

EXTRUCTURA ANATOMICA Y PROPIEDADES FISICO-MECANICAS

DE DOS MADERAS DEL PERU

GUAREA TRICHILIOIDES L. Y CEIBA PENTANDRA L.

Por

Antonio Aróstegui Vargas



Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas

Turrialba, Costa Rica

Enero 1961

ESTRUCTURA ANATOMICA Y PROPIEDADES FISICO-MECANICAS

DE DOS MADERAS DEL PERU

GUAREA TRICHILIOIDES L. Y CEIBA PENTANDRA L.

Tesis

Presentada al Consejo de la Escuela de Graduados  
como requisito parcial para optar al grado

de

Magister Agriculturae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas

APROBADA:

Gerardo Buelvas Consejero  
Waldemar Albertini Comité  
Officina Comité

Enero 1961

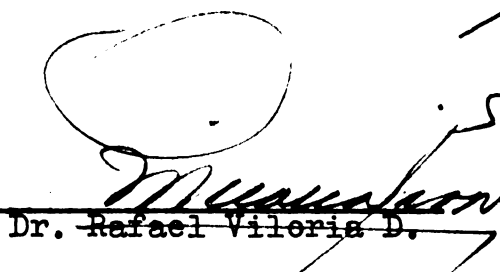
APROBACION

Los suscritos, miembros del personal técnico del Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación, luego de examinar el trabajo presentado por el Ing. Agrónomo Antonio Aróstegui Vargas titulado: "ESTRUCTURA ANATOMICA Y PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE DOS MADERAS DEL PERU: GUAREA TRICHILIOIDES L. Y CEIBA PENTANDRA L., le imparten su aprobación sin hacerse solidarios de las ideas del autor.

Mérida, diciembre de 1960.

  
Dr. Pausolino Martínez

  
Dr. Juan J. Mora

  
Dr. Rafael Vileria D.

D E D I C O:

Con todo cariño y gratitud  
a mis padres y hermanos.

## A G R A D E C I M I E N T O

El autor expresa aprecio y gratitud por la ayuda y orientación recibida en los estudios postgraduados y en la preparación de la tesis a las siguientes personas:

A los miembros del Comité Consejero:

Ing. Gerardo Budowski, Jefe del Depto. de Recursos Renovables del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, Costa Rica. Consejero Principal.

Dr. L.R. Holdridge, Dasómeno y Ecólogo del IICA, Turrialba.

Prof. A. Hyndman Stein. IICA, Turrialba.

Al Ing. Flavio Bazán P., Director del Servicio Forestal del Perú.

Al Ing. Joseph A. Tosi Jr., Dasónomo y Ecólogo de la OEA, Zona Andina.

Al Sr. Oswaldo Jüggenson, Fotógrafo de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Los Andes

Al Sr. E. Caballero por su colaboración en la impresión del texto.

A la Sra. Ernes R. De Wicke, Secretaria del IFLA.

A la Srta. Cristina Paredes, por su ayuda en el copiado del texto.

A las instituciones:

International Corporation Administration (ICA), auspiciadora de la beca.

Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

## RECONOCIMIENTO

El autor reconoce el importante papel desempeñado por los Técnicos Forestales del Instituto Forestal Latinoamericano (IFLA), sin cuya ayuda y cooperación técnica no hubiera sido posible llevar a cabo el presente trabajo.

Agradece por lo antes mencionado a los doctores:

Rafael Vilorio D.	Presidente del IFLA.
Pausolino Martínez E.	Director del IFLA, quien proporcionó dirección y asistencia técnica desde el comienzo del trabajo.
Harry Corothie.	Jefe del Laboratorio de Anatomía de Maderas.
Juan J. Mora.	Asistente del Laboratorio de Tecnología de Maderas.

Mérida, diciembre de 1960

Antonio Aróstegui V.

## BIOGRAFIA

El autor nació el 13 de julio de 1932 en Huánuco, Perú. Sus estudios primarios los cursó en la "Escuela de Segundo Grado N° 1095" y los secundarios en el Instituto Agropecuario N° 5 en la ciudad de Matucana, donde obtuvo el título de Técnico Agrónomo en el año de 1952. Luego el año 1953 ingresó en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de La Molina del Perú de donde egresó en 1957, obteniendo el título de Ingeniero Agrónomo en el año 1958.

Durante un año trabajó en el Servicio Forestal del Ministerio de Agricultura del Perú en calidad de Asistente del mismo Servicio.

En Julio del año 1959 ingresó en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas en calidad de estudiante postgraduado. En el año de 1960 preparó la tesis de grado y se especializó en Tecnología de Maderas en el Instituto Forestal Latinoamericano de Mérida, Venezuela. Terminó sus estudios postgraduados en Enero de 1961.

El Ing. Antonio Aróstegui llegó al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, Costa Rica, en julio de 1959 donde fué aceptado como estudiante postgraduado. En enero de 1960, se trasladó a Mérida, Venezuela quedando a cargo del Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación. En Enero de 1961 regresó al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, para un período de 14 días, antes de regresar al Perú.

El siguiente trabajo de tesis fué realizado en el Laboratorio de Productos Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales en la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

El trabajo fué revisado por los miembros del Consejo del Ing. Antonio Aróstegui y aceptado como requisito parcial para la obtención del título Magister Agriculturae del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.



## CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCION	1
<u>CAPITULO I</u>	
1. <u>Descripción de las especies.</u>	
A. Descripción botánica.....	2
B. Descripción de la madera.....	4
2. <u>Descripción ecológica del bosque.....</u>	8
A. Procedencia del material de ensayos.	
B. Factores ecológicos.	
C. Formación y tipo de bosque.	
3. <u>Identificación de las especies.....</u>	8
<u>CAPITULO II</u>	
1. <u>Aparatos utilizados.....</u>	9
2. <u>Procedimiento seguido en la recolección y prepara- ción del material de ensayos.....</u>	10
A. Recolección del material del bosque.	
B. Preparación de las muestras de ensayos.	
C. Secado de las piezas para ensayos en condición seca.	
D. Obtención de las probetas de ensayos.	
3. <u>Porcentaje de las probetas en los ensayos.....</u>	14
<u>CAPITULO III</u>	
1. <u>Descripción del sistema empleado en la preparación del material microscópico.....</u>	21
A. Láminas microscópicas.	
B. Tejido macerado.	
2. <u>Determinación de las propiedades mecánicas.</u>	
A. Flexión estática.....	25
B. Compresión paralela al grano.....	29
C. Compresión perpendicular al grano.....	34
D. Dureza tecnológica .....	36
E. Tensión perpendicular al grano.....	45

G. Clivaje.....	49
H. Tenacidad.....	52
3. <u>Determinación de las propiedades físicas.</u>	
A. Peso específico.....	56
B. Contenido de humedad.....	58
C. Contracción volumétrica.....	59

#### CAPITULO IV

1. <u>Resultados obtenidos.</u>	
A. Estructura anatómica de la madera.....	60
B. Propiedades mecánicas.....	66
C. Propiedades físicas.....	67
2. <u>Ajuste de los promedios de resistencia a un contenido de humedad del 12%.....</u>	67
3. <u>Cálculo de los coeficientes de trabajo.....</u>	69

#### CAPITULO V

1. <u>Interpretación de los resultados.</u>	
A. <u>Ceiba pentandra L.</u> .....	75
B. <u>Guarea trichilioides L.</u> .....	78
2. <u>Conclusiones.....</u>	84
RESUMEN.....	86
BIBLIOGRAFIA.....	89
ANEXO 1.....	92
ANEXO 2.....	97
ANEXO 3.....	103
ANEXO 4.....	104
ANEXO 5.....	105
ANEXO 6.....	111

## INTRODUCCION

El Perú posee extensas superficies boscosas, compuestas por una gran variedad de especies maderables. La explotación puramente selectiva, recae sobre tres o cuatro especies, las cuales se alejan cada vez más de las vías de comunicación. En consecuencia el costo de extracción es cada vez mayor, resultando en muchos casos antieconómica su explotación. El número de especies utilizadas, está restringido por muchos factores, entre ellos podemos mencionar, el limitado conocimiento de sus propiedades físico-mecánicas, las cuales controlan sus aplicaciones. Estudios sobre esta materia, resultan de gran valor no solamente para el consumidor, sino también para el éxito económico de la industria maderera.

Los estudios que aquí se presentan fueron hechos para determinar la estructura anatómica y las propiedades físico-mecánicas de dos maderas del Perú, Ceiba pentandra "Lupuna" y Guarea trichilioides "Requia". Se eligieron tales especies por su abundancia en el bosque y por sus buenas perspectivas comerciales. Los trabajos se efectuaron en el Laboratorio de Tecnología de Maderas de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela, con muestras procedentes de la Selva del Perú, recolectadas por el Programa Cooperativo para el Desarrollo Forestal del Perú (PCDF), dependencia del Servicio Cooperativo Interamericano de Producción de Alimentos (SCIPA).

CAPITULO I

I. Descripción general de las especies.

CEIBA PENTANDRA L. "LUPUNA"

A. Descripción botánica. (fot. 1)

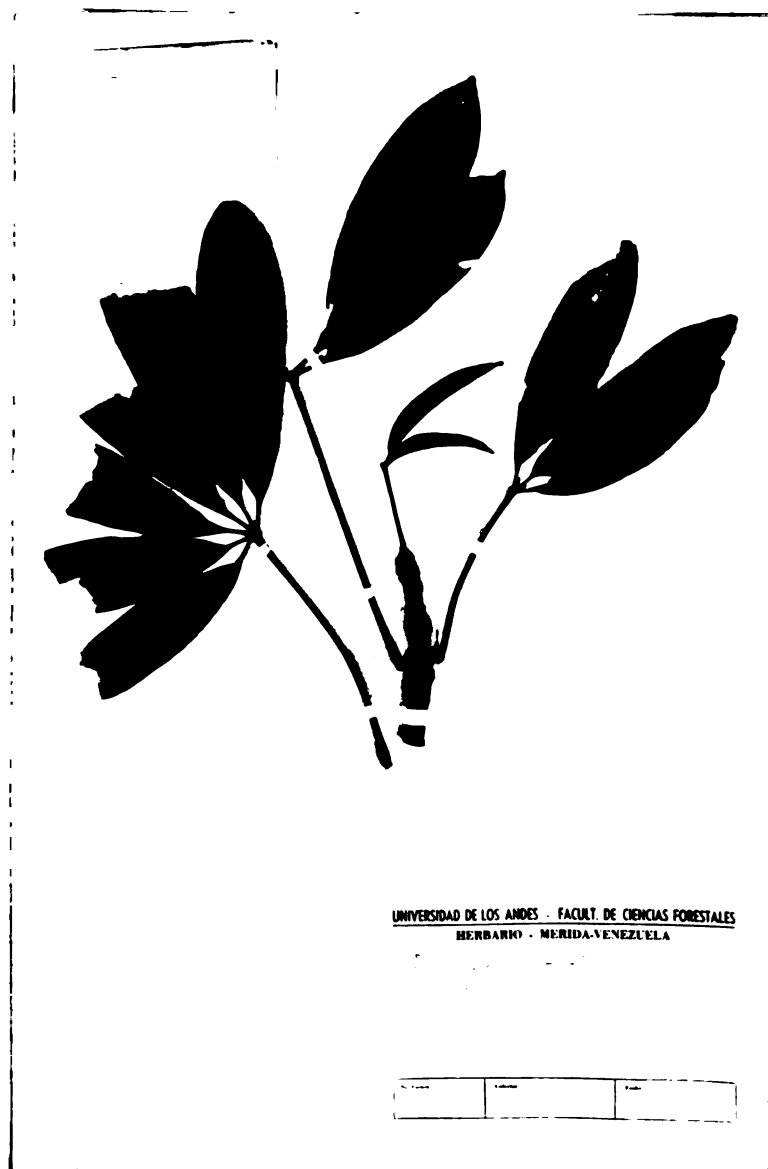
a. Caracteres vegetativos.- Este árbol, es uno de los más grandes de los bosques tropicales; alcanza una altura más de 60 m y un diámetro superior a 3 m sobre los aletones basales, que usualmente son en forma de planchones y ampliamente extendidos. El tronco, es cilíndrico o algunas veces abombado en la parte media, liso o cubierto con grandes espinas cónicas. La copa es amplia y algunas se extienden hasta 50 m de ancho, las ramas de los jóvenes son espinosas (16, 17)\*.

Las hojas, alternas, digitadamente compuestas; el pecíolo, comúnmente de 10-20 cm de largo, termina por un ensanchamiento sobre el que se insertan de 7-8 folíolos, brevemente peciolulados, lanceolados, acuminados y lisos por ambas caras, de 10-15 cm de largo por 2-4 cm de ancho.

Las flores son grandes, rosadas o blanquecinas, axilares, o colocadas en los extremos de las ramas; el caliz es cupuliforme con cinco lóbulos redondeados de dos cm de altura; la corola es tres veces más alta con cinco pétalos oblongos, obtusos y tomentosos el exterior (5).

El fruto<sup>es</sup> una cápsula de forma oblonga, con cinco valvas, que al entrecabrirse dan salida a gran número de semillas envueltas en una borra fina y sedosa.

\* Los números entre paréntesis corresponden a las referencias bibliográficas que aparecen al final.



Fot. 1.- Muestra botánica estéril de Ceiba pentandra L.  
"Lupuna".

Todas las fotografías presentadas en el texto  
fueron tomadas por el Sr. Oswaldo Jürgenson,  
Fotógrafo de la Facultad de Ciencias Forestales.

b. Descripción dendrológica.

- Nomenclatura.

Nombre científico: Ceiba pentandra L.Gaertn. Fam.Bombacacea.

Sinónimos: Bombax pentandrum L.

Eriodendron anfractuosum DC. (16)

Nombres comunes: General, ceiba. Otros nombres: Tobo-rochi (Boliv.); sumaúma, sumaumeira, paineira (Braz.); bongá, ceiba de lana (Col.); ceibón, paniki, panya, sisín, poxot (Nic.); lupuna; (Perú); ceiba yuca (venez.) (16).

- Distribución: (17) Crece naturalmente desde el Trópico de Cádiz en México hacia el Sur, atravesando América Central, Colombia, Venezuela, Ecuador, hasta Bolivia amazónica. También en la Costa Occidental de África, Islas Andamán y en la península y Archipiélago de Malaya, pero no en la India. Es común en las laderas y crestas de los cerros y también en las vegas y pantanos; prefiere suelos ricos y fértiles a lo largo de los arroyos y cuencas aluviales.

B. Descripción general de la madera.

La madera cuando seca, tiene un color pardo grisáceo, algunas veces con un tinte rosado, frecuentemente descolorado por la acción de hongos; existe poca diferencia entre la albura y el duramen; de veteado suave; olor y sabor ausentes; lustre, bajo o ligeramente lustroso según el ángulo de reflexión de la luz, líneas vasculares, claramente visibles a simple vista, desde finas hasta muy anchas, poco numerosas; grano, variado, recto, oblicuo y entrecruzado; textura, gruesa; dureza, muy blanda; fácil de trabajar con herramientas manuales, aserrándose sin dificultad a lo largo del grano, pero en sentido transversal produce superficies vellosas; durabilidad (1), de

resistencia extremadamente baja a la pudrición y al ataque de insectos.

GUAREA TRICHILIOIDES "REQUIA"

A. Descripción botánica. Fot. 2

a. Caracteres vegetativos.- En general es un árbol pequeño o de tamaño mediano, pero algunas veces alcanza el dosel superior en las selvas tropicales húmedas; la altura varía, llegando hasta unos 30 m con un diámetro de unos 60 cm. El tronco es generalmente recto, está libre de ramas hasta cierta altura, y a menudo tornándose acanalado en árboles grandes. La copa es muy extendida y densa. Las ramitas gruesas son de color castaño y con muchas lenticelas. La corteza áspera y con muchas grietas longitudinales es de color castaño con un tinte rojizo o grisáceo y la parte interna de un color rosado ligeramente amarga.



Fot. 2.- Muestra botánica de Guarea trichilioides L.  
"Requia".



Las hojas, grandes, alternas, paripinadas, de 20-60 cm de largo; con 8-20 ó más hojuelas, elípticas a oblongas, de color verde oscuro, lustrosas, y con venas hendidas que le da una apariencia corrugada, de 13-17 cm de largo y de 4-6 cm de ancho pecíolos cortos, de punta corta en el ápice, borde liso, ligeramente gruesas, lampiñas o casi lampiñas; raquis grueso, redondo, leñoso, de color castaño, el ápice sigue creciendo como si fuera una ramita, produciendo nuevas hojuelas en la punta. Esto puede continuar por varios años.

Inflorescencias en panículas axilares, de 10-30 cm de largo. Las flores son numerosas, pequeñas, fragantes, blancas, pubescentes, de 7 mm de largo y con pedicelos cortos; el cáliz de cuatro sépalos, tiene una longitud de menos de 1mm. La corola con 4 pétalos vellosos y de 7 mm de largo; los estambres, de 6 mm de largo, con 8 anteras insertas cerca del ápice; el pistilo sobre un disco, contiene un ovario de 4 lóculos.

El fruto es una cápsula globular, ahusado en la base, pequeña, dehiscente apicalmente y con 2-4 celdas, conteniendo una semilla cada una.

b. Descripción dendrológica.

Nomenclatura.

Nombre científico: Guarea trichilioides L. familia: Meliaceae.

Sinónimos: Guarea guara (Jacq.) P. WILS.

Guarea puberula Pittier. (16)

Nombres comunes: Comatá, c. blanco (Arg.); acafroa, bilreiro, camboatá, cangerana miuda, carrapeta, cedro blanco, c. rana (Braz.); bailador (Col.) latapi caspi, requia (Perú); Trompillo, trompito (Venez.) (16)

Distribución. Desde algunas de las Antillas y América Central, hasta la Argentina y Sur del Brasil. (16)

B. Descripción general de la madera. Color del duramen, castaño rosáceo; poca diferencia de color entre la albura y el duramen; veteado suave; olor y sabor muy tenues y no distintivos; lustre mediano a alto; líneas vasculares, visibles a simple vista, algunas con depósitos gomosos, finas, de ancho mediano y moderadamente numerosas; grano, generalmente recto, pero a veces ligeramente entrecruzado; textura mediana; dureza, semidura; trabajabilidad, bastante fácil de elaborar con herramientas manuales; durabilidad, el duramen es bastante resistente al ataque de hongos e insectos.

2. Descripción ecológica del bosque.

- A. Procedencia del material de ensayos. Las muestras de madera proceden de los bosques ubicados a las márgenes del río Ucayali, perteneciente a la provincia "Coronel Portillo" - Departamento Loreto - Perú.
- B. Factores ecológicos. La precipitación anual alcanza en promedio de más o menos de 1500 mm y con una temperatura promedio anual de 27° C. aproximadamente. La zona está sometida al cambio muy pronunciado de estaciones, sequía o verano de Mayo a Octubre e invierno o estación de lluvias de Octubre a Mayo. La región de una topografía plana, corresponde a una altitud de 200 m.
- C. Formación y tipo de bosque. Según el sistema de Clasificación de Holdridge\*, la formación vegetal corresponde a un Bosque Seco Tropical, y de acuerdo a la abundancia de algunas especies, es un bosque del tipo Hura-Ceiba-Guarea.

3. Identificación de las especies.

A base de las muestras botánicas y de madera recolectadas en el bosque, se identificaron las especies gracias

\* Determinación de las formaciones vegetales del mundo a base de datos climáticos simples por L. R. Holdridge.-

a la colaboración de los Técnicos Forestales\*\* de la Universidad de Los Andes, quienes basaron su criterio en materiales de herbario, las floras de diversos países y el muestrario de maderas.

## CAPITULO II

### 1. Aparatos empleados\*

- A. Prensa hidráulica "RIEHLE"
- B. Accesorios de la prensa hidráulica.
  - Deflexómetro mecánico.
  - Compresómetro mecánico.
  - Aparato para las pruebas de cizallamiento.
  - Aparato para las pruebas de clivaje.
  - Aparato para las pruebas de dureza.
  - Aparato para las pruebas de tensión perpendicular al grano.
- C. Probadora "Baldwin" de tenacidad.
- D. Micrótopo de deslizamiento plano.
- E. Otros aparatos.
  - Tornillo micrométrico.
  - Balanzas de torsión e hidrostática.
  - Horno eléctrico.
  - Moldes de acero, letras y números impresa en alto relieve.
  - Microscopio Austriaco "Reichert".
  - Condensador de reflujo.

\*\* Dr. Elbert L. Little, Jefe de la Cátedra de Dendrología de la Facultad de Ciencias Forestales.

Ing. Harry Corothie, Jefe del Laboratorio de Anatomía de Maderas de la Fac. de Ciencias Forestales, Mérida, Venezuela.

\* La descripción de los aparatos se presenta en el anexo N°1.

2. Procedimiento seguido en la recolección y preparación del material de ensayos.

El sistema empleado en la recolección y preparación de las muestras, corresponde a las normas adoptadas por la American Society for Testing Materials (ASTM) (1). Aquí presentamos las diferentes fases desde la recolección del material en el bosque hasta la obtención de las probetas\* para los ensayos.

A. Recolección del material en el bosque.\*\*

a. Selección y número de árboles.- De cada especie a ensayarse, seleccionamos cinco árboles representativos, en cuanto a tamaño, edad, y aspecto general. En la elección se descartaron aquellos árboles con defectos.

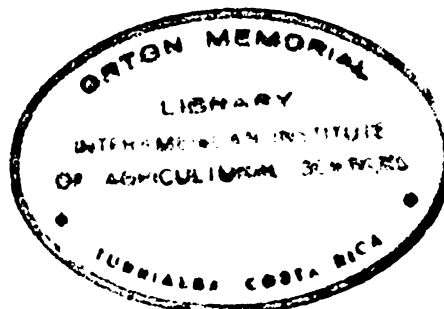
b. Muestras botánicas.-(Fot. 1, 2). Se recolectó en el bosque el material de herbario (ramitas con hojas, flores y frutos), de cada árbol seleccionado. El material fué prensado y secado cuidadosamente entre papel periódico. Para contrarrestar cualquier ataque de hongos y favorecer el rápido secado, se cambió frecuentemente el papel periódico. El material así preparado y numerado fué enviado al Instituto Forestal Latinoamericano, entre cartón rígido, para evitar cualquier fractura del material. En el laboratorio se procedió a envenenar la muestra para su conservación. Se empleó una solución de bicloruro de mercurio (75 grs) en alcohol de 98% (1 galón). Finalmente la muestra preparada, se montó sobre una cartulina, quedando listo para su exámen científico.

\* Las definiciones de los términos técnicos usados se presentan en el anexo N° 2.

\*\* Las muestras fueron recolectadas por el personal del Servicio Forestal del Perú.

- c. Selección y número de rolas.-De cada árbol seleccionado, se cortó una rola de 2,50 m de longitud, con su extremo inferior (diámetro mayor) a 2,50 m por encima del tocón ó 2,50 m por encima de los aletones (en los casos de especies con aletones). De acuerdo a las normas\*, las rolas seleccionadas fueron sustituidas por tablones o planchones de 15,5 cm de grueso, tomando a través del duramen y abarcando el diámetro y la longitud total de la rola (fig. 1).
- d. Designación del material.-Los planchones fueron marcados en su extremo inferior, con moldes de acero (número y letras cincelados). Los cinco planchones obtenidos de cada especie, fueron marcados de la siguiente forma: 1CD; 2CD; 3 CD; 4 CD; 5 CD. Los números corresponden a los árboles seleccionados, y las letras, a las dos secciones (1,25 m c/u) de cada planchón.
- e. Obtención de datos en el bosque.-Según formulario especialmente preparado (anexo 3), se recolectaron una serie de datos en el bosque. Tales datos, son importantes en la identificación de las especies, y para analizar con los resultados que se obtengan en el estudio anatómico-físico-mecánico de la madera.
- f. Envío del material.-Las muestras de madera, el material herbario y los datos de campo recolectados en el bosque (Depto Loreto-Perú) fueron enviados al Instituto Forestal Latinoamericano de Mérida, Venezuela, para la realización de los ensayos correspondientes.

