puntas o guías de ramas, extremos de las raíces y el cambium. El tejido en las zonas mencionadas esta compuesto por células muy delgadas, no diferenciadas y capaces de dividirse varias veces; tales tejidos se llaman tejidos meristemáticos.

La zona meristemática en el ápice del tallo, se menciona como principal y de importancia significativa ya que controla en cierta medida el desarrollo de ramas y raíces y es llamada meristema apical. La división celular en este meristema produce el crecimiento longitudinal del tallo principal, pues la producción de nuevas células en esta zona es seguida por alargamiento.

Espinoza de Pernia y León (2001) señalan que el meristema apical es el que se encuentra ubicado en el ápice o extremo del tallo principal, ramas y raíces y es el responsable del crecimiento longitudinal o crecimiento primario de la planta

Haygreen y Bowyer (1982), al seguir describiendo el crecimiento de los árboles señalan la producción de células y su subsecuente alargamiento seguidas por una secuencia de cambios (tamaño, forma y función) conforme las células nuevas van madurando, este proceso se explica en el la figura 5 que muestra una secuencia simplificada del proceso de crecimiento.

Este proceso se puede comenzar a observar en la parte del centro del tallo donde las células sufren un complejo proceso evolutivo y forman un anillo alrededor del centro; el cual se le denomina el Procambium, de la misma forma los tejidos del borde del tallo joven han formado la epidermis como protección contra la perdida de humedad.

Después de originado el Procambium las células internas de este sufren cambios y se hacen similares al xilema que se formará mas tarde; las células externas del Procambium sufren modificaciones asumiendo características similares al floema. Estas dos nuevas capas de tejidos son llamadas xilema y floema primarios.

Como fase final del proceso evolutivo el Procambium se hace activo y se convierte en cambium vascular que dará lugar a xilema o floema secundario.

Espinoza de Pernia y León (2001) indican que el cambium vascular es el responsable del crecimiento en grosor o crecimiento secundario de las plantas en las cuales se presenta. Por procesos de división celular da origen a xilema secundario hacia la parte interna y floema secundario hacia la parte externa. Después de haber mencionado lo anterior este mismo autor señala que a medida que se desarrolla el tallo, se van produciendo una serie de cambios en la porción xilemática, de manera tal que en la parte interna del xilema (duramen) sólo se cumple la función de soporte; mientras que hacia la parte periférica (albura) se desempeñan funciones de conducción, almacenamiento y soporte.

Yang *et al* citado por Espinoza de Pernia y León (2001) al mencionar el mecanismo de transformación de albura en duramen explica que éste no es muy claro y se han postulado muchas teorías al respecto y entre estas se pueden mencionar las relacionadas con ataque de hongos, aireación y desecación, acumulación de sustancias tóxicas, déficit de agua, presencia de sustancias que inducen a la formación de duramen y procesos de envejecimiento.

Describiendo este último factor se dice que es natural que después de cierta edad, el árbol comience a desarrollar un duramen bien diferenciado; si embargo esta transformación de albura a duramen es muy variado entre especies así por ejemplo es de 6-12 años para *Chyptomeria japónica*, 3-4 años para *Robinia sp.*, 60-70 años para *Fraxinus excelsior* y más de 100 años en *Alstonia scholaris*; como lo menciona Hillis citado por Espinoza de Pernia y León (2001). Por su parte Hale (1951) señala que árboles jóvenes pueden estar muy probablemente conformados enteramente de albura.

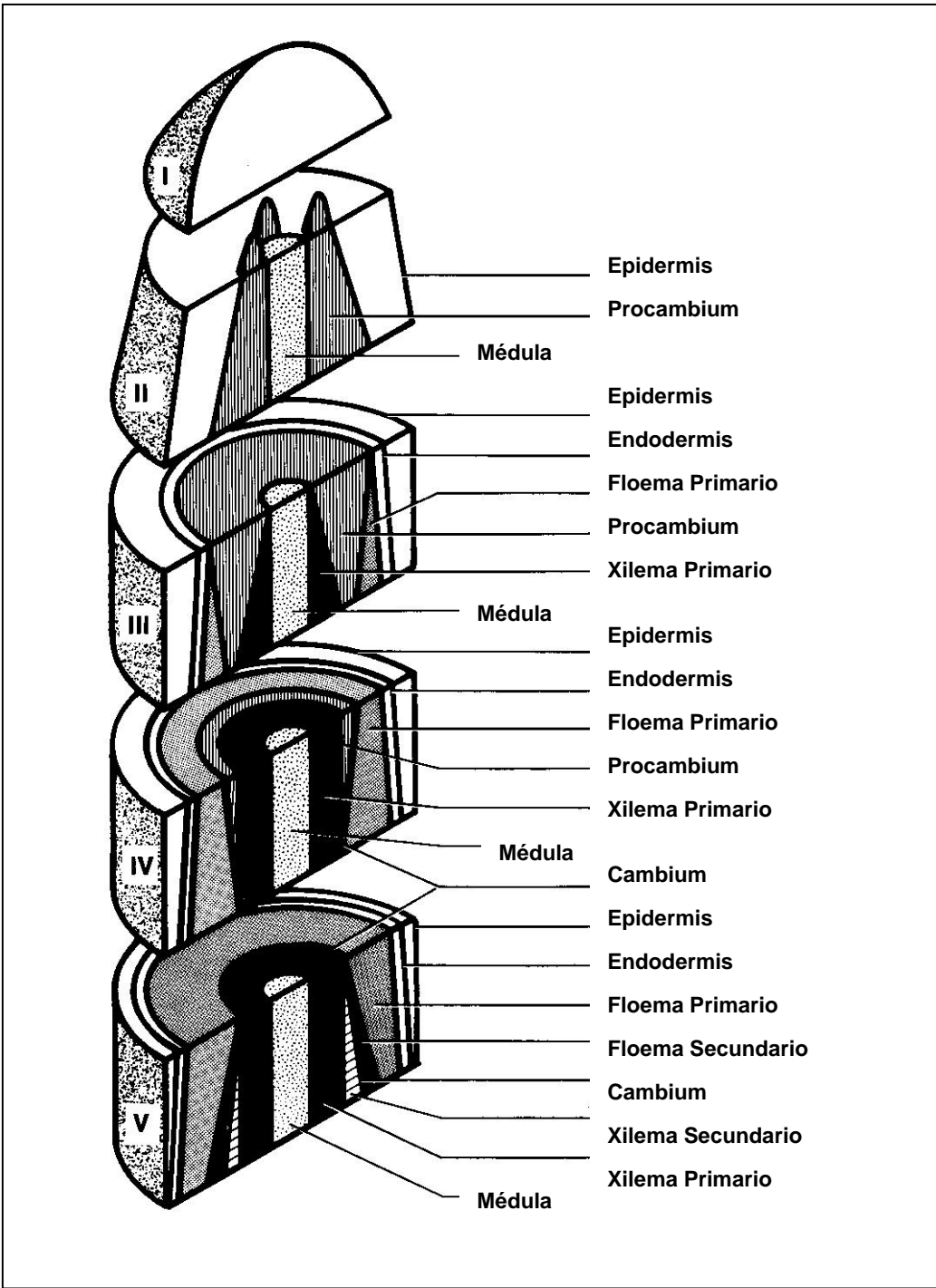


Figura 5: Secuencia del crecimiento de un Tallo

Fuente: Haygreen y Bowyer (1982)

## 2.10 Implicancias del uso de árboles a temprana edad

Maeglin (1987) señala que en los Estados Unidos la época del uso de árboles de grandes diámetros para madera aserrada y tableros contrachapados ha terminado. Los límites inferiores de dimensiones y calidad de las trozas son cada vez menores esto provoca la utilización de árboles cada vez más pequeños con edad generalmente menores.

Este autor señala que la utilización de estos árboles jóvenes presentan una gran proporción de madera juvenil, madera de tensión y tensiones de crecimiento.

### 2.10.1 Madera Juvenil

La madera formada cerca de la médula se llama madera juvenil que se caracteriza por poseer estructura celular y propiedades diferentes a la madera de la parte externa del tronco. La formación de madera juvenil esta 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).

Maeglin (1987) la define como aquella madera formada en la proximidad de la copa durante el tiempo que el árbol esta joven, en ese mismo sentido explica De Champs, citado por Vignote y Martínez (2006), que la actividad de las ramas se relaciona con la formación de madera juvenil mencionando que el árbol forma este tipo de madera a una determinada altura en tanto tengan actividad las ramas situadas por debajo de esta altura. Es decir, que la parte del fuste, que ya no tiene ramas, forma madera adulta

El período de tiempo de la formación de la madera juvenil es variable para diferentes especies y entre árboles de una especie, (Maeglin ,1987). Senft *et al* (1985) menciona que la zona de madera juvenil abarca en *Douglas – fir* los 20 primeros años de crecimiento sin embargo al menos 15 años parece ser lo mas común en la longevidad de la madera juvenil en esta especie, pero esto varia entre investigadores

Haygreen y Bowyer (1982) explican que debido al cambio gradual desde la médula hacia el exterior de las propiedades de la madera, no es claro saber donde la madera juvenil termina y donde la madera adulta comienza. La localización de este límite depende además de la propiedad usada para definir esta zona así la longitud de las fibras puede alcanzar la madurez antes que otras características como el espesor de la pared celular.

Jozsa y Middleton (1994), haciendo una distribución dentro del árbol de la madera juvenil y adulta (Figura 6) muestra que esta última se encontraría en la parte baja del fuste en forma de una cubierta debajo de la copa activa y alrededor de la zona juvenil, mientras que en la parte alta estaría formado todo por madera juvenil.

Los mismos autores indican que la cantidad de madera juvenil dentro del árbol depende de la edad del árbol y en la extensión y vigorosidad de la copa activa. Generalmente para un diámetro dado, árboles con crecimiento rápido tienen una mayor proporción de madera juvenil.

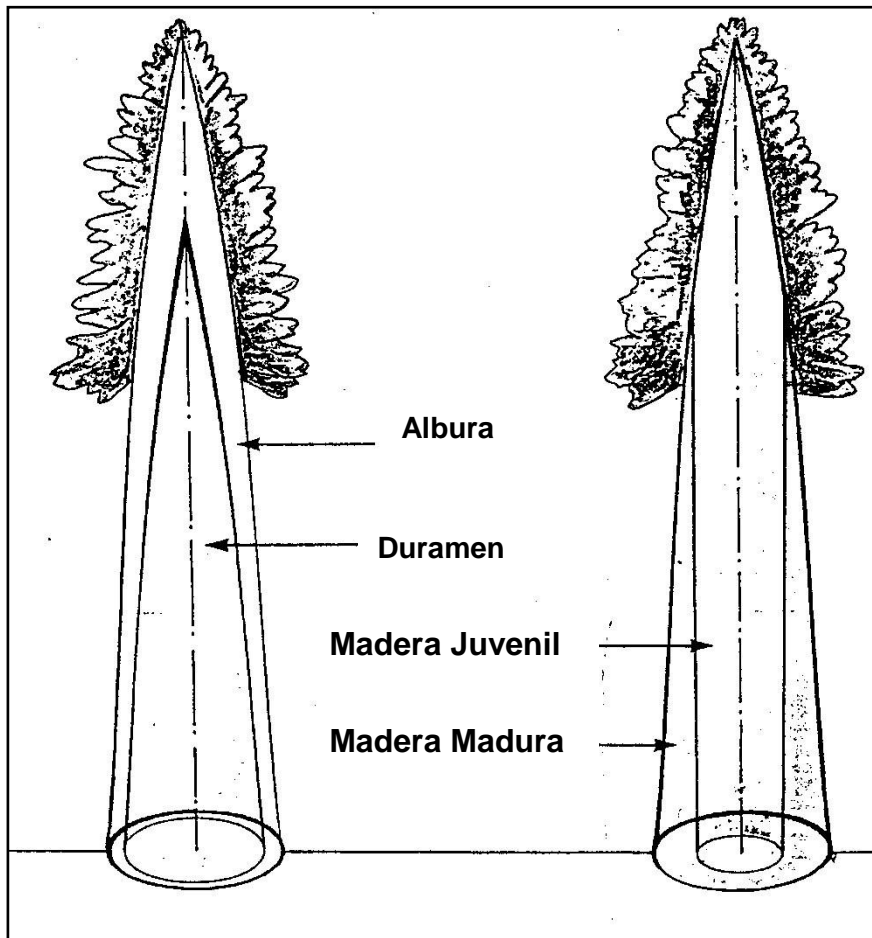


Figura 6: Distribución de la madera juvenil y madera madura en el fuste

Fuente: Jozsa y Middleton (1994)

### 2.10.1.1 Características de la Madera Juvenil

Maeglin (1987) menciona las siguientes características de la madera juvenil comparadas con la madera madura: a) fibras y vasos más cortos, b) diámetro celular más pequeño, c) espesor de la pared celular más delgado, d) mayor ángulo fibrilar, e) mayor proporción de fibras, f) menos proporción de vasos, g) mayor contenido de holocelulosa. Adiciona que de estas características anatómicas depende el peso específico, resistencia y la contracción e hinchazón de la madera.

Haygreen y Bowyer (1982) describen que dentro la célula, el ángulo microfibrilar en la capa S-2 de la pared secundaria es característicamente mayor en la madera juvenil, lo que provoca un alto grado de contracción longitudinal y una correspondiente disminución en la contracción transversal.

Estos mismos autores señalan que considerando los factores de reducción de la resistencia, ocurrencia de grano espiralado, y un alto grado de contracción longitudinal, la madera juvenil es generalmente no deseada para su uso en la mayoría de productos maderables.

Jozsa y Middleton (1994) señalan que en general; la madera juvenil contiene cerca de 3% más lignina; correspondiendo menos celulosa que la madera madura. De la misma forma, Arroyo (1983) menciona que según estudios realizados en especies coníferas se obtuvo un contenido de celulosa bastante bajo para la madera juvenil en comparación con el de la madera cercana a la corteza.

Según Haygreen y Bowyer (1982) la porción de madera juvenil frecuentemente contiene una apreciable cantidad de madera de reacción. Menciona que muchas investigaciones han reportado formación de madera de reacción en maderas de crecimiento rápido aún sin estar los fustes inclinados, esto se debe a que los árboles muy jóvenes pueden estar inclinados formando madera de tensión y luego recuperar su posición vertical. Pardos citado por Vignote y Martínez (2006), agrega que existe una proporción más alta de madera de compresión en la zona juvenil comparada con la madura.

#### **2.10.1.2 Problemas Relacionados con la Madera Juvenil**

Senft *et al* (1985), describen que debido a que la contracción longitudinal en madera juvenil puede ser hasta diez veces más que la madera madura, provocaría un rechazo de esta madera en los hornos de secado además de productos rajados o con torceduras, pisos desiguales, uniones débiles en las estructuras entre otros producto de este tipo de madera. Además agregan que la madera juvenil es de resistencia más baja que la madera normal y que puede causar fallas estructurales si es que no se da un adecuado uso.

Maeglin (1987) menciona que los problemas característicos de la madera juvenil son la excesiva contracción longitudinal, alabeo y una reducción de la resistencia; también menciona la presencia de grano velloso, inestabilidad en la fabricación y uso de la madera. Hace notar que estos problemas aparecen en la madera en los procesos de aserrado, secado, laminado, etc.

Arroyo (1983) afirma que por lo general la baja calidad de la madera juvenil es más significativa en coníferas que en latifoliadas.

#### **2.10.1.3 Relación de la silvicultura con la Madera Juvenil**

Los factores silviculturales así como causan un aumento en la velocidad de crecimiento en los árboles generalmente provocan una disminución en la densidad y el desempeño de un producto dado (Chadwick, 1985). Este aumento de velocidad a una edad temprana según Haygreen y Bowyer (1982) podría ocasionar una alta proporción de madera juvenil.

Bendtsen citado por Haygreen y Bowyer (1982) indicó que los efectos para incrementar el crecimiento de los árboles a una edad temprana pueden ser muy significativos; menciona que *Loblolly pine* a la edad de 15-25 años puede contener 75% o más madera juvenil en comparación con árboles de similar dimensión proveniente de un bosque natural donde su crecimiento ha sido más lento conteniendo sólo una pequeña fracción de madera juvenil cuando ellos alcanzan el tamaño comercial, es necesario por tanto considerar este factor al cosechar un árbol aún este tenga el tamaño comercial . Por ello se menciona que seleccionar el momento oportuno para realizar el tratamiento silvicultural es importante si se quiere minimizar la ocurrencia de madera juvenil.

Jozsa y Middleton (1994) señalan que según la especie, la superficie que ocupa la madera juvenil en el interior del árbol depende de la edad del árbol y del tamaño y vigor de la copa. Generalmente, árboles de crecimiento rápido presentan una mayor proporción de madera juvenil que aquellos que no retienen el crecimiento de sus copas. Por consiguiente un árbol de 15 años de la especie *Douglas-fir* (con ramas sobre el suelo), podría tener 100 % de madera juvenil en su fuste, por otro lado si este árbol hubiese crecido otros 50 años tendría un 50 % del volumen de madera juvenil dentro de su altura comercial.

Por otro lado la actividad de las ramas tiene influencia en la formación de madera juvenil es por esto que De Champs citado por Vignote y Martínez (2006) explica que cuanto antes se poden o pierdan actividad las ramas del árbol, antes empezará a formar madera madura siendo importantes las labores silvícolas que se practiquen .

Haygreen y Bowyer (1982) mencionan que plantar árboles en zonas totalmente descubiertas y con gran distanciamiento entre árboles puede resultar en una gran proporción de madera juvenil, grandes y frecuentes nudos y fustes un poco más ahusados que si estos árboles estarían desarrollándose en distanciamientos menores entre árboles.

Este autor recomienda que cuando los árboles están en crecimiento para la producción de madera de calidad sería mejor un manejo en el cual se tenga un crecimiento lento para los primeros 5-10 años, con sucesivos pasos para mejorar la velocidad de crecimiento después de este tiempo. La práctica de una plantación con distanciamientos menores depende en gran medida en una combinación del costo de plantación y mas tarde de una responsabilidad en el raleo.

Por otro lado McKimmy (1985) en cuanto a la fertilización menciona que esta tiene un variado efecto sobre la densidad de la madera señalando que la mayoría de investigadores han encontrado una tendencia de disminución de la densidad como resultado de la fertilización, este efecto para *Douglas – fir*, aparece hacia el final de los 3 a 5 años.

Este mismo autor estudiando la relación del peso específico con el raleo y factores genéticos para *Douglas – fir* concluyó que el peso específico estaba influenciado en mayor escala por el ambiente y el origen de semillas más que por la velocidad de crecimiento producto de la apertura de las copas.

Arroyo (1983) menciona que retardando el crecimiento de los árboles jóvenes de plantaciones regulando el espaciamiento entre árboles; se reduciría a un mínimo la columna de madera juvenil y disminuirá la cantidad de material de baja densidad con características anormales de contracción.

### **2.10.2 Tensiones de Crecimiento**

Vignote y Martínez (2006) al referirse al origen de las tensiones de crecimiento mencionan que pareciera que el árbol esta en la búsqueda de una posición recta y estable. Para ello, las células de madera producidas por el cambium, tienden, en un proceso de maduración, a expandirse lateralmente y a contraerse longitudinalmente, pero la madera formada en años anteriores impide esta tendencia, con lo que se genera un estado de tensiones.

Dentro de los efectos mencionados por estos autores, están los de alabeo, estos se producen debido a una liberación de tensiones las cuales estando el árbol en pie se compensan entre una y otra parte del árbol que se pierde durante el aserrío. En el despiece, los efectos de las tensiones de crecimiento varían según la posición que ocupe la tabla en el tronco así como lo muestra la Figura 7.

Según Maeglin (1987) este tipo de tensiones se da en los árboles en crecimiento, en el momento de la formación de la nueva madera causando rajaduras en las trozas, alabeo en la madera aserrada y chapas, también rajaduras de las trozas durante el aserrío.

El alabeo se produce porque existe una diferencia en el grado de stress a lo largo de la sección transversal de la troza. Señala que cuando las trozas tienen 24 pulgadas o más el stress es distribuido sobre un radio mayor no es así en trozas pequeñas en las cuales los problemas de rajadura, alabeo se acentuaran.

Vignote y Martínez (2006) señala que la medida mas acertada como solución a este problema, es la de aumentar el turno con dos objetivos, por una parte llegar a la edad de madurez del árbol y así que disminuyan las tensiones perimetrales, por otra parte aumentar el diámetro, y con ello, a igualdad de tensiones perimetrales, menor es el gradiente de tensiones a lo largo de la sección, con lo que la descompensación de tensiones en los distintos despieces es menor.



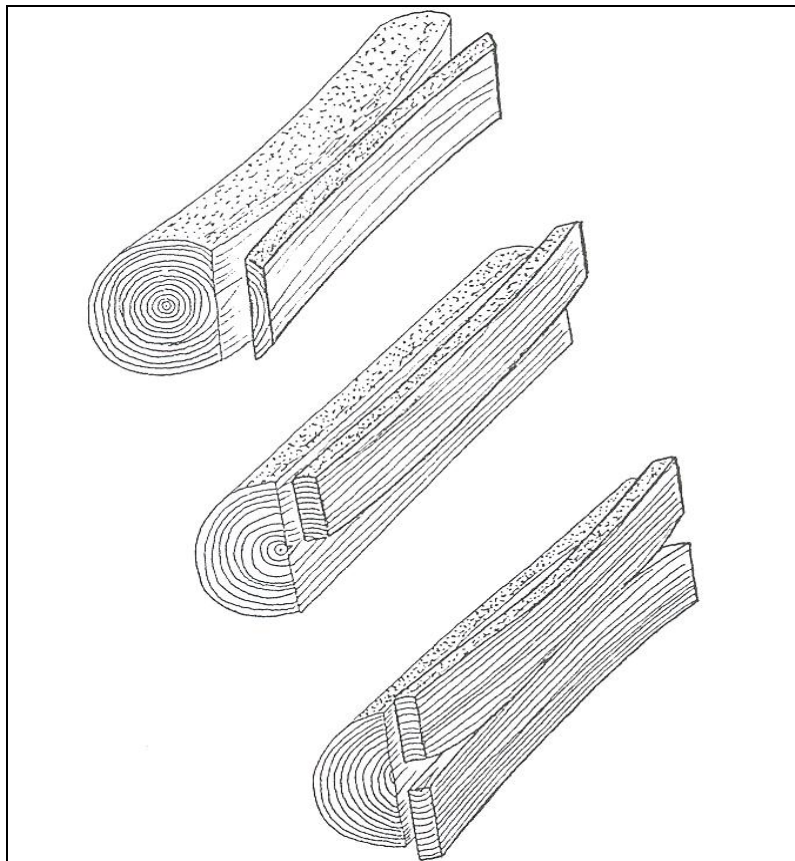


Figura 7: Efecto de las tensiones de crecimiento, durante el aserrío de la madera.

Fuente: Vignote y Jiménez (1996)

### 2.10.3 Madera de Reacción

Según Maeglin (1987) la madera de tensión (para el caso de latifoliadas) puede ser formada en cualquier momento durante la vida del árbol, pero los árboles jóvenes son especialmente sujetos a este tipo de madera. Esto es en gran parte porque los árboles jóvenes son pequeños y flexibles y pueden ser fácilmente inclinados por nieve, hielo o aire; también se encuentran sujetos a cambios de condiciones de luz. Durante los años de formación, una considerable cantidad de madera de tensión es formada en la zona juvenil. Esta puede ser encontrada dispersa por todo el fuste, no sólo en un lado como ocurre en árboles de mayor edad. Debido a esta dispersión hace difícil aislar la madera de tensión a una edad temprana.

Haygreen y Bowyer (1982) mencionan que la madera de tensión presenta un contenido de celulosa mayor que la madera normal, junto a un aumento de 5-10% en la densidad, sin embargo tiende a producir vellosidades en la superficie cuando es aserrada particularmente cuando se procesa en estado verde; en el secado muestra una tendencia al colapso irreversible, la resistencia de este tipo de madera es generalmente menor que la madera normal madura.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de Ejecución del ensayo

El estudio tuvo lugar en el Laboratorio de Propiedades Físico-Mecánicas de la Madera del Departamento Académico de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

#### 3.2 Materiales y Equipos

##### 3.2.1 Especie

La especie que se estudió es *Calycophyllum spruceanum* (“capirona”) proveniente de una plantación experimental de 9 años ubicada en el distrito de Irazola, provincia de Padre Abad en la región Ucayali. Las características de la plantación se encuentran en el cuadro 6.

Cuadro 6: Información de la plantación de la cual se seleccionaron los árboles en estudio

Fecha de la plantación	02 Febrero de 1998
Área plantada	556,25 m <sup>2</sup> , 112 árboles plantados, distanciamiento entre árboles de 2,5 metros.
Tipo de Plantación	A campo Abierto.
Topografía y suelo	Topografía plana con dos filas de árboles con pendientes de 5 - 10%. Suelo ligeramente ácido (PH 6,3) el análisis de suelo se encuentra en el anexo 10.
Mantenimiento	Raleo al 50% con fecha 11 Octubre de 2000. No se realizó poda por presentar autopoda. Fertilización (ver anexo 10). Control de maleza con cubierta del suelo por centrosema.

##### 3.2.2 Equipo para la Preparación de Probetas

- Sierra (de cinta, disco y radial).
- Garlopa.
- Cepilladora.
- Taladro.
- Cámara Digital de 5 megapíxeles.

##### 3.2.3 Equipos de Laboratorio

- Prensa Universal “Tinius olsen” de ensayos mecánicos y accesorios.
- Probadora de Tenacidad “Baldwin”.
- Balanza de precisión 0.01g.
- Estufa Eléctrica.
- Taladro.
- Sierra circular portátil.

- Vernier Digital con precisión de 0,01 mm.
- Desecador de humedad provistos de silicagel.
- Micrómetros con precisión de 0.01mm.
- Vaso de precipitación de 500 ml.
- Pinzas.
- Cámara Digital de 5 megapíxeles

#### 3.2.4 Otros

- Wincha, Escuadra, Lupa 10x, cuchilla.
- Lápiz de cera, artículos de escritorios.
- Formatos.
- Computadora.

### 3.3 Metodología

#### 3.3.1 Ubicación de la plantación en estudio

La plantación a campo abierto de 556,25 m<sup>2</sup> se encuentra ubicada en la localidad de San Alejandro en el Km. 105 de la carretera Federico Basadre en el distrito de Irazola, provincia de Padre Abad en la región Ucayali con coordenadas 08°51.164S, 75°10.748 W.

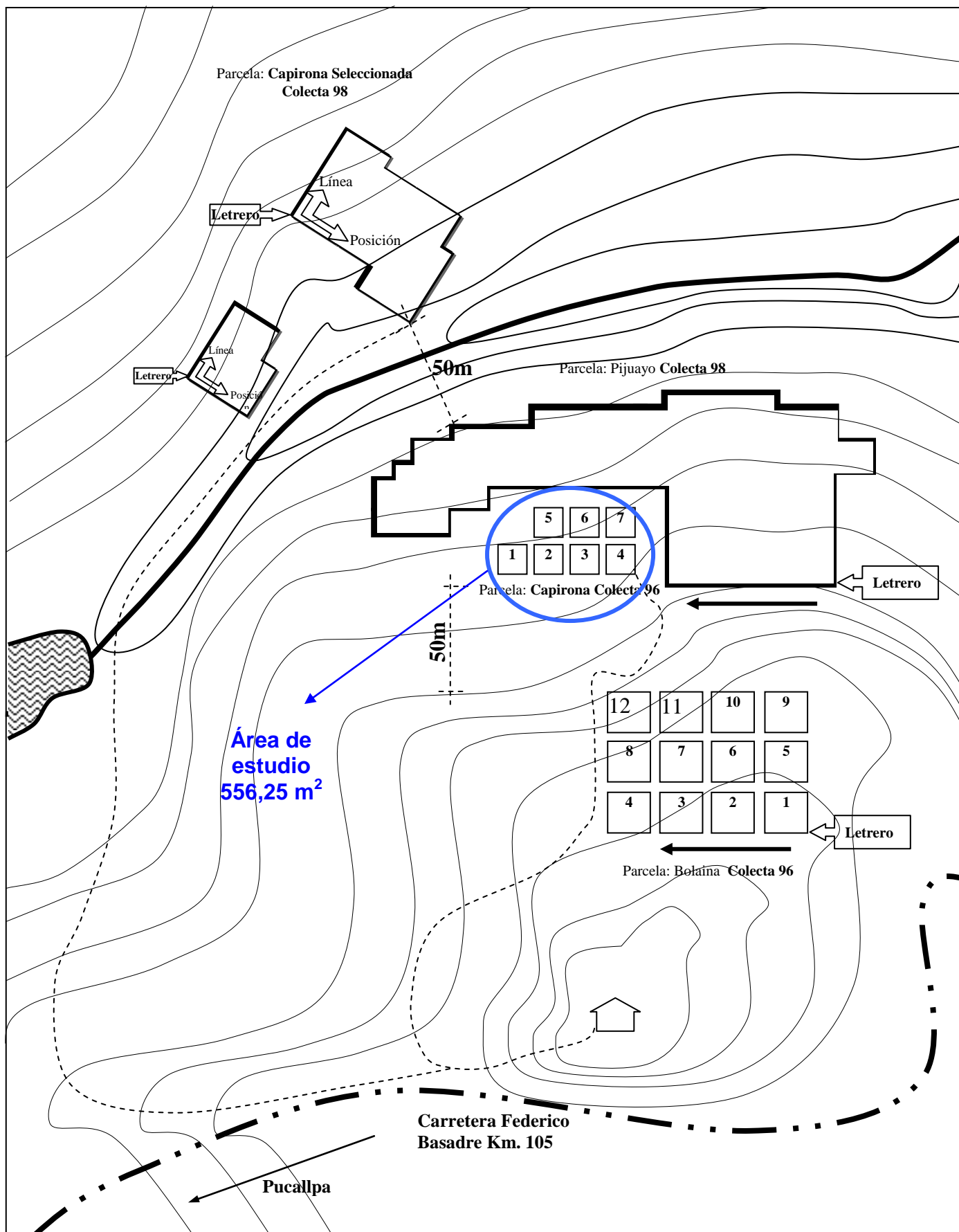


Figura 8: Croquis de ubicación de la plantación en estudio

### **3.3.2 Colección y selección de muestras**

Las muestras de madera para el estudio fueron colectadas y seleccionadas según lo estipulado por ASTM (2004), Designation: D 5536 – 94 (Reapproved 2004) - Parte II, Métodos Secundarios en la cual se estipula la colección de 10 árboles. Esta fase fue realizada por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

### **3.3.3 Procesamiento de Trozas**

Las trozas de cuatro pies remitidas por el INIA fueron convertidas en listones, para esto se eliminó la médula y las secciones que no presentaba grano recto además se buscó la orientación de los listones para luego ser convertidos en probetas de los ensayos físicos y mecánicos.

