



**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LA MADERA DE
POPULUS DELTOIDES CV 'HARVARD' (EX 1-63/51)**

por

FACULTAD DE AGRONOMIA

**SECRETARIA DE
ADMINISTRACION Y
BIBLIOTECA**

**Ricardo Martín BUZZO SARLO
Jorge Félix MARTINEZ HAEDO PONS
Pablo SCARONE FERREIRA**

**TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo
(Orientación Forestal)**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
1997**

Tesis aprobada por:

Director: CARLOS MANTERO

Nombre completo y firma

LUIS SORIA

Nombre completo y firma

JUAN BURBUENJO

Nombre completo y firma

Fecha: _____

Autor: _____

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

A nuestros padres y hermanos

AGRADECIMIENTOS

Numerosas han sido las entidades y personas que de una manera u otra han colaborado generosamente en la elaboración de este trabajo.

A todas, nuestro mas cálido agradecimiento.

- Facultad de Agronomía
 - Area Forestal
 - Sra. Danila Balbi
 - Ing. Agr. Carlos Mantero
 - Ing. Agr. Rafael Escudero
 - Ing. Agr. Luis Gallo
 - Ing. Agr. Luis Soria
 - Personal de biblioteca
 - Cátedra de Estadística
 - Ing. Agr. Juan Burgueño
 - Personal de la Unidad de Microscopía y Audiovisuales
- Facultad de Ingeniería
 - Personal del Departamento de Ensayo de Materiales
 - Ricardo Montaldo
 - Ing. Lamas
- Dirección y Personal de Caja de Jubilaciones y Pensiones Bancarias
- INTI - CITEMA (Buenos Aires, Argentina)
 - Ing. Quím. Graciela Ramírez
- MGAP, Dirección Forestal
- PAMER S. A.
- NORTEÑA S. A.
- PRELUR S.A.
 - Sr. Carlos Perrone
- Dirección de Producción Forestal (Buenos Aires, Argentina)

- Responsable de biblioteca, Sra. Nilda Fernández

- Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina
- Ing. Agr. Arturo Somoza

- Sr. Luis Albé
- Ing. Agr. Roberto Bavosi
- Ing. Agr. Rinaldo Tuset
- Sr. Oscar Escudero
- Sr. Walter Lemes
- Sr. Gustavo Balerio
- Sr. Mario Medici
- Ing. Agr. Julián Gago

TABLA DE CONTENIDO

	<u>Página</u>
PAGINA DE APROBACION	II
AGRADECIMIENTOS	IV
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	X
I. <u>INTRODUCCION</u>	1
II. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	2
A. CULTIVO Y UTILIZACION DEL ALAMO	2
1. Historia	2
2. Transformación de la madera	3
a. Aserrio	3
b. Guillotinado	4
c. Debobinado	4
d. Madera de trituración	5
e. Otros usos	6
3. Características de Populus deltoides	6
B. CARACTERISTICAS DEL POPULUS DELTOIDES CULTIVAR 'HARVARD'	
(ex I-63/51)	9
1. Obtención	9
2. Cultivo	9
3. Características ecológicas	9
4. Rasgos morfológicos	10
5. Fenología	10
a. Floración	10
b. Brotación y defoliación	11
6. Características anatómicas	11
a. A nivel macroscópico	11
b. A nivel microscópico	12
7. Características organolépticas	13

C. PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS	13
1. Obtención de muestras	13
2. Propiedades físicas	16
a. Peso específico aparente	16
b. Humedad	22
c. Contracción	26
3. Propiedades mecánicas	30
a. Conceptos básicos	30
b. Ensayos mecánicos	31
c. Factores que afectan las propiedades mecánicas	34
d. Asociación entre propiedades mecánicas	39
e. Resultados de propiedades mecánicas	41
f. Clasificación tecnológica de la madera	41
III. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	43
A. SELECCION Y COLECCION DE MUESTRAS	43
B. PROPIEDADES FISICAS	47
1. Contenido de humedad	47
2. Contracción	47
3. Peso específico aparente	49
4. Variación de las propiedades físicas	50
a. En dirección radial	50
b. En dirección longitudinal	52
C. PROPIEDADES MECANICAS	52
1. Compresión paralela	52
2. Compresión perpendicular	53
3. Clivaje o hendimiento simple	53
4. Tracción perpendicular o doble hendimiento	53
5. Dureza	54