\* American Society for Testing Materials (ASTM - D - 143 -52)



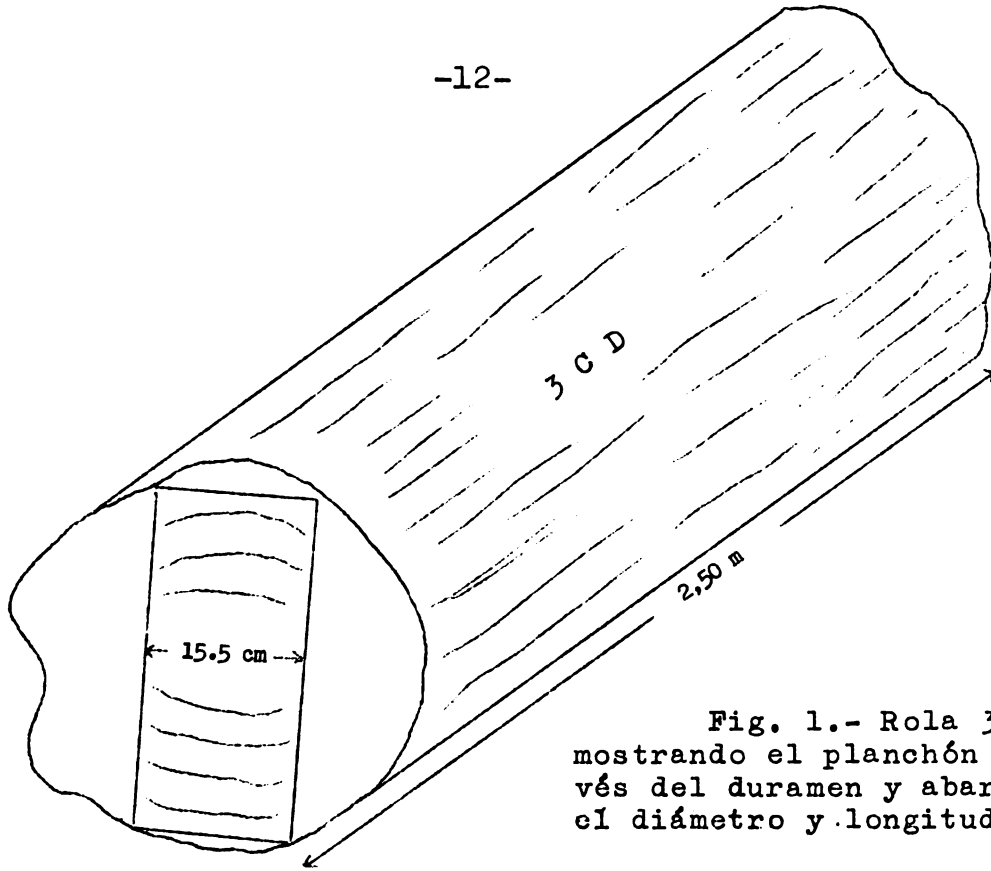


Fig. 1.- Rola 3CD, mostrando el planchón a través del duramen y abarcando el diámetro y longitud total.

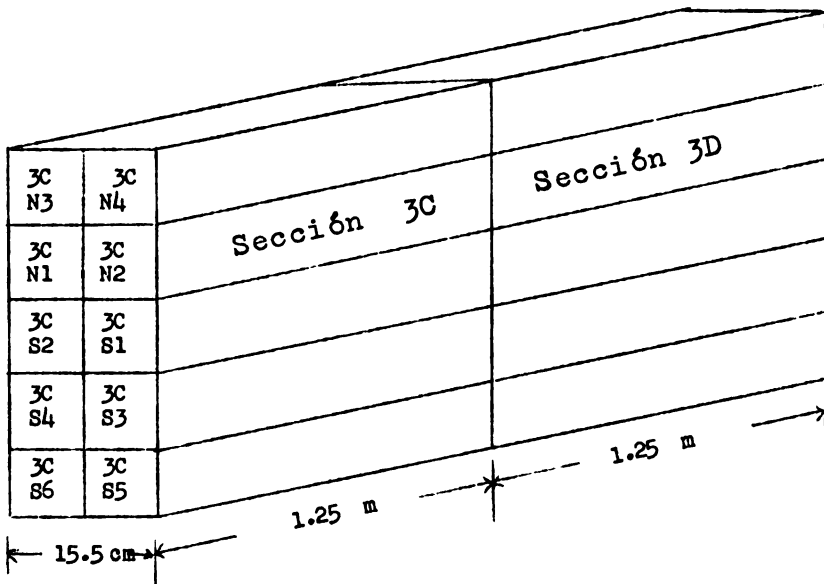


Fig. 2. Planchón 3CD dividido en dos secciones (3C-3D). Cada sección muestra los listones marcados.

B. Preparación de las muestras de ensayos.

En el Laboratorio de Tecnología de Maderas de la Facultad de Ciencias Forestales\*, a partir de los planchones, se prepararon los listones de 7x7 cm de sección. Para ello se efectuaron las siguientes operaciones:

- a. Descripción detallada de los planchones.-En un formulario especial (anexo N° 4), se anotan todas las características de cada uno de los planchones, como, N° del árbol, defectos, color y olor de la madera, espesor de la albura y otras observaciones.
- b. Marqueo de los planchones.-Trazados los listones en cada uno de los planchones, se procedió al marqueo con números y letras impresas en alto relieve (moldes de acero). La designación de cada uno de los listones, corresponde al N° del árbol, de la sección y del listón. Por ejemplo, un listón marcado con 3CN3, nos indica: 3, número del árbol; C, designación de la sección; N3, corresponde al listón. Cada uno de los planchones, dividimos en dos secciones (C y D) iguales de 1,25 m de longitud. (Fig. 2).
- c. Aserrío de las secciones en listones.-Las secciones convenientemente marcadas, fueron aserradas en listones de 0,07x0,07x1,25 m de longitud.

C. Secado de las piezas para ensayos en condición seca.

Para el secado al aire de las piezas seleccionadas para los ensayos en condición seca, se efectuaron las siguientes operaciones:

- a. Parafinado.-Los extremos de las piezas, fueron cubier-

\* Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

tos por una delgada capa de parafina, para evitar la rápida desecación y los defectos consiguientes.

- b. Pesado de las piezas.-Todas las piezas fueron pesadas antes de ser apiladas a fin de poder controlar el secado al aire.
- c. Apilado de las piezas.-Se apilaron las piezas al aire libre, protegidas de la lluvia, de la humedad del suelo y de los rayos directos del sol.
- d. Control del secado.-Cada 15 días, se pesaron las piezas, hasta la obtención de peso constante, condición en que la madera secada al aire estuvo lista para la preparación de las probetas para los ensayos mecánicos.

D. Obtención de las probetas de ensayos.-(Fot. 3).

Las piezas secadas al aire (7x7 cm), fueron aserradas y cepilladas convenientemente para darles las dimensiones requeridas para cada uno de los ensayos (cuadro N° 1). La preparación de las probetas se llevó a cabo en el taller de Carpintería del Laboratorio.

3. Porcentaje de probetas para cada ensayo.

Referente a la forma de división de cada par de piezas, al número y dimensiones de las probetas, hemos seguido las normas establecidas por la "American Society For Testing Materials" (ASTM).

- A. División de cada par de piezas.-Las normas recomiendan que cada una de las piezas del par, se divida en la forma como se indican en las figs. 3 y 4.
- B. Número y dimensiones de las probetas para cada ensayo.

De acuerdo a las normas establecidas por la "American Society For Testing Materials" (ASTM), y según el núme-





Fot. 3.- Forma y tamaño de las probetas para las diferentes pruebas mecánicas.

Pieza N° 3N3C

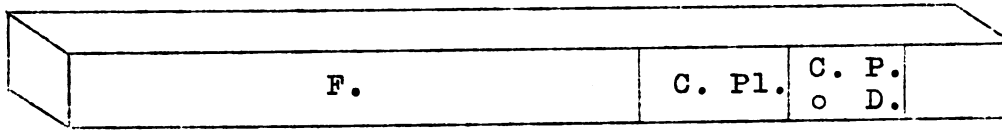


Fig. 3.- F.= Probeta para ensayos de flexión estática 76 cm.  
 C.Pl= " " " " compresión paral. 20 "  
 C.P.o D= " " " " compresión perpen-  
 dicular ó Dureza 15 "

Pieza N° 3N4D

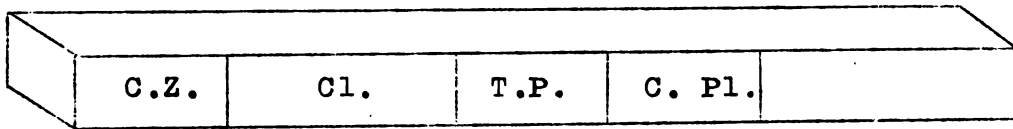


Fig. 4.- C.Z.= Probeta para ensayos de cizallamiento (radial y tangencial)..... 20 cm  
 Cl. = Probeta para ensayos de clivaje (radial y tangencial)..... 30 cm  
 T.P.= Probetas para ensayos de tensión perpendicular a la fibra (radial y tangencial) 20 cm  
 C.Pl= Probeta para ensayos de compresión paralela al grano..... 20 cm.

ro total de piezas en buenas condiciones disponibles se fijaron el número y las dimensiones de las probetas (cuadro N° 1). Para cada una de las pruebas, el número y las dimensiones de las probetas son los siguientes:

- a. Flexión estática. Se tomó un espécimen de cada par de piezas, de 5x5x76 cm. De los 22 pares de piezas disponibles se emplearon 22 probetas que corresponden al 50 % del total de piezas (44) secas al aire y en buenas condiciones.
- b. Compresión paralela al grano. Para esta prueba se tomó un espécimen de cada pieza, de 5x5x20 cm, o sea que se emplearon 44 probetas, que corresponden al 100 % de las piezas disponibles.
- c. Tenacidad. Se seleccionaron 160 probetas (32 de cada árbol o de cada planchón) de 40 piezas, correspondientes al extremo de cada probeta empleado en flexión estática y de la parte sobrante de las piezas utilizadas para obtener probetas de cizallamiento (fig. 4). De cada una de las 40 piezas, se cortaron cuatro probetas de 2x2x28 cm. Dos de ellas se ensayaron con la carga aplicada en la superficie radial y las otras en la cara tangencial.
- d. Compresión perpendicular al grano. Se seleccionó un espécimen de cada pieza del 50 % de las piezas empleadas para obtener las probetas de flexión estática, o sea que se emplearon 11 probetas de 5x5x15 cm que corresponden al 25 % del total de piezas disponibles.
- e. Dureza. Se seleccionó un espécimen de cada uno de las piezas del 50 % de las piezas empleadas para obtener las probetas de flexión estática. Se emplearon

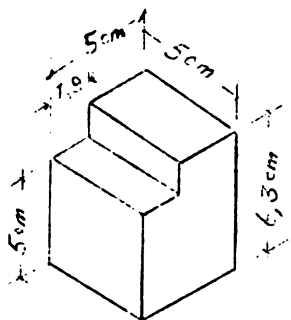
CUADRO N° 1

DIMENSIONES Y NUMERO DE PROBETAS PARA CADA ENSAYO

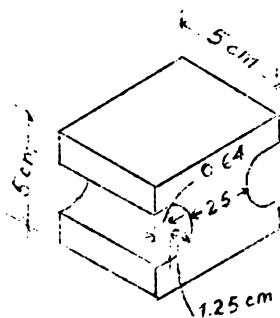
Ensayos	Dimensiones (cm)	N° de probetas
Flexión estática.....	5 x 5 x 76	22
Compresión paralela al grano...	5 x 5 x 20	44
Tenacidad .....	2 x 2 x 28	160
Compresión perpendicular al gra-		
no .....	5 x 5 x 15	11
Dureza .....	5 x 5 x 15	11
Cizallamiento paralelo al grano	5 x 5 x 6,3	36
Clivaje.....	5 x 5 x 9,5	44
Tensión perpendicular al grano.	5 x 5 x 6,3	36
Peso específico y contrac. vol.	5 x 5 x 2	204
Contenido de humedad.....	5 x 5 x 2	204

11 especímenes de 5x5x15 cm, que corresponden al 25 % del total de piezas disponibles.

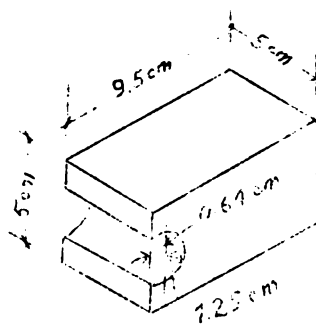
- f. Cizallamiento paralelo al grano. Se seleccionaron 36 especímenes o probetas de la porción no usada o de los extremos de 18 piezas. Los 36 especímenes fueron seleccionados en pares de las 18 piezas. Uno de cada par de especímenes de la misma pieza se ensayó en corte paralelo en el sentido radial y el otro en sentido tangencial. Los especímenes empleados fueron de 5x5x6,3 cm, cortados como indica la fig. 5A.
- g. Clivaje. Se tomaron 44 especímenes de 22 piezas de manera similar que para cizallamiento. Uno de cada par de especímenes de la misma pieza se ensayó en sentido radial (falla en la cara radial) y el otro en el sentido tangencial (falla en la cara tangencial). La prueba se hizo con probetas de 5x5x9,5 cm y de la forma que muestra la fig. 5C.
- h. Tensión perpendicular a las fibras. Se seleccionaron 36 probetas de 18 piezas, de manera similar indicado para cizallamiento. Uno de cada par de especímenes de la misma pieza, fué ensayado en tensión radial y el otro en tensión tangencial. Los ensayos fueron hechos con probetas de 5x5x6,3 cm, y de la forma como muestra la fig. 5B.



A



B



C

Fig. 5.- Detalles de los especímenes de ensayos: A. Cizallamiento. B. Tensión perpendicular al grano. C. Clivaje.

### CAPITULO III

#### 1. Descripción del sistema empleado en la preparación del material microscópico.

Para el estudio microscópico de la estructura anatómica de la madera, se prepararon láminas microscópicas y tejido macerado. Las diferentes fases para la preparación del material microscópico son las siguientes:

##### A. Preparación de láminas microscópicas.

- a. Obtención de tacos de madera. De un trozo de madera (duramen), se cortaron 5 tacos rectangulares de 1,3 cm<sup>3</sup> aproximadamente. El corte se efectuó de tal manera, que las superficies de los tacos correspondan a las secciones, transversal, radial y tangencial, perfectamente orientadas.
- b. Ablandamiento de los tacos. Una vez numerados, se colocaron en un matraz con agua. Luego se hicieron hervir en un condensador de reflujo, durante 30 minutos (el tiempo varía con la dureza de la madera). Se probaron cada 10 minutos, haciendo cortes con el micrótopo, hasta obtener láminas enteras y con los elementos anatómicos claramente visibles en el microscopio.
- c. Corte de láminas. Para ello se empleó un micrótopo de deslizamiento plano.
- d. Coloración de las láminas. Se empleó un procedimiento de doble coloración, buena para fotografías, donde el contraste fuerte entre los tejidos y el fondo es necesario. Los colorantes utilizados fueron, Safranina O y Naranja G. La lignina se tiñó de rojo y la celulosa de naranja.

##### Procedimiento:

- Las láminas de bañaron con Safranina O durante 12-24 horas.
- La celulosa se diferenció a un color rosado claro con alcohol de 50 %.
- Se bañaron en Naranja G (alcohólica) de 1/2 a 2 minutos.
- Se lavaron rápidamente en alcohol de 95 % y absoluto.
- Se lavaron en xilol y luego se procedió al montaje.

e. Montaje de las láminas. Se emplearon un porta y cubre objeto limpio y desgrasado. Se fijó la lámina coloreada, con unas gotas de tolueno.

B. Tejido macerado. --La desintegración del tejido se efectúa para el estudio microscópico individual de las diferentes células que constituyen la madera, como, fibras, segmentos de vasos, y elementos parenquimáticos.

Procedimiento:

- Se colocaron pequeñas astillas de madera en un tubo de ensayo que contenía una solución de 3,3 cc de ácido nítrico y agua hasta completar los 10 cc.
- Se calentó suavemente para acelerar la operación.
- Se coloreó con fuccina básica y se lavó con agua acidulada con ácido acético.
- El material desintegrado se introdujo en alcohol, para luego montar en porta-objetos, de la misma forma descrita para las láminas microscópicas.

2. Determinación de las propiedades mecánicas de la madera seca al aire.

Las propiedades mecánicas de la madera determinan su ap-



titud para resistir fuerzas externas. Esta resistencia es la que controla los diversos usos a que puede destinarse una madera. Mediante la determinación de las características mecánicas, obtenemos valores numéricos promedios de resistencia para muestras de árboles representativos de la especie, en cuanto a tamaño, edad, y aspecto general del árbol. Estos datos reducidos convenientemente, proporcionan los coeficientes de trabajo necesarios en el cálculo de miembros de madera.

El conocimiento de las características mecánicas de la madera, lo podemos obtener, ya sea mediante ensayos bajo condiciones reales, en las formas encontradas en la práctica, o con pruebas realizadas en el laboratorio, necesitando para ello el uso de aparatos especiales. Desde el punto de vista de la eficiencia, los ensayos realizados en laboratorio, son preferibles si se efectúan correctamente. Mediante estos ensayos, se logra:

- a. Ahorrar tiempo y material.
- b. La realización de ensayos abundantes, necesarios por causa de la gran variación de la madera.
- c. Establecer métodos y poder expresar los resultados obtenidos en unidades definidas, proporcionando un medio fácil y práctico de comparación de las diferentes clases de madera.
- d. Controlar la mayoría de los factores que afectan los resultados.

Uno de los objetivos principales de los ensayos de laboratorio, consiste en determinar los valores por unidad de área para las diferentes resistencias de la madera. Estos valores no se repiten exactamente en cada prueba, aunque se tengan todas las precauciones necesarias, debido a la compleja estructura

ra de la madera. El máximo que se puede lograr, son los valores promedios, las variaciones por encima y debajo del promedio y las leyes que gobiernan esta variación.

Existen cinco normas de ensayos que han adquirido carácter internacional y son: A.S.T.M., sigla de la American Society for Testing Materials, A.F.N.O.R., de la Association Française de Normalisation, A.I.R., también francesa, pero destinadas especialmente a calificar maderas para aviación, B.S.I., de la British Standards Institution y D.I.N. y D.V.M., de origen alemán.

El procedimiento para la determinación de las propiedades mecánicas tiende a la normalización en todo el mundo, permitiendo un intercambio y correlación de datos.

En el presente trabajo hemos seguido las normas adoptadas por la American Society for Testing Materials (A.S.T.M.) (1).

Los ensayos fueron realizados con madera en condición seca. Se obtuvo esta condición, secando primero al aire durante cinco meses y luego 90 horas en la estufa a 49°C de temperatura y 55 % de humedad relativa. Con estas condiciones moderadas, se evitó el peligro de la producción de defectos y se logró un contenido de humedad de la madera de 11 % aproximadamente.

Las principales características probadas por este método, comprenden: flexión estática, compresión paralela al grano, compresión perpendicular a las fibras, dureza, cizallamiento, tensión perpendicular a las fibras, clivaje y tenacidad.

Las fórmulas empleadas en la determinación de las propiedades mecánicas, así como la definición de términos adoptados en el texto, son presentados al final, en los anexos 2 y 5 respectivamente.

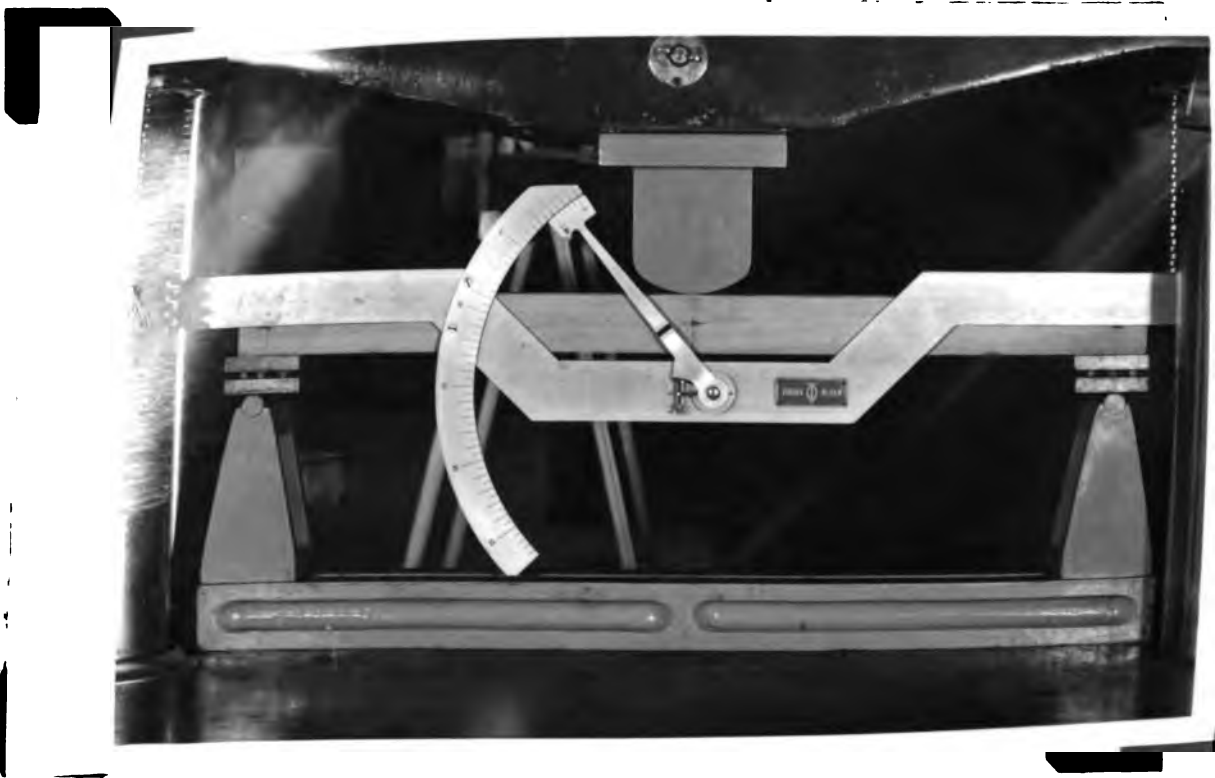
A. Flexión estática.

Se empleó en esta prueba, una prensa hidráulica (Riehle) y los accesorios para flexión que comprenden, un riel de acero, con soportes ajustables en los extremos, placas y rodillos de apoyo, block de apoyo (para la aplicación de la carga) y un deflexómetro (fot. 4).

Con esta prueba se determinó la resistencia de una viga simple, al ser sometida a una carga lentamente creciente, aplicada en el centro de su luz de 71 cm

Procedimiento.