Esta etapa al igual que la preparación y acondicionamiento de probetas se realizó en el Taller de Trabajabilidad de la Madera del Departamento de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

Cuadro 7: Características de las trozas seleccionadas para el estudio

Árbol	Nivel	Diámetro*		Médula	Árbol	Nivel	Diámetro*		Médula
		Pulgadas	Centímetros				Pulgadas	Centímetros	
5	A	7	17,78	Ligeramente Excéntrica	34	A	6	15,24	Céntrica
	B	6	15,24	Céntrica		B	5	12,7	Céntrica
	C	6	15,24	Céntrica		C	5	12,7	Céntrica
	D	5	12,7	Céntrica		D	4	10,16	Céntrica
3	A	5	12,7	Excéntrica	32	A	8	20,32	Céntrica
	B	5	12,7	Ligeramente Excéntrica		B	7	17,78	Céntrica
	C	5	12,7	Excéntrica		C	6	15,24	Céntrica
	D	5	12,7	Ligeramente Excéntrica		D	6	15,24	Céntrica
2	A	8	20,32	Ligeramente Excéntrica	53	A	7	17,78	Céntrica
	B	7	17,78	Excéntrica		B	6	15,24	Céntrica
	C	7	17,78	Céntrica		C	6	15,24	Céntrica
	D	6	15,24	Céntrica		D	5	12,7	Céntrica
4	A	6	15,24	Céntrica	44	A	6	15,24	Excéntrica
	B	5	12,7	Céntrica		B	5	12,7	Céntrica
	C	5	12,7	Céntrica		C	5	12,7	Céntrica
	D	4	10,16	Céntrica		D	4	10,16	Céntrica
55	A	7	17,78	Céntrica	39	A	6	15,24	Céntrica
	B	7	17,78	Ligeramente Excéntrica		B	6	15,24	Céntrica
	C	6	15,24	Ligeramente Excéntrica		C	5	12,7	Ligeramente Excéntrica
	D	6	15,24	Céntrica					

\* Diámetro promedio del Extremo menor

Fuente: Elaboración Propia



Figura 9: Sección transversal de una troza en estudio de *Calycophyllum spruceanum*



### 3.3.4 Disposición de los listones en la sección transversal de la troza

Los listones en su dimensión nominal de  $2\frac{1}{2}$ " x  $2\frac{1}{2}$ " o de  $1\frac{1}{4}$ " x  $1\frac{1}{4}$ " tuvieron una distribución dentro de la sección transversal según muestra las figuras 10 y 11. La cantidad de estos dependió del diámetro de las trozas.

En la Figura 10 se observa que los listones de  $2\frac{1}{2}$ " x  $2\frac{1}{2}$ " o de  $1\frac{1}{4}$ " x  $1\frac{1}{4}$ " están debidamente orientados no sucede lo mismo en los listones de  $1\frac{1}{4}$ " x  $1\frac{1}{4}$ " observados en la figura 11.

Dicho lo anterior, los listones de  $2\frac{1}{2}$ " x  $2\frac{1}{2}$ " presentes en las trozas siempre han sido orientados más no los de  $1\frac{1}{4}$ " x  $1\frac{1}{4}$ " que en algunos casos se obtuvieron orientados y en algunos no.

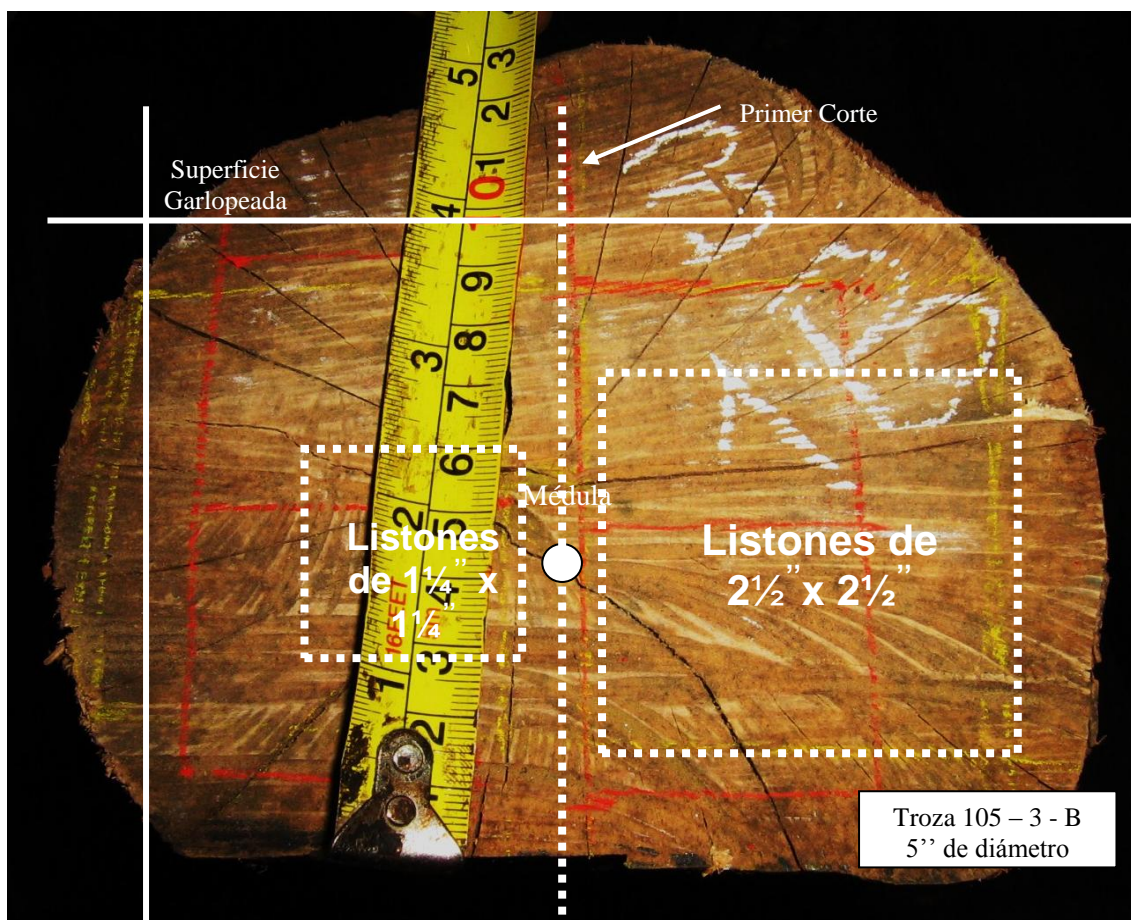


Figura 10: Disposición de listones de  $2\frac{1}{2}$ " x  $2\frac{1}{2}$ " y  $1\frac{1}{4}$ " x  $1\frac{1}{4}$ " debidamente orientados



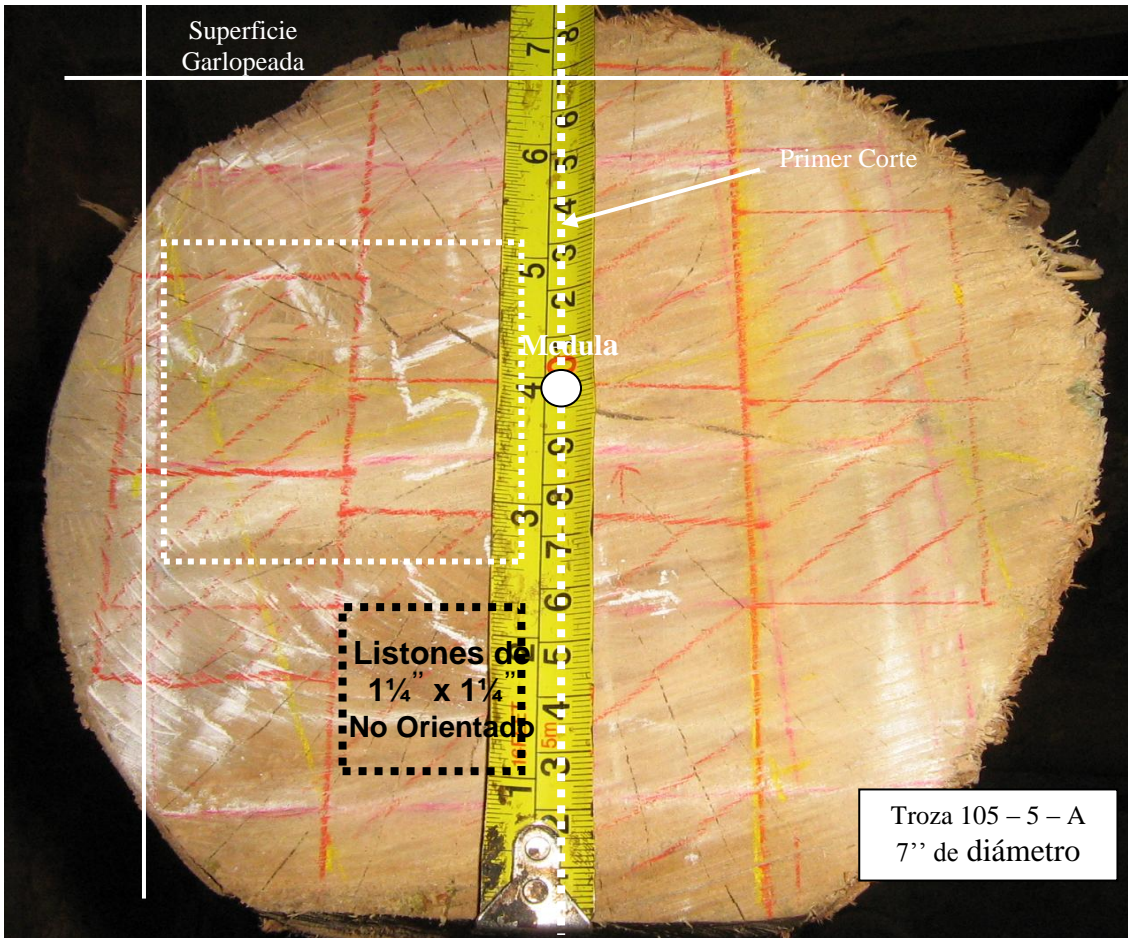


Figura 11: Disposición de listones de  $1\frac{1}{4}$ " x  $1\frac{1}{4}$ " no orientados.

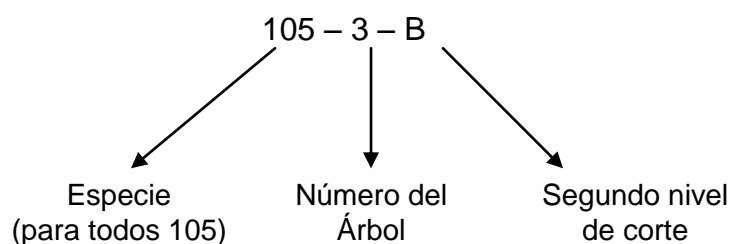
### 3.3.5 Codificación de los listones

Los listones de  $2\frac{1}{2}$ " x  $2\frac{1}{2}$ " o de  $1\frac{1}{4}$ " x  $1\frac{1}{4}$ " tuvieron un código compuesto por:

- El primer dígito es un número que hace referencia a la especie.
- El segundo dígito indica el número del árbol.
- El tercero es una letra referente al nivel de corte.

Respecto a los niveles de corte se tuvieron los niveles A, B, C y D, cada uno hace referencia a cuatro pies de altura siendo el primer nivel el A seguido por B y así sucesivamente (ver figura 12).

A manera de ejemplo se presenta el siguiente código de un listón:



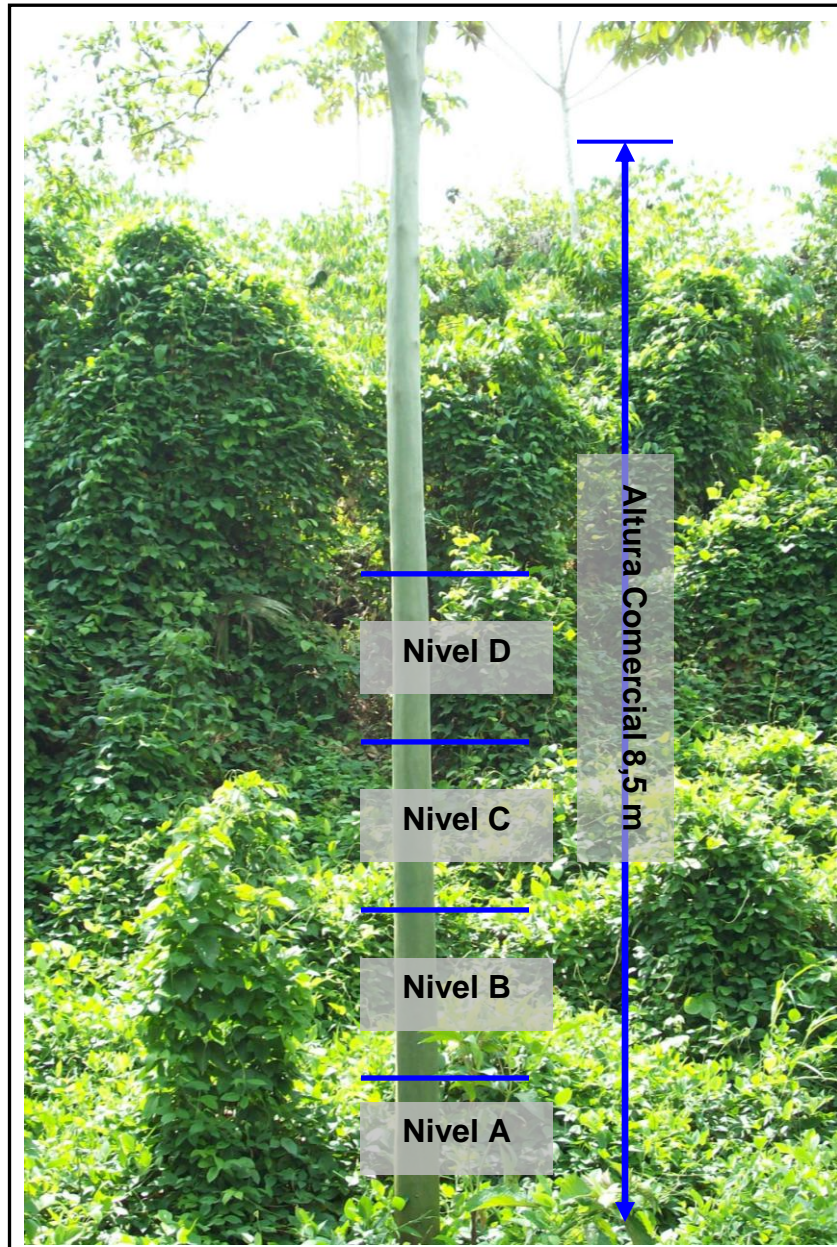


Figura 12: Árbol de la plantación en estudio mostrando los niveles de corte

### 3.3.6 Preparación y Acondicionamiento de Probetas

Los listones de  $2\frac{1}{2}$ " x  $2\frac{1}{2}$ " y de  $1\frac{1}{4}$ " x  $1\frac{1}{4}$ " fueron llevados a su dimensión final de  $2 \times 2$ " ( $5 \times 5$  cm) y  $1 \times 1$ " ( $2,5 \times 2,5$  cm) respectivamente para así, preparar las probetas.

De los listones de  $5 \times 5$  cm que en su totalidad estuvieron debidamente orientados se obtuvieron las probetas de Compresión Perpendicular, Compresión Paralela, Dureza, Cizallamiento, Clivaje y Tracción Perpendicular. Las probetas de extracción de clavos fueron tomadas de las probetas de Dureza y compresión perpendicular así como lo estipula la norma.

Por otro lado, de cada listón de 2,5 x 2,5 cm debidamente orientados se obtuvieron las probetas de Flexión Estática, Tenacidad y las probetas de propiedades físicas. Los listones no orientados de 2,5 x 2,5 cm obtenidos según la figura 11 se obtuvieron las probetas de Flexión estática y tenacidad

Las dimensiones de las probetas obtenidas para los ensayos Físicos cumplen con lo estipulado por la Norma Técnica Peruana, en cuanto a las dimensiones de las probetas para los ensayos Mecánicos estas cumplen con lo estipulado por la norma ASTM (2000), Designation: D 143 – 94 (Reapproved 2000) Métodos Secundarios a excepción de compresión paralela que tuvo 5 x 5 x 20 cm. dimensiones referidas en el método primario de esta misma norma.

El número de probetas utilizadas por tipo de ensayos y niveles se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8: Número de probetas para ensayos físicos - mecánicos para la especie estudiada

Ensayo	Niveles	Árbol										Total
		2	3	4	5	32	34	39	44	53	55	
Propiedades Físicas	A	0	3	3	3	3	6	2	3	2	3	28
	B	0	3	6	3	2	3	2	6	3	3	31
	C	3	2	1	3	3	3	4	7	2	3	31
	D	2	3	2	3	0	0	0	0	0	4	14
	<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>104</b>
Flexión Estática (ELP, MOR, MOE)	A	3	0	1	3	3	2	1	2	0	4	19
	B	2	1	4	1	1	1	0	0	1	6	17
	C	1	1	2	1	1	0	3	0	1	1	11
	D	1	2	1	3	0	0	0	0	0	1	8
	<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>55</b>
Compresión Paralela (ELP, RM, MOE)	A	2	1	1	2	0	0	1	1	1	1	10
	B	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	8
	C	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	8
	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>27</b>
Compresión Perpendicular (ELP)	A	3	1	1	2	2	0	1	2	1	1	14
	B	1	0	0	1	2	1	1	1	1	2	10
	C	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	9
	D	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3
	<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>36</b>
Dureza (Extremos, radial, tangencial)	A	2	1	1	1	1	0	1	1	1	1	10
	B	1	1	0	1	2	1	1	1	2	2	12
	C	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	11
	D	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3
	<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>36</b>
Extracción de clavos (Radial)	A	2	1	1	1	1	0	1	1	1	1	10
	B	1	1	0	1	2	1	1	1	1	2	11
	C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
	D	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3
	<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>34</b>

Cuadro 8: Número de probetas para ensayos físicos–mecánicos (Continuación)

Ensayo	Niveles	Árbol										Total
		2	3	4	5	32	34	39	44	53	55	
Extracción de clavos (Tangencial)	A	2	1	0	1	1	0	1	1	1	1	9
	B	1	1	0	1	2	1	1	1	1	2	11
	C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
	D	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3
	<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>33</b>
Extracción de clavos (Extremos)	A	2	1	1	1	1	0	1	1	1	1	10
	B	1	0	0	1	2	1	1	1	1	2	10
	C	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	9
	D	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3
	<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>32</b>
Tensión Perpendicular (Radial)	A	2	1	1	1	1	0	2	2	1	1	12
	B	1	1	0	1	2	1	1	1	1	1	10
	C	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	11
	D	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3
	<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>36</b>
Tensión Perpendicular (Tangencial)	A	2	1	1	1	1	0	0	2	1	1	10
	B	1	1	1	0	2	1	1	1	1	1	10
	C	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	7
	D	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2
	<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>29</b>
Clivaje (Radial)	A	2	1	1	1	2	0	2	1	0	1	11
	B	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	7
	C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
	D	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
	<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>30</b>
Clivaje (Tangencial)	A	2	1	1	2	2	0	2	1	1	1	13
	B	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	8
	C	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	7
	D	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
	<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>30</b>
Cizallamiento (Radial)	A	3	1	1	0	2	0	1	2	1	1	12
	B	1	1	0	0	2	1	1	1	2	1	10
	C	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	8
	D	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3
	<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>33</b>
Cizallamiento (Tangencial)	A	2	1	1	1	2	0	1	2	1	1	12
	B	1	1	0	1	2	1	1	2	1	1	11
	C	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	8
	D	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3
	<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>34</b>
Tenacidad	A	4	7	5	5	7	2	0	4	5	5	44
	B	6	2	10	1	5	2	0	6	2	2	36
	C	1	6	2	5	3	6	0	3	1	2	29
	D	3	2	2	5	0	4	0	3	0	4	23
	<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>19</b>	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>132</b>



### **3.3.7 Métodos para determinar las Propiedades Físico - Mecánicas**

Los ensayos para determinar las propiedades físicas se realizaron de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas de INDECOPI (2004a, 2004b, 2004c) las cuales se muestran a continuación.

- NTP 251.010:2004. "Método para determinar el contenido de humedad".
- NTP 251.011:2004. "Método de determinación de la densidad".
- NTP 251.012:2004. "Método de determinación de la contracción".

Los ensayos mecánicos se realizaron según lo estipulado en la norma ASTM (2000), Designation: D 143 – 94 (Reapproved 2000)- Parte II. Métodos Secundarios. En condición húmeda.

### **3.3.8 Procesamiento de datos y evaluación de resultados**

Para el procesamiento de datos se ingresaron y ordenaron los datos mediante el uso de los programas Microsoft Excel para Windows y Minitab 15 para Windows

El análisis estadístico primero comprende un análisis básico este incluyó determinar promedios, rangos, intervalo de confianza (al 95%) y también los coeficientes de variación entre y dentro de árboles para cada una de las propiedades.

Para los casos de tensión perpendicular, cizallamiento, clivaje, dureza, extracción de clavos, tenacidad se utilizó la prueba de student o de t para determinar, en cada caso, si los valores radiales, tangenciales y en algunos casos los extremos eran estadísticamente iguales o diferentes.

Para realizar las pruebas estadísticas correspondientes se realizó un análisis de varianza (ANVA) utilizando el diseño completo al azar (DCA) para determinar si existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre alturas para las propiedades mecánicas y físicas de Densidad Básica y Contracción Total (Saturada a Seca al horno). Este análisis tuvo lugar en los 3 primeros niveles de corte A, B y C siendo el nivel inferior A, el nivel D no fue tomado debido a la poca disponibilidad de probetas presente en este nivel.

Para la validación de este análisis se debió cumplir los supuestos de homogeneidad de variancia y normalidad de los errores, habiéndose cumplido lo anterior y haberse encontrado diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre alturas se prosiguió a utilizar la prueba de Tukey para encontrar entre que pares de medias correspondiente a cada nivel de corte son diferentes.

Por otro lado en el caso que los supuestos mencionados no fueran cumplidos se utilizó la prueba de Kruskal – Wallis correspondiente a las pruebas no paramétricas esta última sólo fue usado en la propiedad de tenacidad y contracción longitudinal y radial.

Para determinar la influencia de la densidad básica tanto en la contracción como en la resistencia mecánica se realizó el análisis de regresión teniendo

como variable independiente a la densidad básica mientras que las variables dependientes son las que corresponden a la propiedad mecánica.

La clasificación de las propiedades físicas y mecánicas del estudio, se realizó según los criterios de Aróstegui (1982), Dávalos y Bárcenas (1999), Dávalos y Bárcenas (1998) presentados en los cuadros 3,4 y 5, para esto fue necesario ajustar los valores según su proximidad al 12% o al punto de saturación de las fibras 26 % Vizcarra y Lara (1992), estos ajustes también fueron realizados para la comparación con otras fuentes de investigación. Con fines comparativos, con madera de *Calycophyllum spruceanum* procedente de bosque natural se realizó el procesamiento de un registro de datos disponibles en el Laboratorio de Propiedades Físico-Mecánicas de la Madera de la Universidad Nacional Agraria La Molina del año 1986. Este se presentará como UNALM (1986).

La propuesta de los posibles usos se realizó teniendo en cuenta; similitud de las propiedades con otras especies de similar densidad básica, requisitos por tipo de uso para ser comparados con los valores de resistencia obtenidos para la madera ensayada; también se tuvo en cuenta las características de troza.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Propiedades Físicas

#### 4.1.1 Densidad peso específico y contracción

Los resultados de las propiedades físicas evaluadas según niveles de corte se presentan en el cuadro 9, el coeficiente de variación entre y dentro de árboles y totales en el cuadro 10 y los resultados del análisis de varianza en el cuadro 11.

La densidad básica entre niveles muestra diferencias significativas. La prueba de comparación de medias entre niveles, evidencia que los niveles A y B son similares pero diferentes al nivel C. La explicación de encontrar valores superiores de densidad básica en la base, se debería a que el árbol necesita soportar los esfuerzos producto de factores externos como viento produciendo madera más densa que sirva como soporte desde la base. También se podría deber a que en la zona basal se estaría produciendo un proceso de maduración mayor de las células a diferencia de otros niveles.

Sin embargo estas diferencias no son relevantes a nivel práctico debido a que los intervalos de confianza son mínimos (nivel A y B =  $0,62 \pm 0,01$  y nivel C =  $0,60 \pm 0,01$ ). En el cuadro 12 se presenta la densidad básica promedio, propiedad cuyo coeficiente de variación es inferior al propuesto por el U.S. Department of Agriculture (1974) (cuadro 13).

Cuadro 9 : Valores promedio de las propiedades físicas de acuerdo al nivel de corte

PROPIEDAD		Nivel	Promedio	Coeficiente de Variación (%)	Rango	
					Valor Mín.	Valor Máx.
Densidad Básica		A	0,62	4,86	0,56	0,68
		B	0,62	4,52	0,57	0,66
		C	0,60	5,36	0,55	0,68
Contracción Total	Tangencial	A	8,05	11,37	6,07	10,06
		B	7,84	11,89	5,98	9,28
		C	7,77	13,07	5,76	10,29
	Radial	A	3,67	22,19	2,67	5,81
		B	4,01	23,04	3,02	7,18
		C	4,08	28,05	1,87	7,37
	Longitudinal	A	0,42	58,09	0,12	0,90
		B	0,25	57,51	0,05	0,67
		C	0,39	87,77	0,13	1,36
	Volumétrica	A	11,46	8,57	9,56	13,63
		B	11,42	10,73	9,17	13,83
		C	11,39	9,54	9,03	13,39

Cuadro 10: Variabilidad de la densidad y contracción de la madera de capirona.

Propiedad		Coeficiente de Variación (%)		
		Entre árboles	Dentro de árboles	Totales
Densidad	Saturada*	7,42	2,73	3,41
	Seca al Aire (*)	12,38	3,31	4,84
	Anhidra	13,99	3,52	5,33
	Básica	13,49	3,12	4,98
Contracción Total	Tangencial	22,64	10,15	11,89
	Radial	38,95	21,49	23,68
	Longitudinal	79,89	75,18	75,64
	Volumétrica	25,64	5,09	9,22
	Relación T/R	30,03	21,75	22,65

\* 82,77 % de humedad

(\*) 19,70 % de humedad

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

Propiedad		Significancia
Densidad Básica		*
Contracción Total	Tangencial	N.S
	Radial (np)	N.S
	Longitudinal (np)	*
	Volumétrica	N.S

Donde:

\*: Significativo

N.S: No Significativo

np: Prueba no paramétrica

Respecto a la contracción total a nivel de corte, el análisis de varianza muestra que sólo hay diferencia significativa en la contracción longitudinal, identificando con la prueba de Kruskal – Wallis que los niveles A y C son similares pero diferentes a B. La razón de este comportamiento podría estar que la parte alta presenta un mayor ángulo de inclinación fibrilar producto de una mayor proporción de madera juvenil. En el cuadro 12 se incluyen los valores promedios para las contracciones de las cuales sólo la contracción radial presenta un coeficiente de variación mayor al recomendado por el U.S. Department of Agriculture (1974) (cuadro 13).

La contracción longitudinal total promedio es de 0,36 % con un coeficiente de variación de 75% el mismo que podría explicarse por la presencia de madera juvenil con posibles zonas de madera de reacción esto estaría provocando una distribución y severidad anormal de la contracción longitudinal entre las diferentes muestras. A nivel anatómico se podría especular que existe un arreglo y/o orientación desigual dentro de la pared celular, específicamente en



la capa S2 como resultado del proceso evolutivo de las células que probablemente ocasione mayores ángulos de inclinación de las microfibrillas como es característico de la madera juvenil.

Cuadro 12: Valores promedios de las propiedades físicas de la madera de capirona

Propiedad		Unidades	Promedio	Coeficiente de Variación (%)	Intervalo de Confianza	
					Lim. Inf.	Lim. Sup.
Densidad	Saturada*	g/cm <sup>3</sup>	1,11	3,41	1,11	1,12
	Seca al Aire (*)		0,75	4,84	0,74	0,75
	Anhidra		0,69	5,33	0,68	0,7
	Básica		0,61	4,98	0,6	0,62
Contracción Total	Tangencial	%	7,82	11,89	7,64	8,01
	Radial		3,93	23,68	3,75	4,12
	Longitudinal		0,36	75,64	0,3	0,41
	Volumétrica		11,38	9,22	11,17	11,59
	Relación T/R	.....	2,08	22,65	1,98	2,17

\* 82,77 % de humedad

(\*) 19,70 % de humedad

Cuadro 13: Comparación de los coeficientes de variación totales obtenidos con los presentados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

Propiedades		Coeficiente de Variación (%)	Coeficiente de Variación U.S. Department of Agriculture (1974) (%)
Densidad	Saturada	3,41	.....
	Seca al Aire	4,84	.....
	Anhidra	5,33	.....
	Básica	4,98	Peso específico 10
Contracción Total	Tangencial	11,89	14
	Radial	23,68	15
	Volumétrica	9,22	16

#### 4.1.2 Análisis de regresión y correlación densidad básica - contracción

Los resultados del análisis de correlación lineal muestran que la densidad básica no es un buen estimador de la contracción pues los coeficientes de determinación son muy bajos (cuadro 14). Similares valores se encontraron para las correlaciones cuadráticas y cúbicas las cuales no fueron incluidos en los cuadros por la poca relevancia que muestran sus pobres coeficientes de determinación. La dispersión de los puntos densidad- contracción se muestran

en el anexo 3 en estos se observa que los puntos no siguen una tendencia definida.

Según lo descrito en el párrafo anterior la densidad básica no es un factor determinante en la variación de la contracción sino consecuencia de un conjunto de factores no estudiados tales como la variación del arreglo y orientación de los materiales en los diferentes tejidos, el tipo, tamaño, proporción y arreglo de las células que forman el tejido maderable así como la presencia de extractivos. Esta variación en las características anatómicas sería producto de un proceso de desarrollo de las células.

Cuadro 14: Coeficientes de correlación, determinación y ecuaciones resultantes de las regresiones lineales

Propiedad (Variable Dependiente)	Coeficiente de Correlación (r)	Coeficiente de Determinación (r <sup>2</sup> )	Ecuación Lineal
Contracción Tangencial Total	0,17	0,02	Y = 5,24 + 4,23 DB
Contracción Radial Total	0,00	0,00	Y = 3,95 - 0,03 DB
Contracción Longitudinal Total	-0,14	0,02	Y = 1,08 - 1,18 DB
Contracción Volumétrica Total	0,14	0,02	Y = 8,43 + 4,83 DB

Donde:

Y: Propiedad (Variable Dependiente)

DB: Densidad Básica (Variable Independiente)

#### 4.1.3 Análisis comparativo de la especie en estudio

Los resultados del estudio en relación a otros trabajos de investigación de la especie *Calycophyllum spruceanum* muestran que la densidad básica en plantaciones esta influenciada por la edad. Comparando con los valores de bosque natural la diferencia es mucho mayor (figura 13), básicamente, por lo que existiría un aparente efecto de la madera juvenil, cuyas células presentan menor espesor de las paredes celulares, longitud de fibras cortas, diámetro celular más pequeño, entre los principales.

El ligero aumento de la densidad básica de la edad de 39 meses a la edad de 9 años indicaría que no hay una marcada diferencia de esta propiedad en los primeros años de su desarrollo donde los factores silviculturales deben tener una marcada influencia.

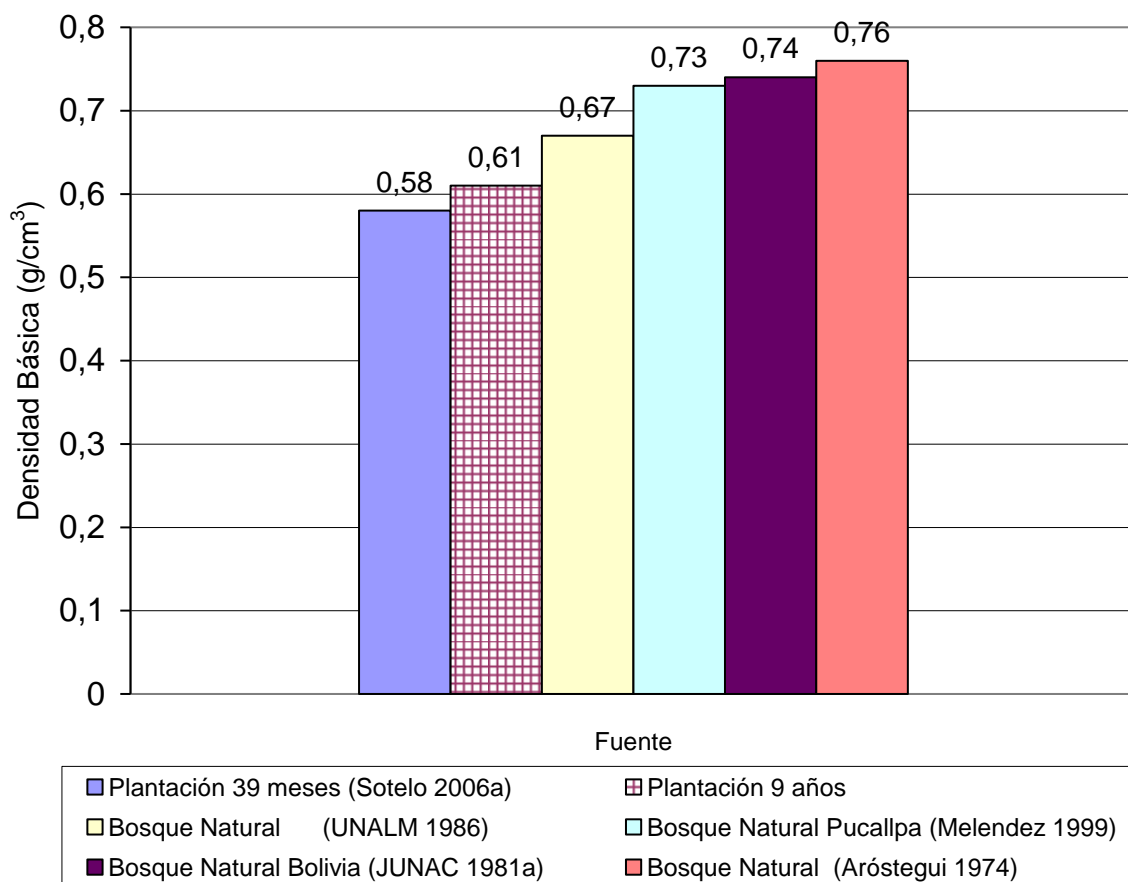


Figura 13: Comparación de la densidad básica de *Calycophyllum spruceanum*.

Los resultados del estudio en relación a otros trabajos de investigación de esta especie indican que la contracción está influenciada por la presencia de madera juvenil y la densidad básica; así al comparar la contracción de la madera en estudio con la de menor edad el factor densidad básica es determinante mientras que con la de bosque natural se contraponen la presencia de madera juvenil con la densidad básica.

Los valores T/R muestran la relativa inestabilidad de las maderas más jóvenes comparados con las de bosque natural.

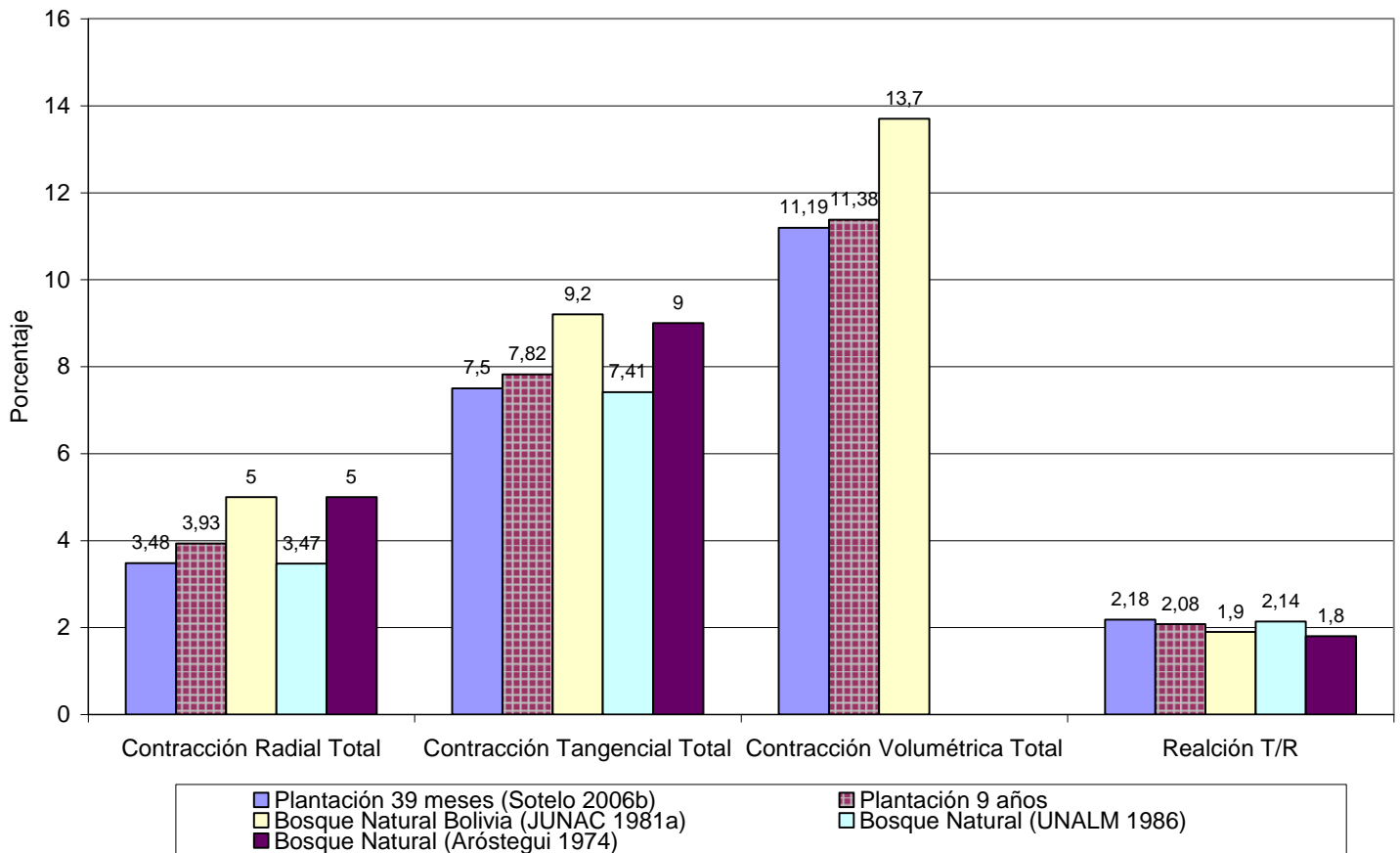


Figura 14: Comparación de la contracción total de *Calycophyllum spruceanum*.

#### 4.1.4 Clasificación de las propiedades físicas

De acuerdo a la clasificación descrita por Aróstegui (1982) y según los resultados obtenidos, la madera estudiada, con densidad básica promedio de  $0,61 \text{ g/cm}^3$  se clasifica como Alta, mientras que su contracción volumétrica promedio de 11,38 % esta catalogada como Media.

La relación T/R (Estabilidad dimensional), con un valor promedio de 2,08; según la clasificación descrita por Aróstegui (1970), esta considerada como una madera moderadamente estable.

## **4.2 Propiedades Mecánicas**

### **4.2.1 Resistencia y rigidez**

Los resultados de las propiedades mecánicas evaluadas según niveles de corte se presentan en el cuadro 15, el coeficiente de variación entre y dentro de árboles y totales en el cuadro 16 y los resultados del análisis de varianza en el cuadro 17.

En relación a las propiedades mecánicas la pruebas de significancia indican que sólo muestran diferencias significativas entre niveles de corte el esfuerzo al límite proporcional (ELP), módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) en Flexión estática. La prueba de comparación de medias precisa que el nivel A presenta diferencias con los niveles B y C siendo estos últimos similares.

La escasa influencia de los niveles de corte sobre las propiedades mecánicas podría deberse a la corta edad de los árboles, coincidiendo con Patiño (2002) quien concluye que el factor nivel de corte influye sobre un mayor número de propiedades al incrementarse la edad del árbol. Además según Wakefield (1951) la relación de la resistencia de la madera con la altura en el árbol muestra una tendencia considerablemente menor respecto a la relación entre la resistencia y la posición radial dentro del árbol.

En el caso de los esfuerzos a nivel de corte en flexión estática la densidad no es un buen indicador de la resistencia y rigidez pues los coeficientes de determinación son bajos. Es posible que, tal como lo menciona Espinoza de Pernía y León (2001), la variación de la longitud de fibra ayude a explicar este comportamiento.

Cuadro 15: Valores promedios de las propiedades mecánicas de acuerdo al nivel de corte

Propiedad		Unidades	Nivel	Promedio	Coeficiente de Variación (%)	Rango		CH (%)
						Valor Min.	Valor Max.	
Flexión Estática	MOE	t/cm <sup>2</sup>	A	<b>93,55</b>	13,48	70,29	117,54	24,3
			B	<b>112,71</b>	10,74	86,77	131,37	23,04
			C	<b>114,34</b>	10,73	87,15	130,82	22,6
	ELP	kg/cm <sup>2</sup>	A	<b>446</b>	19,2	289,6	619,2	24,3
			B	<b>513,6</b>	9,37	439,9	594,8	23,04
			C	<b>512,7</b>	14,46	383,2	657,6	22,6
	MOR		A	<b>813,8</b>	16,34	602,4	1032,6	24,3
			B	<b>951</b>	11,58	767,2	1140,4	23,04
			C	<b>923,7</b>	10,41	779,2	1055,2	22,6
Compresión Paralela	ELP	kg/cm <sup>2</sup>	A	<b>257,4</b>	15,75	204,7	315,9	20,68
			B	<b>267,3</b>	10,76	223,6	323	20,86
			C	<b>282,5</b>	10,01	233,8	321,3	19,92
	RM		A	<b>354,4</b>	13,65	299,3	440,2	20,68
			B	<b>377</b>	14,34	314,1	493,4	20,86
			C	<b>378,6</b>	11,16	340	455,2	19,92
	MOE	t/cm <sup>2</sup>	A	<b>118,34</b>	17,66	89,56	152,01	20,68
			B	<b>127,67</b>	16,5	103,42	155,06	20,86
			C	<b>118,72</b>	17,98	96,54	157,53	19,92
Compresión Perpendicular	ELP	kg/cm <sup>2</sup>	A	<b>69,46</b>	22,06	48,87	92,9	19,3
			B	<b>69</b>	11,17	57,92	82,9	19,23
			C	<b>71,73</b>	12,33	63,85	84,24	18,29
Dureza	Extremos	kg/cm <sup>2</sup>	A	<b>654</b>	11,33	526,2	764,3	15,2
			B	<b>656,8</b>	12,41	544,3	772,9	15,68
			C	<b>615,1</b>	12,18	542	790,2	15,24
	Radial		A	<b>755,9</b>	16,16	621,9	988,8	15,2
			B	<b>733,5</b>	13,76	581,5	866,4	15,68
			C	<b>672,5</b>	15,49	541,6	889	15,24
	Tangencial		A	<b>702</b>	17,31	567,9	961,6	15,2
			B	<b>660,2</b>	15,11	538,9	859,6	15,68
			C	<b>623,3</b>	20,91	507,1	929,9	15,24

Cuadro 15: Valores promedios de las propiedades mecánicas (Continuación)

Propiedad		Unidades	Nivel	Promedio	Coeficiente de Variación (%)	Rango		CH (%)
						Valor Min.	Valor Max.	
Extracción De Clavos	Extremos	kg	A	<b>87,68</b>	16,57	65,32	109,77	19,2
			B	<b>93,53</b>	19,41	73,48	125,19	19,23
			C	<b>85,53</b>	28,32	45,36	121,11	18,29
	Radial		A	<b>146,35</b>	14,22	110,68	176,9	15,2
			B	<b>151,6</b>	13,33	110,22	179,17	15,54
			C	<b>139,46</b>	10,78	116,57	161,03	15,28
	Tangencial		A	<b>143,69</b>	11,5	122,02	169,64	15,2
			B	<b>131,97</b>	15,51	107,05	167,38	15,54
			C	<b>131,97</b>	15,75	103,42	168,96	15,28
Tensión Perpendicular	Tangencial	Kg/cm <sup>2</sup>	A	<b>62,25</b>	23,16	32,95	80,62	14,38
			B	<b>58,31</b>	21,3	39,36	75,46	14,2
			C	<b>52</b>	31,23	24,67	72,24	13,19
	Radial		A	<b>25,47</b>	50,29	12,41	52,85	14,66
			B	<b>24,74</b>	62,49	11,11	60,09	14,58
			C	<b>28,6</b>	37,48	14,36	41,96	14,19
Clivaje	Tangencial	kg/cm	A	<b>70,85</b>	19,41	48,12	88,54	18,69
			B	<b>81,1</b>	17,43	60,62	102,1	19,11
			C	<b>64,65</b>	18,48	49,78	83	17,73
	Radial		A	<b>35,64</b>	35,23	21,41	58,48	19,07
			B	<b>35,87</b>	32,45	18,96	52,22	19,14
			C	<b>35,29</b>	34,27	18,13	53,42	17,64
Cizallamiento	Tangencial	Kg/cm <sup>2</sup>	A	<b>114,93</b>	16,56	84,49	155,36	15
			B	<b>108,48</b>	19,5	71,7	133,67	15,18
			C	<b>110,66</b>	22,74	69,57	154,36	14,49
	Radial		A	<b>78,55</b>	25,85	35,77	106,75	14,54
			B	<b>77,44</b>	9,56	65,79	86,22	14,63
			C	<b>84,77</b>	21,54	57,94	106,29	14,15
Tenacidad	Kg-m	A	<b>3,41</b>	63,82	0,35	7,74	13,94	
		B	<b>2,52</b>	50,39	0,46	5,83	13,96	
		C	<b>2,47</b>	45,06	0,69	5,43	14,02	

Los esfuerzos en clivaje (radial), tensión perpendicular (radial), y tenacidad presentan una alta variabilidad representada por los altos coeficientes de variación mostrados en el cuadro 18, la explicación estaría relacionada con factores tales como longitud de fibra, espesor de las paredes celulares, ángulo de las fibrillas así como la relación celulosa – lignina todos estos alterados por la presencia de madera juvenil. Para el caso de tenacidad además de las variaciones de los factores internos de la madera, hay un comportamiento particular entre los árboles 53 y 44 esto debido a factores genéticos o condiciones de crecimiento (disponibilidad de luz). El primero presenta fallas del tipo astilladura mientras que el último del tipo quebradura, las cuales se ilustran en el Anexo 5; asimismo estas fallas contribuyen al alto coeficiente de variación entre árboles (171,66 %).

Cuadro 16: Variabilidad de las propiedades mecánicas de la madera de capirona.

Propiedad		Coeficiente de Variación (%)		
		Entre árboles	Dentro de árboles	Totales
Flexión Estática	ELP	29,39	9,83	14,98
	MOR	30,62	7,46	14,24
	MOE	27,6	9,78	14,38
Compresión Paralela	ELP	18,77	9,7	13,54
	RM	20,73	7,3	13,55
	MOE	24,88	10,34	16,86
Compresión Perpendicular	ELP	26,27	10,86	16,28
Clivaje	Radial	47,39	28,16	35,27
	Tangencial	28,59	17,1	21,34
Tensión Perpendicular	Radial	48,23	47,67	47,82
	Tangencial	30,86	20,67	24,41
Cizallamiento	Radial	24,07	18,38	19,95
	Tangencial	24,6	15,61	18,5
Dureza	Extremos	21,06	6,19	11,94
	Lados	28,75	9,85	16,87
	Radial	27,62	9,18	16,09
	Tangencial	30,4	12,22	18,67
Extracción de Clavos	Extremos	28,03	19,46	22,29
	Lados	19,91	7,33	12,13
	Radial	21,89	8,13	13,37
	Tangencial	21,79	11,33	15,03
Tenacidad		171,66	44,54	60,52



Cuadro 17: Análisis de varianza para los tres niveles estudiados.

Propiedad		Significancia
Flexión Estática	ELP	*
	MOR	*
	MOE	*
Compresión Paralela	ELP	N.S
	RM	N.S
	MOE	N.S
Compresión Perpendicular	ELP	N.S
Clivaje	Radial	N.S
	Tangencial	N.S
Tensión Perpendicular	Radial	N.S
	Tangencial	N.S
Cizallamiento	Radial	N.S
	Tangencial	N.S
Dureza	Extremos	N.S
	Lados	N.S
	Radial	N.S
	Tangencial	N.S
Extracción de Clavos	Extremos	N.S
	Lados	N.S
	Radial	N.S
	Tangencial	N.S
Tenacidad		N.S

Donde:

\*: Significativo

N.S: No Significativo

En el cuadro 18 se presentan los valores promedios de las propiedades mecánicas para la madera de capirona. Se detallan los valores en el sentido radial y tangencial en los ensayos que mostraron diferencias significativas en las secciones de corte mencionadas. Asimismo en el cuadro 19 se nota que los coeficientes de variación en tenacidad, tensión perpendicular (radial), y cizallamiento (radial y tangencial) son superiores a los recomendados por el U.S. Department of Agriculture (1974). La explicación de la variación para el caso de tenacidad y tensión es similar al descrito para el cuadro 18.

Cuadro 18 : Valores promedios de las propiedades mecánicas de la madera de capirona

Ensayo		Unidades	Promedio		Coeficiente de variación (%)	Intervalo de Confianza	
			CH (%)	Resistencia		Lim. Inf.	Lim. Sup.
Flexión Estática	ELP	kg/cm <sup>2</sup>	23,31	486,41	14,98	466,71	506,11
	MOR		23,31	883,70	14,24	849,7	917,7
	MOE	t/cm <sup>2</sup>	23,31	104,77	14,38	100,7	108,84
Compresión Paralela	ELP	kg/cm <sup>2</sup>	20,45	271,14	13,54	256,61	285,66
	RM		20,45	372,34	13,55	352,38	392,29
	MOE	t/cm <sup>2</sup>	20,45	121,97	16,86	113,84	130,1
Compresión Perpendicular	ELP	kg/cm <sup>2</sup>	18,97	69,79	16,28	65,95	73,63
Clivaje	Radial	kg/cm	18,40	35,87	35,27	31,14	40,6
	Tangencial		18,43	70,91	21,34	65,26	76,56
Tensión Perpendicular	Radial	kg/cm <sup>2</sup>	14,42	27,35	47,82	22,92	31,77
	Tangencial		13,97	59,05	24,41	53,57	64,53
Cizallamiento	Radial		14,38	79,79	19,95	74,14	85,44
	Tangencial		14,83	111,33	18,50	104,14	118,52
Dureza	Extremos		15,34	638,94	11,94	613,1	664,7
	Lados		15,34	681,31	16,87	642,4	720,2
	Radial	15,32	710,49	16,09	671,8	749,2	
	Tangencial	15,32	652,14	18,67	610,9	693,3	
Extracción de Clavos	Extremos	kg	15,29	88,10	22,29	81,02	95,18
	Lados		15,29	139,79	12,13	133,88	145,71
	Radial		15,29	144,42	13,37	137,69	151,16
	Tangencial		15,29	134,14	15,03	126,99	141,29
Tenacidad		kg-m	14,09	2,71	60,52	2,431	3

Cuadro 19: Comparición de los coeficientes de variación totales obtenidos con los presentados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Propiedad		Coeficiente de Variación (%)	Coeficiente de Variación U.S. Department of Agriculture (1974) (%)
Flexión Estática	ELP	14,98	22
	MOR	14,24	16
	MOE	14,38	22
Compresión Paralela	ELP	13,54	24
	RM	13,55	18
	MOE	16,86	29
Compresión Perpendicular	ELP	16,28	28
Tensión Perpendicular	Radial	47,82	25
	Tangencial	24,41	
Cizallamiento	Radial	19,95	14
	Tangencial	18,5	
Dureza	Extremos	11,94	17
	Lados	16,87	20
Tenacidad		60,52	34

#### 4.2.2 Análisis de regresión y correlación densidad básica – resistencia mecánica

Los coeficientes de correlación y determinación entre las propiedades mecánicas y la densidad básica son altos sólo en dureza y compresión perpendicular; mientras que en las otras propiedades los coeficientes son bajos (cuadro 20). Estos resultados evidencian que la efectividad de una madera para resistir cualquier fuerza no sólo es función de la cantidad de sustancia de la pared celular, sino de las proporciones en que se encuentran los componentes de esa pared celular y tipos de células. De los resultados obtenidos se puede afirmar que sólo en dureza y compresión perpendicular la densidad básica es un buen estimador con las ecuaciones lineales que se detallan en el cuadro 20.

Cuadro 20: Coeficientes de determinación y ecuaciones de regresión lineal para las propiedades mecánicas de la capirona

Propiedad (Variable Dependiente)		Coeficiente de Correlación (r)	Coeficiente de Determinación (r <sup>2</sup> )	Ecuación Lineal
Flexión Estática	ELP	0,46	0,21	Y = - 74 + 881 DB
	MOR	0,59	0,35	Y = - 372 + 1975 DB
	MOE	0,35	0,12	Y = 15,6 + 140 DB
Compresión Paralela	ELP	0,27	0,08	Y = 99 + 271 DB
	RM	0,5	0,25	Y = - 59 + 681 DB
	MOE	0,28	0,08	Y = 23,4 + 156 DB
Compresión Perpendicular	ELP	0,74	0,55	Y = - 59,6 + 208 DB
Cizallamiento	Radial	0,18	0,03	Y = 34,6 + 71,9 DB
	Tangencial	0,27	0,08	Y = 24,6 + 134 DB
Dureza	Extremos	0,85	0,72	Y = - 273 + 1447 DB
	Radial	0,95	0,91	Y = - 834 + 2451 DB
	Tangencial	0,9	0,81	Y = - 903 + 2469 DB
Extracción de Clavos	Extremos	0,55	0,31	Y = - 76,0 + 264 DB
	Radial	0,66	0,43	Y = - 32,0 + 280 DB
	Tangencial	0,36	0,13	Y = 32,4 + 162 DB
Tenacidad		0,59	0,35	Y = - 13,5 + 25,1 DB

Donde:

Y: Propiedad (Variable Dependiente)

DB: Densidad Básica (Variable Independiente)

### 4.2.3 Características resaltantes en el comportamiento de la madera estudiada

Esta madera presenta comportamientos peculiares al ser sometido a esfuerzos, así en flexión estática se aprecia una elevada plasticidad de las probetas fallando gradualmente hasta producir una falla del tipo astilladura (anexo 6). La flexibilidad de las probetas se observa en la Figura 15. De la misma forma en compresión paralela se pudo observar un pandeo lateral antes de la falla, tal como se observa en la Figura 16.



Figura 15: Plasticidad en las Probetas de Flexión Estática

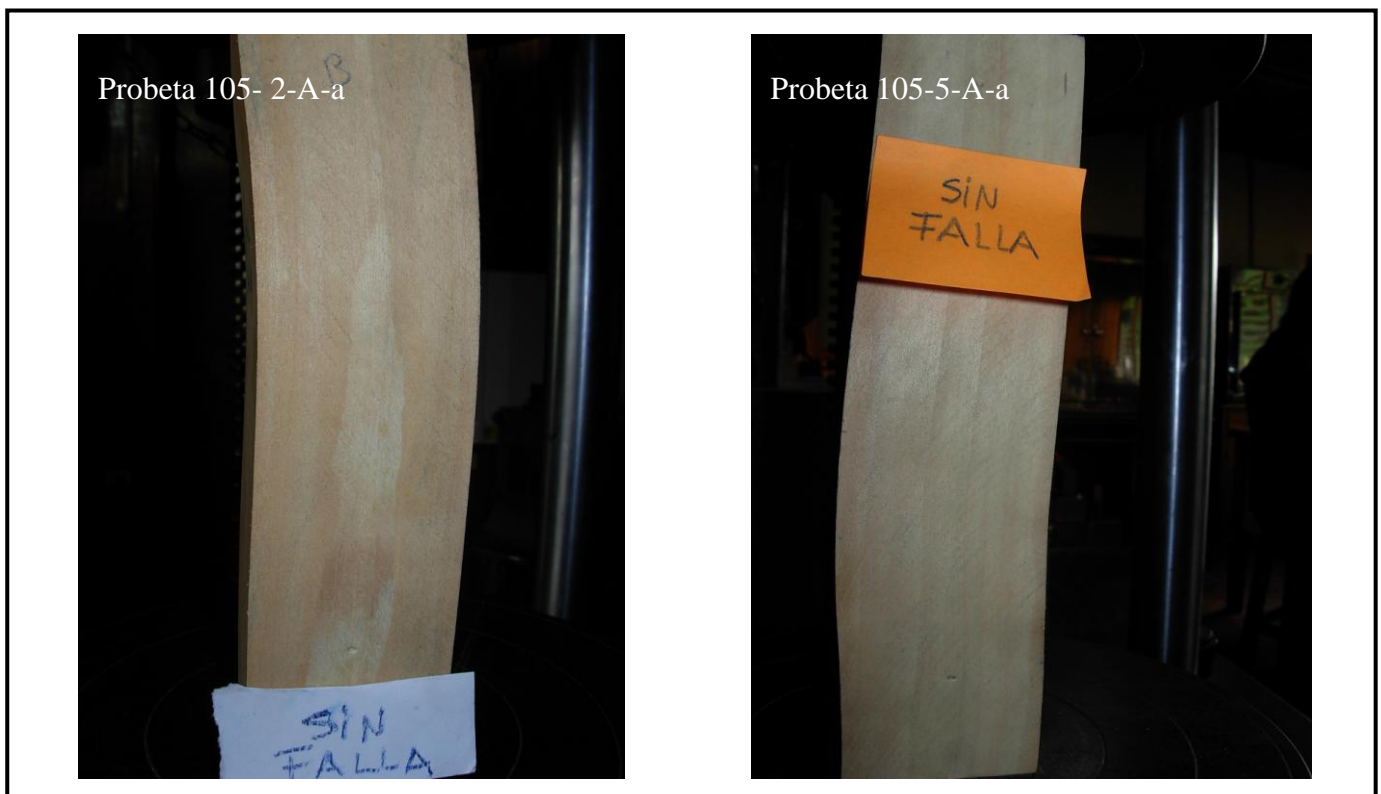


Figura 16: Pandeo en las Probetas de Compresión Paralela

En cuanto a la tenacidad se observa una variedad e intensidad en el tipo de falla, de las 132 probetas ensayadas el 52% de estas presenta la falla tipo astilladura, el 37% una tendencia a la quebradura y el 11% falla por la desviación del grano. En el anexo 5 se ilustran los tres tipos.

Al observar las probetas ensayadas de cizallamiento radial las fallas muestran diversos grados de grano entrecruzado. Las ilustraciones se presentan en el anexo 9.