- a. Registro de datos. En una hoja de control de datos (N° 1), se anotaron las dimensiones exactas de la probeta y el dibujo del extremo, mostrando los anillos de crecimiento. Al final del ensayo se registraron las fallas producidas en los cuatro lados de la probeta.
- b. Ajuste de la probeta en la máquina. Se colocó el espécimen de tal forma que sus extremos descansan sobre los soportes del riel de acero. Entre la muestra y los soportes, se colocó un sistema de placas y rodillos para eliminar el roce y asegurar así una reacción vertical en los apoyos. El deflexómetro va apoyado en dos clavos introducidos en el plano neutro de la probeta; un tercer clavo, ubicado en el centro de la luz, sirve para atar el hilo que al desarrollarse indicará en un círculo graduado la deflexión ocasionada por la aplicación de la carga.
- c. Regulación de la prensa hidráulica. La prensa se graduó para una apreciación de 5 kilogramos por división (posición 5). La velocidad de aplicación de la carga fué ajustada a 0,25 cm por minuto (0,10 pulg. por minuto).
- d. Aplicación de la carga. A medida que la carga se acrecien-



Fot. 4.- Deflexómetro, accesorios y probeta sometida a la prueba de flexión estática.

HOJA DE CONTROL DE DATOS N° 1

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MADERA

Escuela de Ingeniería Forestal

FLEXION

Fecha: 3-11-60

	Carga (Kgs)	Deformación (mm)
1	35	0.5
2	65	1
3	95	1.5
4	125	2
5	160	2.5
6	195	3
7	220	3.5
8	250	4
9	275	4.5
10	305	5
11	340	5.5
12	380	6
13	410	6.5
14	440	7
15	465	7.5
16	500	8
17	550	9
18	600	10
19	645	11
20	695	12
21	730	13
22	765	14
23	795	15
24	820	16
25	850	17

Grano Extremo



Ruptura



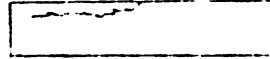
Tope



Lado



Fondo



Lado

Notas:

Rola N° \_\_\_\_\_ Muestra N° \_\_\_\_\_

Nombre Vulgar Requia

Nombre Científico Guarea trichilioides

Condición seca Anillos/cm -----

Espesor 5064 cm Ancho 5074 cm Largo 76 cm

Madera tardía 80 % Albura 20 %

Desplazamiento de la cabeza móvil 0.10 ins/min.

Peso del Bloque: Prueba 35.77 grs.

Peso del Bloque: Seco Horno 31.55 grs.

Volumen del Bloque: Verde 65.1 cc

Volumen Bloque: Seco Horno 62.7 cc

Contenido de Humedad 13.4 %

Peso Específico 0.5  
(basado sobre peso y volumen seco al horno)

Peso Específico  
(basado sobre peso seco al horno y volumen verde)

Contracción volumétrica 3.69 %

REGISTRO DEL SECADO AL HORNO

VALORES NO AJUSTADOS

Esfuerzo d. l. fibras al límite proporcional 360.21 Kgs/cm<sup>2</sup>

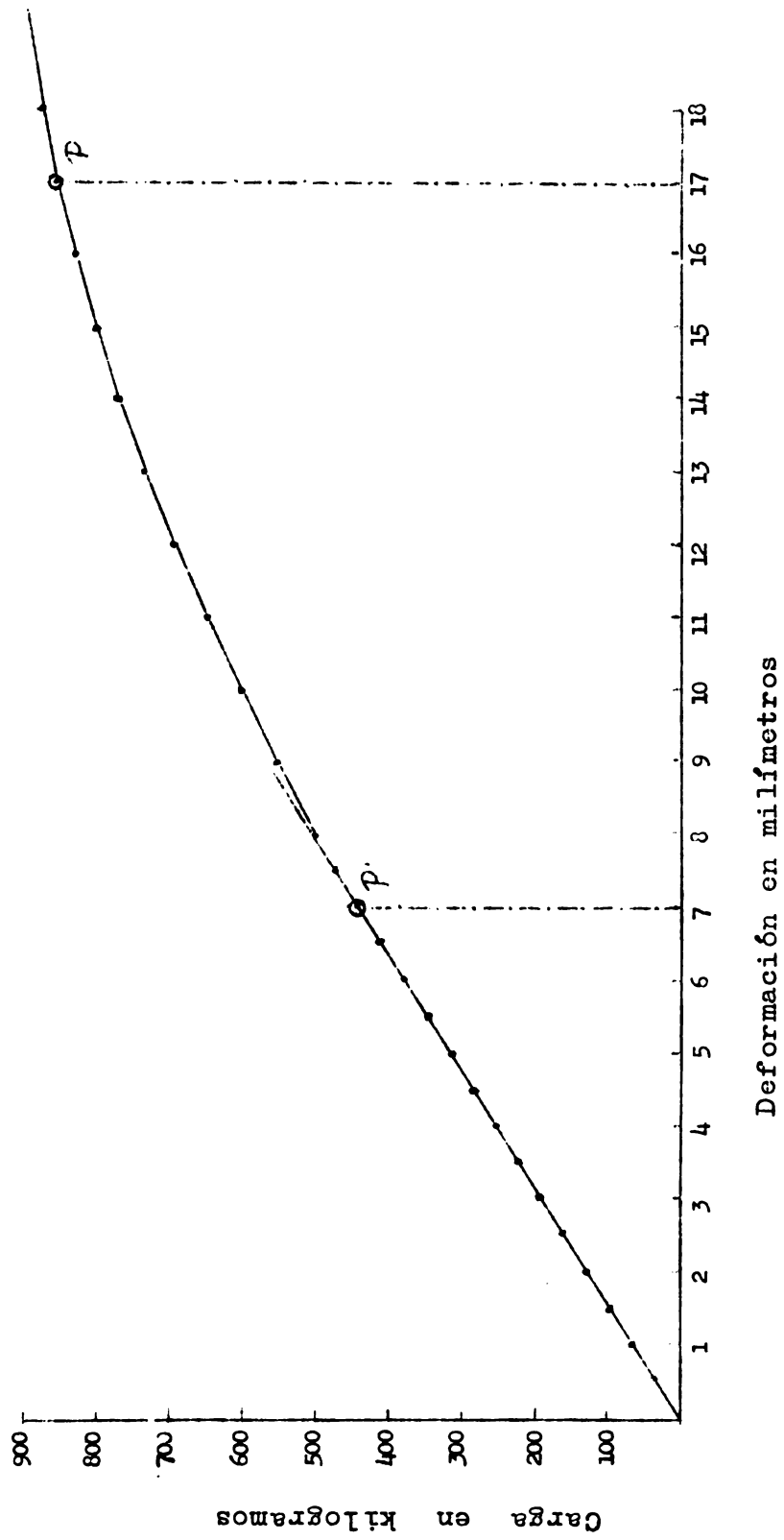
Módulo de ruptura 695.86 Kgs/cm<sup>2</sup>

Módulo de elasticidad 85374.72 Kgs/cm<sup>2</sup>

Trabajo al límite proporcional 0.84 Kg-m/cm<sup>3</sup>

Trabajo a la carga máxima 5.24 Kg-m/cm<sup>3</sup>

Gráfico N° 1.- Curva carga - Deformación en flexión estática.



ta, se produce la deflexión de la probeta, que se mide con el deflexómetro, que tiene una apreciación de 0,5 mm por división. Se hicieron las lecturas de carga correspondientes a cada 0,5 mm de deflexión hasta llegar a 8 mm y de allí en adelante hasta la carga de ruptura se lee cada 1 mm.

- e. Representación de los resultados. Expresando gráficamente, mediante un sistema de coordenadas, la relación entre las cargas aplicadas y las deformaciones correspondientes, se obtiene un diagrama (gráfico N° 1) mediante el cual se determinan: el esfuerzo de las fibras al límite proporcional, el módulo de ruptura, el módulo de elasticidad, y el trabajo hasta el límite de proporcionalidad y hasta la carga máxima.

#### B. Compresión paralela al grano.

En este ensayo se emplearon la prensa hidráulica, equipada especialmente para efectuar dicha prueba, y un compresómetro. (Fot. 5)

Con esta prueba se determinó la resistencia de una columna corta al ser sometida a una carga que trata de acortar sus elementos anatómicos. Es uno de los ensayos que mejor permiten caracterizar una madera, pues es fácil de realizar y proporciona resultados exactos, ya que no es afectado por esfuerzos cortantes como en el caso de flexión.

La resistencia a la compresión se expresó en kilogramos por centímetro cuadrado, como una relación entre la carga máxima soportada y la sección original de la pieza.

#### Procedimiento.

- a. Registro de datos. Las dimensiones y el dibujo del extremo del espécimen que muestra la característica de crecimiento, son registradas en la hoja de control de datos (N° 2). Ter



Fot. 5.- Compresómetro adaptado a la muestra sometida a la prueba de compresión paralela a las fibras.



HOJA DE CONTROL DE DATOS N° 2

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MADERA

Escuela de Ingeniería Forestal

COMPRESION SEGUN LAS FIBRAS (LONGITUDINAL)

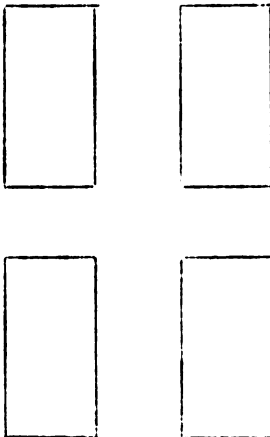
Fecha: 4-11-60

Carga (Kgs)	Deformación (0.001 mm)	
1	300	12
2	600	28
3	900	45
4	1200	65
5	1500	79
6	1800	93
7	2100	107
8	2400	121
9	2700	135
10	3000	150
11	3300	163
12	3600	178
13	3900	193
14	4200	209
15	4500	225
16	4800	243
17	5100	262
18	5400	278
19	5700	292
20	6000	306
21	6300	320
22	6600	335
23	6900	350
24	1200	365
25	1500	384
26	1800	401
27	8100	418
28	8400	436
29	8700	457
30	9000	480
31	9300	505
32	9600	532
33	9900	572
34	_____	_____
35	_____	_____

Grano Extremo



Ruptura



Rola N° 3 Muestra N° 550  
 Nombre Vulgar Regula  
 Nombre Científico Guarea trichilioides L.  
 Condición seca Anillos / cm --  
 Areas sección transversal 5.103 x 5.082  
 Largo 20 cms  
 Distancia entre los cuellos 15 cms  
 Madera tardía 60 % Albura 40 %  
 Desplazamiento de la cabeza movable 0.024 ins/min.  
 Peso del Bloque: Prueba 37.69 grs.  
 Peso del Bloque: Seco Horno 33.39 grs.  
 Volumen del Bloque: Prueba 66.7 cc  
 Volumen del Bloque: Seco Horno 64 cc  
 Contenido de Humedad 12.9 %  
 Peso Específico 0.52  
 (basado sobre peso y volumen seco al horno)

Notas: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

REGISTRO DEL SECADO AL HORNO

PESO	1	2	3	4
	37.69	33.39	33.39	

VALORES NO AJUSTADOS

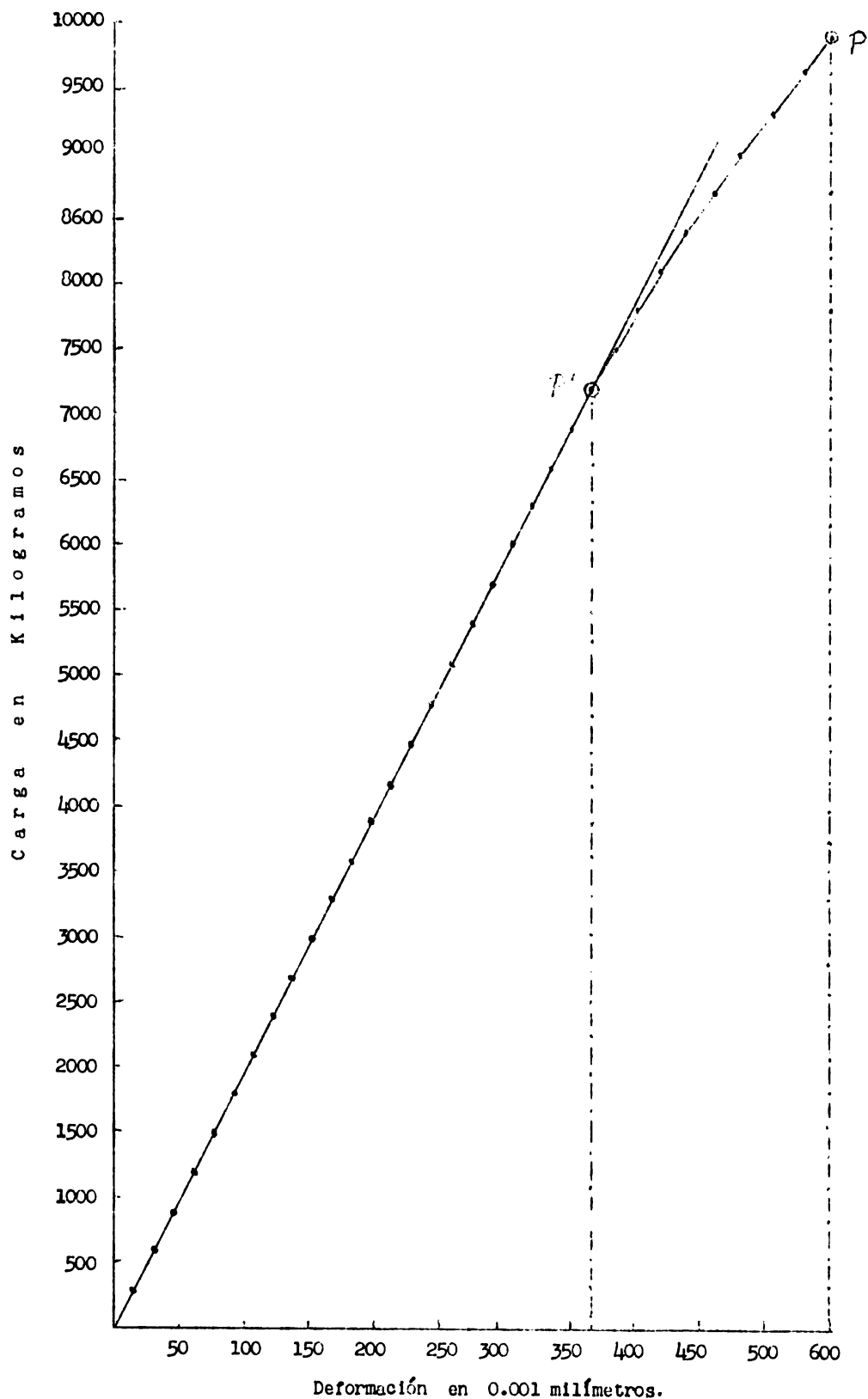
Esfuerzo d. l. fibras al límite proporcional 277.67 Kgs/cm<sup>2</sup>  
 Máxima resistencia a la compresión 381.8 Kgs/cm<sup>2</sup>  
 Módulo de elasticidad 113 684.2 Kgs/cm<sup>2</sup>

minada la prueba, se dibujaron las fallas producidas en los cuatro lados de la probeta y las distintas rupturas son nombradas en el orden de presentación. Las fallas deben ocurrir dentro de la luz de trabajo y toda muestra que presenta fallas en los extremos debe excluirse de los cálculos\*.

- b. Ajuste de la probeta en la máquina. Se adaptó el compresómetro a la probeta de tal forma que el reloj queda sobre la cara tangencial y que los bornes del compresómetro equidistan de los extremos de la muestra. Se colocó la probeta entre los bloques de compresión, cuidando que sus centros coincidan con el eje longitudinal de la muestra. Es importante que las caras de los extremos de la muestra sean completamente paralelas entre sí a fin de que la carga se distribuya uniformemente en toda el área de la sección transversal y obtener así resultados normales.
- c. Regulación de la prensa hidráulica. Se graduó el reloj de lectura de cargas para obtener una apreciación de 20 kilogramos por división (posición 3). La velocidad de aplicación de la carga se reguló a 0.061 cm por minuto. (0.024 pulg. por minuto).
- d. Aplicación de la carga. La carga aplicada continuamente a una velocidad uniforme, produce una deformación de la probeta, que es medida por el compresómetro, con una apreciación de 0.001 mm. Se efectuaron las lecturas del compresómetro cada 300 kilogramos de carga hasta la carga máxima, en que se produce la falla.
- e. Representación de los resultados. Las cargas y deformaciones obtenidas se expresaron en un gráfico mediante un sistema de coordenadas, logrando una curva carga-deformación (grá

\* Estas fallas se presentan generalmente en muestras húmedas. Se evita secándose los extremos por calentamiento artificial (rayos infrarrojos) o natural.-

Gráfico N° 2.- Curva carga - deformación en compresión paralela  
al grano.-



fico N° 2). De la prueba de compresión paralela al grano se determinaron, el esfuerzo de las fibras al límite proporcional, la máxima resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad.

De la probeta ensayada se tomó una muestra de 2,5 centímetros de longitud y 5 x 5 centímetros de sección transversal para determinar el peso específico, contracción volumétrica y contenido de humedad.

### C. Compresión perpendicular a las fibras.

Se utilizó en esta prueba la prensa hidráulica, un bloque de compresión de 5,05 centímetros de ancho al cual se acopla el compresómetro que tiene una aproximación de 0,00025 centímetros (fot. 6).

Este ensayo ofrece la característica de que no todas las fibras de la madera fallan por el esfuerzo a que están sometidas, sino que las sucesivas capas de las mismas son aplastadas una contra la otra, actuando la madera como si fuera un material de mucha plasticidad.

Hay dos maneras en que la madera puede ser sometida a esta clase de esfuerzo. Con una carga que actúa sobre toda el área superior de la muestra o con una carga concentrada sobre una porción del área de la misma. Como es raro que en la práctica la madera sea sometida a la primera condición, se ha considerado conveniente determinar la resistencia de aplastamiento sobre una superficie limitada.

Mediante este ensayo se determinó el esfuerzo que es capaz de soportar la madera al someterla a una carga que actúa perpendicular a sus fibras.

#### Procedimiento.

a. Registro de datos. En la hoja de control de datos (N° 3),

HOJA DE CONTROL DE DATOS N° 3

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MADERA

Escuela de Ingeniería Forestal

COMPRESION PERPENDICULAR AL GRANO

Rola N° 3 Muestra N° N3C

Fecha: 11-11-60

Condición seca

Dimensiones de la muestra:

Anillos por cm ----

5.091 cm 5.012 cm 15 cm  
Espesor Ancho Longitud

Madera Tardía 100 % Albura --- %

Peso del Bloque: Prueba 39.49 grs

Velocidad cabeza móvil 0.012 ins/min

Peso del Bloque: Seco Horno 34.84 grs

Ancho de la Placa 5.05 pulgadas.

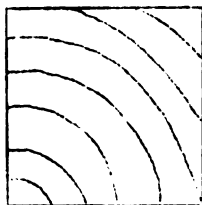
Volumen del Bloque: Seco Horno 62 cc

Carga Deforma-  
(Kgs) ción 0,0001  
100 pulg.

GRANO EXTREMO

Contenido de humedad 0.56  
(Basado sobre peso y volumen secos al horno)

1	100	42
2	200	58
3	300	71
4	300	81
5	400	90
6	500	99
7	600	106
8	700	114
9	800	122
10	900	129
11	1000	142
12	1100	159
13	1200	166
14	1300	168
15	1400	177
16	1500	187
17	1600	195
18	1700	203
19	1800	212
20	1900	221
21	2000	230
22	2100	243
23	2200	258
24	2300	274
25	2400	294



Notas: \_\_\_\_\_

REGISTRO DEL SECADO AL HORNO

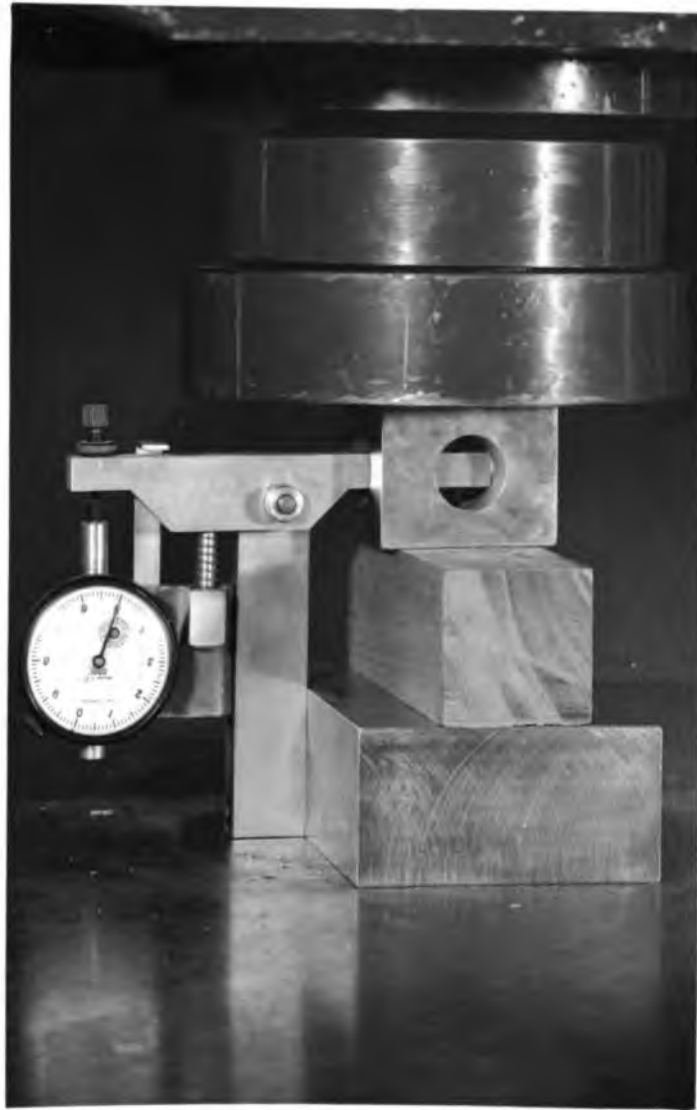
	1	2	3	4
Peso	39.49	36.84	34.85	34.84

VALORES NO AJUSTADOS

Carga al Límite Proporcional 2,400 Kgs/cm<sup>2</sup>

Resistencia de la fibra al Límite Propor. 813.32 Kgs/cm<sup>2</sup>

Para cambiar libras por pulgadas cuadradas a Kgs/cm<sup>2</sup> dividir por 703.07



Fot. 6.- Compresómetro acoplado al bloque de acero. La probeta entre el bloque y la plataforma de acero, sometida a la prueba de compresión perpendicular a las fibras.

se anotaron las dimensiones exactas y un dibujo de la sección transversal de la probeta, mostrando los anillos de crecimiento.

- b. Ajuste del espécimen en la máquina. El bloque de compresión se colocó cruzando la cara radial de la probeta a distancias iguales de los extremos y en ángulo recto con respecto al eje longitudinal de la pieza de ensayo.
- c. Regulación de la prensa hidráulica. Se graduó el reloj de lectura de carga para una apreciación de 5 kilogramos por división (posición 5). La velocidad de aplicación de la carga se reguló a 0,0305 centímetros por minuto (0,012 pulg. por minuto).
- d. Aplicación de la carga. La carga se aplicó a través del bloque de compresión, hasta obtener una deformación máxima de 0,25 centímetros, equivalente a 100 vueltas completas de la aguja grande o a 10 de la pequeña del compresómetro. La lectura de la deformación se efectuó cada 100 kilogramos de carga.
- e. Representación de los resultados. Con los datos obtenidos, dibujó el diagrama de carga-deformación, mediante un sistema de coordenadas. A base de éste (gráfico N° 3) se obtiene el valor de la resistencia de la fibra al límite proporcional.

#### D. Dureza.

Se necesitaron para este ensayo, la prensa hidráulica y un instrumento especial acoplado en la cabeza móvil de la prensa (fot. 7).