#### 4.2.4 Análisis comparativo de la especie en estudio

Los esfuerzos en compresión perpendicular, cizallamiento y dureza del estudio, se han comparado con resultados de la madera de bosque natural al 12%, se observa que la resistencia de la madera de bosque natural es mayor, 44,63% en compresión perpendicular y en dureza 51,10%. En el caso de dureza esta diferencia se explicaría por la menor densidad básica alcanzada a la edad de 9 años, parece ser que la edad es factor preponderante para explicar estas diferencias. La figura 17 ilustra estas diferencias

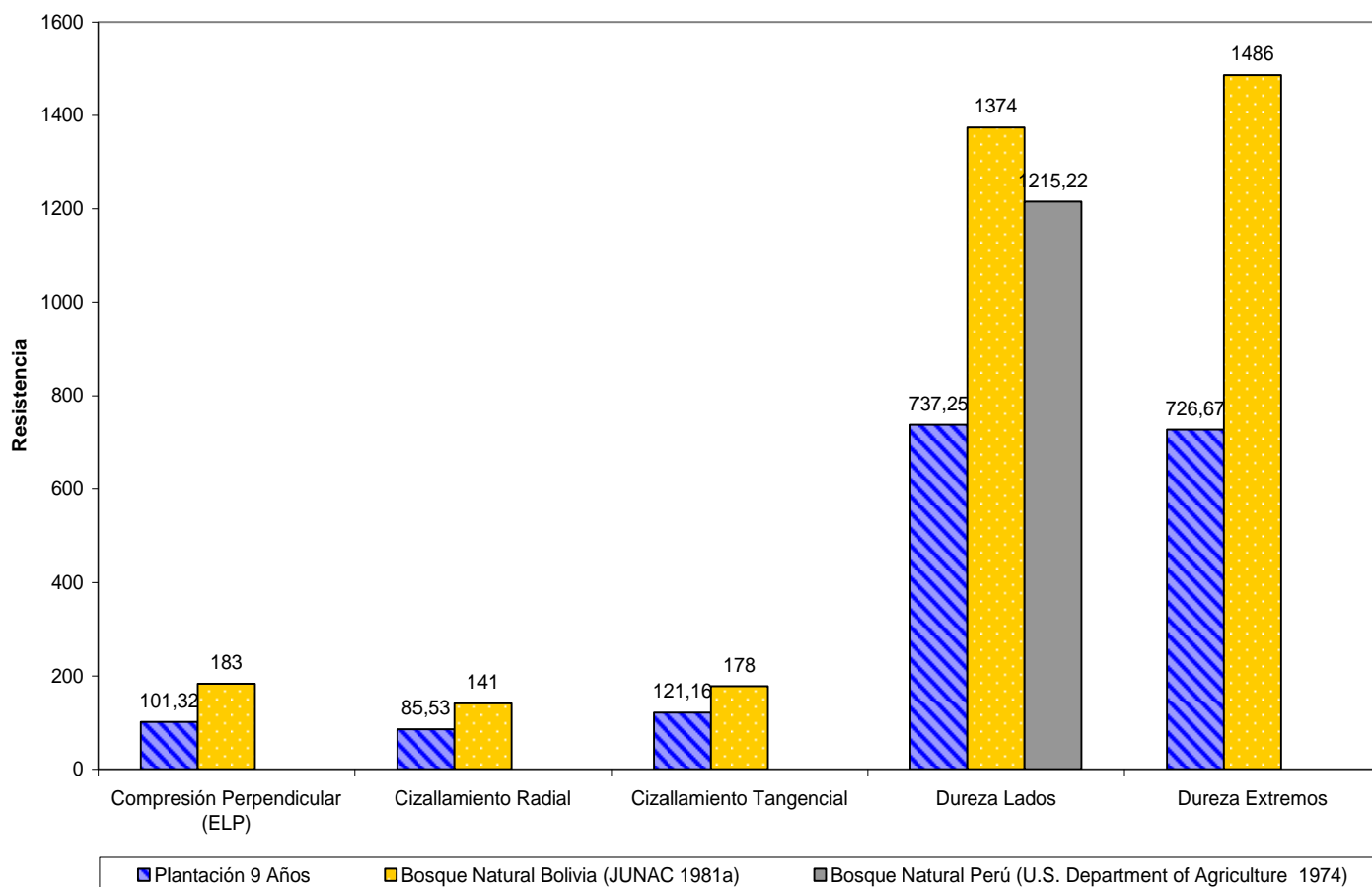


Figura 17: Resistencia promedio de la madera de plantación de 9 años de edad y bosque natural al 12 % de contenido de humedad para la capirona.

Los esfuerzos de flexión estática y compresión paralela del estudio, se han comparado con resultados de la madera de bosque natural en estado verde, se observa que la resistencia de la madera de bosque natural es mayor en 36,7% para MOE, 24,82 % en MOR y 12,85 para ELP. Asimismo en compresión paralela se aprecia que el valor de la resistencia en bosque natural es superior en 49,75 % para ELP y 48 % para RM. La figura 18 ilustra estas diferencias

Esta diferencia se podría explicar por la longitud de fibras que ejerce un papel preponderante cuando se aplica la carga en la dirección longitudinal y ángulo de inclinación de las microfibrillas en la capa S2 diferente en la madera madura y juvenil.

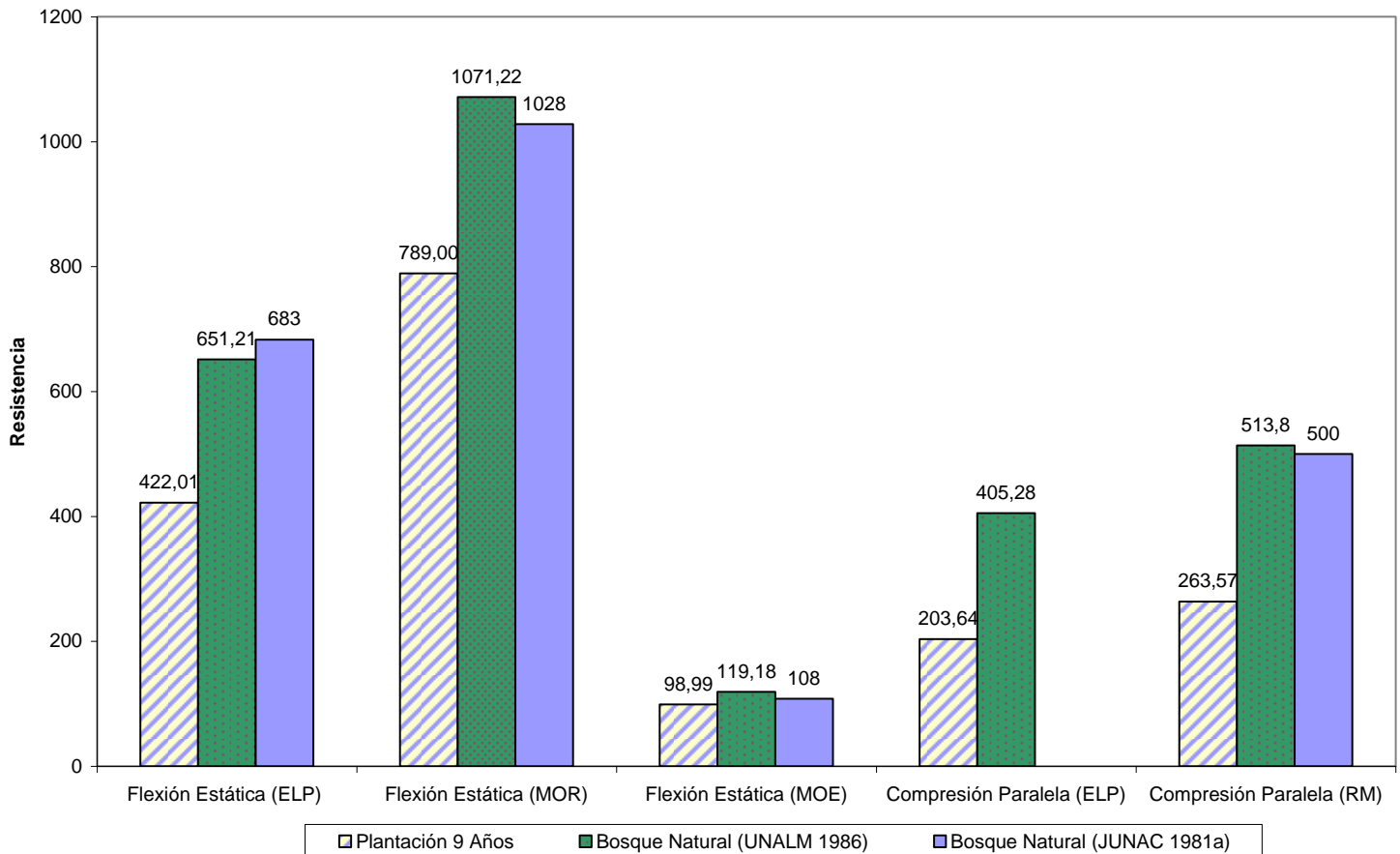


Figura 18: Resistencia promedio de la madera de plantación de 9 años de edad y bosque natural en condición verde para la capirona.

#### 4.2.5 Clasificación de las propiedades Mecánicas

En el cuadro 21 los resultados de las propiedades mecánicas para la madera de *Calycophyllum spruceanum* la clasifican como una madera de resistencia mecánica media.

Cuadro 21: Clasificación de las Propiedades Mecánicas de *Calycophyllum spruceanum* a la edad de 9 años

Propiedad		Contenido de Humedad (%)	Valor Promedio	Criterios de clasificación		
				Aróstegui (1982) Condición Verde	Dávalos y Bárcenas (1998) Condición Verde	Dávalos y Bárcenas (1999) Condición Seca al Aire
Flexión Estática	MOR	26	789 kg/cm <sup>2</sup>	Medio	Alto	.....
	MOE	26	98,99 t/cm <sup>2</sup>	.....	Medio	.....
Compresión Paralela	RM	26	263,57 kg/cm <sup>2</sup>	Medio	Medio	.....
Compresión Perpendicular	ELP	26	46,88 kg/cm <sup>2</sup>	Medio	Medio	.....
Cizallamiento		12	103,34 kg/cm <sup>2</sup>	.....	.....	Medio
Dureza Lados		12	737,25 kg/cm <sup>2</sup>	.....	.....	Alto

Fuente: Elaboración Propia



### 4.3 Aptitud de uso

La especie en estudio de acuerdo con sus propiedades físico-mecánicas puede compararse con *Cariniana domestica* (Cachimbo), *Copaifera officinalis* (Copaiba) y *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo), provenientes de bosque natural (figuras 19, 20 y 21); cuyas aptitudes son para estructuras y carpintería de obra (viviendas), ebanistería, mangos de herramienta, parquet y cajonería, según se detalla en el cuadro 22.

Por otro lado considerando los requisitos de uso propuestos por Aróstegui (1970), Vizcarra y Lara (1992) y INPA (1993) la madera estudiada podría tener además aptitudes para obras de interiores, artesanía y muebles.

En relación a su uso estructural la especie muestra valores de resistencia y rigidez apropiados; sin embargo es conveniente señalar que en tenacidad se aprecia un alto coeficiente de variabilidad (60%) y cerca del 40% de falla en quebradura que podría evidenciar la presencia de madera quebradiza. En consideración a estas cualidades y el diámetro de los árboles la madera en estudio presenta limitaciones para su uso estructural, salvo como madera laminada previa evaluación de su comportamiento a los adhesivos.

Respecto a su uso para carpintería de obra cumple con todos los requisitos de las fuentes citadas, sin embargo es recomendable observar la magnitud de la madera tensionada durante el aserrío y su comportamiento a los adhesivos esto último permitiría elaborar muebles con madera laminada.

Para ebanistería, obras de interiores y artesanía los requisitos de uso son cumplidos. Sin embargo para parquet no cumple con el requisito de estabilidad dimensional menor a 1,6; pero para mangos de herramienta no sería apropiado por su alta variabilidad en tenacidad y la presencia de fallas tipo quebradura.

Asimismo, por presentar características favorables de fuste, durabilidad natural y propiedades mecánicas similares a las utilizadas para postes (Figura 22), es conveniente realizar ensayos de rotura a escala natural para confirmar su uso.

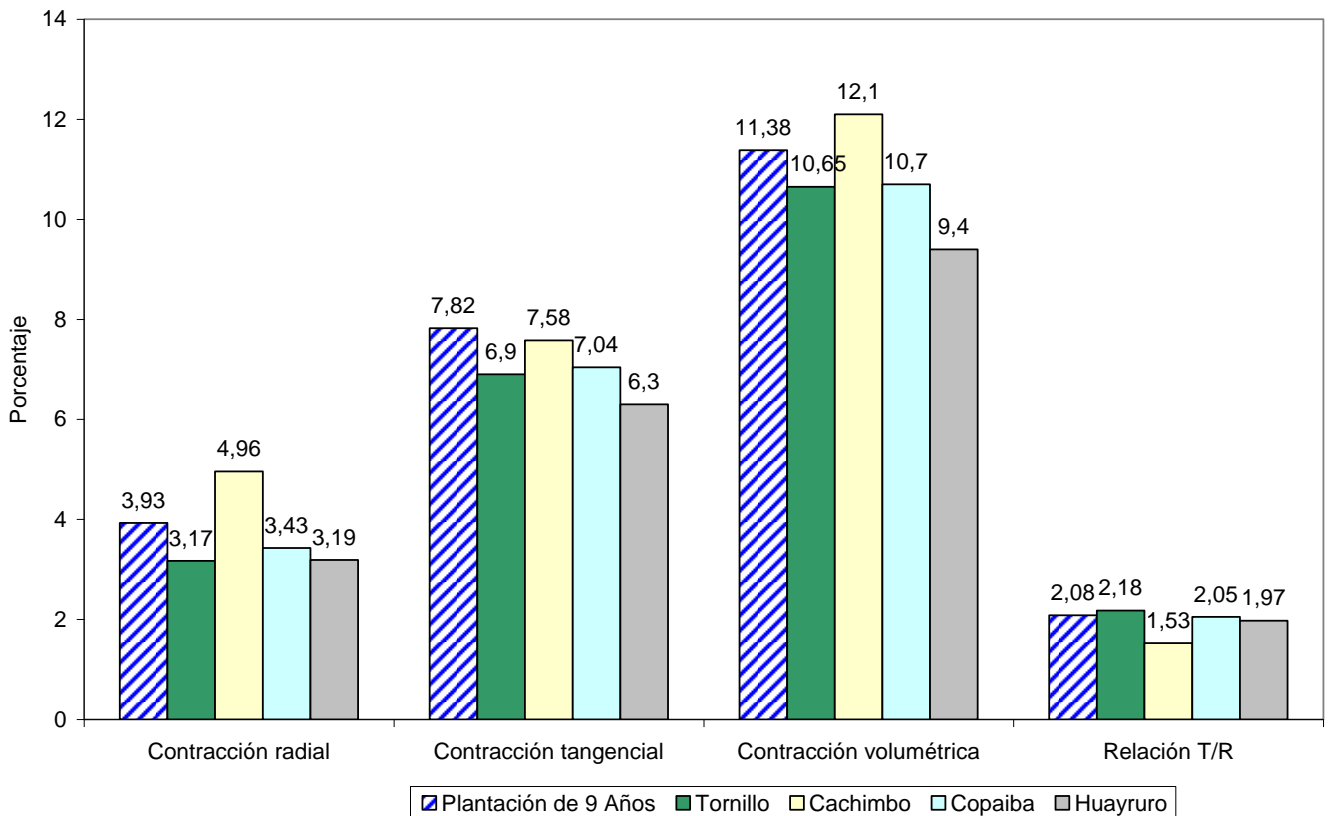


Figura 19: Comparación de las propiedades físicas del Tornillo, Cachimbo, Copaiba y Huayruro provenientes de bosque natural con Capirona de plantación de 9 años.

Fuente: Valores de las especies comparativas tomado de Aróstegui (1982)

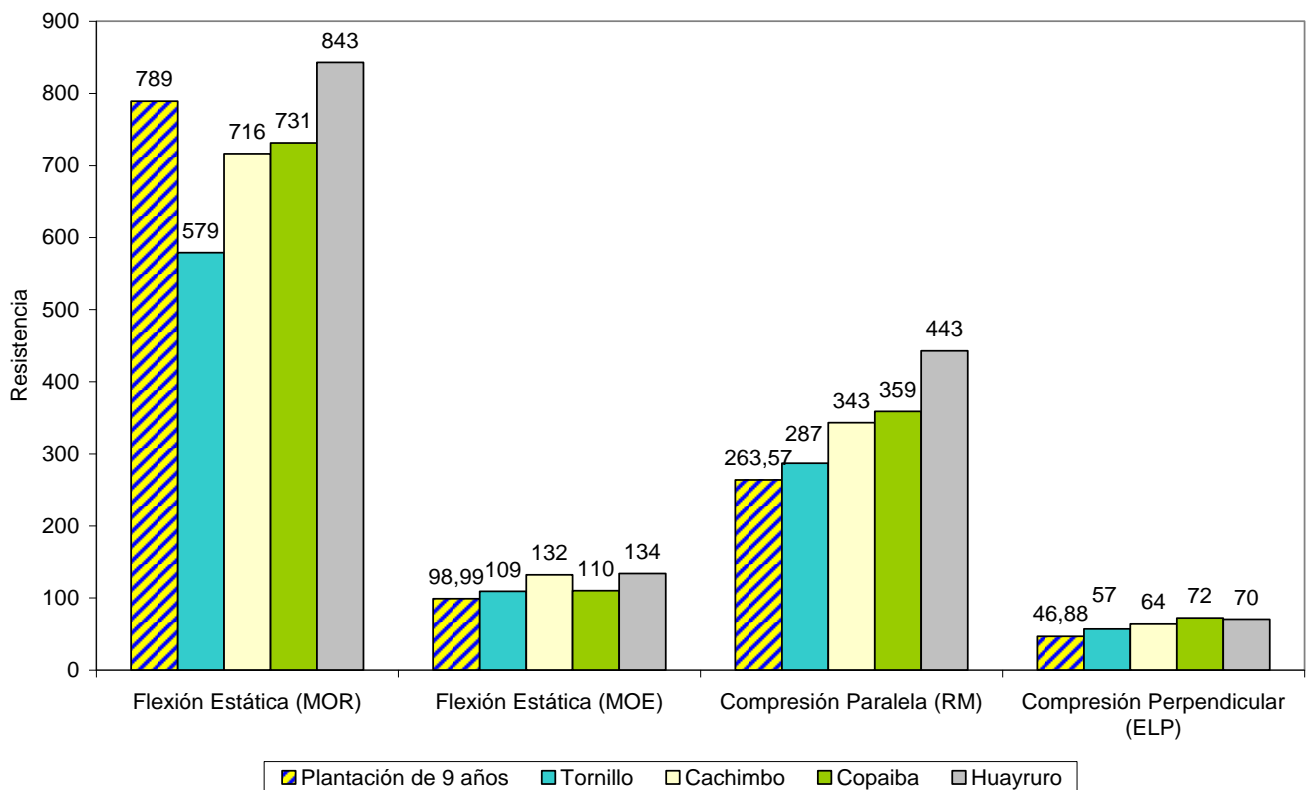


Figura 20: Comparación de las propiedades mecánicas (condición verde) del Tornillo, Cachimbo, Copaiba y Huayruro provenientes de bosque natural con Capirona de plantación de 9 años.

Fuente: Valores de las especies comparativas tomado de JUNAC (1981b)

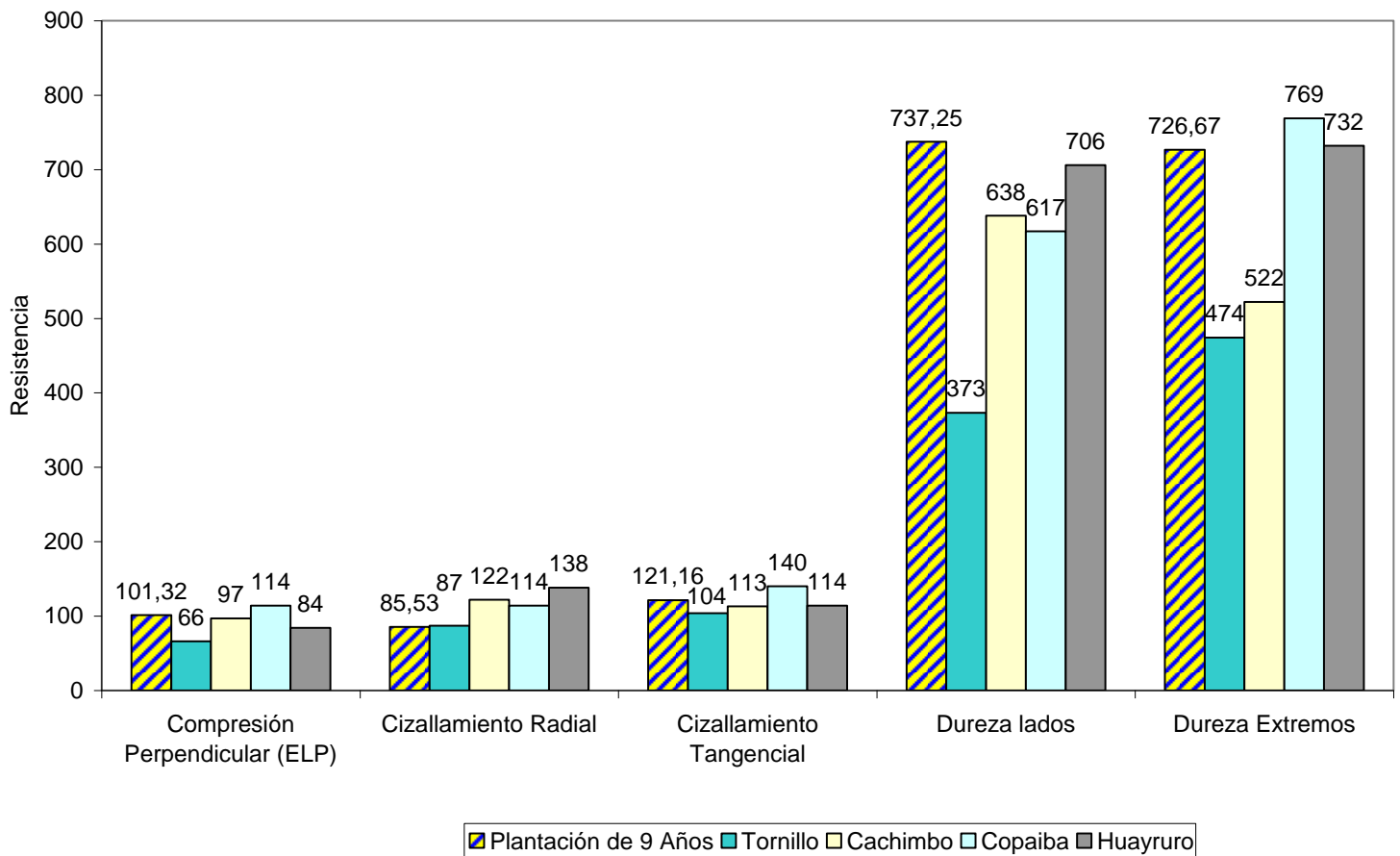


Figura 21: Comparación de las propiedades mecánicas (condición al 12%) del Tornillo, Cachimbo, Copaiba y Huayruro provenientes de bosque natural con Capirona de plantación de 9 años.

Fuente: Valores de las especies comparativas tomado de JUNAC (1981b)

Cuadro 22: Usos de las maderas de Tornillo, Cachimbo, Copaiba

Especie	Densidad Básica	Construcción de viviendas			Encofrados	Mueblería	Ebanistería	Laminados	Mangos de Herramientas	Carrocerías	Durmientes	Cajonería pesada
		Estructuras	Carpintería de obra	Parquet								
Tornillo	0,45	x	X			X				x		
Cachimbo	0,59	x	X	X					x		X	x
Copaiba	0,61	x	X	X	x		x	x		x		

Fuente: Aróstegui (1982)

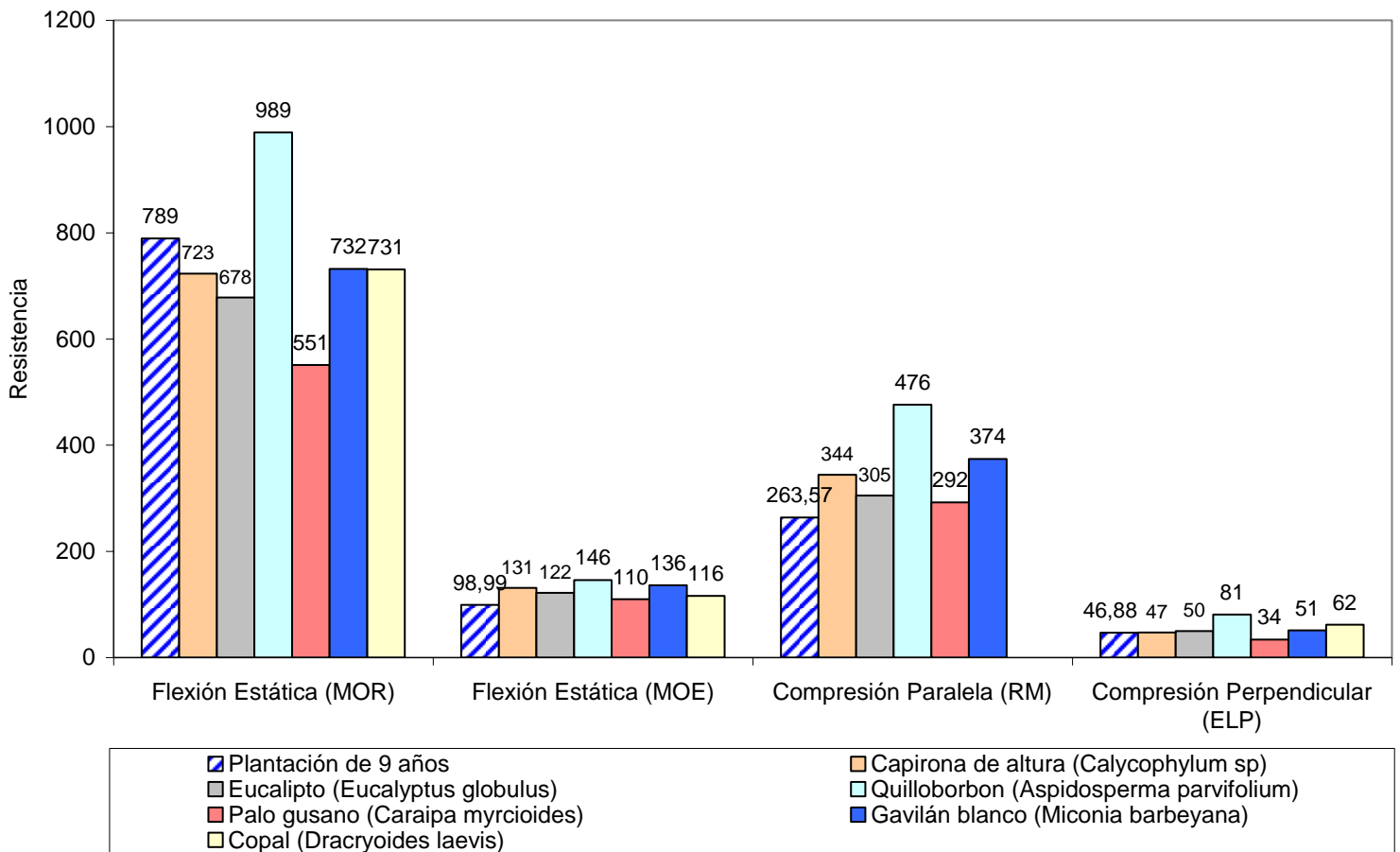


Figura 22: Comparación de las propiedades mecánicas de la capirona de plantación de 9 años con las de aptitud para postes.

Fuente: Elaborado en base a la información contenida en Romaní (2003)

## 5. CONCLUSIONES

- La madera de capirona procedente de una plantación de 9 años de edad presenta alta variabilidad en contracción longitudinal, tenacidad, tensión perpendicular (radial) y clivaje (radial).
- La madera estudiada sólo muestra diferencias entre niveles de corte para la contracción longitudinal y flexión estática.
- La plantación de capirona de 9 años produce madera con valores promedios menores a los reportados para bosque natural, diferencias que se acentúan en densidad básica, dureza y compresión paralela.
- La densidad básica es un buen estimador para predecir la dureza y el esfuerzo en compresión perpendicular de la madera de capirona cosechada a los 9 años.
- La madera de capirona de 9 años se clasifica como de alta densidad básica, mediana contracción volumétrica y resistencia mecánica media.
- Las propiedades físicas y mecánicas de la madera evaluada permiten asignarle los siguientes usos: estructuras ligeras, carpintería de obra, molduras, revestimiento, ebanistería, artesanía.

## **6. RECOMENDACIONES**

- Realizar estudios anatómicos para observar la influencia de la madera juvenil en la estructura de la madera y determinar su influencia en las propiedades físicas y mecánicas.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas a la de 15 y 20 años para observar la variabilidad de los resultados y analizar la evolución de los valores promedios de la resistencia mecánicas con la finalidad de obtener su edad de madurez.
- Realizar ensayos de rotura en postes a escala natural para determinar su uso en este rubro. Así también es necesario conocer el comportamiento de la madera al encolado para su uso en carpintería de obra y estructuras laminadas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ARÓSTEGUI 1970. Estudio de las propiedades físico- mecánicas de 16 especies maderables del país volumen II. Centro de investigaciones forestales. Lima – Perú. 76 p.
2. ARÓSTEGUI, A. et al. 1974. Estudio Tecnológico de Maderas del Perú (Zona Pucallpa), Características Tecnológicas y Usos de la Madera de 145 Especies del País. Ministerio de Agricultura. UNALM-La Molina. Lima-Perú. Vol. I. 483 p.
3. AROSTEGUI, A. 1982. Recopilación y Análisis de Estudios Tecnológicos de Maderas Peruanas. Lima-Perú. 57 p.
4. ANGULO W.; COLÁN V.; CÓRDOVA N.; GALVÁN O.; MARMILLOD D.; NALVARTE W.; SABOGAL C. 2004. Silvicultura en la Amazonía Peruana. Diagnostico de experiencias en la Región Ucayali y la Provincia de Puerto Inca. 105 p.
5. ACEVEDO, M.; KIKATA, Y. 1994. Atlas de Maderas del Perú. Universidad de Nagoya Japón, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima - Perú. 202 p.
6. ARROYO, J. 1983. Propiedades Físico-Mecánicas de la Madera, Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela 186 p.
7. ASTM. 2000. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber, Designation: D 143 – 94 (Reapproved 2000) - Secondary methods. American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA. 31 p.
8. ASTM. 2004. Standard Practice for Sampling Forest Trees for Determination of Clear Wood Properties, Designation: D 5536 – 94 (Reapproved 2004) - Secondary methods. American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA. 9 p.
9. BÁRCENAS, G.; ZARATE, R.; ORDÓÑEZ, V.; GUERRERO, A.; HONORATO, J. 2003. Correlación de los resultados de impacto o tenacidad de 16 maderas mexicanas utilizando dos métodos de prueba (en línea). Madera y Bosques 9(1), 2003:55-70. Consultado 04 Febrero 2009. Disponible en <http://www.inecol.edu.mx/myb/resumeness/9.1/pdf/Barcenas%20et%20al%202003.PDF>
10. CAMARA NACIONAL FORESTAL 1996. Utilización Industrial de Nuevas Especies Forestales en el Perú. Proyecto ITTO PD 37/88. Lima – Perú. 240 p.
11. CHAVESTA, M. 2005. Maderas para Pisos. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima - Perú. 176 p.

12. CONDORI, C. 2007. Propiedades mecánicas de *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Tornillo) proveniente de dos tipos de plantaciones y diferentes edades del centro de investigación Jenaro Herrera – Loreto. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. 127 p.
13. CHADWICK, O (1985). Silviculture and Juvenile Wood. A Technical Workshop: Juvenile Wood – What Does It Mean to Forest Management and Forest Products?. United State of America. p. 29- 34
14. DÁVALOS, R.; BÁRCENAS, G. 1998. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición “verde” (en línea). Madera y Bosques vol. 4, pp. 65-70. Consultado 10 Marzo 2009. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/617/61740107.pdf>
15. DÁVALOS, R.; BÁRCENAS, 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 10 Marzo 2009. Disponible en <http://www.inecol.edu.mx/myb/resumeness/5.1/pdf/Davalos%20y%20Barcenas%201999.PDF>.
16. ESPINOZA DE PERNÍA, N.; LEÓN, W. 2001. Anatomía de la madera. 1ª ed. Universidad de Los Andes. Talleres Gráficos Universitarios. Mérida-Venezuela, 396 p.
17. FACHIN, C. 1986. Estudio de las Propiedades Físico Mecánicas y su Variación en el Tronco de la *Parkia velutina* R. Benth (Pashaco Curtidor), en los Bosques de la Plantación de Jenaro Herrera. Tesis para optar el título de Ing. Forestal. UNP. Iquitos – Perú. 98 p.
18. FLORES, Y. 2002. Crecimiento y productividad de plantaciones de seis especies forestales nativas de 20 años de edad en el Bosque Alexander Von Humboldt Amazonía Peruana. Tesis para optar el grado de Magíster Scientiae. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 87 p.
19. FLORES, Y. 2004. Guía para el reconocimiento de regeneración natural de especies forestales de la región Ucayali. Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INIA). Pucallpa – Perú. p. 16-17.
20. GONZALES, R. 1996. Secado de la Madera. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC). Lima – Perú. 101 p.
21. HALE, J. 1951. The Structure of Wood. Canadian Woods; Their Properties and Uses. Forest Products Laboratories, Ottawa – Canada. 367 p.
22. HAYGREEN, J., BOWYER, J. 1982. Forest Products and Wood Science. An Introduction. USA. 495 p.



23. HERRERA, Z. (1987) Interrelación entre Densidad Básica y las Características Anatómicas del Tornillo (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke) y Pumaquiro (*Aspidosperma macrocarpon* Mart) Tesis (Mag Sc). Lima Perú. 217 p.
24. HOLDRIDGE, L. 1987 Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). San José, Costa Rica. 216p.
25. INDECOPI 2004a. Madera. Método para determinar el contenido de humedad. NTP 251.010. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Privada. Lima - Perú. 13 p.
26. INDECOPI 2004b. Madera. Método para determinar la densidad. NTP 251.011. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Privada. Lima - Perú. 9 p.
27. INDECOPI 2004c. Madera. Método para determinar la contracción. NTP 251.012. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Privada. Lima - Perú. 9 p.
28. INPA 1993. Catálogo de Madeiras do Amapá. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus – Brasil. 50 p.
29. INRENA. 1994. Mapa Ecológico del Perú Guía explicativa. Ministerio de Agricultura. 220p.
30. JUNAC. 1981a. Tablas de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera de 20 especies de Bolivia. Junta del acuerdo de Cartagena. Lima – Perú. 46p.
31. JUNAC. 1981b. Tablas de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera de 20 especies de Perú. Junta del acuerdo de Cartagena. Lima – Perú. 40p.
32. JOZSA, L.A.; MIDDLETON G.R. 1994. A discussion of wood quality attributes and their practical implications. Special Publication No. SP-34. Forintek Canada Corporation. Western Laboratory, Vancouver, Canada. 42 p.
33. MAEGLIN, R. 1987. Applying the latest research to hardwood problems: Proceedings of the 15th annual hardwood symposium of the Harwood Research Council; Memphis, TN. p 100-108.

34. MCKIMMY, M. 1985. The effect of forest practices on wood properties. A Technical Workshop: Juvenile Wood – What Does It Mean to Forest Management and Forest Products?. United State of America. p. 35- 47.
35. MELÉNDEZ, M. 1999. Parámetros básicos de corte con sierra cinta en el aserrío de la capirona *Calycophyllum spruceanum*. Tesis de M.Sc, Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Post Grado, Especialidad de Industrias Forestales, Lima, Perú.
36. PADT – REFORT 1981. Descripción general y anatómica de 105 maderas del grupo andino. Proyectos andinos de desarrollo tecnológico en el área de los recursos forestales tropicales. Cali – Colombia. 441 p.
37. PATIÑO, F. 2002. Propiedades Físico-Mecánicas de *Simarouba amara* Aubl (Marupa) Proveniente de Plantaciones de Diferentes Edades Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. 46 p.
38. REYNEL C.; PENNINGTON R. T.; PENNINGTON T. D.; FLORES C.; DAZA A.; 2003. Árboles Útiles de la Amazonía Peruana y sus Usos. 509p
39. ROMANI, W. 2003. Estudio de Flexión en Postes de Transmisión Eléctrica y Propiedades Físico – Mecánicas relacionadas de las Gavilán Blanco (*Caraipa myrcioides*) y Palo Gusano (*Miconia barbeyana*). Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. 64 p.
40. SENFT, J.; QUANCI, M.; BENDTSEN, B. 1985. Property Profile of 60 year old Douglas – Fir. A Technical Workshop: Juvenile Wood – What Does It Mean to Forest Management and Forest Products? United State of America. p. 17- 28
41. SILVA, Z. 2005. Características anatómicas y propiedades físicas de *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Tornillo) de diferentes edades, proveniente de plantaciones de Jenaro Herrera. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. 105 p.
42. SOTELO, C.; WEBER, J.; VIDAURRE, H. 2000. Plantación de Capirona para la producción de madera de alta calidad. Bosques Amazónicos, nº 20 p. 12,22,31.
43. SOTELO 2006a. Genetic variation and correlations between growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. Universidad Laval, Quebec – Canada. 23 p.
44. SOTELO 2006b. Genetic variation in wood shrinkage, and its correlations with tree growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. Universidad Laval, Quebec – Canada. 21 p.

45. SOTELO 2006c. Genetic variation in wood mechanical properties, and their correlations with tree growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. Universidad Laval, Quebec – Canadá 16 p.
46. TORRES, C. 1993. Efecto del diámetro y altura del tocón en el rebrote de *Calycophyllum spruceanum* (Benth)(capirona), Tournavista-Pucallpa. Tesis de Ing. Forestal Universidad Nacional del Centro del Perú-Huancayo. 58p.
47. TOLEDO, E. 1999. Estudio sobre certificación de semillas de árboles y potencial de mercado de los productos agroforestales. Informe elaborado a solicitud de ICRAF/WINROCK. p. 23 – 24.
48. U.S. Department of Agriculture 1955. Wood Handbook: Basic Information on Wood as a Material of Construction with Data for Its Use in Design and Specifications. Washington, DC. 528 p.
49. U.S. Department of Agriculture 1974. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. 454 p.
50. VALDERRAMA, H. 1984. Estudio de las propiedades físicas y su variación en tronco de la *Tachigalia longiflora* Ducke y *Sclerolobium melinonii* Herns, en Puerto Almendras Iquitos. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Iquitos – Perú. 92 p.
51. VIGNOTE, S. JIMÉNEZ, F. 1996. Tecnología de la Madera. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid-España. 602 p.
52. VIGNOTE, S. MARTINEZ, I. 2006. Tecnología de la Madera. 3ª Ed. Mundi-Prensa, Madrid-España. 678 p.
53. VISCARRA, S.; LARA, R. 1992. Maderas de Bolivia. Santa Cruz – Bolivia. 291 p.
54. WAKEFIELD 1951. The Mechanical and Physical Properties of Canadian Woods in Relation to Their Uses. Canadian Woods; Their Properties and Uses. Forest Products Laboratories, Ottawa – Canada. p. 105 – 114.
55. WIGHTMAN, K.; CORNELIUS, J.; UGARTE, J. 2006. Plantemos Madera. World Agroforestry Centre (ICRAF). 199 p.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### PROPIEDADES FÍSICAS POR ÁRBOL

Árbol	Nº de Probetas	Densidad Básica			Densidad Anhidra			Seca al Aire			
		Promedio	% CV	Rango	Promedio	% CV	Rango	CH (%)	Promedio	% CV	Rango
2	5	0,56	1,45	0,55 - 0,57	0,64	1,12	0,63 - 0,65	19,89	0,69	1,12	0,68 - 0,70
3	11	0,61	3,87	0,58 - 0,65	0,69	4,73	0,65 - 0,74	19,73	0,75	3,97	0,70 - 0,79
4	12	0,60	2,08	0,58 - 0,63	0,67	2,47	0,64 - 0,70	19,91	0,73	2,02	0,71 - 0,76
5	12	0,62	4,21	0,57 - 0,65	0,70	5,03	0,64 - 0,74	19,9	0,76	4,71	0,70 - 0,80
32	8	0,56	1,69	0,55 - 0,58	0,64	1,69	0,62 - 0,65	20,72	0,7	1,63	0,67 - 0,71
34	12	0,60	2,93	0,57 - 0,62	0,68	3,15	0,64 - 0,70	20,47	0,74	3,2	0,70 - 0,76
39	8	0,61	2,22	0,59 - 0,62	0,69	2,44	0,66 - 0,71	19,23	0,74	2,29	0,72 - 0,76
44	16	0,62	3,54	0,58 - 0,65	0,68	3,57	0,65 - 0,72	19,27	0,75	3,73	0,70 - 0,80
53	7	0,65	2,35	0,63 - 0,68	0,75	2,55	0,73 - 0,78	19,31	0,8	2,12	0,78 - 0,83
55	13	0,64	3,26	0,61 - 0,68	0,72	3,7	0,69 - 0,77	18,88	0,78	3,6	0,74 - 0,82

Árbol	Nº de Probetas	Contracción Tangencial Total			Contracción Radial Total			Contracción Longitudinal Total			Contracción Volumétrica Total		
		Promedio	% CV	Rango	Promedio	% CV	Rango	Promedio	% CV	Rango	Promedio	% CV	Rango
2	5	7,93	2,06	7,76 - 8,13	4,85	27,25	4,02 - 7,18	0,35	52,38	0,21 - 0,66	11,90	3,03	11,58 - 12,52
3	7	8,10	10,45	6,74 - 9,18	3,71	18,99	2,70 - 4,53	0,33	80,32	0,18 - 0,90	11,94	7,81	10,62 - 12,68
4	11	7,33	12,7	5,98 - 9,12	3,43	13,64	2,93 - 4,40	0,27	69,2	0,13 - 0,77	10,47	5,51	9,17 - 11,02
5	12	7,96	12,24	6,54 - 9,69	4,31	12,86	3,61 - 5,56	0,54	77,77	0,22 - 1,36	12,12	6,5	10,90 - 13,32
32	8	8,49	11,58	7,08 - 10,06	3,59	18,18	3,11 - 5,14	0,37	66,74	0,16 - 0,81	12,11	6,41	11,21 - 13,63
34	12	8,24	7,07	7,44 - 9,46	4,07	23,15	3,13 - 5,81	0,35	54,71	0,18 - 0,75	11,35	2,56	10,72 - 11,78
39	8	7,72	14,11	5,76 - 9,03	4,76	34,87	3,09 - 7,37	0,35	61,91	0,16 - 0,72	11,75	5,11	11,12 - 12,73
44	14	6,86	9,63	6,16 - 8,97	3,51	17,55	2,67 - 4,88	0,42	69,96	0,18 - 1,22	9,92	3,77	9,03 - 10,47
53	7	8,75	8,05	8,13 - 10,29	4,37	7,27	3,77 - 4,77	0,23	78,06	0,05 - 0,58	13,07	4,13	12,23 - 13,83
55	13	7,74	7,39	6,96 - 8,66	3,59	24,32	1,87 - 5,56	0,28	100	0,11 - 1,12	10,98	3,76	10,45 - 11,81

## ANEXO 2

### PROPIEDADES MECÁNICAS POR ÁRBOL

Árbol	Flexión Estática										
	Nº de probetas	% CH	ELP (kg/ cm2)			MOR (kg/ cm2)			MOE (t/ cm2)		
			Promedio	%CV	Rango	Promedio	%CV	Rango	Promedio	%CV	Rango
55	12	22,19	<b>522,59</b>	8,06	436,99 - 581,85	<b>1018,85</b>	8,21	798,24 - 1140,44	<b>114,50</b>	10,46	84,49 - 131,37
34	3	24,97	<b>449,16</b>	15,73	400,45 - 530,22	<b>816,61</b>	10,24	765,58 - 913,15	<b>98,25</b>	9,88	91,17 - 109,32
3	4	23,44	<b>504,56</b>	3,98	491,96 - 534,12	<b>869,57</b>	2,93	844,40 - 893,16	<b>103,57</b>	8,15	95,84 - 113,64
39	4	22,19	<b>524,80</b>	10,48	480,90 - 600,31	<b>948,58</b>	6,67	899,58 - 1036,63	<b>115,97</b>	6,64	105,84 - 122,47
4	8	23,39	<b>520,73</b>	7,02	478,10 - 573,75	<b>951,32</b>	5,42	884,02 - 1039,19	<b>115,51</b>	7,4	101,17 - 126,11
5	8	23,93	<b>418,72</b>	13,24	354,13 - 513,36	<b>742,41</b>	8,29	669,9 - 831,59	<b>90,91</b>	10,83	78,19 - 114,06
2	7	23,49	<b>458,12</b>	7,08	390,61 - 496,72	<b>807,79</b>	5,18	762,63 - 861,87	<b>101,95</b>	9,25	92,60 - 116,81
44	2	21,47	<b>564,36</b>	13,74	509,51 - 619,21	<b>910,86</b>	5,08	878,16 - 943,57	<b>95,63</b>	1	75,02 - 96,31
53	2	23,95	<b>626,20</b>	7,10	594,75 - 657,64	<b>1016,47</b>	5,39	977,72 - 1055,22	<b>122,75</b>	9,3	65,012 - 130,82
32	5	24,94	<b>382,57</b>	17,51	289,61 - 452,37	<b>719,13</b>	12,02	602,4 - 824,15	<b>82,744</b>	8,47	70,29 - 94,11

Árbol	Compresión Paralela										
	Nº de probetas	% CH	ELP (kg/cm2)			RM (kg/cm2)			MOE (t/cm2)		
			Promedio	%CV	Rango	Promedio	%CV	Rango	Promedio	%CV	Rango
55	2	18,93	<b>331,75</b>	6,76	315,89 - 347,62	<b>436,49</b>	8,94	408,89 - 464,08	<b>128,39</b>	11,37	118,07 - 138,71
34	2	19,65	<b>264,63</b>	2,31	260,31 - 268,96	<b>359,46</b>	6,58	342,74 - 376,18	<b>119,63</b>	21,86	101,14 - 138,12
3	3	21,73	<b>262,93</b>	13,42	228,41 - 298,96	<b>339,81</b>	9,49	303,08 - 363,50	<b>108,79</b>	7,94	103,76 - 118,76
39	3	19,62	<b>254,22</b>	8,48	229,94 - 271,09	<b>382,63</b>	2,40	372,11 - 389,14	<b>146,84</b>	4,11	140,46 - 152,47
4	2	19,66	<b>298,86</b>	1,22	296,29 - 301,43	<b>404,32</b>	9,74	376,46 - 432,18	<b>142,63</b>	14,78	127,72 - 157,53
5	4	21,13	<b>230,85</b>	6,97	207,77 - 244,92	<b>322,63</b>	5,26	299,33 - 340,01	<b>100,64</b>	9,20	89,56 - 109,32
2	4	21,24	<b>257,62</b>	14,54	204,7 - 292,76	<b>345,85</b>	8,68	308,88 - 371,02	<b>124,60</b>	8,26	116,03 - 139,07
44	2	20,84	<b>286,77</b>	2,38	281,95 - 291,58	<b>372,09</b>	4,92	359,14 - 385,04	<b>97,75</b>	8,20	92,08 - 103,42
53	3	20,05	<b>312,57</b>	5,31	293,44 - 322,96	<b>462,91</b>	5,93	440,157 - 493,41	<b>144,52</b>	10,85	126,50 - 155,06
32	2	20,09	<b>256,80</b>	18,30	223,57 - 290,03	<b>339,19</b>	10,47	314,069 - 364,30	<b>107,53</b>	0,25	107,34 - 107,72

Árbol	Compresión Perpendicular					Tenacidad				
	ELP (kg/cm2)					Nº de probetas	% CH	Promedio	%CV	Rango
	Nº de probetas	% CH	Promedio	% CV	Rango					
55	5	18,57	<b>82,91</b>	3,74	79,60 – 87,35	13	13,75	3,45	68,61	1,095 - 7,741
34	3	18,43	<b>65,87</b>	0,84	65,514 – 66,507	14	14,081	2,66	24,4	1,704 - 3,747
3	2	19,16	<b>66,01</b>	3,51	64,36 – 67,65	17	13,968	3,79	41,58	0,690 - 6,289
39	3	18,98	<b>66,82</b>	3,86	63,85 – 68,48	....	.....	.....	.....	.....
4	2	18,54	<b>68,30</b>	30,51	53,6 – 83	19	14,093	2,77	41,92	0,827 - 5,139
5	4	19,23	<b>74,25</b>	9,74	65,41 – 81,06	16	14,051	2,26	32,44	1,489 - 4,118
2	6	19,32	<b>58,24</b>	8,58	53,66 – 65,29	14	13,93	1,68	44,91	0,463 - 3,693
44	3	19,15	<b>81,76</b>	18,16	64,90 – 92,90	16	13,97	1,40	49,61	0,348 - 2,313
53	3	18,69	<b>79,55</b>	7,91	72,29 – 83,33	8	14,105	6,08	24,08	4,066 - 7,741
32	5	19,22	<b>60,17</b>	11,73	48,87 – 66,60	15	13,729	1,88	33,1	0,622 - 3,188

Árbol	Dureza													
	Nº de probetas	% CH	Extremos (kg/cm2)			Lados (kg/cm2)			Radial (kg/cm2)			Tangencial (kg/cm2)		
			Promedio	%CV	Rango	Promedio	%CV	Rango	Promedio	%CV	Rango	Promedio	%CV	Rango
55	5	15,06	<b>723,39</b>	4,21	682,66 - 757,50	<b>797,46</b>	6,28	725,75 - 845,27	<b>805,49</b>	6,32	737,10 - 875,43	<b>789,43</b>	6,89	713,50 - 859,56
34	3	14,33	<b>593,00</b>	7,63	562,46 - 645,01	<b>602,37</b>	13,3	555,65 - 694,90	<b>622,78</b>	13,56	558,83 - 718,49	<b>581,96</b>	13,61	520,27 - 671,32
3	3	16,15	<b>644,10</b>	3,36	623,69 - 666,78	<b>692,26</b>	4,74	661,56 - 726,88	<b>732,70</b>	6,22	684,92 - 775,64	<b>651,81</b>	8,86	585,59 - 691,73
39	4	14,57	<b>606,45</b>	3,86	576,06 - 631,85	<b>643,59</b>	12,1	559,28 - 744,34	<b>674,83</b>	9,96	611,44 - 768,84	<b>612,35</b>	15,73	507,12 - 719,85
4	2	15,48	<b>634,58</b>	17,49	556,10 - 713,05	<b>735,50</b>	9,16	687,87 - 783,13	<b>765,89</b>	8,67	718,94 - 812,84	<b>705,11</b>	9,69	656,80 - 753,42
5	3	15,81	<b>599,65</b>	7,97	549,75 - 645,01	<b>674,11</b>	15,37	568,58 - 775,64	<b>716,22</b>	17,52	592,85 - 843,68	<b>632,01</b>	13,02	544,31 - 707,60
2	5	15,16	<b>574,25</b>	4,47	542,04 - 605,55	<b>558,33</b>	10,16	466,07 - 606,45	<b>591,39</b>	7,93	521,63 - 645,01	<b>525,26</b>	13,13	410,50 - 582,87
44	3	15,17	<b>680,99</b>	7,54	642,74 - 739,36	<b>673,21</b>	4,13	650,45 - 704,20	<b>715,47</b>	7,95	673,59 - 780,18	<b>630,95</b>	0,87	627,32 - 637,30
53	4	16,12	<b>759,88</b>	4,42	712,14 - 790,16	<b>862,68</b>	11,37	757,50 - 975,22	<b>900,95</b>	6,65	859,56 - 988,83	<b>824,40</b>	17,9	648,64 - 961,62
32	4	15,76	<b>556,44</b>	4,73	526,167 - 585,134	<b>581,62</b>	6,76	535,919 - 618,473	<b>599,20</b>	7,62	541,589 - 644,101	<b>564,04</b>	6,07	530,250 - 594,206

Árbol	Extracción de clavos												
	Nº de probetas	% CH	Extremos (kg)			Nº de probetas	Radial (kg)			Nº de probetas	Tangencial (kg)		
			Promedio	%CV	Rango		Promedio	%CV	Rango		Promedio	%CV	Rango
55	5	15,06	111,22	11,92	91,63 - 125,19	5	153,13	6,18	141,07 - 166,92	5	141,93	7,6	125,66 - 153,99
34	3	14,33	70,76	52,5	45,36 - 113,40	3	122,92	7,12	116,57 - 132,90	3	117,78	4,08	113,40 - 122,92
3	2	16,15	92,53	15,25	82,55- 102,51	3	161,55	8,64	147,87 - 175,77	3	134,26	10,87	120,65 - 149,69
39	3	14,48	84,52	13,62	71,67 - 93,89	3	143,64	12,76	127,01 - 163,29	3	110,83	8,89	103,42 - 122,02
4	2	15,48	84,59	14,03	76,20 - 92,99	2	155,81	11,94	142,66 - 168,96	1	160,12	.....	....
5	3	15,81	76,66	14,24	65,32 - 87,09	3	161,03	9,86	149,69 - 179,17	3	168,66	0,69	167,38 - 169,64
2	5	15,16	85,18	18,29	66,68 - 100,24	5	116,39	5,38	110,22 - 125,19	5	130,45	17,05	99,79 - 158,30
44	2	15,17	91,85	27,59	73,93 - 109,77	3	146,81	5,18	141,97 - 155,58	3	128,67	12,75	109,77 - 139,25
53	3	15,77	102,06	7,28	95,71 - 110,22	3	163,90	8,03	150,59 - 176,90	3	141,82	15,36	117,03 - 157,85
32	4	15,76	74,28	16,23	58,51 - 87,54	4	137,89	6,74	124,74 - 146,51	4	124,62	12,46	108,41 - 144,24

Cizallamiento										
Árbol	Radial (kg/cm2)					Tangencial (kg/cm2)				
	Nº de probetas	% CH	Promedio	%CV	Rango	Nº de probetas	% CH	Promedio	%CV	Rango
55	4	14,27	73,82	12,85	63,478 - 83,832	4	15,21	139,29	13,86	115,138 - 155,365
34	3	12,86	95,23	11,26	84,878 - 106,291	3	13,24	113,84	11,5	102,865- 128,334
3	3	14,41	72,82	19,49	57,942-86,22	2	16,34	126,96	7,47	120,247-133,665
39	3	14,11	69,69	14,9	60,673 - 81,044	3	14,22	114,59	12,69	97,893 - 124,478
4	2	15,51	96,13	1,85	94,870 - 97,392	2	15,4	84,90	25,55	69,565 - 100,241
5	.....	.....	.....	.....	.....	3	15,15	101,88	7,31	93,589 - 108,015
2	6	14,57	74,26	20,55	51,29-97,17	5	14,98	114,19	13,22	92,376-134,181
44	3	14,01	95,67	11,09	85,598 - 106,746	4	14,14	93,35	25,62	71,697 - 123,104
53	4	14,42	81,97	13,64	70,398 - 96,048	3	14,71	111,19	9,4	101,204 - 122,055
32	5	15,07	74,40	32,12	35,77-101,506	5	15,28	107,12	20,11	84,491 - 129,647



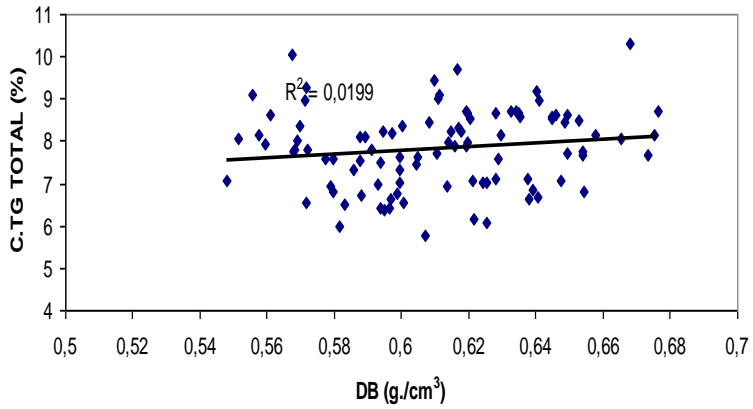
Árbol	Tracción									
	Radial (kg/cm <sup>2</sup> )					Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )				
	Nº de probetas	% CH	Promedio	%CV	Rango	Nº de probetas	% CH	Promedio	%CV	Rango
55	4	14,70	<b>24,87</b>	43,75	15,54-39,39	4	13,94	<b>54,99</b>	33,42	39,36-81,61
34	3	13,65	<b>28,13</b>	<b>77,31</b>	12,66-52,99	3	13,45	<b>61,06</b>	8,92	55,53-66,42
3	3	14,36	<b>42,15</b>	36,92	32,31-60,09	2	15,14	<b>48,72</b>	19,41	42,04-55,41
39	4	13,6	<b>21,09</b>	50,31	12,41-34,34	2	13,12	<b>73,74</b>	2,88	72,24-75,24
4	2	15,06	<b>26,82</b>	<b>64,1</b>	14,66-38,97	2	14,42	<b>28,81</b>	20,34	24,67-32,95
5	4	14,32	<b>32,76</b>	29,26	22,84-39,92	2	13,75	<b>58,66</b>	3,82	57,07-60,24
2	5	14,41	<b>26,35</b>	35,86	15,03-36,87	3	14,53	<b>62,84</b>	12,61	56,86-71,83
44	4	14,13	<b>25,66</b>	34,96	15,75-37,18	4	13,12	<b>65,37</b>	16,9	49,89-75,46
53	3	15,69	<b>14,38</b>	20,39	11,11-16,77	3	14,85	<b>57,71</b>	35,69	40,72-80,62
32	4	14,72	<b>31,92</b>	<b>60,26</b>	14,36-52,85	4	13,88	<b>66,58</b>	14,43	57,15-78,67

Árbol	Clivaje									
	Radial (kg/cm)					Tangencial (kg/cm)				
	Nº de probetas	% CH	Promedio	%CV	Rango	Nº de probetas	% CH	Promedio	%CV	Rango
55	4	17,15	<b>43,90</b>	33,02	25,90-45,38	4	17,73	<b>77,89</b>	13,15	65,21 - 90,07
34	2	16,77	<b>22,201</b>	20,62	18,96-25,44	1	16,47	<b>60,63</b>	.....	.....
3	3	20,06	<b>46,26</b>	25,01	35,48-58,48	2	19,60	<b>87,27</b>	4,35	84,59-89,96
39	4	17,49	<b>38,56</b>	29,92	28,30-52,22	4	17,83	<b>82,53</b>	7,46	73,98 - 88,54
4	2	18,18	<b>19,771</b>	11,74	18,13-21,41	2	17,74	<b>48,95</b>	2,39	48,13 - 49,78
5	2	19,56	<b>34,403</b>	8,29	32,39-36,42	3	18,58	<b>71,95</b>	15,59	60,55 - 82,98
2	5	19,56	<b>28,276</b>	20,06	18,76-32,48	4	17,85	<b>53,29</b>	18,39	39,71-62,66
44	2	17,44	<b>55,6</b>	5,54	53,42-57,78	3	18,36	<b>75,61</b>	13,72	63,72 - 82,75
53	2	18,19	<b>34,15</b>	34,79	25,75-42,55	3	19,30	<b>73,95</b>	34,03	53,65 - 102,10
32	4	18,78	<b>33,467</b>	36,02	23,99-50,60	4	19,09	<b>68,73</b>	18,3	52,89 - 81,15

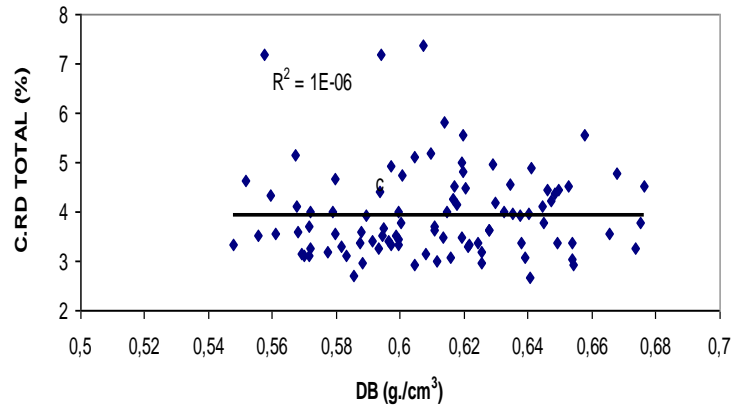
### ANEXO 3

### GRÁFICOS DE REGRESIÓN LINEAL – PROPIEDADES FÍSICAS

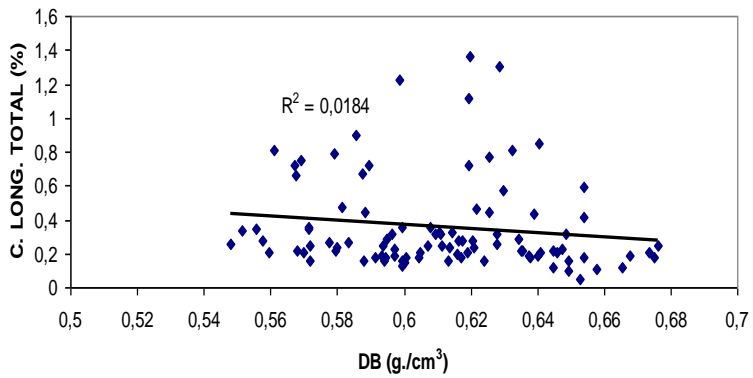
Contracción Tangencial Total vs. Densidad Básica