Con esta prueba se determinó la resistencia a la penetración, desgaste y abrasión, que acusan las maderas. Esta resis

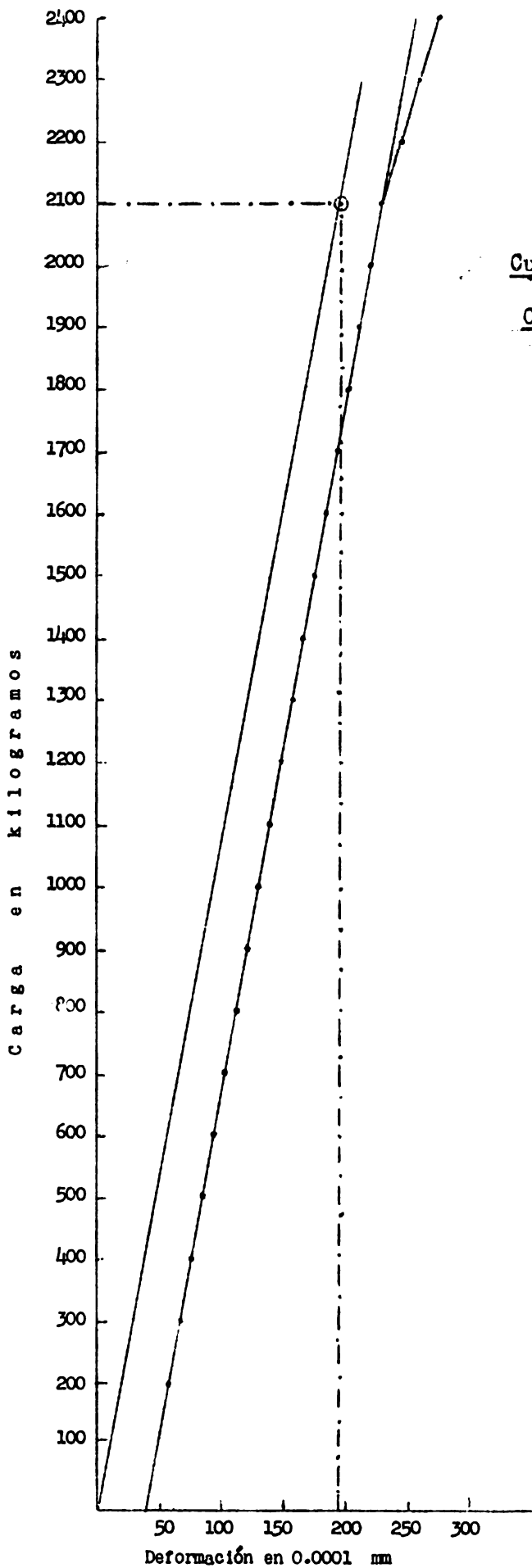


GRAFICO N° 3

Curva Carga -- Deformación

Compresión Perpendicular





Fot. 7. Instrumento especial y probeta sometida a la prueba de dureza.

tencia depende de la abundancia de las fibras y de la escasez de vasos, disminuyendo inversamente al contenido de humedad de la madera. La estructura anatómica también influye en la dureza de la madera. Es por ello que maderas con igual peso específico tienen dureza distinta según la cohesión y compacidad de las fibras y de la finura y número de radios medulares.

En la prueba, se determinó la carga necesaria para hacer penetrar la mitad de una esfera de acero de 1.1277 centímetros de diámetro, con lo que se logra afectar un área de un centímetro cuadrado (fig. 6).

Esta prueba se efectuó en las caras radial, tangencial y transversal. La dureza es máxima en los extremos (transversal) y no existe una diferencia constante entre las caras radial y tangencial.

#### Procedimiento.

- a. Registro de datos. Las dimensiones exactas de la sección transversal y la longitud se anotaron en la hoja de control de datos (N° 4). En un esquema del extremo se mostraron los anillos de crecimiento de la probeta.
- b. Ajuste de la probeta en la máquina. La probeta se coloca sobre la plataforma circular de acero y debajo del casquete esférico del instrumento especial para los ensayos de dureza (fot. 7).
- c. Regulación de la prensa hidráulica. La máquina se graduó para una apreciación de 5 kilogramos por división (posición 5) y una velocidad de aplicación de carga de 0,635 centímetros por minuto. (0,25 pulgadas por minuto).
- d. Aplicación de la carga. La carga aplicada con una velocidad uniforme, hace penetrar el casquete esférico, hasta la mitad de su diámetro, lo cual se controla por medio de un

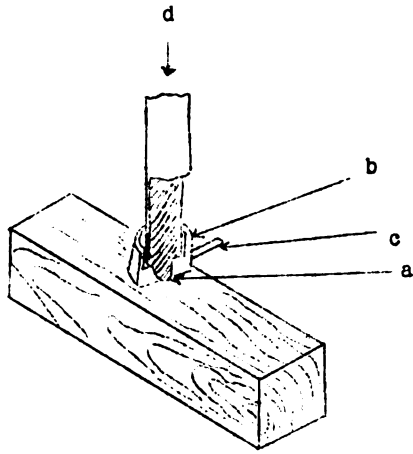


Fig. 6.- Instrumento para ensayos de dureza.

- a. Casquete esférico
- b. Collar de acero móvil
- c. Manivela del collar
- d. Aplicación de la carga.

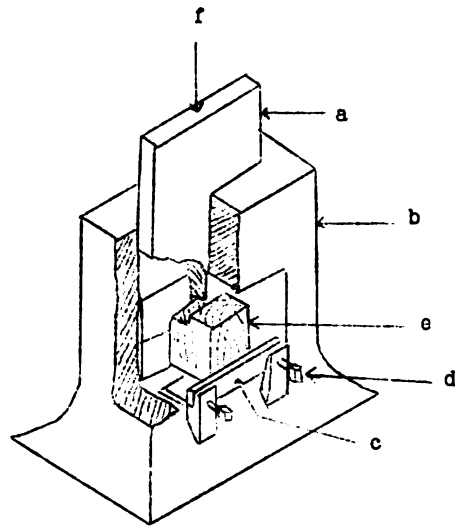


Fig. 7.- Aparato para pruebas de cizallamiento.

- a. Placa de acero cortante
- b. Armadura de acero
- c. Barra horizontal
- d. Tornillos de ajuste de probeta
- e. Probeta
- f. Aplicación de la carga.

HOJA DE CONTROL DE DATOS N° 4.

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MADERA.-

Escuela de Ingeniería Forestal

D U R E Z A

Rola N° 2 Muestra N° N66

Fecha: 15-11-60

Condición seca

Anillos por cm ---

Velocidad cabeza movable 0.25 ins/min.

Dimensiones de la muestra:

5.097 cm 5.087 cm 15 cm  
Espesor Ancho Longitud

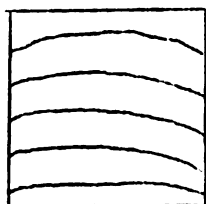
Peso del Bloque: Prueba 36.15 grs

Peso del Bloque: Seco  
al Horno 31.97 grs

Volumen del Bloque: Seco 62.8 cc

Contenido de Humedad 13.1 %

Peso Específico 0.51  
(Basado sobre peso y volumen secos al  
horno).



Valores de Prueba en Kgs.				
Prueba N°	Lados de Superficie			
	Extremo	Radial	Tangencial	Oblicuo
1	460	390	320	
2	455	325	325	
3				
4				
5				
Promedio	457.5	357.5	322.5	

Promedio Extremo: 457.5 Kgs  
Promedio Lados: 340 Kgs.

collar movable que posee el instrumento. Se efectuó la lectura de la carga máxima en el momento en que el collar se inmovilizó.

- e. Resultados. Con los datos obtenidos, se calcularon los promedios de dureza de lados y extremos del espécimen. De la dureza se deduce el esfuerzo mecánico relativo para cortar el árbol y para trabajar su madera.

#### E. Cizallamiento.

Se emplearon en este ensayo la prensa hidráulica y un instrumento diseñado especialmente para producir el corte paralelo de las fibras (fot. 8 y fig. 7).

Esta prueba consiste en someter una muestra de madera a la acción de dos cargas iguales, opuestas y paralelas, que actuando sobre un mismo plano, tienden a producir el desplazamiento de una superficie sobre la otra contigua. Los esfuerzos en corte paralelo como también se llama a esta prueba, intervienen en numerosas aplicaciones mecánicas, como ensambladuras, piezas de máquinas etc. El cizallamiento o esfuerzo de corte se clasifica de acuerdo a la dirección en que actúa la fuerza con respecto a los planos estructurales (paralelo o perpendicular a las fibras). En esta prueba sólo determinamos el valor de corte paralelo a las fibras, como promedio de pruebas en sentido radial y tangencial.

#### Procedimiento.

- a. Registro de datos. Se dibujó el extremo del espécimen mostrando los anillos de crecimiento y las dimensiones exactas de la sección transversal en la hoja de control de datos (Nº 5). Al final del ensayo hacemos un esquema de la ruptura ocasionada, tal como se puede apreciar en la misma hoja de control. Las fallas deben ocurrir dentro del área sometida



Fot. 8. Instrumento para pruebas de cizallamiento (corte paralelo al grano).

HOJA DE CONTROL DE DATOS N° 5

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MADERA

Escuela de Ingeniería Forestal

C I Z A L L A M I E N T O

CARA RADIAL

Rola N° 4 Muestra N° NLD

Fecha: 17-11-60

Condición seca Anillos/cm ---

Peso del Bloque: Prueba 37.18 grs

Velocidad cabeza movable 0.024 ins/min.

Peso del Bloque: Seco Horno 32.78

Area de Cizallamiento 50.91 cm 50.85 cm  
Largo Ancho

Volumen del Bloque: Seco 62.6 cc

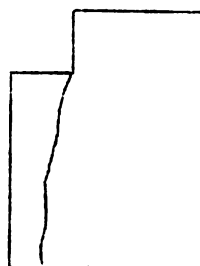
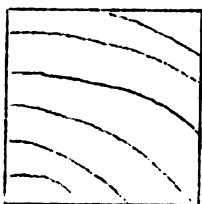
Contenido de Humedad 13.4 %

VALORES DE LA PRUEBA

Carga máxima	2250	Kg.
Resistencia al Cizallamiento	86.91	Kg/cm <sup>2</sup>

Peso Específico 0.52  
)Basado sobre volumen y peso seco al horno).

ESQUEMAS



C I Z A L L A M I E N T O

Cara Tangencial

Fecha: 17-11-60

Rola N° 4 Muestra N° NLD

Peso del Bloque: Prueba 40.07 grs

Condición seca Anillos/cm ---

Peso del Bloque: Seco Horno 35.37 grs

Velocidad cabeza movable 0.024 ins/min

Volumen del Bloque: Seco 63.1 cc

Area de cizallamiento 5.075 cm 5.089 cm  
Largo Ancho

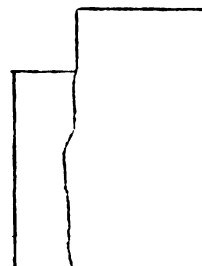
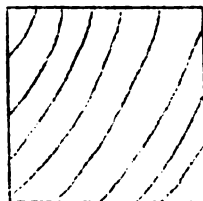
Contenido de Humedad 13.3 %

VALORES DE LA PRUEBA

Carga máxima	2505	Kg
Resistencia al Cizallamiento	96.98	Kg/cm <sup>2</sup>

Peso Específico 0.56  
(Basado sobre volumen y peso secos al horno)

ESQUEMAS



PROMEDIO DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO

Cara Radial	86.91	Kg/cm <sup>2</sup>
Cara Tangencial	96.98	Kg/cm <sup>2</sup>
Cara oblicua		Kg/cm <sup>2</sup>

PROMEDIO 91.95 Kg/cm<sup>2</sup>

a corte y toda muestra con fallas distintas se excluirá de los cálculos.

- b. Ajuste de la probeta en la máquina. Se colocó el espécimen en el aparato de cizallamiento (fot. 8) en la forma como indica la fig. 7.
- c. Regulación de la prensa hidráulica. Se graduó la prensa para una apreciación de 5 kilogramos por división (posición 5) y una velocidad de aplicación de carga de 0,061 centímetros por minuto. (0,024 pulgadas por minuto).
- d. Aplicación de la carga. Se aplicó la carga hasta la ruptura de la probeta. En este momento se efectuó la lectura de la carga máxima.
- e. Resultados. La madera es un material poco resistente a este tipo de esfuerzo. Por eso los valores resultantes (que se expresan en kilogramos por  $\text{cm}^2$ ), son muy inferiores a los obtenidos en los demás ensayos.

Con esta prueba se determinó el valor del esfuerzo de corte paralelo a las fibras como promedio de pruebas en sentido radial y tangencial (hoja de control de datos N° 5).

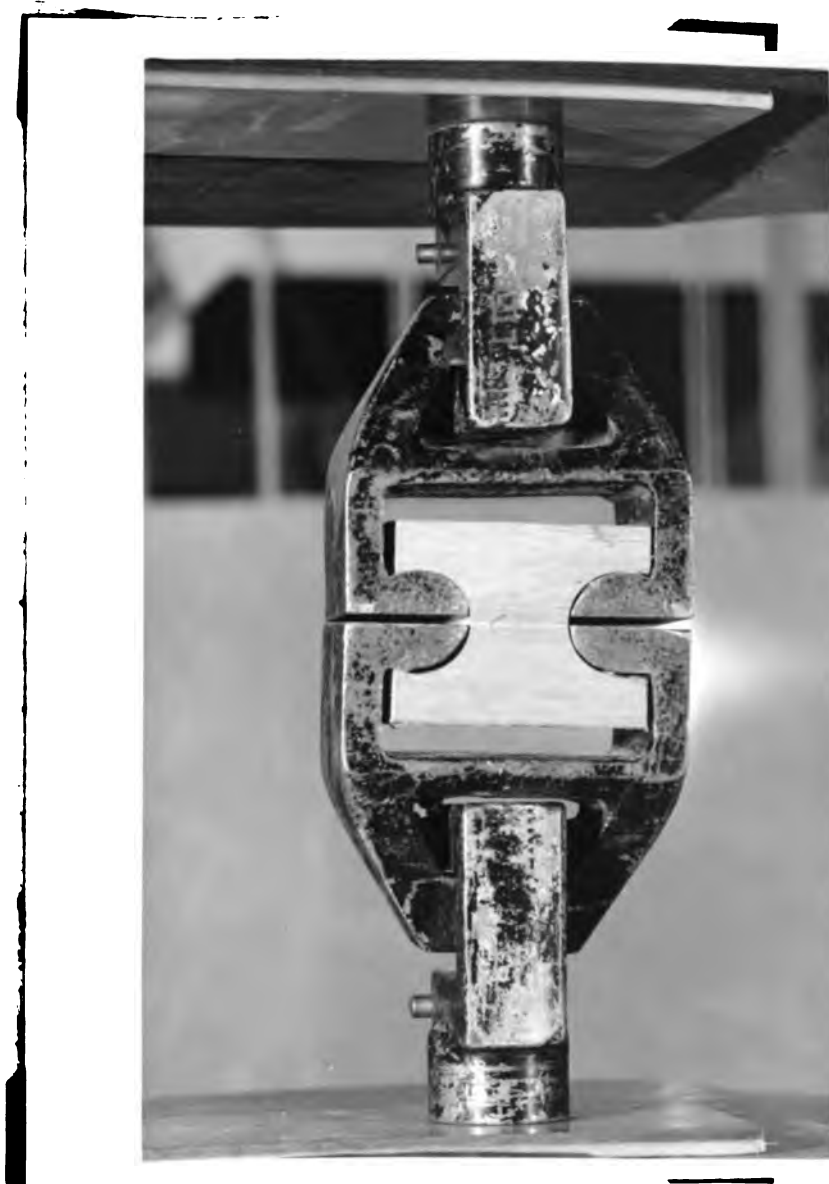
#### F. Tensión perpendicular a las fibras.

Se empleó en este ensayo la prensa hidráulica y un par de grampas especiales de acero. Una de ellas va adherida a la cabeza fija y la otra a la cabeza móvil de la prensa (fot.9).

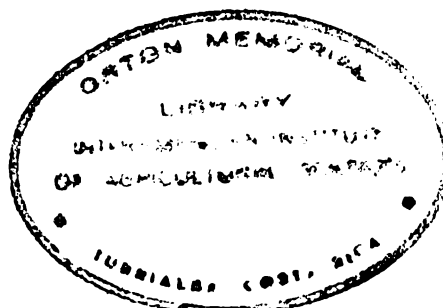
La resistencia en tensión perpendicular a las fibras de la madera se determinó aplicando a una muestra, dos fuerzas iguales y de sentido contrario en dirección perpendicular al grano.

La dirección de los anillos de crecimiento con respecto al plano de falla puede tener alguna influencia en la resisten





Fot. 9. Grampas especiales de acero y probeta sometida a la prueba de tensión perpendicular al grano.



cia de la madera en tensión perpendicular al grano. En la mayoría de las maderas es superior cuando la superficie de falla es tangencial (paralelo a los anillos de crecimiento) que cuando es radial, pero existen notables excepciones, especialmente cuando la madera está seca y posee grano entrecruzado. En este ensayo se efectuó la mitad de las muestras en tensión perpendicular a los radios y la otra mitad paralela a los anillos de crecimiento.

#### Procedimiento.

- a. Registro de datos. En la hoja de control de datos (Nº 6) se anotaron los mismos datos enunciados para los ensayos de cizallamiento paralelo al grano.
- b. Ajuste de la probeta en la máquina. El espécimen perforado en sus extremos, se adaptó a las garras de acero, especialmente diseñadas para este ensayo.
- c. Regulación de la prensa hidráulica. La prensa se reguló para una apreciación de 5 kilogramos por división (posición 5). La carga se aplicó continuamente durante el ensayo a una velocidad de la cabeza movable de 0,25 centímetros por minuto (0,10 pulgadas por minuto).
- d. Aplicación de la carga. Al actuar la carga, la cabeza movible de la prensa comienza a descender, separando en dos partes el espécimen. En el momento de la falla, se anotó la carga máxima, para el cálculo correspondiente.
- e. Resultados. La madera resiste muy mal a este esfuerzo, al punto que se aconseja no someterla en la práctica a este tipo de trabajo. El ensayo permite sin embargo, tener una idea de la adherencia entre las fibras, permitiendo así mismo determinar la resistencia mecánica de encoladuras. La resistencia tensil se obtiene dividiendo la carga máxima por

HOJA DE CONTROL DE DATOS N° 6  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MADERA  
Escuela de Ingeniería Forestal  
TENSION PERPENDICULAR AL GRANO.-

Cara Radial

Fecha: 18-11-60

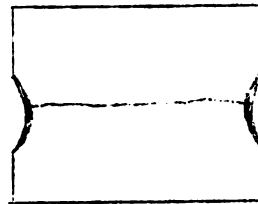
Rola N° 5 Muestra N° N3C  
Condición seca Anillos/cm ----  
Velocidad cabeza movable 0.10 ins/min.  
Area de tensión 5.087 cm 2.463 cm  
Largo Ancho

Peso del Bloque: Prueba 24.67 grs  
Peso del Bloque: Seco Horno 21.75 grs  
Volumen del Bloque: Seco 40.5 cc  
Contenido de Humedad 13.4 %  
Peso Específico 0.54  
(basado sobre volumen y peso secos al horno)

VALORES DE LA PRUEBA

Carga máxima	260	Kgs/cm <sup>2</sup>
Resistencia tensil	20.75	Kgs/cm <sup>2</sup>

ESQUEMA



TENSION PERPENDICULAR AL GRANO

Cara Tangencial

Fecha: 18-11-60

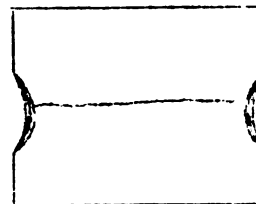
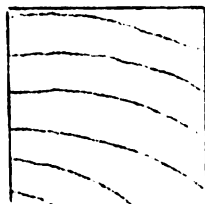
Rola N° 5 Muestra N° N3C  
Condición seca Anillos/cm ---  
Velocidad cabeza movable 0.10 ins/min.  
Area de tensión 5.107 cm 2.505 cm  
Largo Ancho

Peso del Bloque: Prueba 25.32 grs  
Peso del Bloque: Seco Horno 22.33 grs  
Volumen del Bloque: Seco 41.3 cc  
Contenido de Humedad 13.3 %  
Peso Específico 0.54  
(Basado sobre volumen y peso secos al horno)

VALORES DE PRUEBA

Carga máxima	290	Kgs/cm <sup>2</sup>
Resistencia tensil	22.67	Kgs/cm <sup>2</sup>

ESQUEMA



PROMEDIO DE RESISTENCIA TENSIL

Prueba Radial	20.75
Prueba Tangencial	22.67
Promedio <u>21.71</u> Kgs/cm.	

el área de tensión.

#### G. Clivaje.

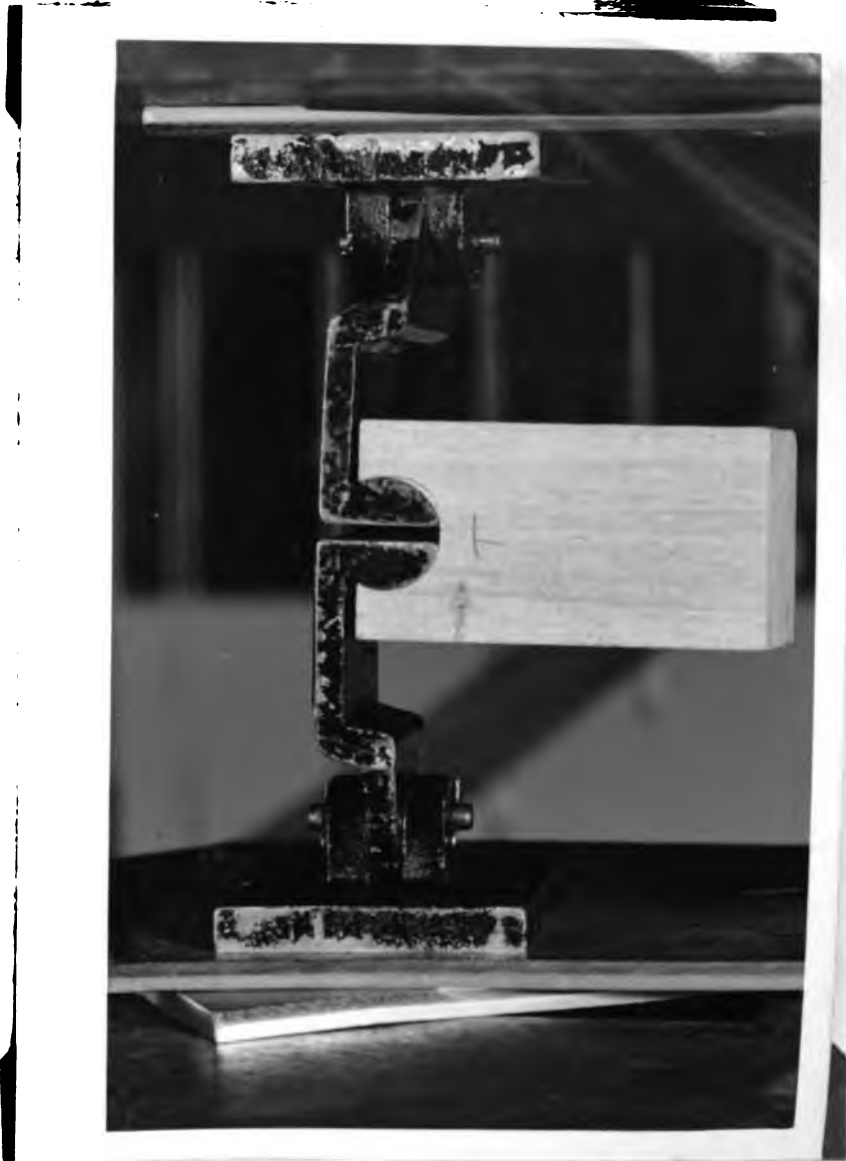
Se utilizó para este ensayo la prensa hidráulica y un aditamento especial montado en la forma que aparece en la fotografía N° 10.