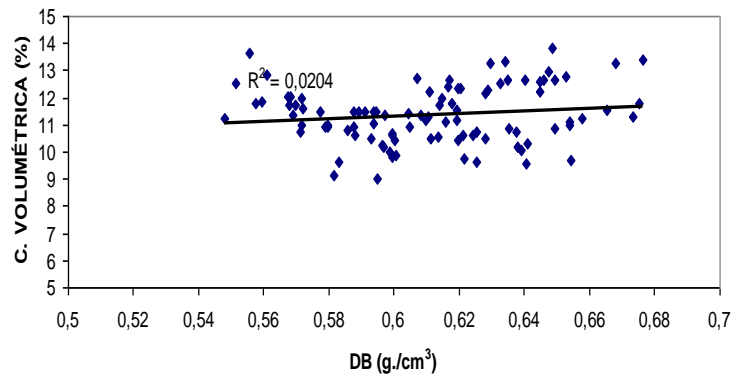
Contracción Radial Total vs. Densidad Básica



Contracción Longitudinal Total vs. Densidad Básica

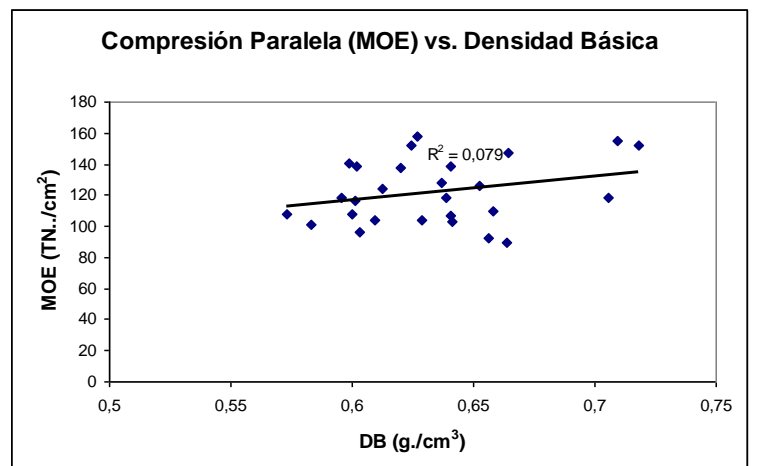
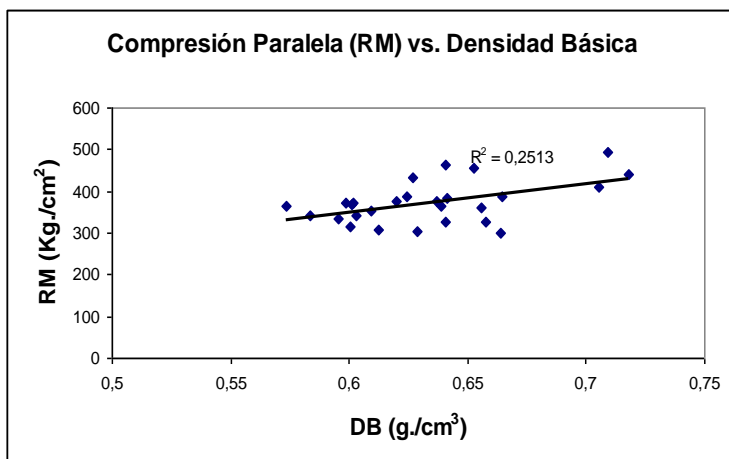
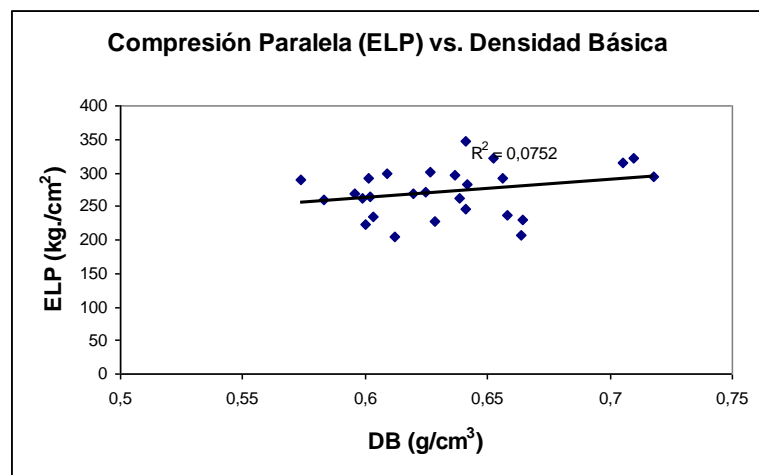
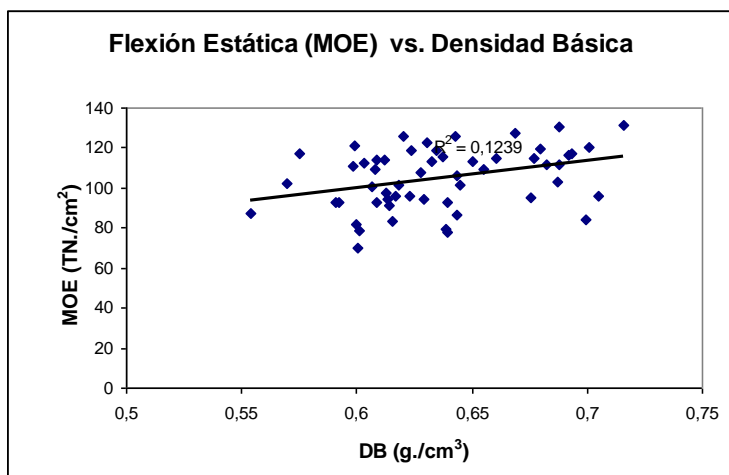
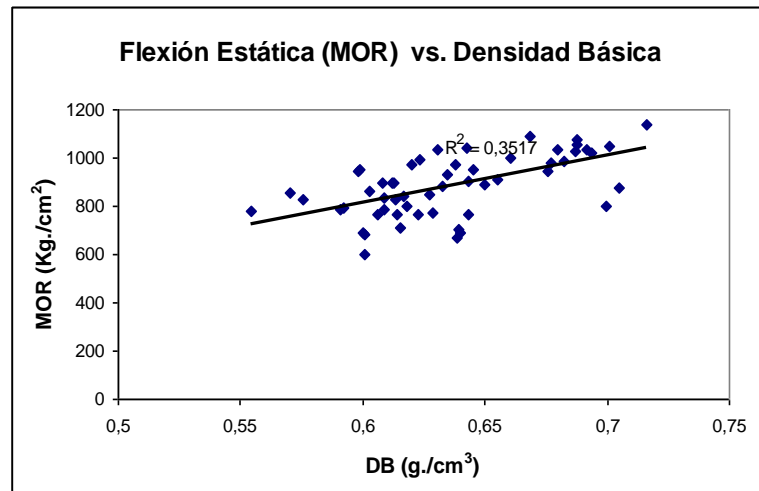
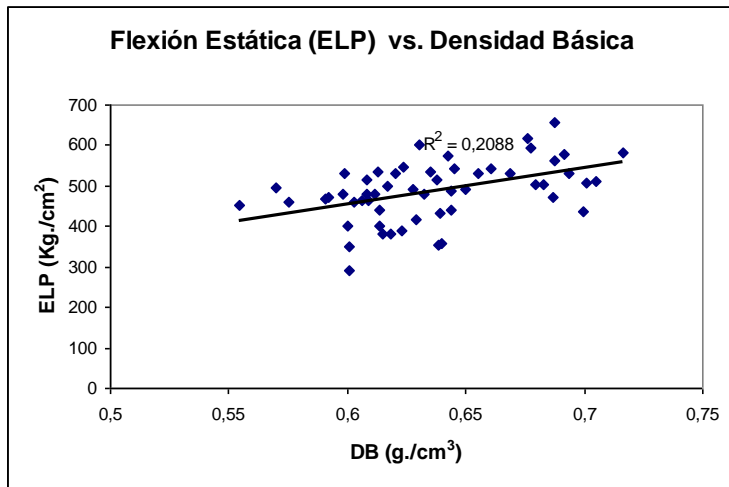


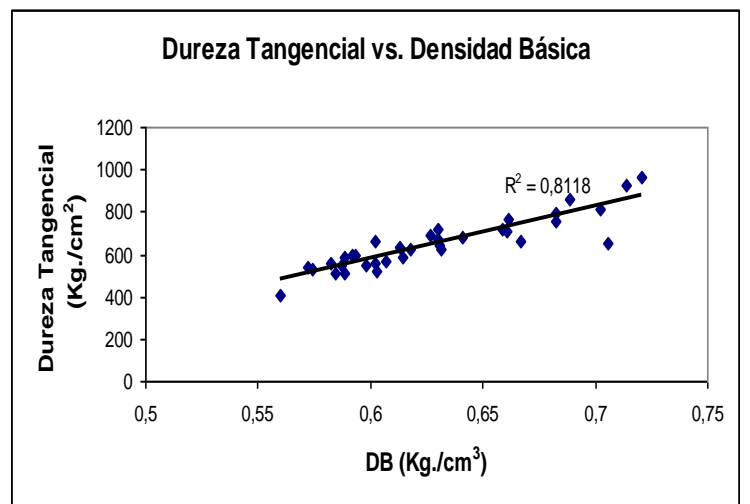
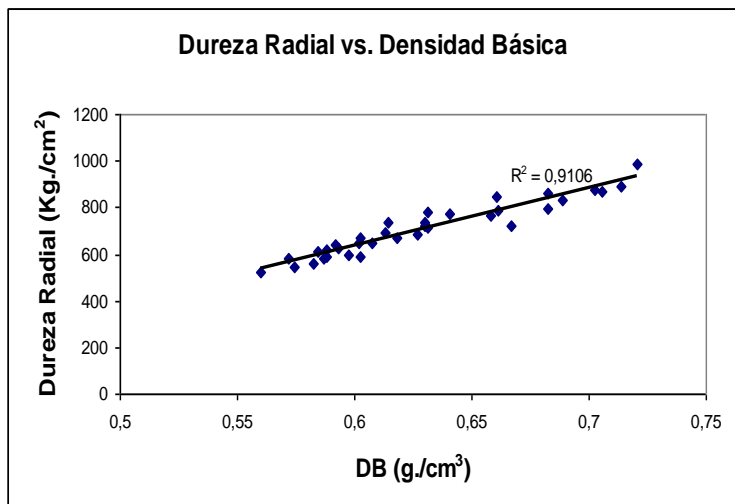
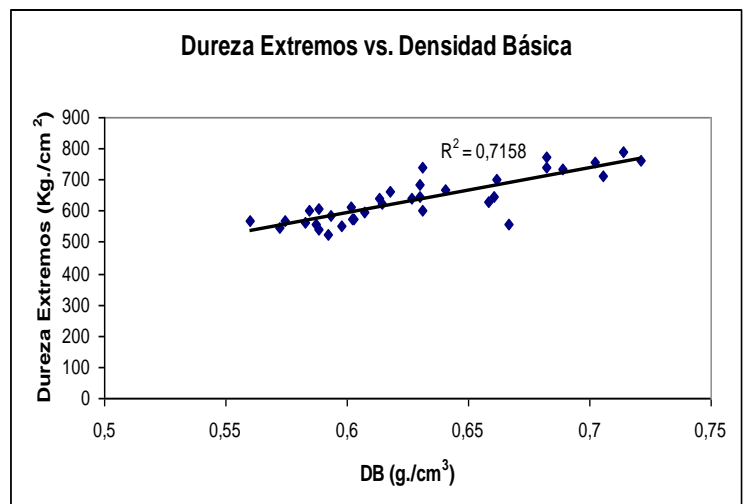
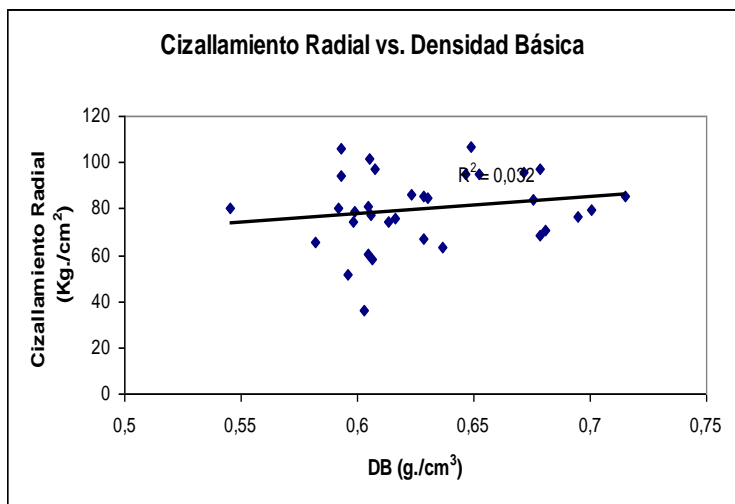
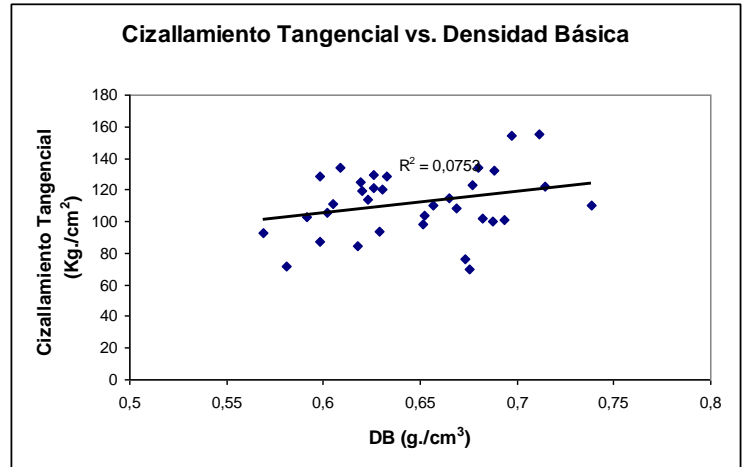
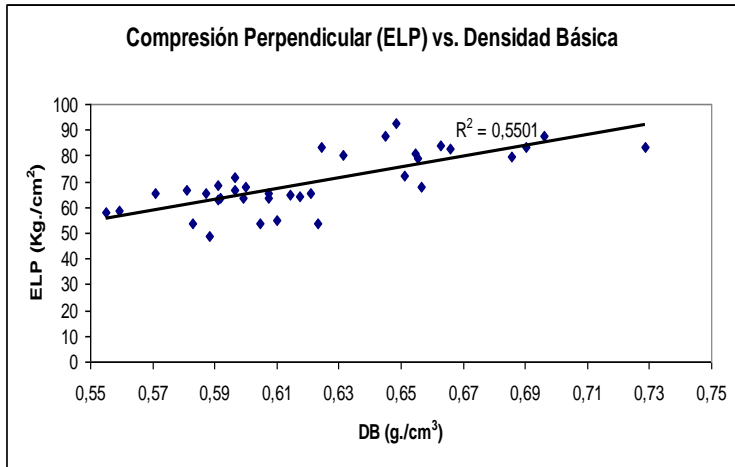
Contracción Volumétrica vs. Densidad Básica



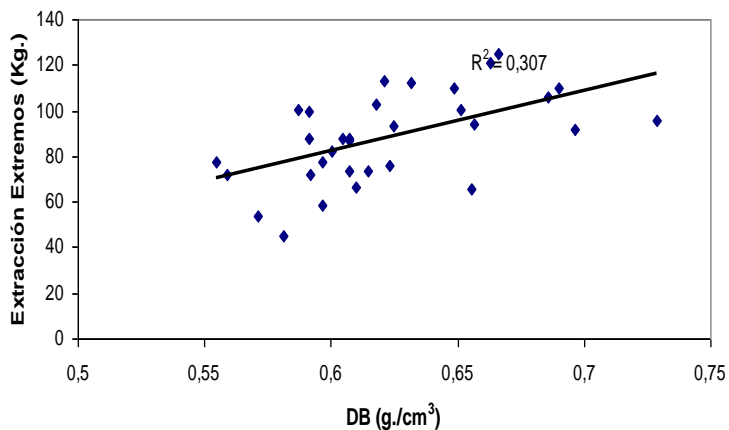
## ANEXO 4

### Gráficos de Regresión Lineal – Propiedades Mecánicas

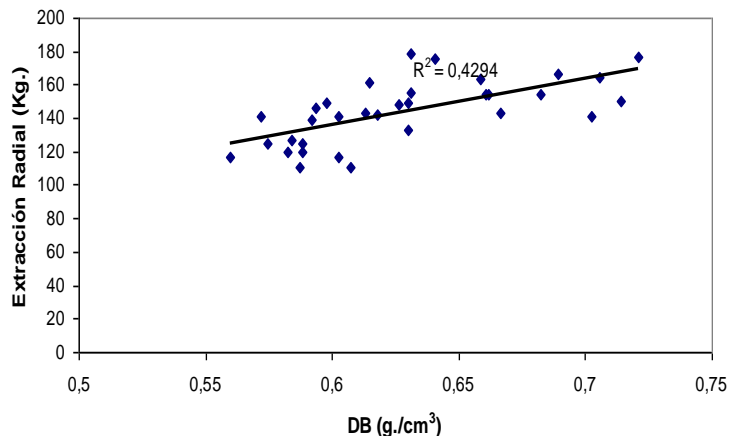




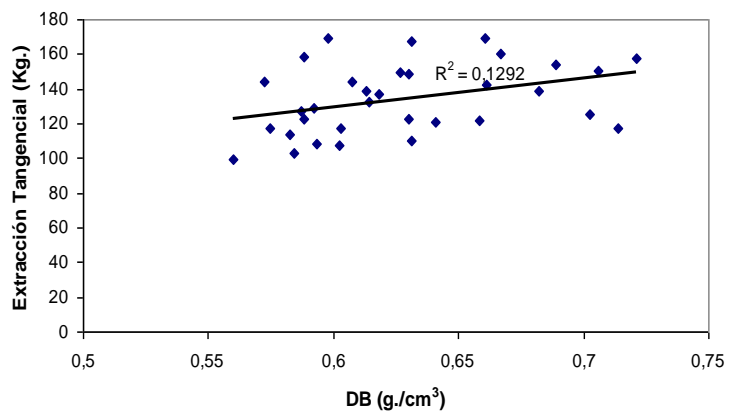
**Extracción de Clavos Extremos vs. Densidad Básica**



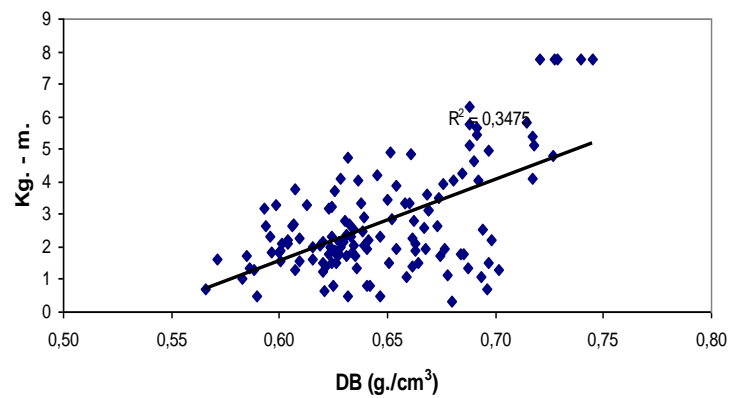
**Extracción de Clavos Radial vs. Densidad Básica**



**Extracción de Clavos Tangencial vs. Densidad Básica**

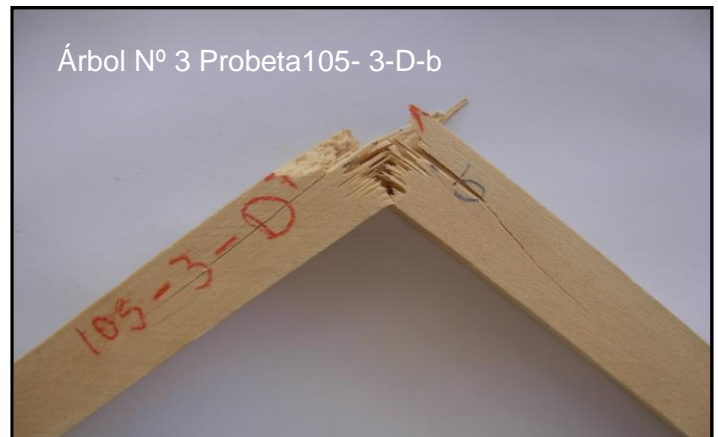
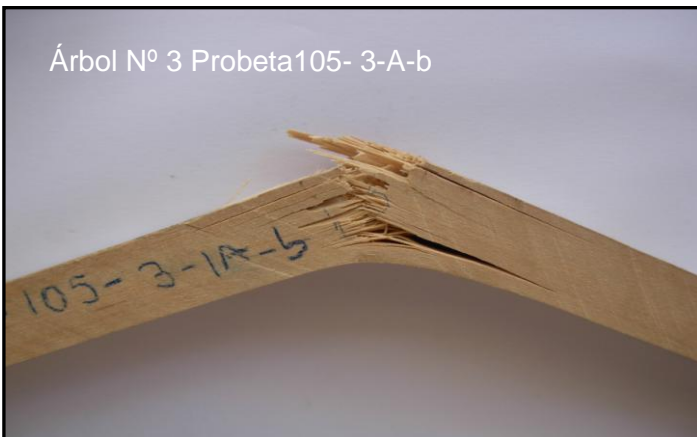
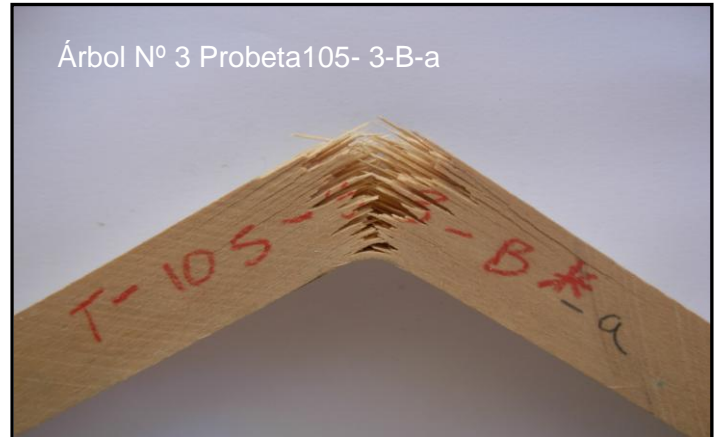
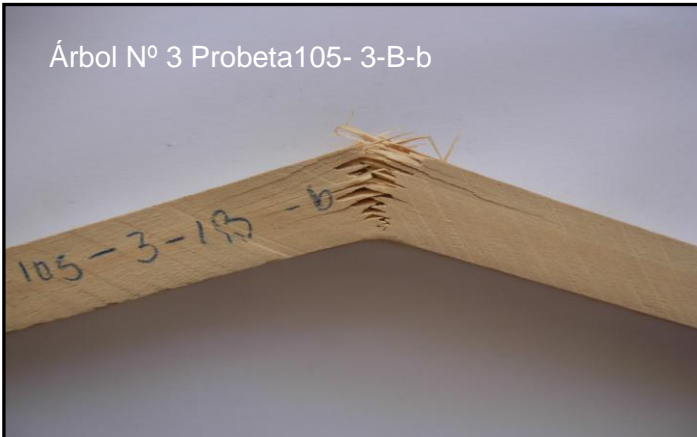
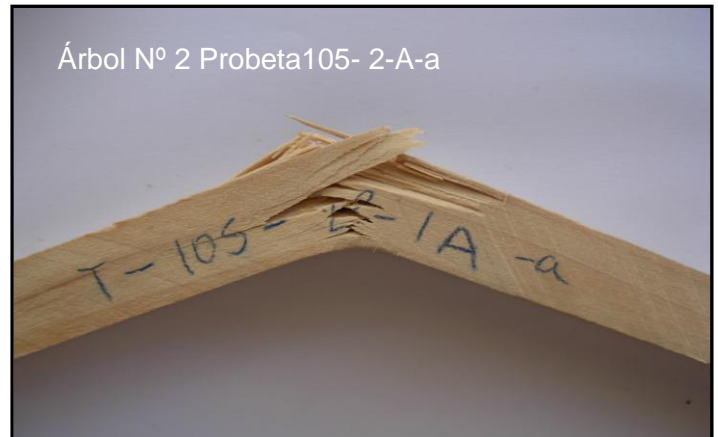
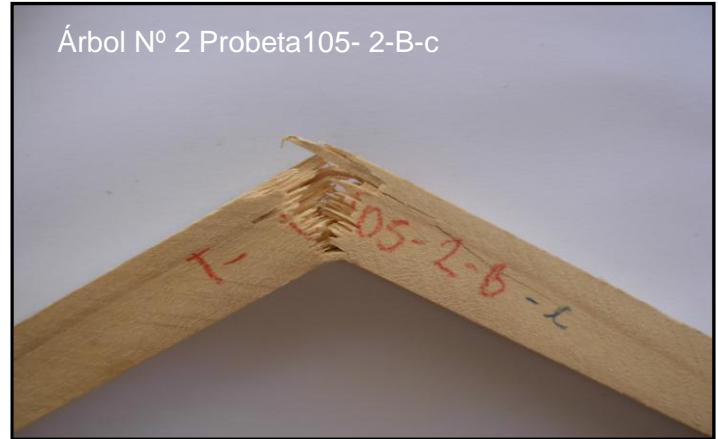
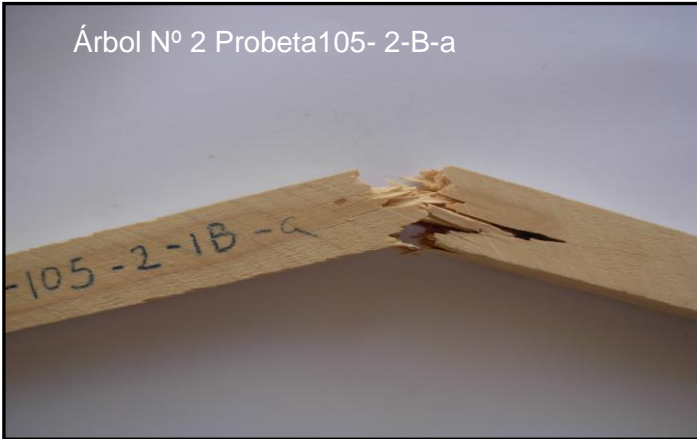


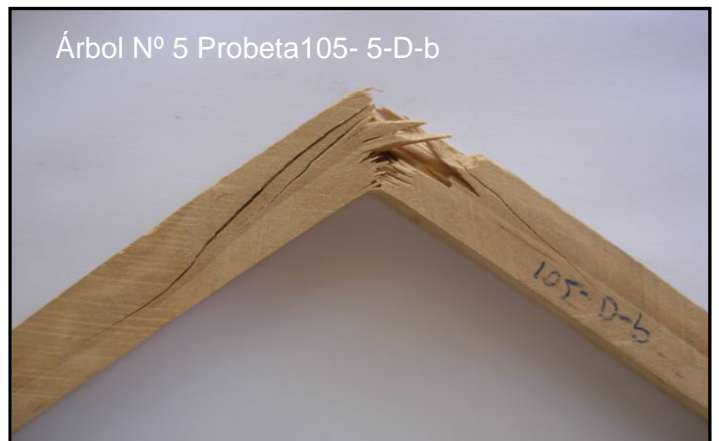
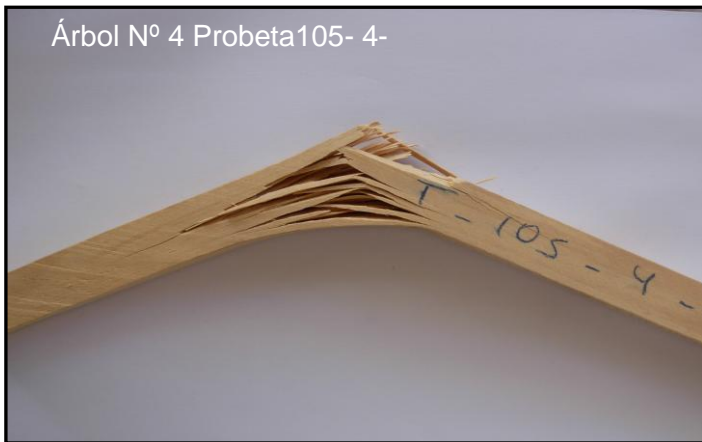
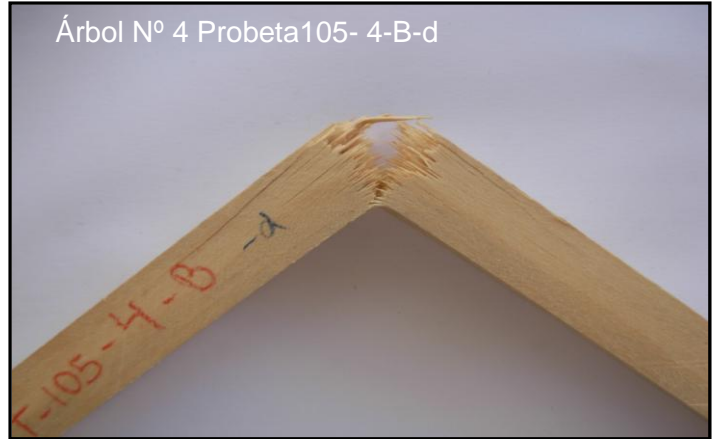
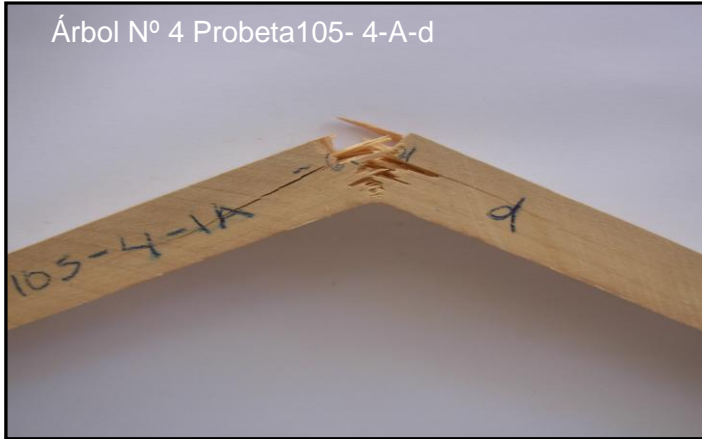
**Tenacidad vs. Densidad Básica**