El clivaje o hendimiento, es una característica de los materiales fibrosos, difícil de determinar en un ensayo, pues varía mucho con la forma de la probeta, modo de aplicación de la carga, etc. Sólo pueden compararse entonces los valores provenientes de ensayos efectuados en las mismas condiciones.

Con esta prueba determinamos la resistencia que ofrece la madera a la rajadura, es decir, cuando la fuerza actúa como una cuña. La prueba se efectúa en sentido radial y en sentido tangencial.

#### Procedimiento.

- a. Registro de datos. En la hoja de control de datos (N° 7), registramos las dimensiones exactas y un esquema del extremo de la probeta donde se insertan las garras del aditamento de clivaje, mostrando los anillos de crecimiento. Así mismo, anotamos las anormalidades que puedan presentarse durante el ensayo. Al final de la prueba se dibuja la dirección de la ruptura en la misma hoja de control de datos.
- b. Ajuste de la probeta. Las garras se insertan en forma tal, que la probeta queda en una posición horizontal (fot. 10).
- c. Regulación de la prensa hidráulica. Se ajustó la prensa, para una apreciación de 5 kilogramos por división (posición 5) en el reloj de lectura de carga. La velocidad de aplicación de la carga es de 0,25 centímetros por minuto. (0,10 pulg. por minuto).



Fot. 10. Garras de acero y probeta sometida a la prueba de clivaje.

HOJA DE CONTROL DE DATOS N° 7  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MADERA  
Escuela de Ingeniería Forestal  
CLIVAJE PERPENDICULAR AL GRANO

Cara Radial

Fecha: 14-11-60

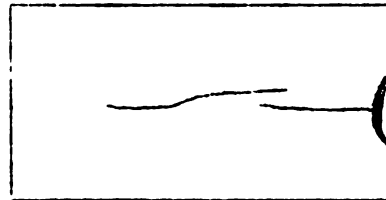
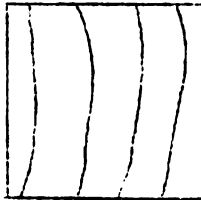
Rola N° 2 Muestra N° N4D  
Condición seca Anillos/cm ---  
Velocidad cabeza móvil 0.10 ins/min  
Ancho de la Muestra 5.088 cms

Peso del Bloque: Prueba 37.34 grs  
Peso del Bloque: Seco Horno 32.93 grs  
Volumen del Bloque: Seco 61.6 cc  
Contenido de Humedad 13.4 %  
Peso Específico 0.53  
(Basado sobre volumen y pesos seco al horno)

VALORES DE LA PRUEBA

Carga máxima	255	Kgs
Carga por cm de ancho	50.12	Kgs

ESQUEMA



CLIVAJE PERPENDICULAR AL GRANO

Cara Tangencial

Fecha: 14-11-60

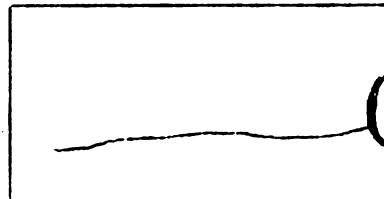
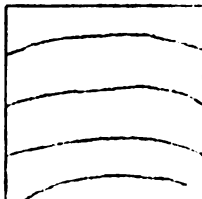
Rola N° 2 Muestra N° N4D  
Condición seca Anillos/cm ---  
Velocidad cabeza móvil 0.10 ins/min  
Ancho de la Muestra 5.102 cms

Peso del Bloque: Prueba 38.54 grs  
Peso del Bloque: Seco Horno 34.10 grs  
Volumen del Bloque: Seco 62.10 cc  
Contenido de Humedad 13 %  
Peso Específico 0.55  
(Basado sobre volumen y pesos secos al horno)

VALORES DE LA PRUEBA

Carga máxima	345	Kgs
Carga por cm de ancho	67.62	Kgs.

ESQUEMA



PROMEDIO DE RESISTENCIA DE CLIVAJE

Prueba Radial	50.12	Kgs
Prueba Tangencial	67.62	Kgs.

Promedio 58.87 Kgs.

- d. Aplicación de la carga. Al aplicarse la carga, la cabeza movible de la prensa, desciende a una velocidad uniforme, separando las garras, hasta producir la ruptura del espécimen.
- e. Resultados. Se anotó solamente la carga máxima necesaria para producir la falla. La resistencia al hendimiento está influenciada por el estado de la madera y permite por lo tanto, descubrir la presencia de condiciones anormales ocultas dentro de la madera. Esta resistencia se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado de ancho de la muestra ensayada. (Hoja de control de datos N° 7).

#### H. Tenacidad.

En este ensayo se empleó la máquina de prueba de Tenacidad "Baldwin", especialmente diseñada por el Laboratorio de Productos Forestales de los Estados Unidos (fot. 11).

Mediante este ensayo se determinó la capacidad de la madera para absorber energía o resistir choques al impacto simple, con esfuerzos de muy poca duración, que exceden el límite proporcional y que producen deformaciones permanentes o fallas parciales. Esta propiedad puede ser seriamente afectada, por ciertos defectos, como fracturas de compresión, y pudrición incipiente, las cuales son frecuentemente imperceptibles, aún bajo cuidadosa inspección visual. Para usos, tales como la construcción de aviones, donde se necesitan datos exactos de esta propiedad, es necesario disponer de un medio fácil y exacto para poder determinar la tenacidad de la madera. Para este fin el Laboratorio de Productos Forestales de los Estados Unidos, ha diseñado la máquina mencionada, que opera sobre el principio del péndulo.

#### Procedimiento.



Fot. 11. Probadora Baldwin de tenacidad, para ensayos al impacto simple.



- a. Ajuste del espécimen en la máquina. La probeta se sitúa entre dos apoyos distanciados 24 cm y alrededor de su posición media se coloca un aro que la conecta en la cadena que transmite la energía generada por la caída de la pesa. El espécimen se orienta en forma tal que el impacto se produzca en la cara radial o en la tangencial según sea el caso.
- b. Regulación de la máquina. Mediante tanteos preliminares, con varias muestras, se eligieron la posición del peso y el ángulo de prueba o ángulo inicial. Quedó regulada la máquina, cuando la diferencia entre el ángulo final (después de la falla) y el ángulo inicial fué de  $10^\circ$  ó mayor.

Para esta especie, después de varios tanteos, la combinación satisfactoria se logró con un ángulo de prueba de  $45^\circ$  y con el peso en la tercera posición, obteniendo una falla completa en un solo intento y la diferencia de los ángulos final e inicial mayor de  $10^\circ$ .

- c. Aplicación de la carga. Con la palanca de mando, accionada en forma súbita, se hizo caer la pesa, transmitiendo su energía a la muestra a través de la cadena. Con un solo impacto en el centro del espécimen se produce la falla.
- d. Resultados. Producida la falla o ruptura del espécimen, se efectuó la lectura del ángulo final y lo registramos en la hoja de control de datos (N° 8), así como también la posición del peso, el ángulo de prueba, la clase de falla producida y la cara en la cual se ha producido el impacto.

Para obtener los resultados se utilizó la tabla elaborada por el Laboratorio de Productos Forestales de los Estados Unidos (20), calculada para diferentes posiciones de la pesa y ángulos inicial y final. Por tanto, no fué necesario emplear la fórmula de tenacidad, presentada en el anexo N° 5.

HOJA DE CONTROL DE DATOS N° 8

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MADERA

Escuela de Ingeniería Forestal

RESULTADO DE LA PRUEBA DE TENACIDAD

Rola N° 1 Condición seca

Fecha: 19-11-60

Nombre Vulgar: Regia

Sección Transversal 2 x 2 cm Luz 24 cm

Prueba N°	Muestra N°	Posición inicial del peso y ángulo			Lectura del vernier	Tenacidad in-lbs	Falla
1	N6C	1	45°	R	25 . 5°	263.2	Astilladura
2	N6C	1	45°	R	28 . 4°	232.2	Astillad- Cizallam.
3	N6C	1	45°	T	29 . 1°	224.4	Astillad- Quebrad.
4	N6C	1	45°	T	24 . 0°	277.8	Astillad.-Quebrad.
5	N8D	1	45°	R	22 . 8°	289.2	Astilladura
6	N8D	1	45°	R	27 . 0°	247.6	Astillad- Quebrad.
7	N8D	1	45°	T	26 . 6°	251.9	Astilladura
8	N8D	1	45°	T	24 . 5°	273.1	Astillad - Quebrad.
9	S3D	1	45°	R	28 . 0°	236.7	Astilladura
10	S3D	1	45°	R	26 . 5°	252.8	Astilladura
11	S3D	1	45°	T	31 . 1°	200.8	Astillad - Quebrad.
12	S3D	1	45°	T	31 . 0°	202.1	Astillad - Quebrad.
13	N9D	1	45°	R	30 . 2°	211.6	Astilladura
14	N9D	1	45°	R	33 . 7°	168.1	Quebrad - Astillad.
15	N9D	1	45°	T	33 . 9°	165.4	Quebrad - Cizallam.
16	N9D	1	45°	T	24 . 6°	272.1	Astilladura
17	N4D	1	45°	R	35 . 2°	148.1	Quebrad.
18	N4D	1	45°	R	30 . 5°	208.0	Astilladura
19	N4D	1	45°	T	32 . 8°	179.7	Astillad - Quebrad.
20	N4D	1	45°	T	34 . 8°	153.5	Astilladura
21	N5D	1	45°	R	28 . 8°	227.8	Ast.-Quebrad.-Cizall.
22	N5D	1	45°	R	27 . 1°	246.5	Astill- Cizallam.
23	N5D	1	45°	T	29 . 8°	216.3	Astilladura
24	N5D	1	45°	T	28 . 3°	233.4	quebrad.- Astill.
25	S5D	1	45°	R	30 . 1°	205.7	Astilladura
26	S5D	1	45°	R	21 . 1°	240.0	Astilladura
27	S5D	1	45°	T	24 . 9°	269.1	Astilladura
28	S5D	1	45°	T	28 . 9°	226.7	Astilladura
29	N7D	1	45°	R	18 . 4°	325.5	Cizall.- Astillad.
30	N7D	1	45°	R	30 . 8°	204.5	Astilladura
31	N7D	1	45°	T	29 . 5°	219.8	Astill.- Cizall.
32	N7D	1	45°	T	25 . 2°	266.1	Astill.- Cizallam.

SUMA: 7339.7

Promedio 229.4 pulgadas-libras  
 Multiplicar por 0,0115 para reducir a Kg-m = 2.64 Kg-m

### 3. Determinación de las propiedades físicas.

Las propiedades físicas determinadas en el presente trabajo son las siguientes: peso específico, contenido de humedad y contracción volumétrica desde seca al aire hasta seca al horno.

A. Peso específico. El peso específico es una característica cuyo conocimiento es muy importante, pues está íntimamente relacionado con la resistencia de la madera. Representa la relación entre su densidad ( $\text{gr/cm}^3$ ) con respecto a la densidad de una sustancia patrón a una temperatura determinada. La sustancia patrón universalmente aceptada para determinar el peso específico de otros cuerpos es el agua, la cual tiene una densidad de  $1 \text{ gr/cm}^3$  a una temperatura de  $4^\circ\text{C}$ . Puesto que es una relación entre dos densidades, el peso específico es un valor adimensional.

El peso de la madera es la suma de la sustancia de las paredes celulares, de las sustancias químicas o extractivas y del contenido de humedad. Los dos primeros son constantes; el contenido de humedad puede variar entre amplios límites. Por consiguiente, el peso específico de una madera fluctúa según su contenido de humedad.

Aunque el peso específico de la madera puede ser determinado a cualquier contenido de humedad, los resultados obtenidos son variables, por lo que la estandarización es necesaria para propósitos de comparación. En general, está reconocido que el peso específico debe estar basado sobre el peso seco al horno. En cuanto al volumen, puede ser de la madera verde (saturada), seca al aire (12 %) y de la madera seca al horno. En el trabajo realizado, se determinó el peso específico, a base del peso seco al horno y del volumen verde y seco al aire.

Las muestras para la determinación del peso específico,

se obtuvieron de cada uno de los especímenes empleados en la de terminación de las propiedades mecánicas.

El volumen de las muestras se determinó mediante el método de inmersión, o sea determinando el peso del agua desplazada cuando se introduce la madera dentro del agua. Su peso en gramos es numéricamente igual al volumen del espécimen en  $\text{cm}^3$ . Para prevenir que los especímenes secados al horno absorban agua cuando son sumergidos, se introducen en un baño de parafina caliente.

Procedimiento en la determinación del peso específico.

1. Basado sobre el volumen en condición seca.

- a. Se halló el volumen del espécimen por el método de inmersión.
- b. Se colocó la muestra en la estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  (+ o -  $2^{\circ}\text{C}$ ) hasta lograr peso constante.
- c. Se pesó el espécimen en la balanza con una exactitud de 0,001 gramos.
- d. Cálculo del peso específico con la fórmula correspondiente (anexo N° 3).

2. Basado sobre el volumen de la madera seca al horno.

- a. Se colocó el espécimen en la estufa a  $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  y secando hasta obtener peso constante.
- b. Se pesó el espécimen (peso seco al horno).
- c. Se parafinó la muestra.
- d. Por el método de inmersión se determinó el volumen del espécimen seco al horno (volumen seco al horno).
- e. Cálculo del peso específico.



## B. Contenido de humedad.

La madera constituida por los elementos anatómicos cuyas paredes están formadas por un material absorbente, puede contener agua bajo tres formas: como agua libre, llenando las cavidades celulares; como agua higroscópica, impregnado en las paredes celulares; y como agua de constitución, formando parte integrante de su estructura molecular. La madera en el proceso de secado, primero pierde toda su agua libre. El punto cuando comienza a perder el agua higroscópica, denominamos punto de saturación de las fibras, que es más o menos constante en cualquier madera, variando de 25%-30% de contenido de humedad. Generalmente la pérdida de agua no es uniforme en toda la sección transversal de la madera, sino que la parte exterior seca más rápidamente que la interior. En consecuencia, el contenido de humedad es usualmente el promedio entre los diversos niveles de humedad en la sección transversal.

El conocimiento del contenido de humedad de la madera es importante para su utilización, ya que afecta su peso, resistencia, contracción, durabilidad, conductibilidad del calor y electricidad, inflamabilidad y permeabilidad por los líquidos.

Cuando la madera se expone convenientemente al aire durante un tiempo suficiente, su contenido de humedad desciende hasta alcanzar un equilibrio con la humedad del medio ambiente que la rodea (12%-15%). El secado de la madera en estufa, evita la pudrición y mejora no sólo la apariencia, sino también su calidad y propiedades mecánicas.

La humedad de la madera se expresa como un porcentaje del peso seco al horno. Cuando se conoce el peso de una muestra de madera húmeda y el peso seco al horno, puede hallarse el contenido de humedad con la fórmula que aparece en el anexo 5.

Con los datos obtenidos para la determinación del peso es

pecífico (peso verde y seco al horno) se calculó el contenido de humedad de las muestras.

### C. Contracción volumétrica.

Se refiere a la reducción de volumen que experimenta la madera al disminuir su contenido de humedad por debajo del correspondiente punto de saturación de las fibras.

La contracción tiene diferentes valores para cada especie y en una muestra varía de acuerdo con los ejes estructurales; en el sentido de las fibras (longitudinalmente) la contracción es prácticamente despreciable. La contracción mayor ocurre en el sentido transversal, ésta presenta a su vez variación, bien se mida en el sentido tangencial o radial, la primera es aproximadamente dos veces mayor que la segunda. La suma de las contracciones en los tres sentidos origina la contracción volumétrica. Se expresa como una relación (%) entre la disminución (volumen verde menos volumen seco) y el volumen verde.

Bajo el punto de saturación de las fibras, la variación del volumen para cada variación del 1% de humedad, es constante y caracteriza a las maderas, designándose como coeficiente de contracción volumétrica.

Con los datos obtenidos para la determinación del peso específico (volumen verde y volumen seco al horno) hallamos la contracción volumétrica de la muestra secada al aire.

## CAPITULO IV

### 1. Resultados obtenidos.

#### A. Estructura anatómica de la madera.

CEIBA PENTANDRA L. Gaertn. Fot. 12-13A

Anillos: Visibles a simple vista, indicados por bandas angostas tangenciales de parénquima terminal, de un color más claro.

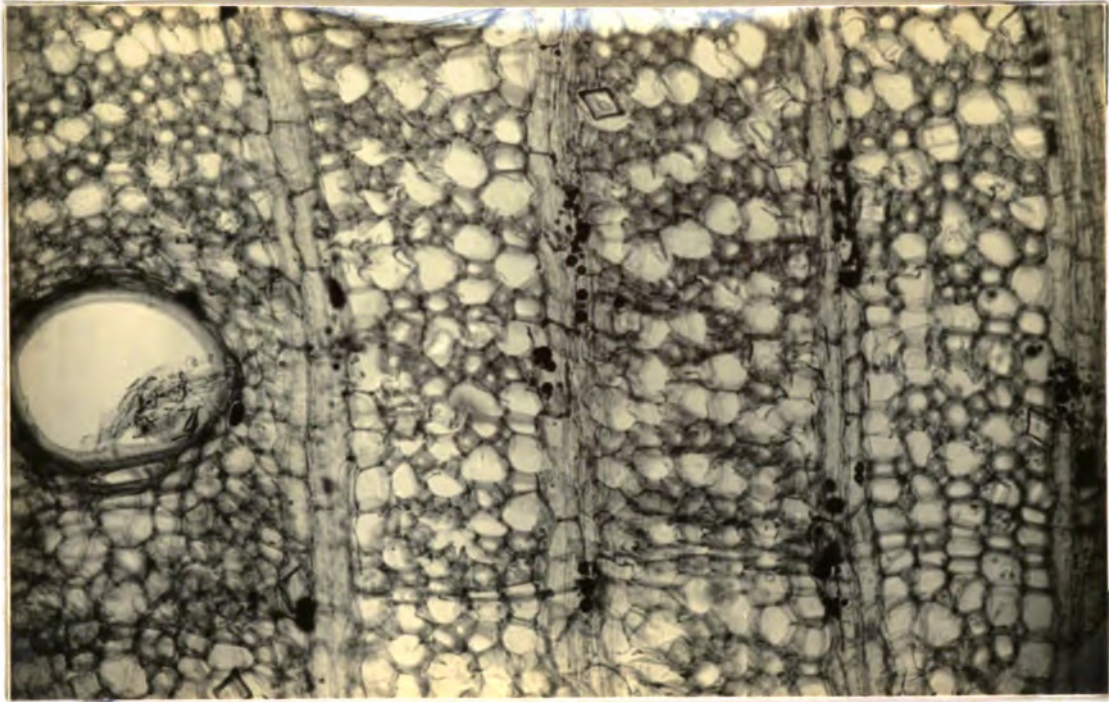
Porosidad: Difusa.

Poros: Claramente visibles a simple vista; escasos y muy espaciados entre sí; de tamaño variable y de distribución uniforme, en promedio de tamaño grande; la mayoría solitarios, algunos en múltiples radiales, generalmente de 2-9 poros, en su mayoría abiertos. Diámetro tangencial: entre 77 u y 416 u; promedio, 262 u. Número por mm<sup>2</sup>: 2 en promedio.

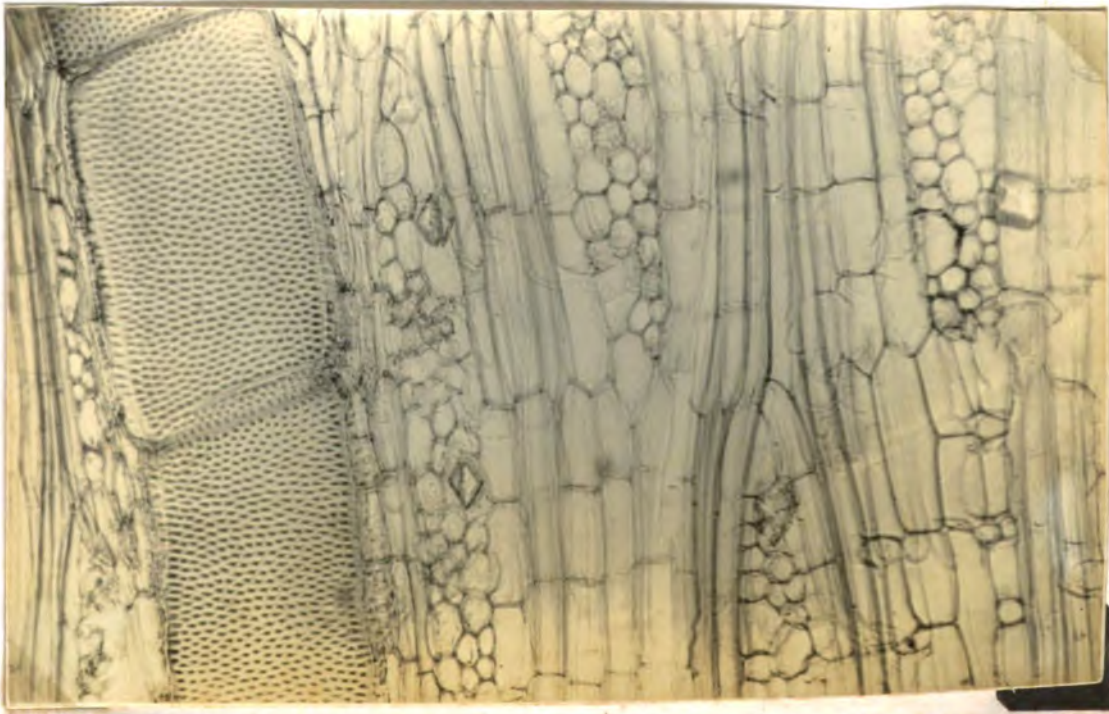
Segmentos vasculares: Cortos y de largo mediano; tabiques oblicuos; con perforaciones, alternas con la apertura interna incluida; de tamaño, desde medianas a muy grandes, con un diámetro promedio de 12 u.

Parénquima: Muy abundante, en mayor proporción que las fibras; no es fácilmente visible aún con lupa y son inconspicuos en las superficies a causa de su color; angostamente vasicéntrico, pero predominantemente metatraqueal en líneas tangenciales intercaladas con hileras de fibras; punteaduras hacia los vasos, grandes, alargadas horizontalmente, con disposición escaliforme, con un diámetro promedio de 14 u.

Radios: Visibles a simple vista; de ancho muy variable, desde finos hasta anchos; escasos y espaciados entre sí; ligeramente sinuosos al bordear los poros; algunos con depósitos gomosos. Sección radial.—Claramente visibles a simple vista; más



A



B

Fot. 12. Ceiba pentandra L.: Fotomicrografías de la estructura anatómica de la madera. A, corte transversal; B, corte longitudinal tangencial, con 80x.



oscuros que el resto del tejido; con gran cantidad de cristales (cuadrados y romboides); escasos depósitos gomosos; las punteaduras hacia los vasos, grandes, alargadas horizontalmente con disposición escaleriforme. Sección tangencial.-Visibles a simple vista; de forma fusiforme; más oscuras que el resto del tejido; de altura muy variable, desde muy bajos hasta muy altos; contienen cristales (romboides generalmente).

Clasificación de Kribs: Radios heterogéneos tipo II, predominando el tipo III. Anchura: de 31 u a 154 u; promedio, 75 u; de 1 a 6 células, promedio 3 células de ancho. Altura: de 88 u a 2.376 u; promedio, 1.086 u; de 2 a 56 células; promedio, 24 células de alto.

Fibras: Liberiformes, muy escasas, en hilceras tangenciales de 1 a 2 células de ancho; con punteaduras, simples o indistintamente areoladas; septadas; largas y de paredes delgadas.

Estratificación de los elementos: Con disposición estratificada de las células componentes del parénquima longitudinal en series.

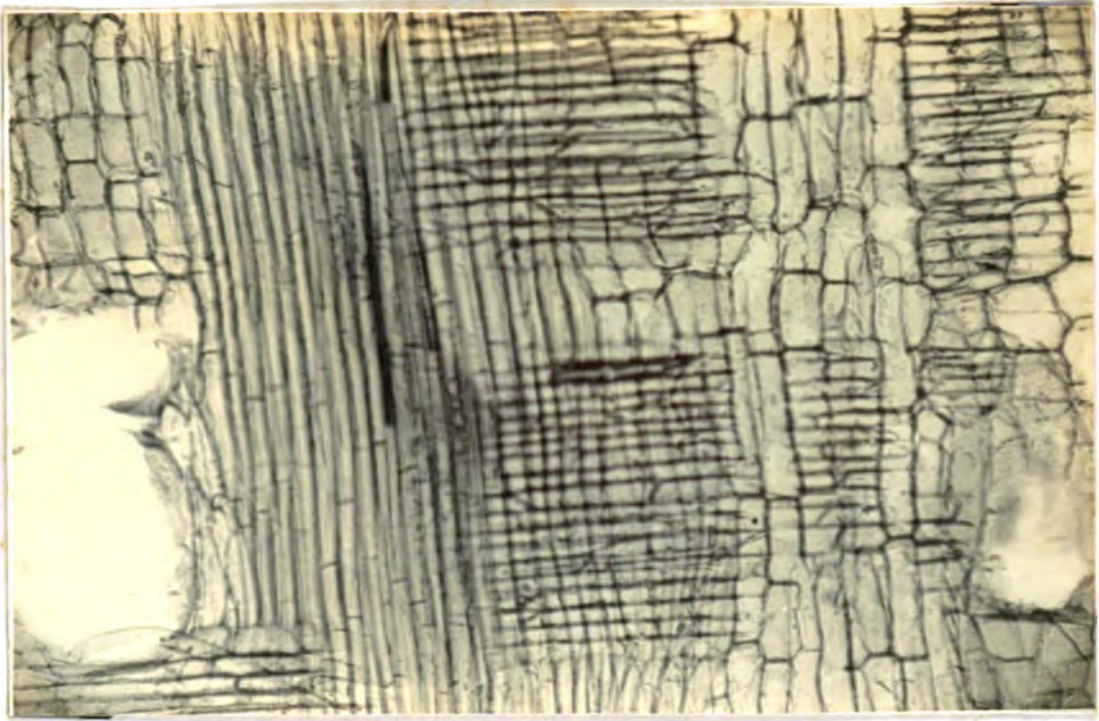
Conductos gomíferos: Ausentes.

#### GUAREA TRICHILIOIDES L. Fot. 13B-14

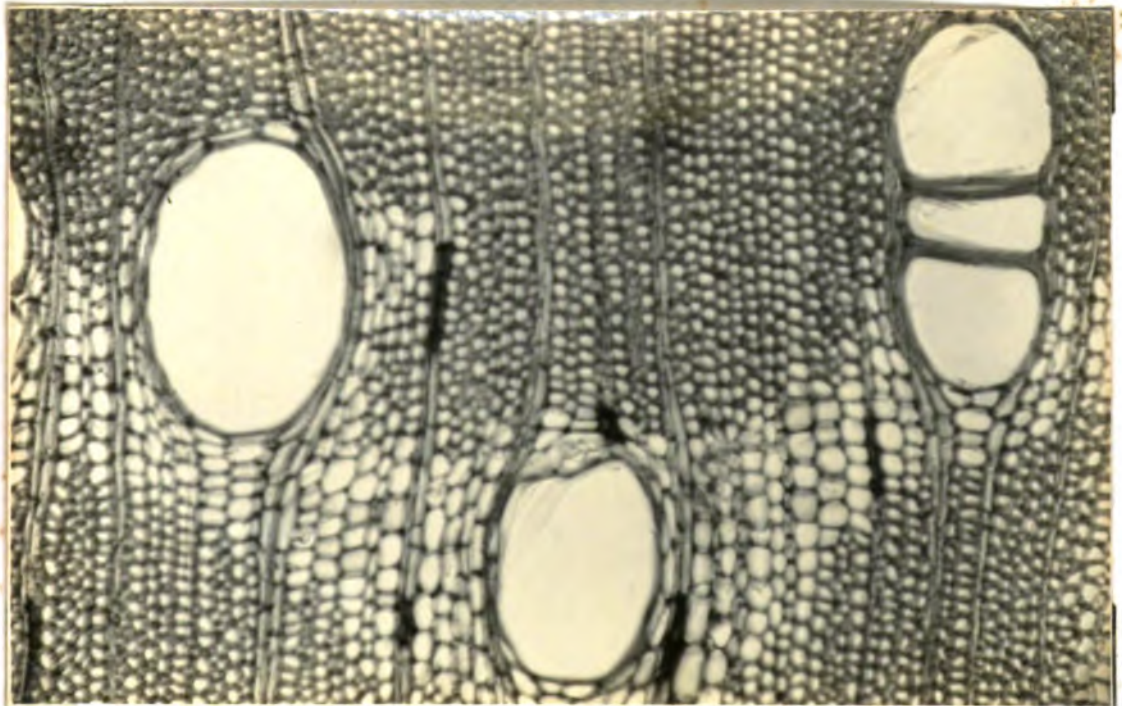
Anillos: Visibles a simple vista, pero algo indistintos; indicados por bandas angostas un poco más densas y de un color ligeramente más oscuro.

Porosidad: Difusa.

Poros: Claramente visibles a simple vista; poco o moderadamente numerosos; de tamaño variable y de distribución bastante uniforme (en promedio son de tamaño mediano); solitarios, en múltiples radiales generalmente de 2 ó 3 poros y, muy rara vez, en pequeñas agrupaciones arracimadas; con cierta tendencia hacia



A



B

Fot. 13. Fotomicrografías de la estructura anatómica de la madera. A, Ceiba pentandra L. corte longitudinal radial, con 80x. B, Guarea trichilioides L. corte transversal, con 80 x.

la disposición diagonal o hacia la disposición ondulada tangencial; en su mayoría abiertos.

Diámetro tangencial: entre 58 u y 177 u; promedio: 126 u.

Número por mm<sup>2</sup>: como promedio, 6.

Segmentos vasculares: Cortos y de largo mediano; de tabiques oblicuos; con perforaciones simples; punteaduras intervasculares diminutas, con un diámetro promedio de 3 u; algunos con depósitos gomosos.

Parénquima: Abundante y claramente visible a simple vista; vasocéntrico, de 1 a 3 células de ancho, pero predominantemente a potraqueal confluyente-aliforme y confluyente en bandas onduladas tangencialmente de 4 a 9 células de ancho.

Radios: Apenas visibles a simple vista; desde finos hasta muy finos; numerosos; de curso bastante sinuoso especialmente al bordear los poros. Sección radial.-Visibles a simple vista según el ángulo de reflexión de la luz; de color ligeramente más oscuro que el tejido fibroso; bajos a muy bajos.

Clasificación de Kribs: radios heterogéneos Tipo III.

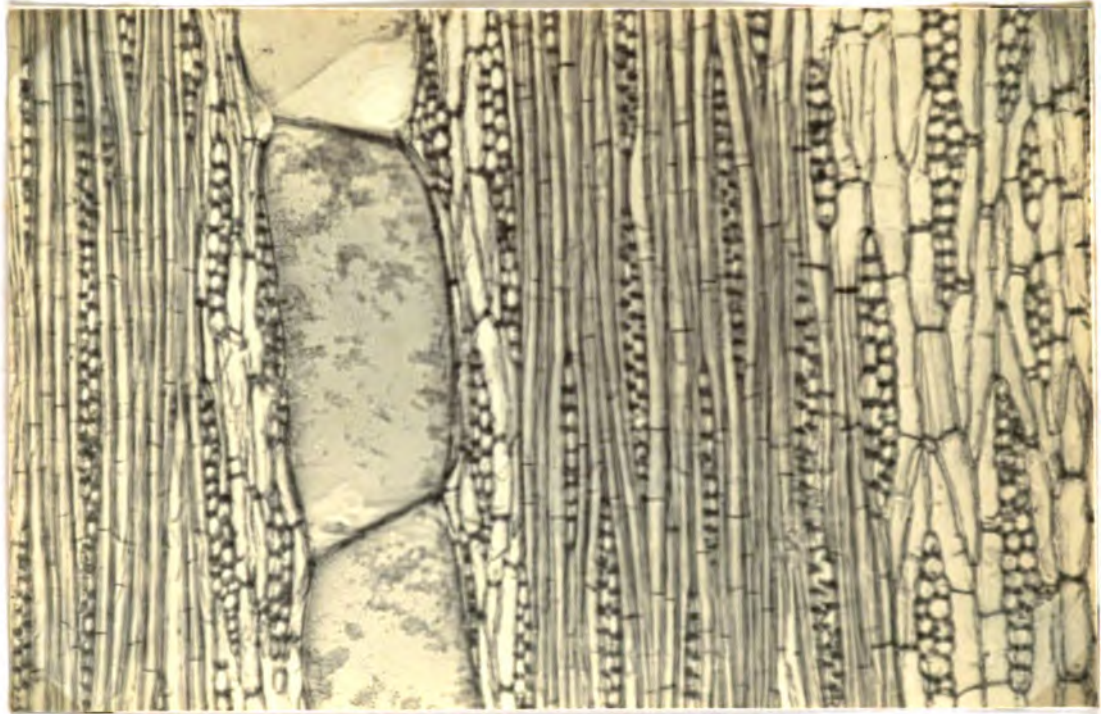
Anchura: de 1 a 3 células de ancho; la mayoría biseriados.

Altura: generalmente menos de 25 células de alto.

Fibras: Libriformes con punteaduras pequeñas a muy pequeñas, simples o indistintamente arcoladas; septadas; de paredes medianas.

Estratificación de los elementos: Ausente.

Conductos gomíferos: Ausentes.



A



B

Fot. 14. Guarea trichilioides L. Fotomicrografías de la estructura anatómica. A y B, cortes longitudinales tangencial y radial respectivamente, con 80x.

## B. Propiedades mecánicas.

Al comienzo se tenía planeado el estudio de las propiedades mecánicas de dos maderas: Ceiba pentandra y Guarea trichilioides. A causa de la demora en el trayecto (Lima, Mérida), las muestras de la primera resultaron con un fuerte ataque de hongos. Por este motivo el trabajo se limitó al estudio anatómico de las dos especies y a la determinación de las propiedades físico-mecánicas de Guarea trichilioides (Requia).

Para completar el estudio de las dos maderas se recurrió a la obtención de datos físicos y mecánicos de estudios efectuados en los laboratorios de la Universidad de Yale (E.U.A.), Universidad de Michigan (E.U.A.), Universidad de Los Andes (Venezuela) y del Instituto Forestal Latinoamericano.

Los valores de resistencia obtenidos para Guarea trichilioides (Requia), corresponden a un contenido de humedad de aproximadamente 13 %. Se obtuvo esta condición secando al aire durante cinco meses y, luego, 90 horas en estufa a una temperatura de 49°C y 55 % de humedad relativa.

El cálculo de las propiedades mecánicas se efectuó mediante fórmulas especiales (anexo N° 5), para cada uno de los ensayos realizados en las distintas pruebas. Los valores expuestos en el Cuadro N° 2, corresponden al promedio del número total de ensayos en cada una de las pruebas.

C. Propiedades físicas.

Ceiba pentandra\*    Guarea trichilioides

1. Peso específico. (Con relación al peso seco al horno)

Volumen verde.....	0,25	0,47**
Volumen seco al aire... --		0,49
Volumen seco al horno..	0,27	0,53

2. Contracción. (Desde verde hasta seco al horno y en relación a dimensión verde).

Radial.....	2,1 %	10,4 % **
Tangencial.....	4,1 %	3,2 % **
Volumétrica.....	7,7 %	6,3 % **

2. Ajuste de los valores promedios de resistencia a un contenido de humedad del 12%.

El contenido de humedad de la madera, es uno de los factores más importantes que influyen sobre las propiedades mecánicas. La resistencia de la madera, es inversamente proporcional al contenido de humedad, así por ejemplo la resistencia en compresión es aproximadamente dos veces mayor para un contenido de humedad de 12 %, comparado con la madera verde y al 5 % es algunas veces el triple (24). El aumento de resistencia no comienza sino hasta cuando se haya alcanzado el punto de saturación de las fibras, el cual es aproximadamente del 30 %. Este punto se logra cuando el agua libre de las cavidades celulares ha sido evaporada y las paredes celulares se encuentran todavía saturadas.

\* Valores obtenidos en la Universidad de Yale (E.U.A.).

\*\* Valores obtenidos en la Universidad de Michigan (E.U.A.).

Los valores promedios de resistencia obtenidos corresponden a un contenido de humedad del 13 %. Para obtener los valores a un contenido de equilibrio con el medio ambiente (madera seca al aire), fué necesario ajustarlos para un contenido de humedad del 12 %. (cuadro N° 2).

Para este propósito se emplearon los porcentajes en que son afectadas las diferentes cualidades mecánicas por cada porcentaje de variación en el contenido de humedad. Estos porcentajes que exponemos más adelante, fueron determinados por el Laboratorio de Productos Forestales de los E.U.A. y son utilizados para fines prácticos, por lo que los resultados que se obtengan serán aproximados.

Porcentajes de aumento o disminución para distintas propiedades mecánicas por la disminución o aumento del 1 % en el contenido de humedad\*.

<u>Propiedades mecánicas</u>	<u>Cambio por 1% de variación de C.H.</u> (%)
<u>Flexión estática.</u>	
Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional.....	5
Módulo de ruptura.....	4
Módulo de elasticidad.....	2
Trabajo hasta el límite proporcional.....	8
Trabajo hasta la carga máxima..	0,5
<u>Compresión paralela al grano.</u>	
Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional.....	5
Máxima resistencia a la compresión.....	6

\* Wood Handbook N° 72 Forest Products Laboratory. p. 84.

	Cambio por 1% de variación de C.H. (%)
<u>Compresión perpendicular al grano.</u>	
Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional.....	5,5
<u>Cizallamiento</u> (corte paralelo).....	3
<u>Tensión perpendicular al grano</u> .....	1,5
<u>Dureza</u> (Janka)	
Cara transversal.....	4
Cara lateral.....	2,5

### 3. Cálculo de los coeficientes de trabajo.

Los valores promedios de resistencia obtenidos (Cuadro N° 2), son representativos de las muestras en condición seca al ai re y libre de defectos. Estos valores numéricos no pueden usarse directamente en los cálculos de miembros estructurales, sino que es necesario reducirlos convenientemente para obtener los coeficientes de trabajo. Esto se explica por la variabilidad de la madera, duración de la carga y la sobrecarga accidental a que están sometidas en la práctica los miembros estructurales.

Variabilidad. En los diferentes ensayos de cada prueba, podemos observar una gran diferencia en los resultados. Esto se de be a que la estructura celular de la madera no es totalmente homogénea. Esta variación aumenta cuando se trata de miembros de mayores dimensiones a las utilizadas para los ensayos de la boratorio, los cuales están libres de toda clase de defectos. La diferencia de los valores de resistencia se presenta de un árbol a otro y aún dentro de una misma pieza, según el mayor o menor contenido de sustancia leñosa, determinante de las propiedades de resistencia.

Duración de la carga. En el laboratorio, las muestras fueron sometidas a cargas aplicadas lentamente y durante un corto tiem



Propiedades mecánicas en condición verde y seca al aire de  
Guarea trichilloides y Celba pentandra.

	Guarea trichilloides L.			Celba pentandra L.		Unidades
	C.H. 13% (1)	C.H. 13% (2)	C.H. 12% (3)	Condición verde (4)	C.H. 13-18% (5)	
<u>Flexión estática</u>						
1. Esfuerzo en el límite proporcional.	370	468	494	99	205	Kg/cm <sup>2</sup>
2. Módulo de ruptura.	564	750	783	153	304	"
3. Módulo de elasticidad.	94000	104200	106470	29000	37900	"
4. Trabajo hasta el límite proporcional.	0.81	1.2	1.26	0.20	0.63	m Kg/cm <sup>3</sup>
5. Trabajo hasta la carga máxima.	4.5	4.68	4.7	0.80	1.97	"
<u>Compresión paralela</u>						
6. Esfuerzo en el límite proporcional.	236	297	308	55	111	Kg/cm <sup>2</sup>
7. Resistencia máxima en compresión.	286	372	388	75	167	"
8. Módulo de elasticidad.	85000	128680	130490	32000	42200	"
<u>Dureza tecnológica</u>						
9. Cara transversal.	444	472	492	113	159	Kgs
10. Cara lateral	435	353	362	98	109	"
<u>Compresión perpendicular</u>						
11. Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional.	57	61	67	7	22	Kg/cm <sup>2</sup>
12. Tensión perpendicular	51	30	31	12	18	"
13. Cizallamiento (corte paralelo)	85	89	92	25	39	"
14. Clivaje	53	65	65 *	20	23	Kg/cm
15. Tenacidad	-	2.6	2.6 *	0.27	-	Kg m /muestra

(1) Valores promedios de una rola obtenidos en la Universidad de Michigan con madera de Venezuela.

(2) (3) Valores promedios de cinco rolas obtenidos en Mérida, con madera procedente del Perú.

(4) (5) Valores promedios de tres rolas obtenidos en la Universidad de Yale (E.U.A) con madera de Venezuela.

\* Valores no ajustados a 12%

po. En la práctica, los miembros estructurales están sometidos a cargas durante períodos largos y bajo estas condiciones los miembros resisten menos a los valores obtenidos en los ensayos de laboratorio. En investigaciones realizadas en el Laboratorio de Productos Forestales de los E.U.A., determinaron que el módulo de ruptura de maderas sometidas a la acción de una carga continua durante un año, fué sólo el 70% del obtenido mediante ensayos de laboratorio. R.H. Thurston y J.B. Johnson, hicieron pruebas en relación con estos aspectos y llegaron a la siguiente conclusión: "No es seguro cargar las estructuras de madera con cargas que impongan a este material esfuerzos superiores al 60% de los que puede resistir en pruebas rápidas hechas con las máquinas de ensayo".

Sobrecarga accidental. En los diseños estructurales se tienen en cuenta varios tipos de cargas que influyen su resistencia. Entre ellas se tiene el peso de la estructura (carga permanente) y las sobrecargas accidentales (viento, impacto y otras fuerzas vivas).

En base a estos factores que influyen en la resistencia de los miembros estructurales, se determinan los factores de seguridad para cada clase de esfuerzo a que está sometida la madera (cuadro N° 3).

Los factores de seguridad empleados en la determinación de los coeficientes de trabajo, corresponden a las normas Colombianas\* y Venezolanas\*\*. Los factores de las normas Colombianas, son recomendados para cuando las maderas se usen en construcciones bajo cubierta y cuando se emplee material no seleccionado.

\* Resistencia de maderas colombianas por los Ings. Elías Robledo Uribe y Fabio Robledo Uribe. Bogotá - 1953.

\*\* Normas para el Cálculo de Edificios 1955. Caracas - Venezuela.

Cuadro No. 3

Factores de Seguridad según las normas  
Colombianas y Venezolanas

E n s a y o s	Colombianas * (condición de la madera)		Venezolanas
	seca **	verde	condición verde
Flexión estática	10.5	8	15
Compresión paralela	6.7	5.2	8
Compresión perpendicular	2.6	2.0	2.5
Cizallamiento paralelo	9.0	6.9	7
Cizallamiento perpendicular	9.0	6.9	-
Cizallamiento horizontal	4.5	3.45	-

\* Factores de seguridad recomendados para las maderas cuando se usen en construcciones bajo cubierta y cuando se emplee material no seleccionado.

\*\* Condición de la madera seca al aire, con un contenido de humedad del 12%.

Los coeficientes de trabajo para Guarea Trichilioides (Requia), presentados en el cuadro N° 4, se calcularon dividiendo los valores promedios de resistencia (cuadro N° 2) en condición verde y seca al aire por los factores de seguridad de cada uno de los esfuerzos a que está sometida la madera.

Cuadro No. 4

Coefficientes de trabajo de Guarea trichiloides "Regula", deducidos de los valores promedios de resistencia en condición verde y seca al aire.

E n s a y o s	Resistencias promedias Kg/cm <sup>2</sup>		Coeficientes de Trabajo *		Coeficientes de Trabajo **
	Verde (1)	Seca (2)	Verde	Seca	
Flexión (mód. de ruptura).	564	783	70	74	40
Compresión paralela.	286	388	55	58	35
Compresión perpendicular.	57	61	28	23	25
Cizallamiento paralelo.	85	92	12	10	10
Cizallamiento perpendicular.					

\* Los valores corresponden a los factores de seguridad según las normas Colombianas.

\*\* Los valores corresponden a los factores de seguridad según las normas Venezolanas.

(1) Contenido de humedad 13%

(2) Contenido de humedad 12%

## CAPITULO V

### 1. Interpretación de los resultados.

#### CEIBA PENTANDRA: L. "LUPUNA"

- A. Aspecto general de la madera. Las características externas, como el color marrón grisáceo claro, la textura gruesa, el lustre bajo y el grano variado, le dan a la madera una apariencia ordinaria sin valor decorativo necesario para ciertos usos. En la superficie radial presenta sin embargo, un jaspeado característico, formado por los radios claramente visibles a simple vista por el color más oscuro que el resto del tejido.
- B. Estructura anatómica. Como se puede observar en la descripción anatómica, la madera posee poros grandes, abiertos y con abundante parénquima en mayor proporción que las fibras. Estas cualidades hacen que la madera sea moderadamente esponjosa, altamente higroscópica y de una resistencia extremadamente baja a la pudrición y al ataque de insectos. Posee fibras largas, con paredes delgadas y lúmenes de diámetro relativamente amplio; estas cualidades la clasifican en el segundo grupo de la relación Runkel. El tejido fundamental está formado por elementos pequeños (parenquimáticos y segmentos de vasos). Por todas estas características anatómicas, la madera podría emplearse en la manufactura de pulpa y papel.

Investigaciones realizadas en Hamburgo por Runquel,\* sobre la influencia de los elementos pequeños en la constitución química y física del papel, se obtuvieron conclusiones que demuestran que el parénquima y otras células pequeñas, en vez de causar una influencia perjudicial en la calidad del papel obtenido, le dan más bien

\* Seelkopf, C. y otros. 1958. Investigación acerca de la posibilidad de obtener pulpa y papel a partir de algunas plantas venezolanas. Revista Forestal Venezolano 1:43-144.

ciertas excelentes cualidades, especialmente en lo que a adhesión se refiere, además de haberse comprobado que la longitud de las fibras tiene poca importancia en lo que se refiere a la mayoría de las propiedades físicas del papel. Este hecho podríamos confirmarlo con los resultados obtenidos en los ensayos efectuados\* con especies de Cecropia riparia Warb "Yagrumo", Solanum sp. "Tuno Blanco", Bursera simaruba Sarg. "Indio desnudo", y Ochroma lagopus Sw.; todas estas especies tienen iguales características a la Ceiba pentandra L. "Lupuna". No obstante la cortedad de las fibras de las primeras especies mencionadas, se obtuvieron papeles de prueba con propiedades comparables a los provenientes de pulpa de coníferas.