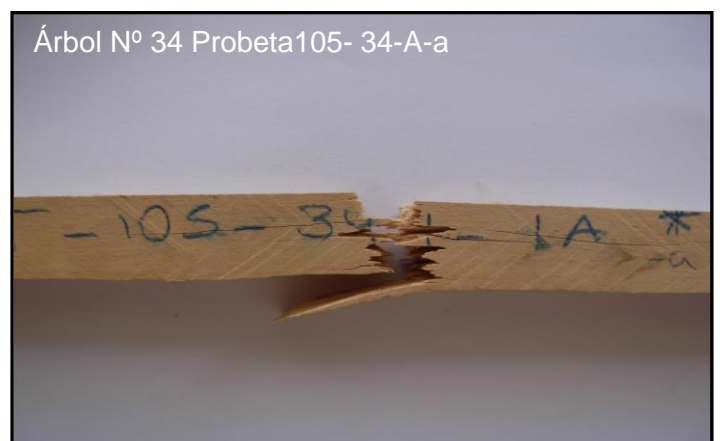
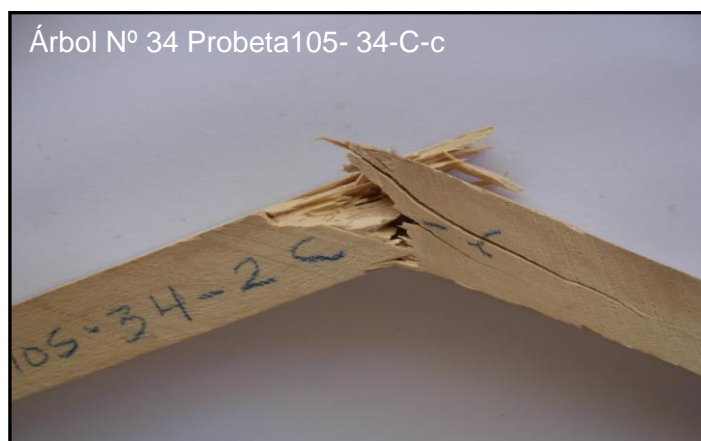
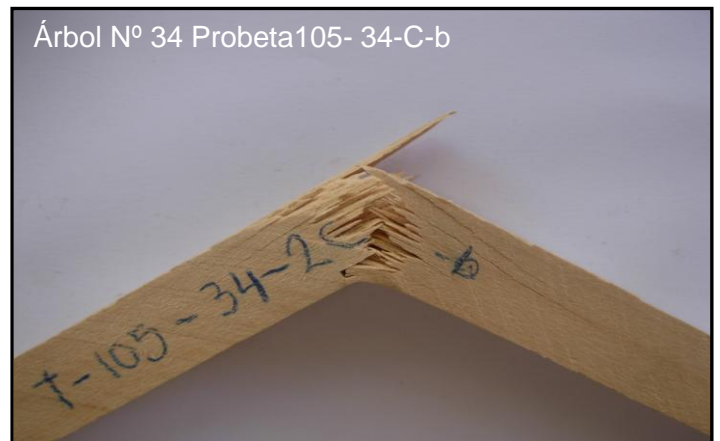
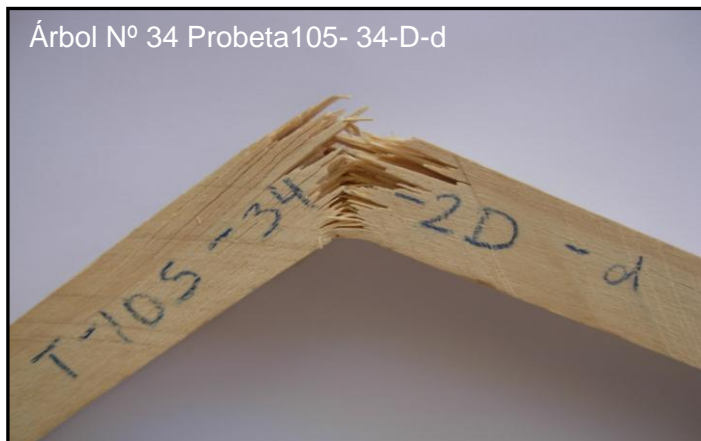
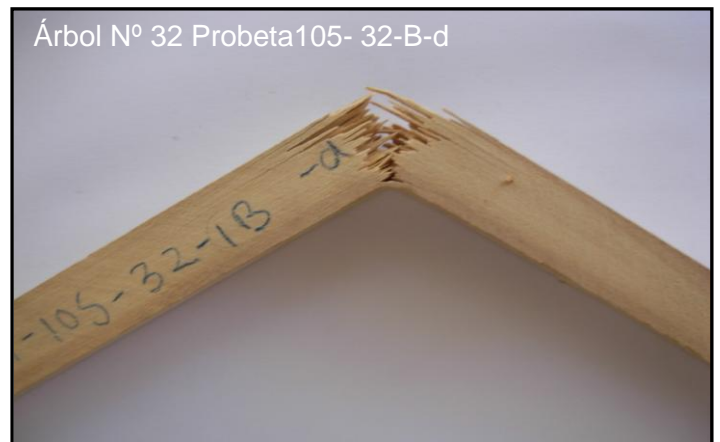
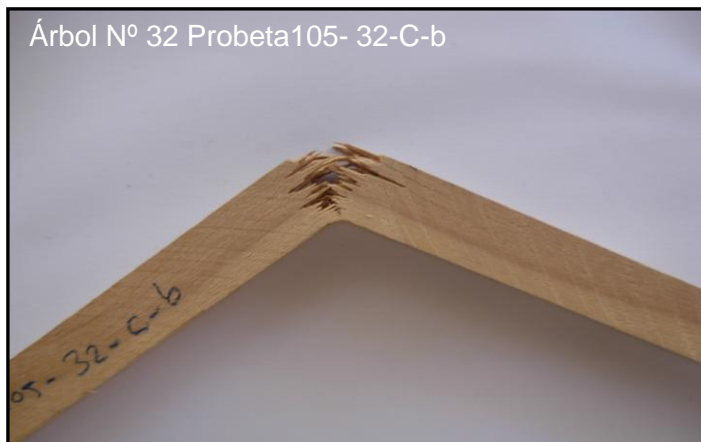
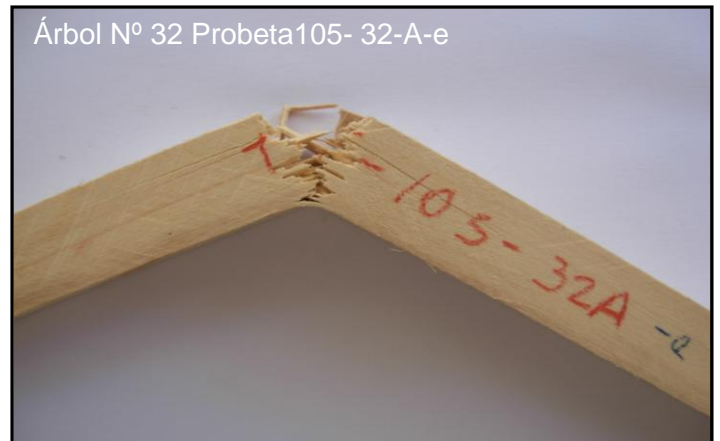
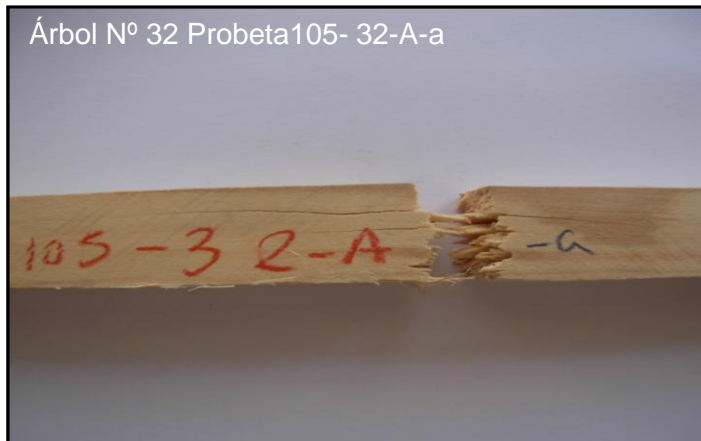
## ANEXO 5

### TIPOS DE FALLAS EN TENACIDAD POR ÁRBOL











Árbol Nº 44 Probeta105- 44-A-a



Árbol Nº 44 Probeta105- 44-D-b



Árbol Nº 44 Probeta105- 44-B-f



Árbol Nº 44 Probeta105- 44-A-c



Árbol Nº 53 Probeta105- 53-A-a



Árbol Nº 53 Probeta105- 53-B-b



Árbol Nº 53 Probeta105- 53-B-a



Árbol Nº 53 Probeta105- 53-A-d



Árbol N° 55 Probeta105- 55-A-b



Árbol N° 55 Probeta105- 55-B-a



Árbol N° 55 Probeta105- 55-A-c

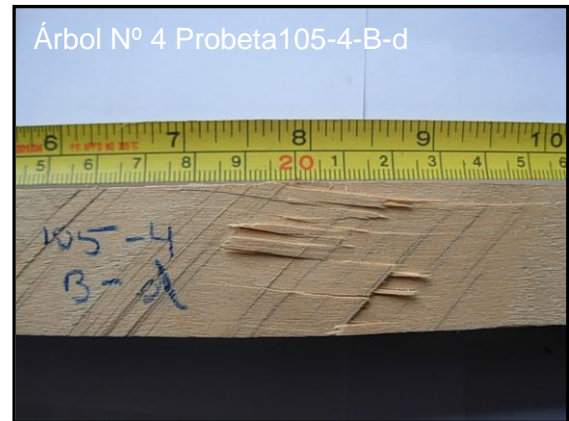
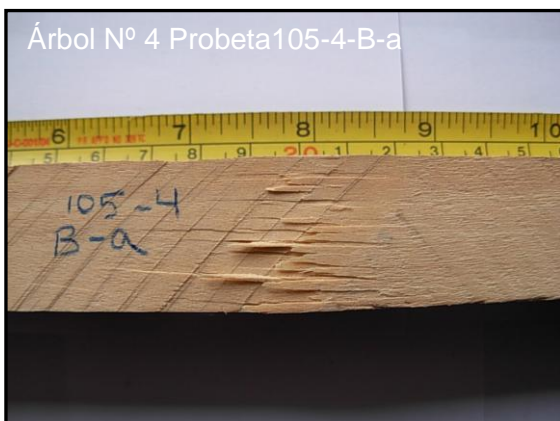
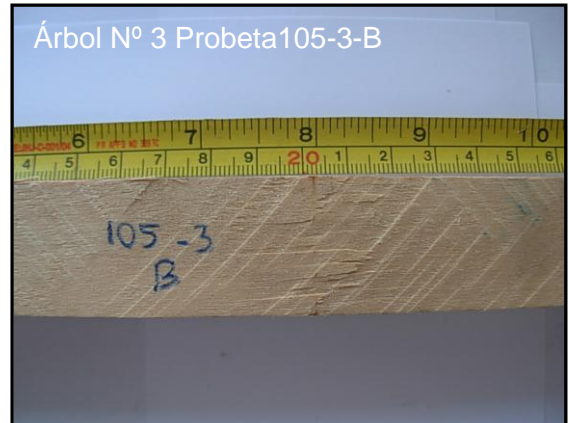
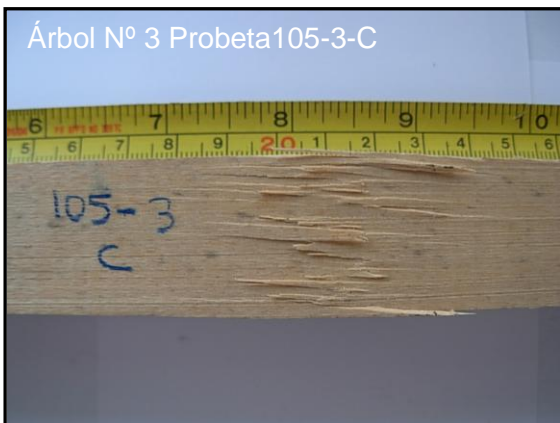
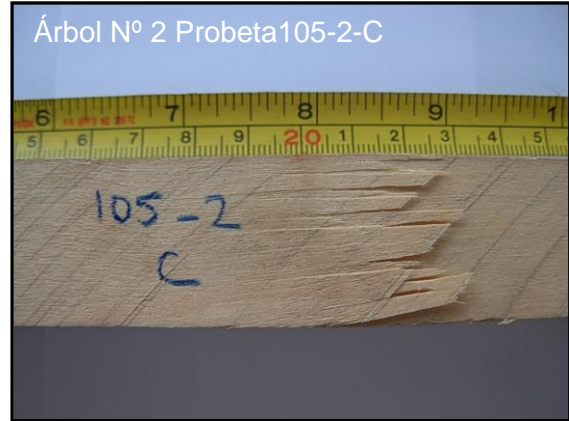
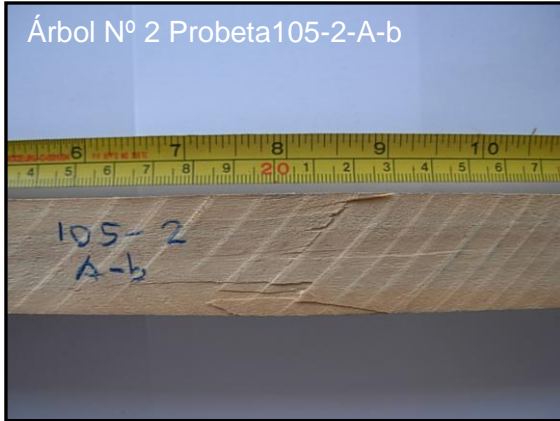


Árbol N° 55 Probeta105- 55-D-c

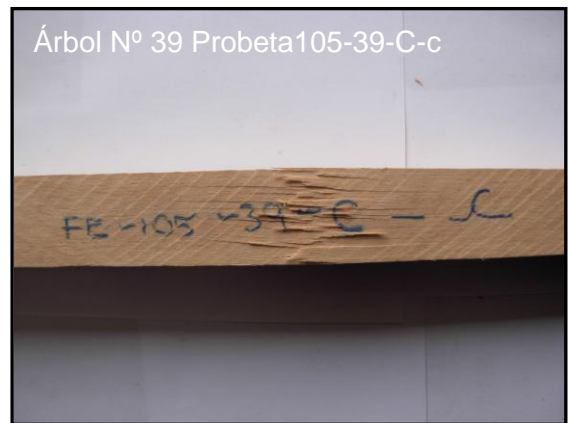
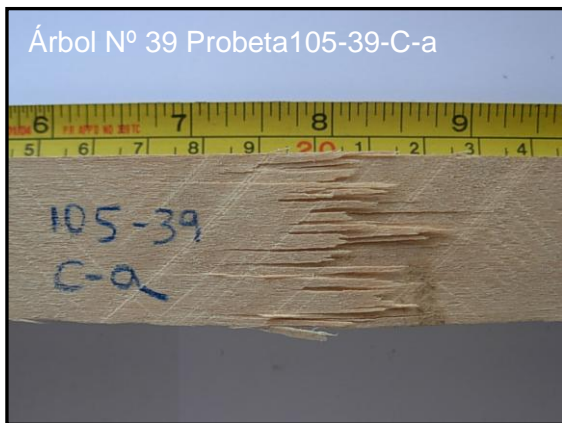
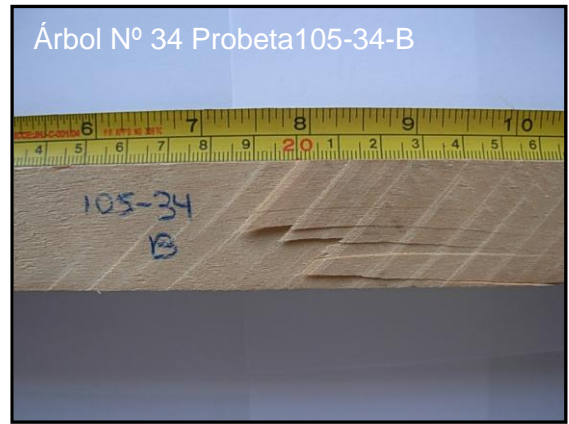
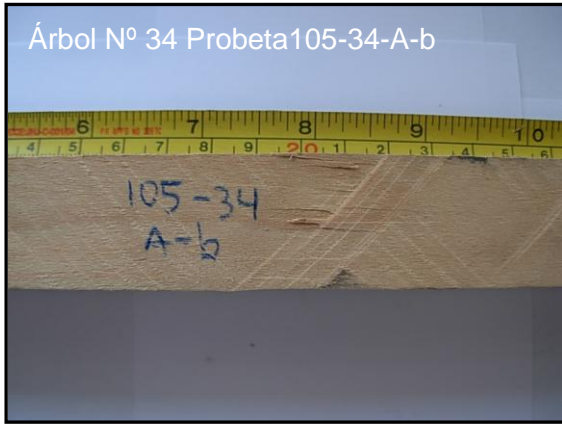
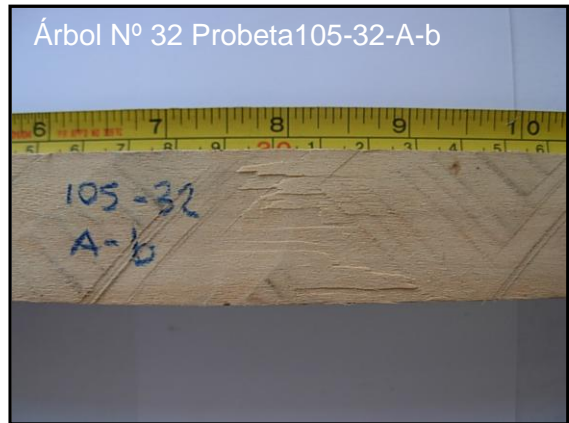
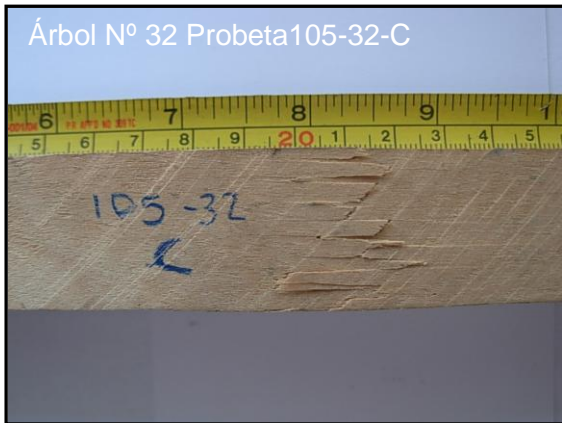
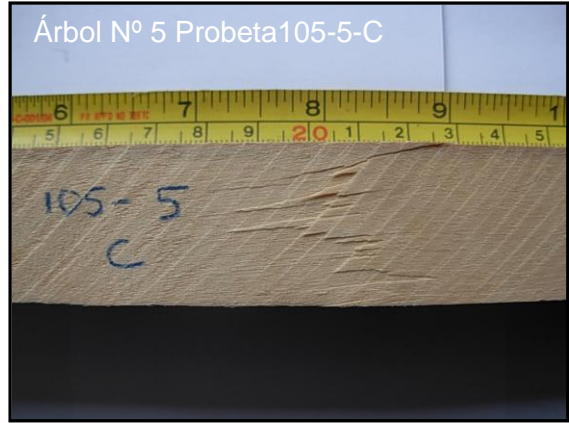
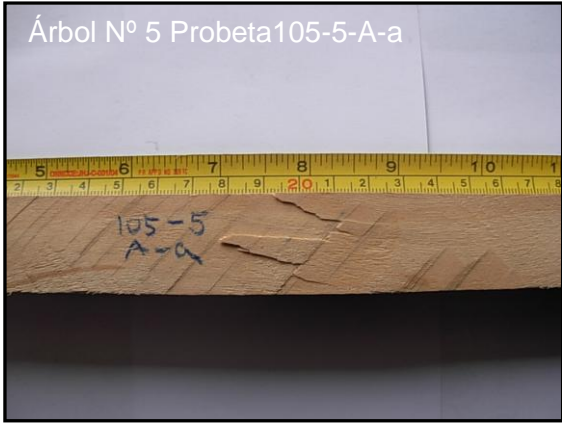


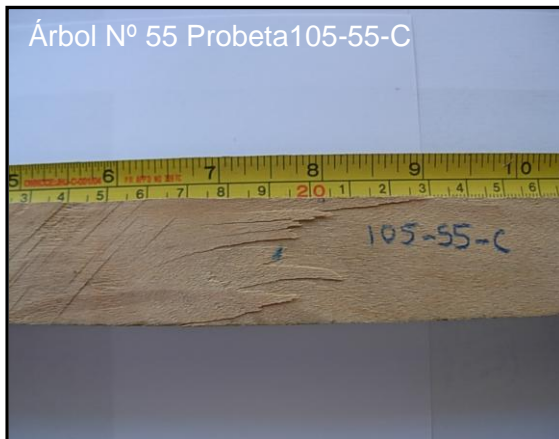
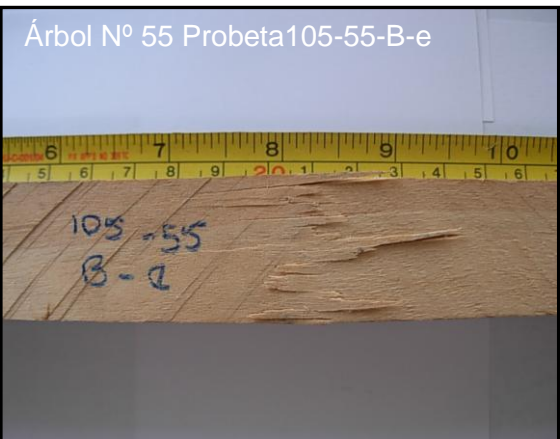
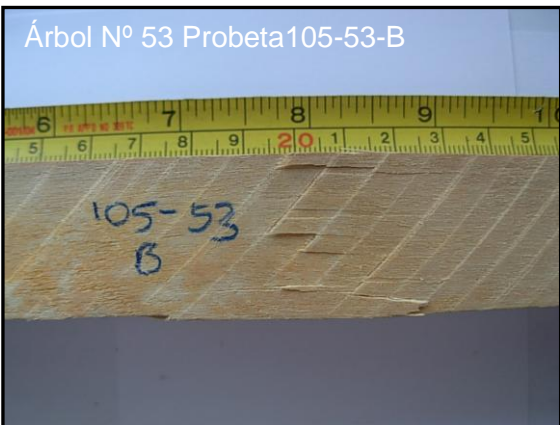
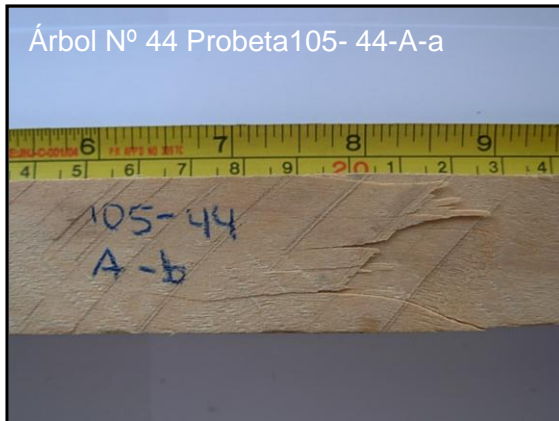
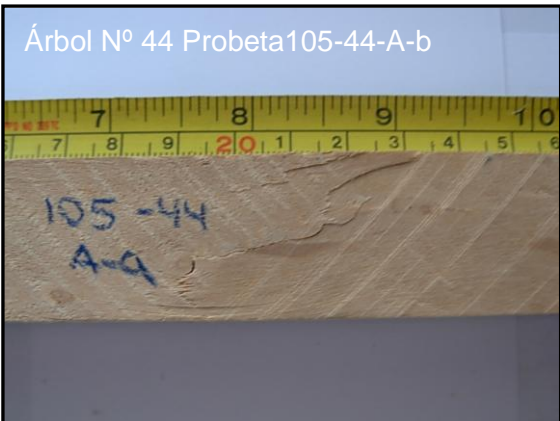
## ANEXO 6

### TIPOS DE FALLAS ENCONTRADOS POR ÁRBOL EN FLEXIÓN ESTÁTICA- SUPERFICIE DE TENSIÓN (FONDO)



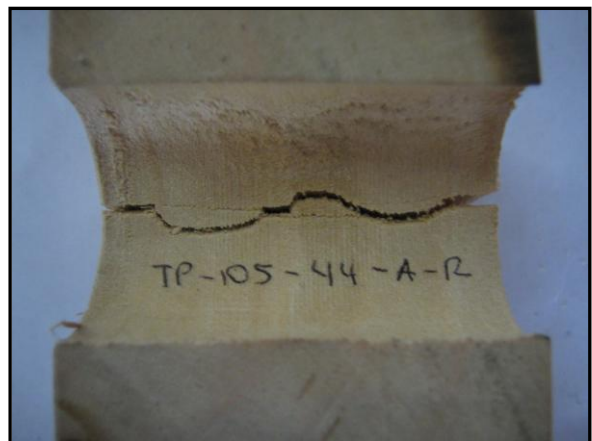
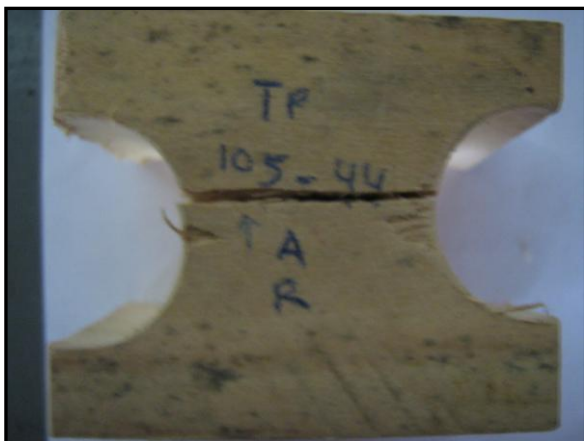
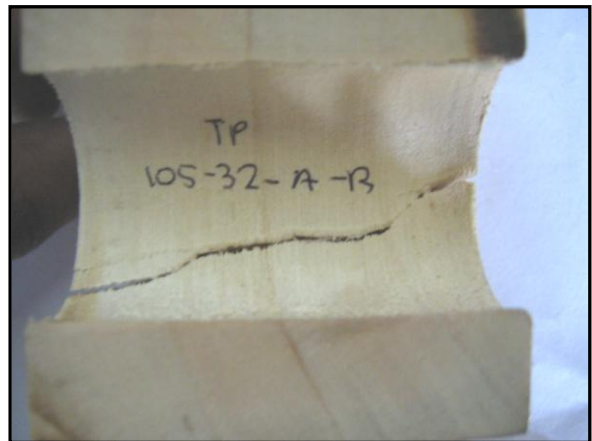
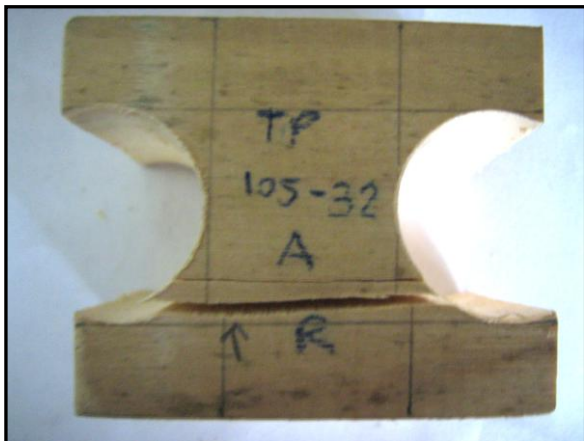
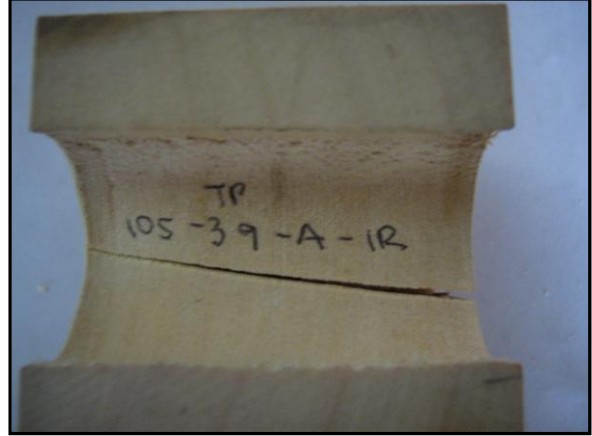
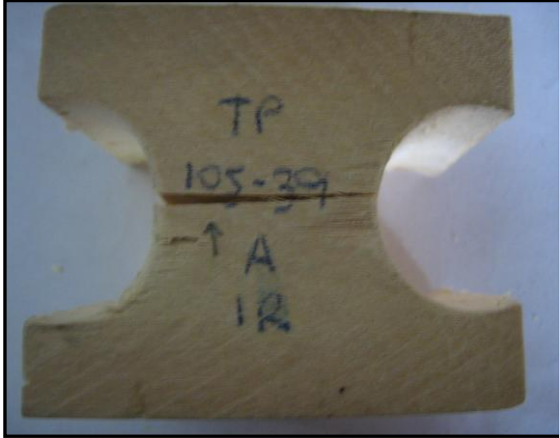