- C. Propiedades mecánicas. Como puede observarse en el cuadro N° 1, los valores de resistencia son relativamente bajos.

Con el secado al aire, la madera presenta un notable aumento en la mayoría de sus propiedades. Todos los valores de resistencia en flexión y compresión, lo mismo que en compresión y tensión perpendicular al grano y corte paralelo aumentaron proporcionalmente, solamente en dureza presenta un grado inferior de mejora. La Lupuna es aproximadamente dos veces más dura que el Balso (Ochroma lagopus); seca al aire es considerablemente más fuerte que el Balso en todos los aspectos. La madera se caracteriza por sus propiedades en flexión y compresión paralela que son aproximadamente dos veces mayor, mientras que la dureza y compresión perpendicular son tres o más superiores a las del Balso (17).

\* Laboratorio de pulpa y papel de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

- D. Propiedades físicas. El peso específico promedio es de 0,25 (0,22-0,30) basado en el volumen verde y peso al horno. Aunque se clasifica como madera excesivamente liviana, presenta un aspecto áspero y fuerte, bastante diferente del Balso, que parece blando y sedoso. La contracción volumétrica (7,7 %) es igual que la Caoba; sin embargo la relación entre la contracción tangencial y la radial es considerablemente mayor (17).
- E. Propiedades de carpintería. La Lupuna se puede trabajar fácilmente. En las máquinas se comporta defectuosa debido a la calidad de las superficies producidas. Esta madera puede aserrarse sin dificultad a lo largo del grano pero en sentido transversal produce superficies vello-sas. Se requiere mucho cuidado para taladrarla, a fin de evitar el grano quebrado. Las superficies cepilladas son regulares (17). Los clavos y tornillos entran muy bien, con una simple presión, pero con la misma facilidad se sacan. El barnizado es prácticamente imposible. Se encola bien, aunque absorbe mucha cola (5).
- F. Propiedades de secado y durabilidad. La Lupuna seca sin ninguna dificultad. Casi no se presentan grietas o torceduras, pero se advierte la presencia de pudrición tanto en la albura como en el duramen.

El Laboratorio de Productos Forestales e Investigación de Inglaterra\*, recomienda el secado en estufa de la Ceiba pentandra el horario "J", que se presenta en el anexo N° 6. Sería necesario ensayar para hallar su mejor comportamiento con los horarios del Laboratorio de Productos Forestales de Madison\*\*. Entre los posibles en

\* Forest Products and Research Laboratory. Princes Risborough England.

\*\* Forest Products Laboratory. Madison, Wisconsin (E.U.A.). Report N° 1091.



cuanto a temperatura, están T9 y T10; en cuanto a humedad E5 y E6.

Esta madera es reconocida como de resistencia extremadamente baja a la pudrición y al ataque de insectos. Las rolas que no se retiran rápidamente del bosque una vez cortadas, se decoloran y se pudren con bastante facilidad. Los ensayos de laboratorio la clasifican como no resistente a la pudrición blanca, sin embargo resultó muy durable con respecto a la pudrición marrón (17). Por el contrario, las muestras recibidas fueron atacadas por la última, en el trayecto por vía marítima desde Lima a Mérida.

#### GUAREA TRICHILIOIDES L. (Requia)

- A. Aspecto general de la madera. Sus características externas, como el color castaño rosáceo, veteadado suave, lustre mediano a alto, grano recto y textura mediana, le dan a la madera una apariencia atractiva. En razón a los caracteres estéticos, la madera puede emplearse en aquellos usos que necesitan un cierto grado de valor decorativo u ornamental en la madera. Algunos especímenes difieren ligeramente sobre todo con la Caoba de crecimiento rápido, en lo que se refiere al lustre y textura y en las otras características externas son comparables con ella. El Cedro (Cedrela mexicana) posee las mismas características externas que la Requia.
- B. Estructura anatómica. Como podemos observar en la descripción anatómica, la madera posee poros de tamaño mediano, poco numerosos, y el parénquima en menor proporción que las fibras. Estas características le dan a la madera una buena consistencia y mayor resistencia al ataque de hongos e insectos. La Requia difiere de la Caoba, en que esta última posee parénquima terminal, estruc

tura estratificada, y en sus elementos anatómicos se encuentran goma de color rojo, características que le dan a la Caoba mejor apariencia.

C. Propiedades físicas. La Requia se clasifica como una madera de dureza mediana y moderadamente pesada, comparable a la Caoba y al Cedro (Cedrela Tonduzii), con peso específico de 0,47 basado en peso seco al horno y volumen verde. En comparación con maderas de densidad similar, la Requia presenta una contracción relativamente baja. Los valores de contracción radial (3,2 %) y tangencial (6,3 %), indican una contracción desuniforme en estas dos direcciones, en contraste con la Caoba que es excepcionalmente uniforme, siendo la relación entre la contracción tangencial y contracción radial menor que la Caoba.

D. Propiedades mecánicas. La mayoría de las propiedades mecánicas de la Requia son más o menos normales con respecto a su peso específico. Todas las funciones de flexión y compresión, presentan un aumento notable en los ensayos en condición seca al aire con relación a los valores hallados en condición verde (cuadro N° 2). Es también de notar el efecto relativamente bajo del secado, sobre la dureza, cizallamiento, tensión y clivaje.

Las propiedades mecánicas de la Requia son bastante similares a la Caoba, con excepción del esfuerzo al límite proporcional en flexión y la resistencia máxima en compresión, que son moderadamente inferiores en la Requia (cuadro N° 5). Los valores de resistencia en flexión y compresión paralela al grano son ligeramente inferiores al Cedro (Cedrela Tonduzii), con excepción del módulo de elasticidad en flexión y compresión que son apreciablemente mayores en la Requia. En lo que respecta a la du-

	Guarea trichilloides L.			Swietenia <u>macrophylla</u> (3) C.H. 11.3%	Cordia <u>alliodora</u> (4) 12.3% C.H.	Unidades
	C.H. 12% Mérida (1)	C.H. 12% E.U.A (2)	Promedio			
<u>Flexión estática</u>						
1. Esfuerzo en el límite proporcional.	494	439	466	566	574	Kg/cm <sup>2</sup>
2. Módulo de ruptura.	783	804	794	842	856	"
3. Módulo de elasticidad	106470	113000	109970	106000	106000	"
4. Trabajo hasta el límite proporcional.	1.26	0.96	1.11	1.63	1.92	m Kg/cm <sup>3</sup>
5. Trabajo hasta la carga máxima.	4.7	7.0	5.85	6.0	6.89	"
<u>Compresión paralela</u>						
6. Esfuerzo en el límite proporcional.	308	315	312	358	354	Kg/cm <sup>2</sup>
7. Resistencia máxima en compresión.	388	442	415	491	445	"
8. Módulo de elasticidad.	130490	114000	122240	108000	111000	"
<u>Dureza tecnológica</u>						
9. Cara transversal	492	540	516	483	476	Kgs
10. Cara lateral	362	363	363	388	367	"
<u>Compresión perpendicular</u>						
11. Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional.	67	59	63	67	58	Kg/cm <sup>2</sup>
12. Tensión perpendicular	31	53	42	48	34	"
13. Cizallamiento (corte paralelo)	92	87	89	89	86	"
14. Clivaje	65	55	60	60	41	Kg/cm

(1) Valores promedios de 5 rolas, obtenidos en Mérida con madera procedente del Perú.

(2) Valores promedios de 1 rola, obtenidos en la Universidad de Michigan con madera de Venezuela.

(3) Valores promedios de 9 rolas, obtenidos en la Universidad de Yale y Michigan (E.U.A) con madera procedente de México, Nicaragua, Perú, Brasil y América Central.

reza, compresión perpendicular, cizallamiento y clivaje, son ligeramente mayores en la Requia. La mayoría de los valores de resistencia, especialmente el módulo de elasticidad en flexión y compresión paralela son mayores comparados con el Cedro (Cedrela Huberi), con excepción del trabajo a la carga máxima en flexión y del esfuerzo al límite proporcional en flexión y compresión paralela al grano (cuadro N° 6). La Requia clasificada por sus propiedades como de peso y resistencia medianos y además, por tener propiedades mecánicas similares a la Caoba y al Cedro, posee un amplio radio de utilidad.

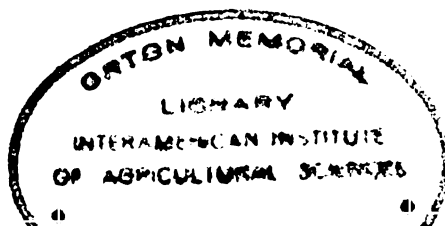
E. Propiedades de secado. La Requia se podría considerar como relativamente fácil de secar al aire. Las muestras de ensayos que fueron secadas durante cinco meses, el contenido de humedad descendió del 48 % al 16 % aproximadamente. Durante este período no se observó grietas, torceduras ni ataque de hongos e insectos. Durante el secado en estufa, se controló la caída de humedad de la madera según el horario TIA3\* de condiciones moderadas. De los resultados obtenidos se deduce:

1. En 90 horas de secado, el contenido de humedad bajó de 16 % a 13 % en promedio.
2. Se observó la presencia de leves defectos, como grietas radiales y acanalamiento.

De ensayos efectuados en Mérida\*\* en horarios de secado en estufa, T5 - E4; T7 - E4, se deduce lo siguiente:

\* Accelerated Kiln Schedules. Report N°. 1901. Forest Products Laboratory. Madison, Wisconsin (E.U.A.)

\*\* Laboratorio de Tecnología de Maderas de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.



Comparación de las propiedades mecánicas de Guarea trichillifoides L.  
con dos especies de Cedrele. En condición seca al aire.

	Guarea trichillifoides L.			Cedrele Rubert (4) 12% C.H.	Cedrele Tondual (3) C.H. 12%	Unidades
	C.H. 12% Mérica (1)	C.H. 12% E.U.A (2)	Promedio			
<u>Flexión estática</u>						
1. Esfuerzo en el límite proporcional.	494	439	466	511	555	Kg/cm <sup>2</sup>
2. Módulo de ruptura.	783	804	794	790	806	"
3. Módulo de elasticidad.	106470	113000	109970	99300	101000	"
4. Trabajo hasta el límite proporcional.	1.26	0.96	1.11	1.98	1.74	m Kg/cm <sup>3</sup>
5. Trabajo hasta la carga máxima.	4.7	7.0	5.85	8.86	6.67	"
<u>Compresión paralela</u>						
6. Esfuerzo en el límite proporcional.	308	315	312	368	359	Kg/cm <sup>2</sup>
7. Resistencia máxima en compresión.	388	442	415	420	434	"
8. Módulo de elasticidad.	130490	114000	122240	102 000	107700	"
<u>Dureza tecnológica</u>						
9. Cara transversal.	492	540	516	359	427	Kgs
10. Cara lateral.	362	363	363	259	273	"
<u>Compresión perpendicular</u>						
11. Esfuerzo de la fibra en el límite proporcional.	67	59	63	50	46	Kg/cm <sup>2</sup>
12. Tensión perpendicular	31	53	42	27 *	26 *	"
13. Cizallamiento (corte paralelo)	92	87	89	84	77	"
14. Clivaje	65	55	60	45 *	41 *	"
15. Tenacidad	-	-	-	-	-	Kg/cm

(1) Valores promedios de 5 rolas obtenidos en Mérida con madera proveniente del Perú.

(2) Valores promedios de 1 rola obtenidos en la Universidad de Michigan con madera de Venezuela.

(3) (4) Valores obtenidos en la Universidad de Yale con madera de Panamá y del Brasil respectivamente.

\* Corresponden a un contenido de humedad de 16.4 (no ajustados a 12%).

1. El horario T5-E4 con muestras de 2,5 cm de espesor, resultó recomendable.
  2. Con el horario T7-E4, de condiciones más altas y empleando muestras de 2 cm de espesor, se logró acelerar el secado y no se presentaron defectos de consideración.
  3. Como las muestras son de 2 cm de espesor, los resultados no son válidos para relacionar con el ensayo anterior con tablas de 2,5 cm de espesor. Sin embargo, estas condiciones sirven para tablillas de 2 cm y menos de espesor.
- F. Propiedades de carpintería. Según las observaciones efectuadas durante la preparación de las probetas de ensayos, la madera posee buenas cualidades de trabajo en la sierra, cepillo, taladro, lijado, y obtiene un buen acabado.

### CONCLUSIONES

1. La Ceiba, posee fibras largas, de paredes gruesas y lúmenes de diámetro relativamente amplio (segundo grupo de la relación Runkel), con abundantes elementos pequeños (parenquimáticos y segmentos de vasos) que forman el tejido fundamental.
2. Las características anatómicas indican, que la madera podría utilizarse en la manufactura de pulpa y papel con buenos resultados.
3. La Ceiba secada convenientemente en estufa se puede usar para cajas de embalaje, huacales, juguetes y construcción liviana, por su facilidad en el trabajo y en el secado y por el aumento de la mayoría de sus valores de resistencia con el secado.
4. La lana que envuelve las semillas de Ceiba, conocida en el comercio como Kapok, está constituida de fibras que poseen la propiedad de ser impermeables, por lo cual flotan fácilmente. Por tales cualidades el Kapok se emplea en la manufactura de boyas, cinturones y chaquetas salvavidas y especialmente como material de relleno de cojines, almohadas, colchones, amortiguadores y otros usos similares.
5. La Requía se clasifica como una madera de dureza mediana y moderadamente pesada comparable con la Caoba y el Cedro (Ceurela Tonduzii).
6. La Requía difiere de la Caoba en algunas características externas. A pesar de no tener una textura fina, grano homogéneo y el color de la Caoba, es similar en sus propiedades mecánicas.
7. La madera se comporta muy bien durante el secado y en la mayoría de las máquinas de carpintería.

8. Los usos de la Requia pueden ser: revestimiento interior, muebles, marcos de ventanas, puertas, paneles, contrachapeado, útiles de cocina, chapas y pisos. Tiene un amplio campo de utilidad por sus propiedades similares a la Caoba, y por el hecho de que la Requia ya ha sido como sustituto de dicha madera en algunos de sus usos.



RESUMEN

"Los estudios que aquí se presentan fueron hechos para determinar la estructura anatómica y las propiedades físico-mecánicas de dos maderas del Perú, Ceiba pentandra L. "Lupuna" y Guarea trichilioides L. "Requia"

Los trabajos se efectuaron en el Laboratorio de Tecnología de Maderas de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, con muestras procedentes de un bosque tropical seco, ubicado en las márgenes del río Ucayali, perteneciente a la Provincia de "Coronel Portillo", Departamento Loreto-Perú.

El sistema empleado en la recolección y preparación de las muestras y en la determinación de las propiedades físico-mecánicas, corresponde a las normas adoptadas por la "American Society for Testing Materials" (ASTM). Las propiedades de la madera en condición seca al aire determinadas según estas normas comprenden: flexión estática, compresión paralela y perpendicular al grano, dureza tecnológica, cizallamiento, tensión perpendicular al grano, clivaje, tenacidad, peso específico, contracción volumétrica y contenido de humedad.

El contenido de humedad de la madera es uno de los factores más importantes que influyen sobre la resistencia mecánica. Los valores de resistencia obtenidos en el laboratorio, corresponden a un contenido de humedad del 13 %. Para fines comparativos, fué necesario ajustar estos valores para un contenido de humedad del 12 %."

Los valores promedios de resistencia obtenidos para Requia, se compararon con los valores correspondientes a las especies de Swietenia macrophylla "Caoba", Cedrela Tonduzii y Cedrela Huberi "Cedro". Los valores correspondientes a Lupuna se compararon con Ochroma lagopus "Balso".

La fijación de los coeficientes de trabajo en los materiales de construcción es asunto fundamentalmente de interés económico, porque es únicamente aplicando los coeficientes apropiados que se aprovecharán los materiales al máximo prudencial de su capacidad de resistencia, evitándose con esto el empleo de un exceso de material y por otra parte se podrá dar a todos los elementos de una construcción las dimensiones que deben tener para que ésta ofrezca la debida estabilidad y solidez. Teniendo en cuenta estas consideraciones, se calcularon los coeficientes de trabajo para Guarea trichilioides (Requia), con los factores de seguridad recomendados por las normas Colombianas y Venezolanas.

De los estudios realizados se llegó a las siguientes conclusiones:

1. La Ceiba, posee fibras largas, de paredes gruesas y lúmenes de diámetro relativamente amplio; estas cualidades la clasifican en el segundo grupo de la relación Runkel. El tejido fundamental está formado por elementos pequeños (parenquimáticos y segmentos de vasos). Por las características anatómicas mencionadas, la madera podría utilizarse en la manufactura de pulpa y papel.
2. La Ceiba, secada convenientemente en estufa, se puede usar para cajas de embalaje, huacales, juguetes y construcción liviana, dada su facilidad en el trabajo, en el secado y por el aumento de la mayoría de sus valores de resistencia con el secado a la estufa.
3. La Requia se clasifica como madera de dureza mediana y moderadamente pesada comparable con la Caoba y Cedro (Cedrela Tonduzii). A pesar de no tener una textura fina, grano homogéneo y el color de la Caoba, es similar en sus propiedades mecánicas.

4. Los usos de la Requía podrían ser: revestimiento interior, muebles, marcos de ventanas, puertas, paneles, contrachapeados, útiles de cocina, chapas y pisos. Tiene un amplio campo de utilidad por sus propiedades similares a la Caoba y por el hecho de que la Requía ya fué usado para algunos propósitos que la Caoba.

B I B L I O G R A F I A

1. American Society Testing Materials. ASTM Standards on Wood preservatives, and related materials. Specifications, Methods of testing, definitions of terms. Philadelphia 3, The Association, 1959. 446 p.
2. Brown, H.P., Panshin, A.J. y Forsaith, C.C. Textbook of Wood Technology Vol. II. The physical, mechanical, and chemical properties of the commercial woods of the United States. New York, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1949. 652 p.
3. Corothie, Harry. Maderas de Venezuela. Caracas, Ministerio de Agricultura y Cría, Departamento de Divulgación Agropecuaria, 1948. 320 p.
4. Dickinson, F.E., Hess, R.W. and Wangaard, F. Properties and uses of tropical woods. 95:1-145. 1949.
5. Fuster Riera, P. Primera contribución al conocimiento de las maderas de la Guinea continental española. Madrid, Industrias Gráficas, S., 1947. 250 p.
6. García, P.C. Glosario de Terminología Forestal. San Juan, Puerto Rico, Departamento de Agricultura y Comercio, 1955. 172 p. (Monografía del Departamento de Agricultura N° 5).
7. Garfides Segovia, J.B. Determinación de las propiedades físicas y de los esfuerzos básicos del Apanate. (Tabebuia pentaphylla Juss). Tesis de grado. Mérida, Venezuela, Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Los Andes, 1956. 60 p.
8. Holdridge, Leslie R. Curso de Ecología Vegetal. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1953. 47 p. (copia mimeografiada).

9. Japing, H.W. Onderzoek naar de belangrijkste mechanische en fisische eigenschappen van 41 Surinaamse Houtsoorten. (Tests about the most important mechanical and physical propriertiers of 41 Surinam wood species) Amsterdam, Royal Tropical Institute, 1957. 249 p. (Mededeling N° CXXII).
10. Jorgensen, R.N. Programa General para investigaciones en Tecnología de Maderas del Instituto Forestal Latinoamericano. Mérida, Venezuela, Centro de Documentación del Instituto, 1960. 96 p. (Boletín N° 5).
11. Little, Elbert L., Jr. Dendrología Tropical. Mérida, Venezuela, Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Los Andes, 1960. 50 p. (copia mimeografiada).
12. Lozada Correa, J.E. Propiedades físicas y mecánicas del Saquisaqui (*Bombacopsis sepium*) basadas en el estudio de una rola. Tesis de grado. Mérida, Venezuela, Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad de Los Andes, 1958. 58 p.
13. National Lumber Manufacturers Association. Wood Structural Design Dato Vol. I. 2d. ed. Washington, D. C., the Association, 1939. 296 p.
14. Pericchi Díaz, S.J. Propiedades físicas y mecánicas y esfuerzos básicos del Pino laso (*Podocarpus* sp.) Tesis de grado. Mérida, Venezuela, Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Los Andes, 1952. 75 p.
15. Pernía Naranjo, L.E. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas fundamentales de la madera. Valores determinados para el pino aparrado (*Podocarpus* sp.) en condición verde. Tesis de grado. Mérida, Ve

- nezuela, Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Los Andes, 1953. 76 p.
16. Record, Samuel J. y Hess Robert W. Timbers of the New World. New Haven, Yale University Press, 1943. 640 p.
  17. Slooten, H.J. van der y Martínez, E.P. Descripción y propiedades de algunas maderas venezolanas. Mérida, Venezuela, Instituto Forestal Latinoamericano, agosto 1959. (Boletín Informativo Divulgativo). s.p.
  18. Society of American Foresters. Terminología Forestal. Forest Terminology. Traducción por M.A. González Vale. Caracas, Venezuela, Dirección Forestal, Ministerio de Agricultura y Cría, 1950. 327 p. (mimeografiado).
  19. Tortorelli, Lucas A. Maderas y bosques Argentinos. Buenos Aires, Editorial Acme, S.A.C.I., 1956. 869 p.
  20. Wangaard, Frederick F. The Mechanical Properties of Wood. New York, John Wiley & Sons, 1950. 377 p.
  21. \_\_\_\_\_ & Muscheler, A.F. Properties and uses of tropical woods. Tropical Woods. 98:1-155. 1949.
  22. \_\_\_\_\_ & Kochler and Muscheler. Properties and uses of tropical woods. Tropical Woods. 99:1-187. 1954.
  23. \_\_\_\_\_ & Stern, W.L. and Goodrich, S.L. Properties and uses of tropical woods. Tropical Woods. 103: 1-140. 1955.
  24. Zigaran López, R. Tecnología de la madera. Tucumán, Argentina, Instituto de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de Tucumán, 1951. 183 p. (Publicación N° 557).

## S U M M A R Y

The studies here presented were made in order to determine the anatomical structure of the physical-mechanical properties of the two Peruvian woods, Ceiba pentandra L., "Lupuna" and Guarea trichilioides L., "Requia".

The studies were made in the Wood Technology Laboratory of the Faculty of Forest Sciences of the University of the Andes, Mérida, Venezuela. Samples were taken from a dry tropical forest situated close to the Ucayali River, Province of "Coronel Portillo", Department of Loreto-Peru.

The system used in the collection and preparation of the samples and in the determination of the physical-mechanical properties corresponds to the standards adopted by the "American Society for Testing Materials (ASTM)". The properties of the wood in air-dried condition according to these standards were: static flexion, compression parallel and perpendicular to the grain, cleavage, tenacity, specific weight, volumetric contraction and humidity content.

The humidity content of the wood is one of the most important factors influencing the mechanical resistance. The resistance values obtained in the laboratory corresponded to a humidity content of 13%. For comparative purposes, it was necessary to adjust these values to a humidity content of 12%.

The average values for Requia, were compared with those values corresponding to the species Swietenia macrophylla, "Mahogany", Cedrela Tonduzii and Cedrela Huberi "Spanish Cedar". The corresponding values of Lupuna were compared with Ochroma lagopus "Balsa".

The determination of the coefficients of work for construction materials is a fundamental matter of economic interest, because it is only by applying the appropriate coefficients that the materials can properly be used to a safe maximum in relation to their resistance capacity. This way, the use of excess material is avoided while on the other hand, it is possible to give all the elements of a construction the dimensions that they should have in order to secure the appropriate stability and solidity. Taking into account these considerations, the coefficients of work may be calculated for Guarea trichilioides (Requia), with the security factors recommended by the Colombian and Venezuelan standards.

From the studies made, the following conclusions were drawn:

1. Ceiba has long fibres, thick walls and lumens of relatively wide diameter; these qualities classify the tree within the second group of the Runkel relation. The basic tissue is formed by small elements (parenchymatic and segments of vessels). Because of the anatomical characteristics mentioned, the wood can be utilized in the manufacture of pulp and paper.

2. Ceiba, conveniently dried in a kiln, can be used for packing crates, baskets, toys and light construction, because of the ease with which it can be worked and dried, and the increase of most of its resistance values by kiln-drying.
3. Requia is classified as a medium hard wood, moderately heavy, comparable with Mahogany and Cedar (Cedrela Tonduzii). In spite of its lack of fine texture, homogeneous grain and Mahogany color, it is similar to the latter in its mechanical properties.
4. The uses of Requia could be for interior decoration, furniture, window frames, doors, panels, plywood, kitchen utensils, veneer and floors. It has a wide range of uses because of its similar properties to Mahogany and because of the fact that Requia has already been used for some of the same purposes as Mahogany.



ANEXO N° 1

Descripción de los aparatos empleados

1. Prensa Hidráulica "RIEHLE". (Fot. 15)

Esta máquina tipo Universal, se empleó para realizar las pruebas mecánicas de flexión estática, compresión paralela y perpendicular a las fibras, tensión perpendicular a las fibras, dureza, cizallamiento y clivaje. Tiene una capacidad que varía desde 3.000 kg hasta 60.000 kg indicados en un reloj de lectura, con escalas de 3.000, 6.000, 12.000, 30.000 y 60.000 kg correspondientes a las posiciones del cinco al uno respectivamente.

Partes de que consta.

- Un sistema de balanza que transmite la carga actuante a un dial indicador en el reloj de lectura.
- Una mesa movable de empuje, que transmite la presión hidráulica a la muestra sometida a ensayo.
- Un sistema de engranaje con movimientos sincronizados entre sí y la mesa movable por una cadena. Controla la velocidad de aplicación de la carga.
- Un registrador electro-automático, que traza las curvas de es fuerza-deformación, aumentadas hasta 500 veces.
- Dos masas de acero con orificio central cuadrangular.
- Cuatro soportes verticales, que sostienen las dos masas de acero (dos cilíndricos lisos y los otros con rosca). Están in crustados en la base de la máquina, pasando a través de la me sa movable.
- Un sistema eléctrico, para dar movimiento a las dos masas de acero por medio de un botón.



Fot. 15. Prensa hidráulica "Riehle".

## 2. Accesorios de la prensa hidráulica.

Para cada una de las pruebas existen aparatos especiales a justables a la prensa. Estos accesorios son:

- a. Deflexómetro mecánico. Se emplea para determinar la deformación de la muestra, en la prueba de flexión estática. Está provista de una escala graduada que tiene una apreciación de 0,5 mm por división. Para esta prueba además se utiliza un soporte de acero y un sistema de rodillos colocados entre la muestra y el soporte (fot. 4).
- b. Compresómetro mecánico. Mediante el compresómetro se mide la deformación de la muestra en una esfera graduada, cuya apreciación es de 0,001 mm. Este aparato se ajusta en una cara de la muestra mediante cuatro tornillos equidistantes de los extremos de la muestra (fot. 5).
- c. Aparato para las pruebas de cizallamiento. El aparato consiste de una armadura sólida de acero, cuyo centro tiene una ranura por donde se desliza una placa de acero cortante, a través de la cual se aplica la carga para producir el corte paralelo a las fibras. La muestra se ajusta mediante una barra horizontal y dos tornillos ubicados en la parte superior de la armadura (fot. 8 y fig. 7).
- d. Aparato para las pruebas de clivaje. El dispositivo para esta prueba consiste esencialmente de dos grampas especiales de acero, las cuales se ajustan en las cabezas móvil y fija de la prensa hidráulica (fot. 10).
- e. Aparato para las pruebas de dureza. El instrumento para esta prueba lleva en su extremo un casquete esférico de 1.11 cm de diámetro. Alrededor del casquete se encuentra un collar de acero móvil, el cual se aprieta cuando la mitad de la esfera se introduce en la muestra. Este aparato se ajusta

en la cabeza móvil de la prensa hidráulica (fot. 7 y fig. 6).

f. Aparato para las pruebas de tensión perpendicular a las fibras. En esta prueba se emplea un par de grampas de acero. Una de ellas se ajusta a la cabeza móvil y la otra en la cabeza fija de la prensa hidráulica (fot. 9).

3. Probadora "BALDWIN" de tenacidad. (Fot. 11).

Esta máquina utilizada en las pruebas de tenacidad, consta de las siguientes partes:

- Un péndulo, provisto de un peso que puede cambiarse de posición 5 veces a lo largo del péndulo, según la resistencia del material y el ángulo inicial fijado para la prueba.
- Un vernier, para la lectura exacta de los ángulos inicial y final en cada prueba, con aproximación de 0,1 de grado.
- Una cadena trasmisora de la energía potencial producida por el péndulo a la muestra para su ruptura.
- Un par de muñones, para fijar la muestra de ensayo.
- Una palanca para accionar el péndulo.

4. Micrótomó de deslizamiento plano.

Aparato científico utilizado para cortar láminas finas de madera, para el estudio microscópico de la estructura anatómica. Consta de las siguientes partes principales:

- Base sólida de acero.
- Carro porta cuchilla que se desliza sobre un riel.
- Un sistema de tornillos para fijar la cuchilla, el ángulo de corte y la dirección de la cuchilla.
- Una taza móvil dentada para fijar el taco de madera.
- Cuchilla móvil de acero.

5. Otros aparatos.

- a. .Tornillo micrométrico, para medir con bastante exactitud las dimensiones de las muestras de ensayos.
- b. Balanzas de torsión e hidrostática.
- c. Horno eléctrico.
- d. Microscopio Austríaco "Reichert".
- e. Moldes de acero, letras y números impresos en alto relieve.

ANEXO N° 2

Glosario

Hemos creído conveniente incluir un breve glosario de los términos adoptados en el texto, para el mejor entendimiento del trabajo expuesto.

Rola. Cada una de las trozas de 2,50 m de longitud en que se divide el tronco del árbol, denominamos "rola". Esta lleva el número del árbol a que pertenece y dos letras mayúsculas que indican la altura del árbol de donde se cortaron. En las pruebas efectuadas, las rolas corresponden a una altura entre 2,50 y 5,00 m del árbol a partir del suelo, o sea que identificamos las rolas con las letras CD (fig. 1).

Planchón.

Es un tablón de 15,5 cm de grueso, tomado a través del duramen en una dirección norte-sur y abarcando el diámetro, y la longitud total de la rola, que sustituye a una rola (fig. 2).

Sección.

Cada una de las porciones iguales de 1,25 m de longitud, en que se halla dividido el planchón, denominamos "sección". Lleva la designación C o D, según corresponda a la parte inferior o superior del tronco (fig. 2).

Par de piezas.

Un par de piezas consiste de dos piezas adyacentes y equidistantes de la médula, como 3 N3C y 3 N4C (fig. 2). En el caso de secciones compuestas, para ensayos en condición verde y seca al aire, el par de piezas estará constituida por dos piezas de diferentes secciones, adyacentes y equidistantes de la médula. Así, 3 N3C y 3 N4D, constituyen un par de piezas para

ser ensayado en condición verde y 3 N3D y 3 N4C, el par correspondiente para el ensayo en condición seca al aire (figs. 3 y 4).

#### Piezas.

Son cuartones de 0,07 x 0,07 x 1,25 m. Cada sección se divide, a las cuales denominamos piezas.

#### Probetas.

Cada pieza se divide en porciones de longitud variable de acuerdo con el ensayo a que se le destine, a las cuales denominamos probetas (fot. 3).

Flexión estática. En esta prueba se mide la resistencia que ofrece una viga simple cuando es solicitada por cargas crecientes aplicadas en el centro de su luz. De la prueba de flexión se obtienen valores para:

- esfuerzo de las fibras en el límite proporcional;
- módulo de ruptura;
- módulo de elasticidad;
- trabajo hasta el límite proporcional;
- trabajo hasta la carga máxima.

#### Esfuerzo de las fibras en el límite proporcional.

Es el esfuerzo que se produce en las fibras de una viga sometida a tensión (fondo) y compresión (tope) hasta la carga al límite de proporcionalidad; es decir, hasta cuando deja de existir una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación.

#### Módulo de ruptura.

Es el esfuerzo computado en el tope y en el fondo de las fibras de una viga sometida a la carga máxima que ocasiona la falla. Es un valor aproximado del verdadero esfuerzo, puesto

que la fórmula para su cálculo se basa en suposiciones válidas solamente hasta el límite de proporcionalidad.

#### Módulo de elasticidad.

Expresa la relación de esfuerzo por unidad de área a la correspondiente deformación por unidad de longitud, debiendo estar la deformación dentro del límite de proporcionalidad. El módulo de elasticidad es un valor indicativo de la rigidez de la madera, y no de la resistencia; se aplica solamente a condiciones dentro del límite de proporcionalidad.

Numéricamente, es la carga en tensión requerida para alargar una pieza de madera de 1 centímetro cuadrado de sección transversal hasta dos veces su longitud original, a condición de que no se someta a esfuerzos más allá del límite de proporcionalidad. Puesto que esta condición es imposible de realizarse, este método de concebir el módulo de elasticidad es teórico.

#### Trabajo hasta el límite proporcional.

Es la medida del trabajo que una viga es capaz de absorber al ser sometida a esfuerzos hasta el límite de proporcionalidad. Esta cantidad de trabajo puede ser aplicada repetidamente sin producir deformaciones permanentes en la madera.

#### Trabajo hasta la carga máxima.

Representa la capacidad de la madera para absorber choques, producidos por esfuerzos por encima del límite de proporcionalidad que originan deformaciones permanentes o semipermanentes. Cuanto mayor sea la resistencia al choque, mayor será el valor numérico del trabajo.

#### Compresión paralela a las fibras.

Con esta prueba se determina la resistencia de una columna corta al ser sometida a una carga que trata de acortar sus



fibras. Se entiende por columna corta, aquella cuya relación de esbeltez (relación entre la longitud libre y su menor dimensión) es menor de 11. De la prueba de compresión paralela se obtienen valores para:

- esfuerzo de las fibras en el límite proporcional;
- máxima resistencia a la compresión;
- módulo de elasticidad.

#### Esfuerzo de las fibras en el límite proporcional.

Es el esfuerzo máximo en compresión que la madera puede soportar sin deformarse. Es raramente usado en la práctica, pues se prefiere el valor dado por la resistencia máxima a la compresión que es menos variable y más fácil de obtener.

#### Máxima resistencia a la compresión.

Es la medida de la capacidad de una columna corta para resistir una carga aplicada lentamente. El esfuerzo unitario se obtiene dividiendo la carga máxima aplicada en el ensayo, por el área de la sección transversal sobre la cual fué distribuida la carga. Este valor es muy usado en el cálculo de dimensiones de columnas y de otros miembros estructurales similares.

La relación entre el esfuerzo de las fibras en el límite proporcional y la máxima resistencia a la compresión oscila al rededor de 75 %.

#### Módulo de elasticidad.

Corresponde a la misma definición dada en la prueba de flexión, sólo que se obtiene a partir de una prueba diferente. El valor obtenido para el módulo de elasticidad a partir de la prueba de compresión paralela, puede usarse en el cálculo de columnas intermedias y columnas largas. Sin embargo, es más recomendable utilizar el obtenido por la prueba de flexión.

### Compresión perpendicular a las fibras.

Hay dos maneras en que la madera puede ser sometida a esta clase de esfuerzo:

- a. Con una carga que actúa sobre toda el área superior de la muestra, y
- b. Con una carga concentrada sobre una porción del área de la muestra.

Esta última condición es la más comúnmente encontrada en la práctica, como por ejemplo cuando un poste descansa sobre una solera. De todas maneras, las dos condiciones dan valores de resistencia de la madera de compresión simple.

En resumen, con esta prueba se determina el esfuerzo que es capaz de soportar la madera al someterla a una fuerza que actúa perpendicularmente a sus fibras.

### Dureza.

Es la resistencia que opone la madera a la abrasión, desgaste, penetración (de las herramientas y clavos) y la compresión que en ella se ejerce. Depende de la abundancia de las fibras y de la escasez de vasos, disminuyendo rápidamente su valor al aumentar la humedad de las maderas. Hay que hacer constar que la dureza también depende de la cohesión y compacidad de las fibras y su entrelazamiento (espiralado, ondulado etc.) y de la finura y número de radios medulares. Por eso, maderas con igual peso específico tienen dureza distinta según la adherencia de sus elementos.

### Corte paralelo o cizallamiento.

Es una medida de la capacidad de la madera para resistir fuerzas que tiendan a producir deslizamiento de un plano interno de la madera sobre su adyacente. Los esfuerzos en corte tie

nen lugar en mayor o menor grado en la mayoría de usos de la ma dera, y se clasifican de acuerdo a la dirección en que la fuerza actúa con respecto a los planos estructurales. Usualmente, sólo se determina el valor para esfuerzo de corte paralelo a las fibras como promedio de pruebas en sentido radial y tangencial.

#### Tensión perpendicular a las fibras.

La resistencia de la madera en tensión perpendicular a las fibras se determina por la fuerza necesaria para separar por tensión las fibras adyacentes en un plano interno de la madera. La carga máxima dividida por el área en que se distribuye, nos da la resistencia en tensión, expresada en kilogramos por centímetro cuadrado.

#### Clivaje.

Es un término usado para indicar la resistencia que ofrece la madera a la rajadura, es decir, cuando la fuerza actúa como una cuña.

#### Tenacidad.

Es la capacidad de la madera para absorber una cantidad de energía (trabajo), o de soportar choques repetidos o esfuerzos de poca duración, que exceden el límite proporcional y que producen deformaciones permanentes y fallas parciales.

ANEXO N° 3

NOTAS DE CAMPO

---

Arbol N° 1 Especie: Ceiba pentandra L. Gaertn.

Muestras botánicas N° y tipo: N° 1 Ramitas con hojas

Fecha de tala: 29-12-59 Nombre común: Lupuna

Tipo de bosque: Asociación Hura-Ceiba de un bosque Seco Tropical

Lluviosidad aproximada: 1.500 mm Altitud: 200 m.s.n.m.

Altura total: 47 m Altura comercial: 17 m

Altura del tocón: 0,75 m Diámetro a la altura del tocón: (aletas)

Apariencia general del árbol: Dominante, sano, vigoroso, con grandes aletas, muy ligeramente quemado en un lado de la base, próximo a terrenos en los que empieza a formarse un bosque secundario, fuste recto, bastante cilíndrico, ligeramente inclinado y abombado en la parte media.

Rola seleccionada entre tocón y extremo inferior (mayor diámetro): 9,30 m Largo: 2,50 m Diámetro extremo menor: 1,15 m

Diámetro mayor: 1,20 m

Fecha de despacho: 14-1-60

Observaciones: Tronco sin espinas; en las ramas jóvenes presencia de espinas cortas, gruesas y de forma cónica; altura de la copa: 21 m, ancho de la copa: 26 m

Nombre del colector: Ing. Eduardo Izquierdo C.

Fecha: 10 de enero de 1960

---

ANEXO N° 4

Descripción del material de ensayo

Fecha: 24-5-60  
Arbol N°: 3  
Planchón N°: DC  
Procedencia: Pucallpa-Perú  
Nombre común: Requia  
Especie: Guarea trichilioides

1. Dimensiones del planchón:

Longitud: 2,56 m  
Ancho: 0,54 m  
Espesor: 0,16 cm

2. Defectos:

- Grietas: Central a lo largo de la médula. Radiales y tangenciales  
Nudos: \_\_\_\_\_  
Torceduras: \_\_\_\_\_  
Ataque de insectos y de hongos: Aparentemente no tienen perforaciones de insectos ni ataque de hongos

3. Color, olor y espesor de:

Corteza: Grisáceo, grietas superficiales, de 1,5 cm de espesor  
Albura: Color claro, un olor característico, de 6 cm de espesor  
Duramen: Color rosado, olor ligeramente a cedro

4. Depósitos de sustancias extrañas:

Sales minerales: \_\_\_\_\_  
Gomas: \_\_\_\_\_  
Otras: \_\_\_\_\_

5. Comportamiento de la madera:

Al aserrío: Fácil de aserrar; grano entrecruzado en ciertas partes  
Al cepillado: Fácil de cepillar. Se nota mejor veteado en la sección radial  
Al socado: \_\_\_\_\_

6. Piezas eliminadas:

Por grietas: S1C; S2C; N1C; N2C - S1D; S2D; N1D; N2D  
Por ataque de insectos u hongos: S7C; S8C; S7D; S8D

7. Otras observaciones: Los extremos de los planchones no fueron pintados. El duramen húmedo; aparentemente la albura tiene un grano más grueso que el duramen.

ANEXO N° 5

A. Fórmulas empleadas en el cálculo de las propiedades mecánicas.

Flexión estática.

a. Esfuerzo de las fibras en el límite proporcional.

$$\frac{3 P' L}{2 b h^2} = \text{Kg/cm}^2$$

b. Módulo de ruptura.

$$\frac{3 P L}{2 b h^2} = \text{Kg/cm}^2$$

c. Módulo de elasticidad.

$$\frac{P' L^3}{4 b h^3 y} = \text{Kg/cm}^2$$

d. Trabajo hasta el límite proporcional.

$$\frac{P' y}{2 b h L} = \text{Kg cm/cm}^3$$

e. Trabajo hasta la carga máxima.

$$\frac{C A}{L b h} = \text{Kg cm/cm}^3$$

Datos para el cálculo.

b = ancho en centímetros;

h = altura en centímetros;

L = luz de trabajo en centímetros (71 cm);

P = carga máxima en kilogramos;

P' = carga al límite de proporcionalidad en kilogramos (se obtiene del diagrama de carga-deformación);

$y$  = deflexión en el centro de la luz en centímetros a la carga  $P'$ ;

$A$  = área bajo la curva carga-deformación hasta la carga  $P$ ;

$C$  = una constante, según la escala del diagrama. Representa la energía por  $\text{cm}^2$  en el gráfico. La escala utilizada, de 50 Kg por cm y 0,1 cm de deformación, corresponde a una constante de 5 Kg/cm.

Compresión paralela al grano.

a. Esfuerzo de las fibras en el límite proporcional.

$$\frac{P'}{A} = \text{Kg/cm}^2$$

b. Máxima resistencia a la compresión.

$$\frac{P}{A} = \text{Kg/cm}^2$$

c. Módulo de elasticidad.

$$\frac{P'L}{A y} = \text{Kg/cm}^2$$

Datos para el cálculo.

$P'$  = carga al límite de proporcionalidad (se obtiene del diagrama carga-deformación) en kilogramos;

$P$  = carga máxima en kilogramos;

$A$  = área de la sección transversal en centímetros cuadrados;

$L$  = luz en centímetros (15 cm);

$y$  = deformación al límite de proporcionalidad en centímetros.

Compresión perpendicular a las fibras.

a. Esfuerzo en compresión perpendicular al límite proporcional.

$$\frac{P'}{A} = \text{Kg/cm}^2$$

Datos para el cálculo.

A = área de la sección transversal bajo la placa de acero en centímetros cuadrados.

P' = carga al límite de proporcionalidad en kilogramos (se obtiene del diagrama de carga-deformación).

Dureza.

Para la obtención de los resultados de esta prueba, no se emplea fórmula alguna. Sólo se requiere la carga necesaria para introducir el casquete esférico hasta la mitad de su diámetro. Este valor empleamos únicamente para comparación.

Cizallamiento.

a. Resistencia al cizallamiento o al corte paralelo.

$$\frac{P}{A} = \text{Kg/cm}^2$$

Datos para el cálculo.

P = carga máxima en kilogramos;

A = área sometida al corte paralelo (radial o tangencial) en centímetros cuadrados.

Tensión perpendicular a las fibras.

a. Resistencia tensil.

$$\frac{P}{A} = \text{Kg/cm}^2$$



Datos para el cálculo.

P = carga máxima en kilogramos;

A = área bajo tensión (radial o tangencial) en centímetros cuadrados.

Clivaje.

a. Resistencia al clivaje.

$$\frac{P}{b} = \text{Kg/cm de ancho}$$

Datos para el cálculo.

P = carga máxima en kilogramos;

b = ancho de la muestra (radial o tangencial) en centímetros.

Tenacidad.

Los valores de tenacidad fueron calculados mediante tablas elaboradas a base de la fórmula:

$$T = WL (\cos A_2 - \cos A_1)$$

De donde:

T = tenacidad en kilogramos-centímetros;

W = peso del péndulo en kilogramo;

L = distancia desde el centro del eje del soporte hasta el centro de gravedad del péndulo;

A<sub>1</sub> = ángulo inicial en grados;

A<sub>2</sub> = ángulo final que el péndulo forma con la vertical después de la ruptura del espécimen.

B. Fórmulas empleadas para el cálculo de las propiedades físicas.

Peso específico.

- a. Peso específico basado en el peso seco al horno y el volumen de la madera seca al aire.

$$\frac{Ph}{Va} =$$

- b. Peso específico basado en el peso y volumen seco al horno.

$$\frac{Ph}{Vh}$$

Contenido de humedad de las muestras en el momento de la prueba.

$$\frac{Pa-Ph}{Ph} 100 = \%$$

Máximo contenido de humedad.

$$100 \left( \frac{1}{P.e.v.} \right) - 0,65 = \%$$

Punto de saturación de las fibras.

$$\frac{Lv - Lh}{La - Lh} \times CHa = \%$$

Contracción volumétrica, de seco al aire a seco al horno.

$$\frac{Va - Vh}{Va} \times 100 = \%$$

Contracción radial o tangencial, de seco al aire a seco al horno.

$$\frac{La - Lh}{La} \times 100 = \%$$

Peso en condición seca al aire.

$$\frac{Pa}{Va}$$

Datos para el cálculo.

- Ph = peso seco al horno, en gramos;
- Pa = peso seco al aire, en gramos;
- Va = volumen del espécimen seco al aire, en cm<sup>3</sup>;
- Vh = volumen del espécimen seco al horno, en cm<sup>3</sup>;
- Lv = longitud de la muestra verde en centímetros;
- La = longitud de la muestra seca al aire, en centímetros;
- Lh = longitud de la muestra seca al horno, en centímetros;
- Cha = contenido de humedad del espécimen seco al aire en %;
- P.e.v. = peso específico basado en el peso seco al horno y el volumen verde del espécimen.

ANEXO No. 6

HORARIO DE DESECACION RECOMENDABLE PARA

CELBA PENTANDRA \*

Etapas en el cambio		Tiempo	C. H.		Termómetro		Depresión	H.R.	C.H.E
Temp.	Humed.		de	hasta	Seco	Húmed.			
		días	%	%	F°	F°	F°	%	%
	I		Verde	50	135	123	12	69	11
I	II		50	40	135	119	16	60	9.4
II	III		40	30	140	118	22	51	7.6
III	IV		30	20	150	121	29	42	6
IV	V		20	Final	170	127	43	33	4.4

\* Forest Products and Research Laboratory. Princes Risborough. England.