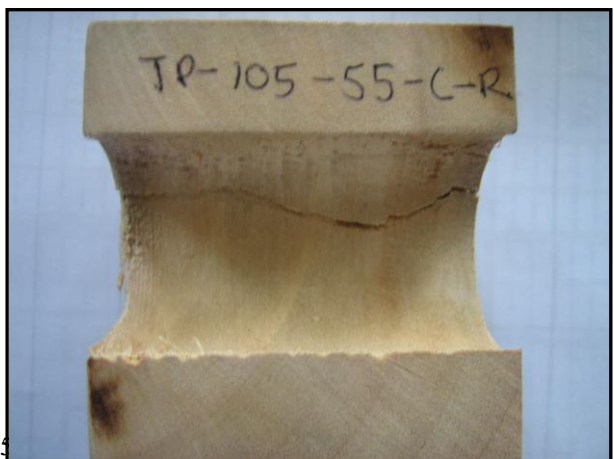
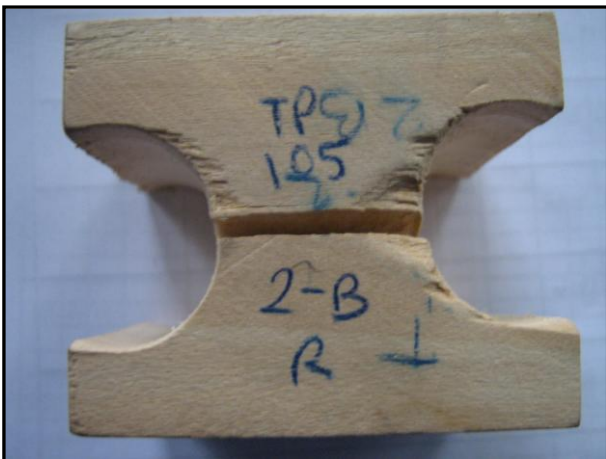
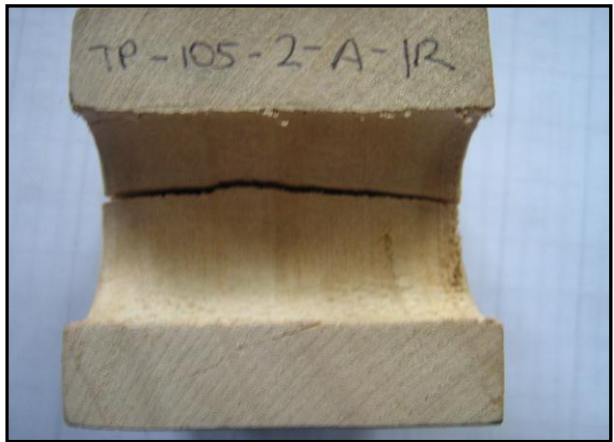
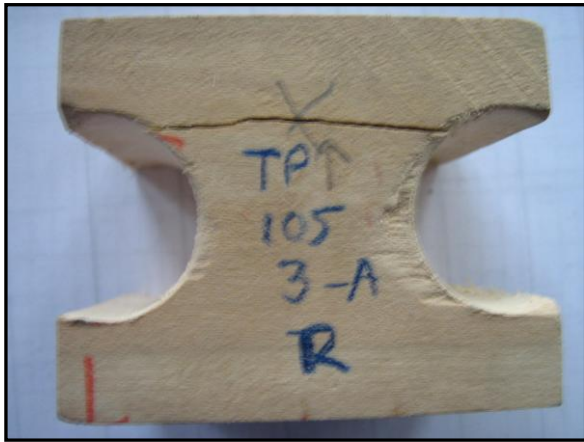


ANEXO 7

TIPOS DE FALLAS ENCONTRADOS EN TRACCIÓN PERPENDICULAR RADIAL



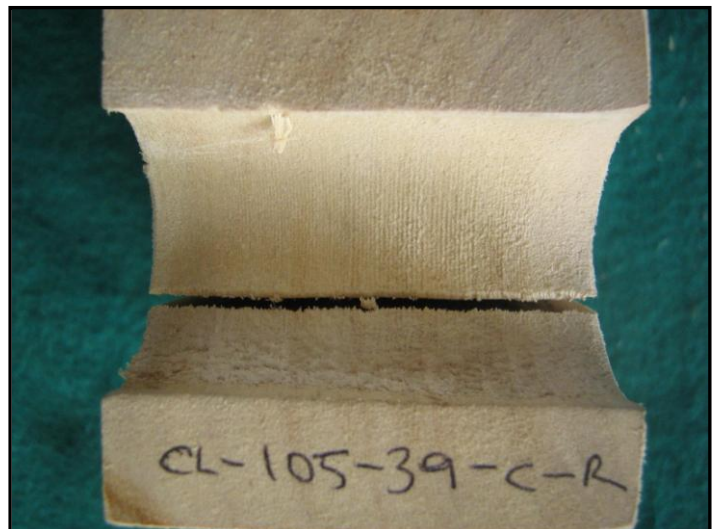
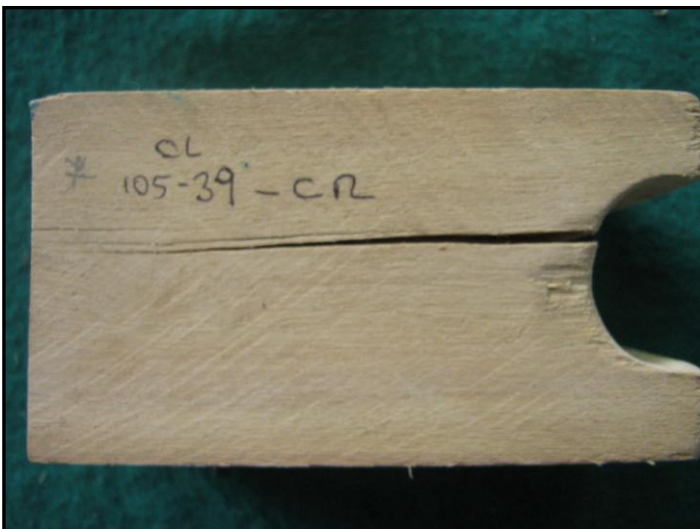
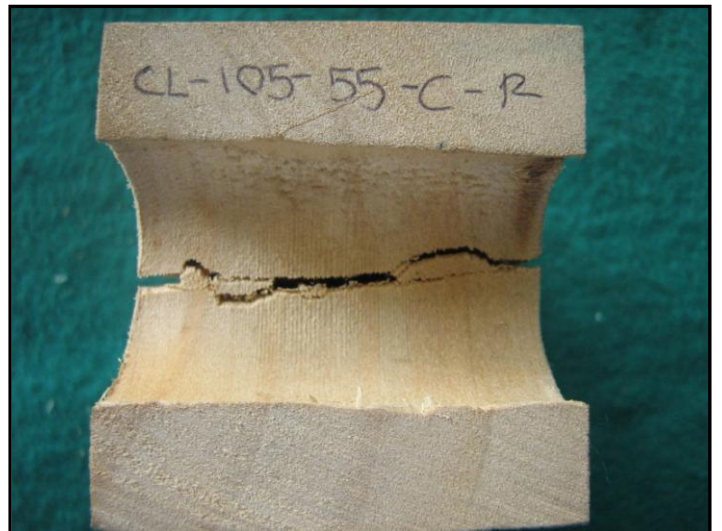
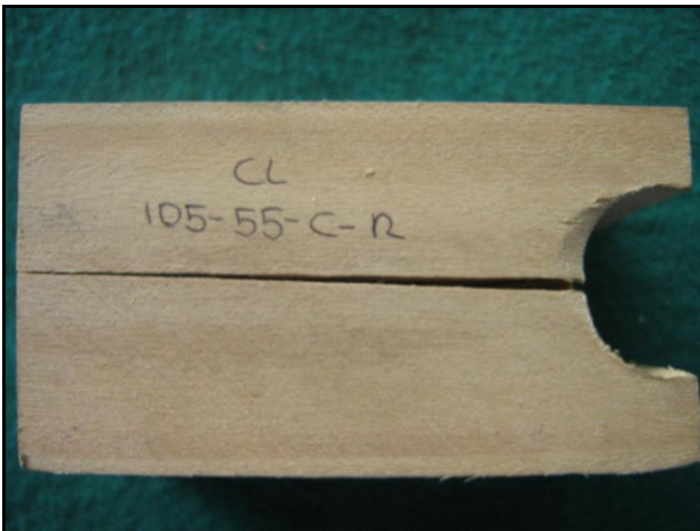
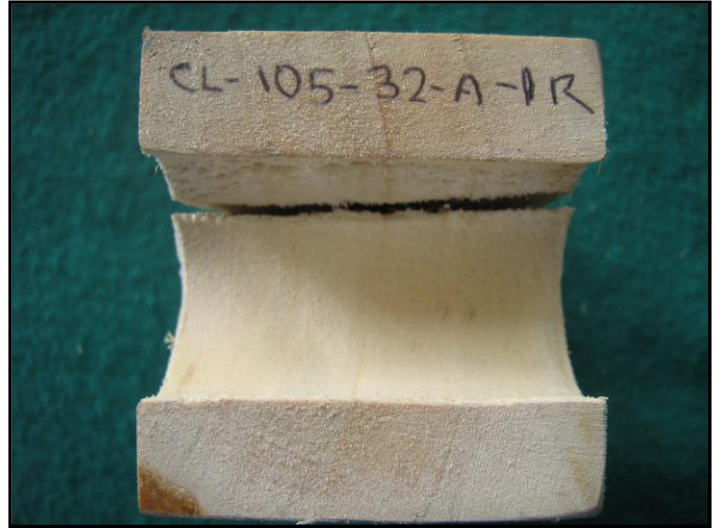
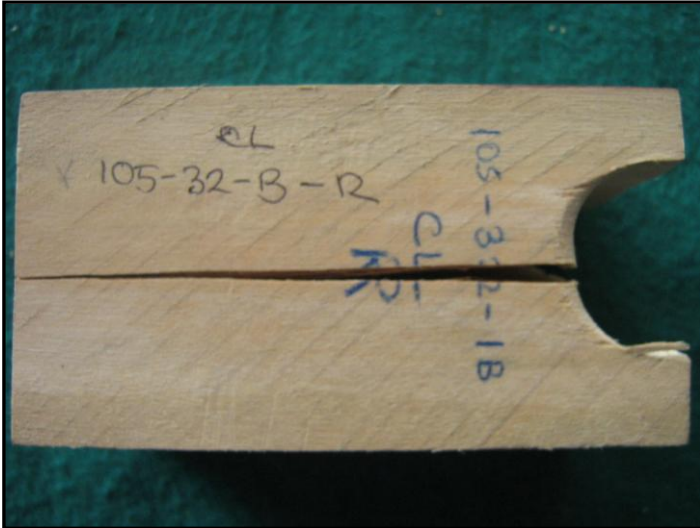




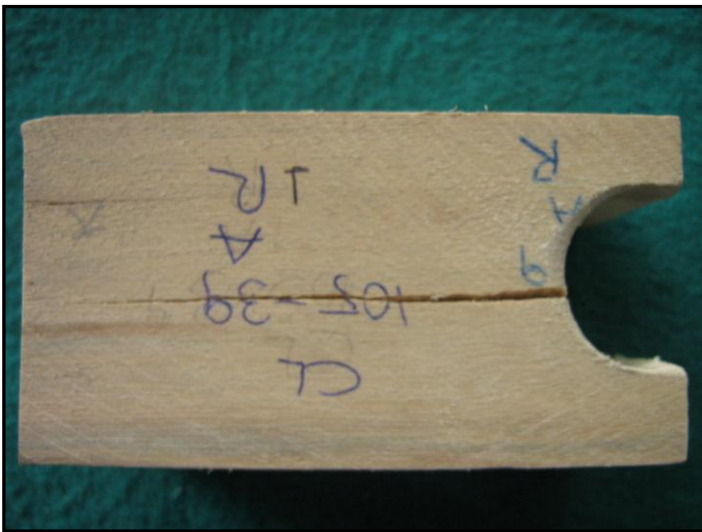
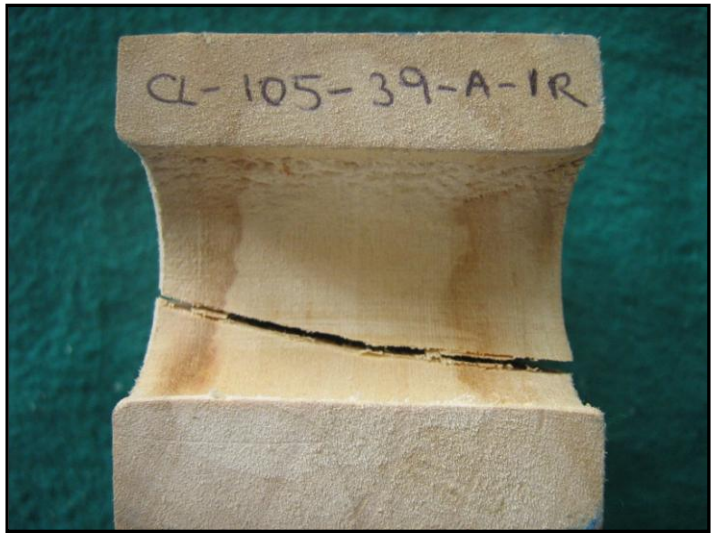
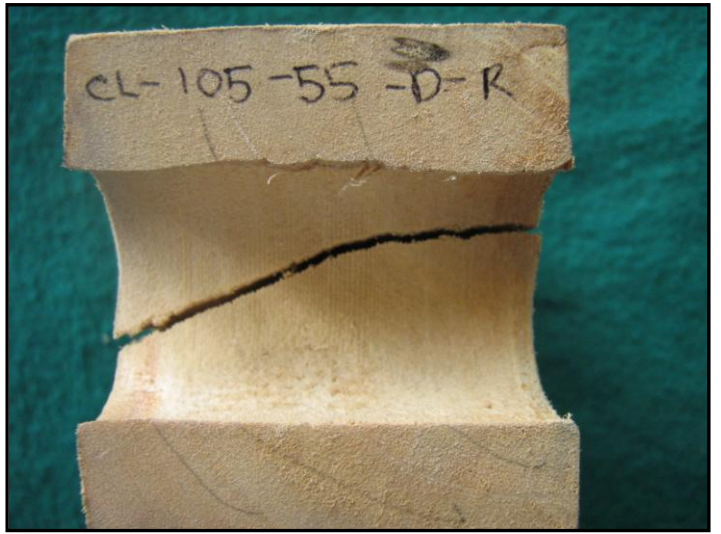
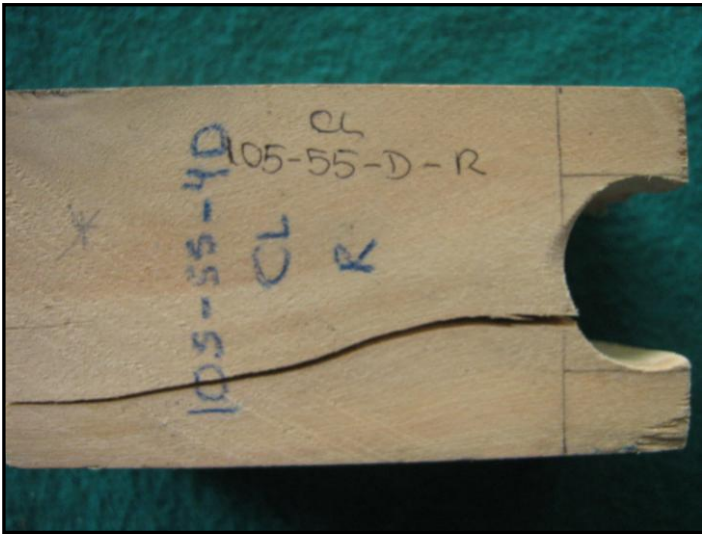


ANEXO 8

TIPOS DE FALLA EN CLIVAJE RADIAL



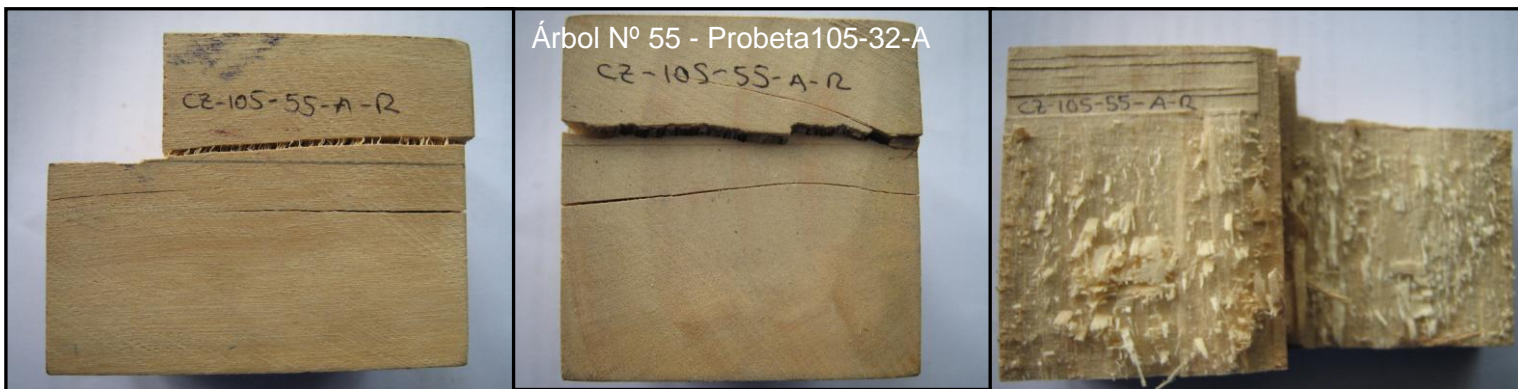
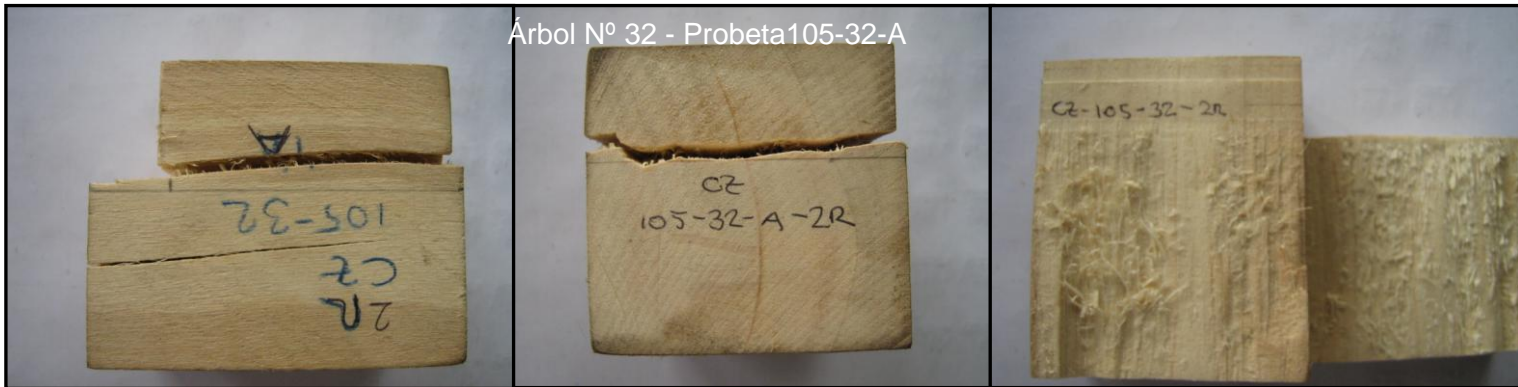
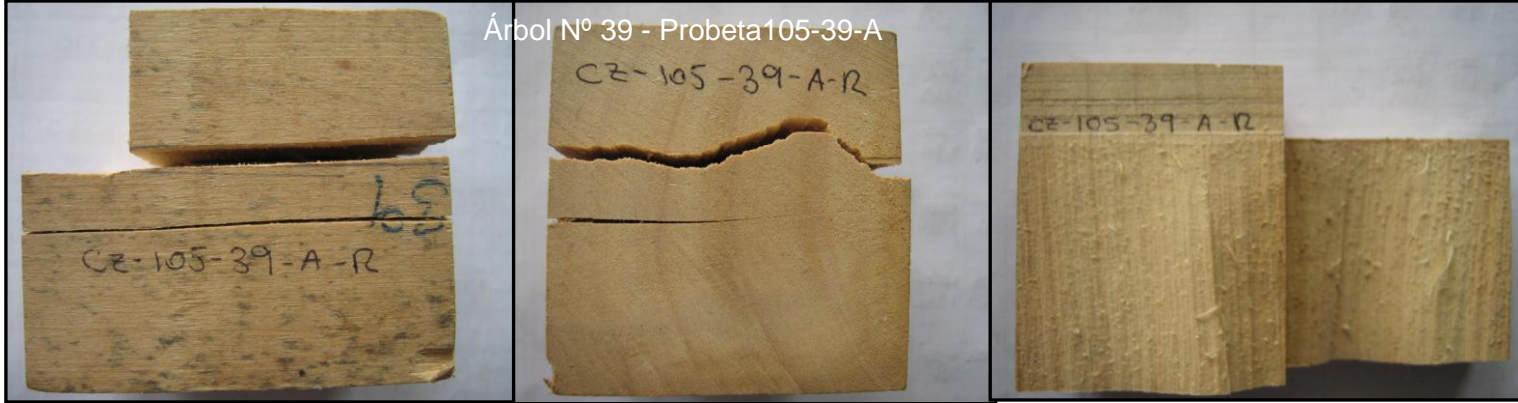


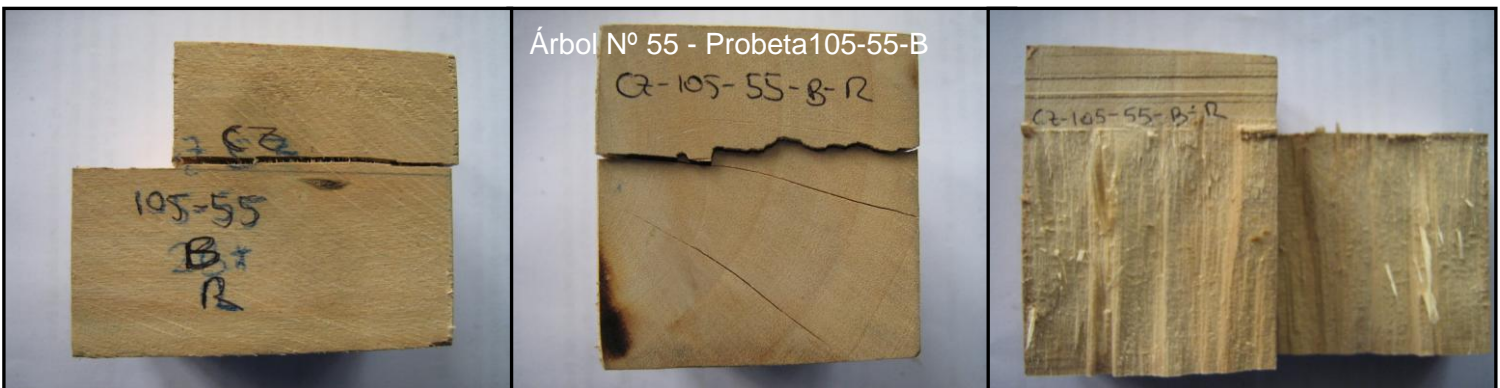
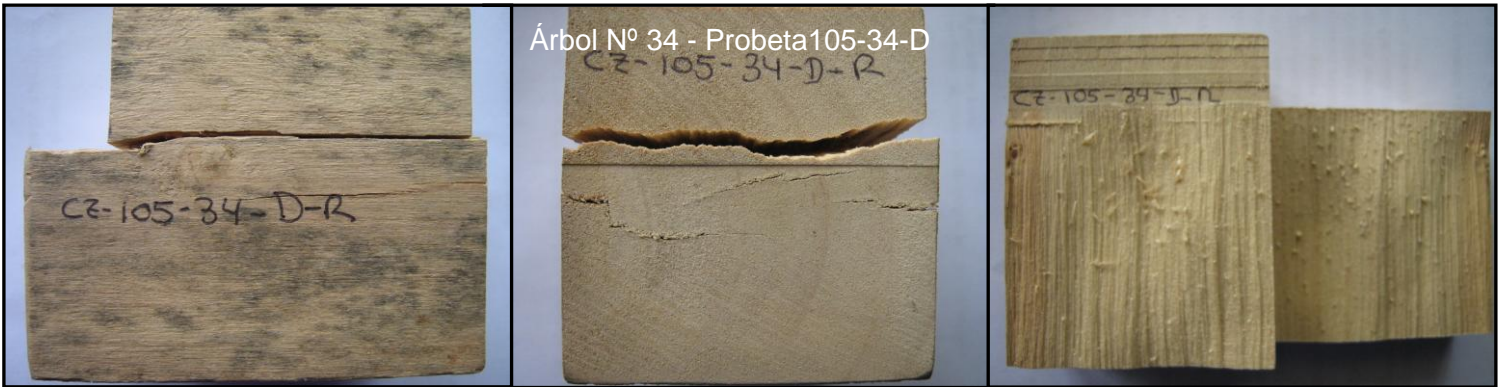
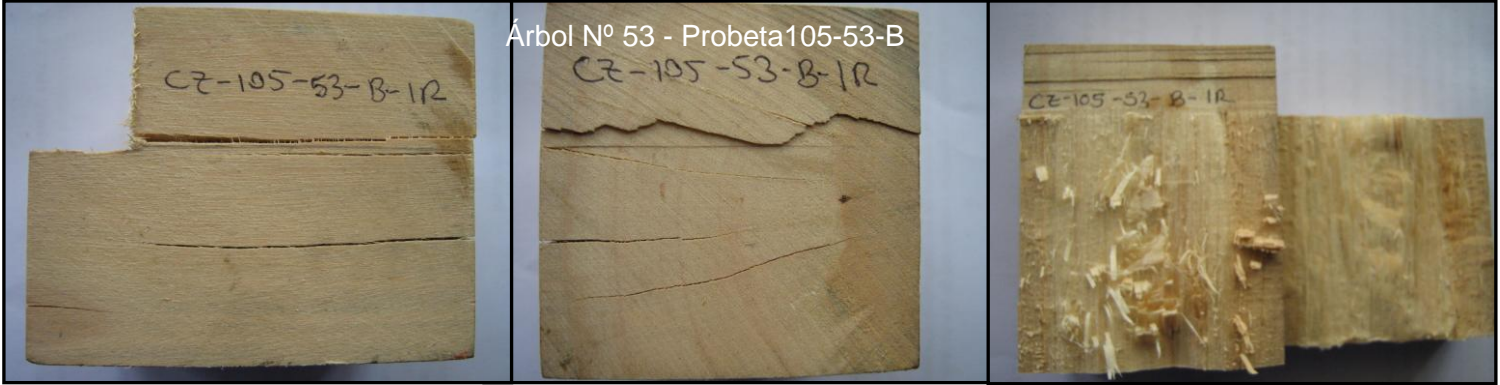




ANEXO 9

TIPOS DE FALLAS ENCONTRADOS EN CIZALLAMIENTO RADIAL





## ANEXO 10

### INFORMACIÓN ADICIONAL DE LA PLANTACIÓN EN ESTUDIO

#### Análisis de suelo

Fecha de muestreo: 23 - 24/03/98

Fecha de análisis: 17/6/99

Profundidad	pH	P ppm	Acidez	K	Ca	Mg	CICE	Sat. Al %	CO %
			..... Cmol(+)/Lt .....						
0 - 15	6,30	5,65	0,0	0,20	21,12	1,75	23,07	0,00	1,69

Metodología:

pH: Suelo/agua; 1:2.5

CO: Nelson & Sommers

P: Olsen Modificado

Ca, Mg: Extrac. KCL

K: extrac. NaHCO<sub>3</sub>

K;Ca,Mg : Absorción atómica

Fuente: ICRAF (Centro Mundial de Agroforestería).

#### Fertilización

- 30 Enero - 5 Febrero 1998  
Humus 1000g/planta al momento de la plantación
- 3 - 5 Agosto 1998  
Roca fosfórica 200g/planta
- NPK (2 - 6 Noviembre 2000)
- Aplicación para todo el año: Nitrógeno 70 g/planta, Fósforo 185g/planta, Cloruro de potasio 100g/planta  
Dosis fraccionada: Urea 23.33 g/planta tres veces al año, Roca Fosfórica 185 gr/planta y Cloruro de potasio 100 g/planta en una sola aplicación.
- N2 (9 - 20 Abril 2001)  
Segunda fracción de úrea
- N3 (12 Julio - 4 Agosto 2001)  
Tercera fracción de úrea

Fuente: ICRAF (Centro Mundial de Agroforestería).

## Anexo 11

### ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE *Calycophyllum spruceanum* PROCEDENTE DE BOSQUE NATURAL

#### Propiedades Físicas

Propiedad		Unidades	Promedio	%CV Total
Densidad	Anhidra	g/cm <sup>3</sup>	.....	1,2
	Básica		0,67	
Contracción Total	Tangencial	%	7,41	3,64
	Radial		3,47	4,26
	Longitudinal		0,32	74,63
	Relación T/R	...	2,14	4,04

#### Propiedades Mecánicas

Propiedad		Unidades	PROMEDIO	
			% CH	RESISTENCIA
Flexión Estática	ELP	kg/cm <sup>2</sup>	30,62	651,21
	MOR		30,62	1071,22
	MOE	t/cm <sup>2</sup>	30,62	119,18
Compresión Paralela	ELP	kg/cm <sup>2</sup>	28,21	405,28
	RM		28,21	513,80
	MOE	t/cm <sup>2</sup>	28,21	128,63
Compresión Perpendicular	ELP	kg/cm <sup>2</sup>	25,03	112,23
Clivaje	Radial	kg/cm	23,52	49,27
	Tangencial		23,09	77,08
Tensión Perpendicular	Radial	kg/cm <sup>2</sup>	25,33	39,56
	Tangencial		25,89	81,36
Cizallamiento	Radial	kg/cm <sup>2</sup>	27,42	95,95
	Tangencial		26,12	145,89
Dureza	Extremos	kg/cm <sup>2</sup>	32,21	824,40
	Lados		32,21	894,14
	Radial		32,21	845,95
	Tangencial		32,21	942,34
Extracción de Clavos	Extremos	kg	25,68	186,20
	Lados		25,68	216,70
	Radial		25,68	232,47
	Tangencial		25,68	200,94
Tenacidad	Radial	kg-m	27,70	3,90
	Tangencial		28,55	5,67