6. Flexión estática	54
7. Flexión dinámica	55
8. Cizallamiento o corte paralelo	55
D. CORRECCION POR HUMEDAD	55
E. ANALISIS	56
IV. <u>RESULTADOS Y DISCUSION</u>	58
A. VARIACION DE LAS PROPIEDADES CON LA POSICION EN EL ARBOL.....	62
1. Variación de las propiedades físicas con la altura	62
a. Peso específico aparente	62
b. Humedad	63
2. Variación de las propiedades físicas en dirección radial	64
a. Peso específico aparente	64
b. Humedad	65
c. Contracción	65
B. CORRELACION ENTRE PROPIEDADES FISICAS Y PESO ESPECIFICO APARENTE	65
C. CORRELACION ENTRE PROPIEDADES MECANICAS Y PESO ESPECIFICO APARENTE	66
D. CORRELACIONES ENTRE ENSAYOS EN VERDE Y SECO	68
E. CORRELACION MOR - MOE	69
V. <u>CONCLUSIONES</u>	70
VI. <u>RESUMEN</u>	71
VII. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	72

VIII.	<u>ANEXO</u>	77
	1. Resultados obtenidos de propiedades físicas	78
	2. Resultados obtenidos de propiedades mecánicas	88
	3. Detalle de los árboles escogidos	93
	4. Datos climatológicos	97
	5. Datos edafológicos	97

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro N°:

1. Estimaciones de pea	22
2. Estimaciones de humedad	26
3. Estimaciones de contracción	29
4. Resultados de ensayos mecánicos	41
5. Clasificación de la madera de <i>Populus deltoides</i> según Norma UNE 56-540	42
6. Parámetros estadísticos de las propiedades físicas	58
7. Parámetros estadísticos de las propiedades mecánicas al 12% de humedad	59
8. Comparación de las propiedades físicas con las obtenidas por otros autores	60
9. Comparación de las propiedades mecánicas con las obtenidas por otros autores	61
10. Correlaciones entre peso específico aparente y propiedades físicas	67
11. Correlaciones entre peso específico aparente y propiedades mecánicas.....	68
12. Correlación entre ensayos mecánicos en estado verde y seco	68
13. Correlación entre módulo de rotura y módulo de elasticidad para los estados verde y seco.....	69
14. Clasificación de la madera de <i>Populus deltoides</i> cv. 'Harvard', según distintas normas.....	69

Figura N°:

1. Distribución natural de <i>Populus deltoides</i>	8
2. Ubicación de los árboles empleados en este estudio	44

3. Secuencia de extracción de probetas a partir de secciones transversales.....	45
4. Secuencia de extracción de probetas a partir de viguetas	51
5. Variación del peso específico aparente básico con la altura	63
6. Variación del peso específico aparente anhidro con la altura	63
7. Variación de la humedad con la altura	64
8. Variación de la humedad en dirección radial	65

I. INTRODUCCION

Populus deltoides cv. 'Harvard' es una de las especies recomendadas en el Uruguay por la ley forestal N° 15.939, promulgada en diciembre de 1987. A partir de esa fecha se han instrumentado medidas que promueven el desarrollo forestal, lo cual hace prever un aumento en las necesidades de conocimiento en el área tecnológica de la madera para obtener el mayor provecho posible del recurso forestal a nivel nacional.

Este trabajo tiene por objeto el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de *Populus deltoides* cv. 'Harvard' (ex 'I-63/51'). En el Uruguay hasta el momento no se han llevado a cabo investigaciones en esta especie, por lo que este trabajo representa una contribución al conocimiento de la especie a nivel nacional.

Es importante resaltar que los ensayos fueron realizados en base a los recursos y maquinaria disponibles en la Universidad. Siempre que fue posible se adoptaron las normas UNIT. En caso contrario se recurrió a normas extranjeras. Por este motivo, los resultados obtenidos sólo serán comparables con los de ensayos realizados mediante las mismas normas.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

A. CULTIVO Y UTILIZACION DEL ALAMO

1. Historia

El género *Populus* está presente en forma esporádica en todos los bosques naturales de las regiones templadas del hemisferio norte. En algunos lugares se lo puede encontrar formando bosquetes o pequeños macizos, aunque de escasa importancia en relación a otras especies que constituyen la mayoría de los bosques.

Debido a la utilización de tierras para la agricultura en Europa y Cercano Oriente, la localización de álamos y sauces se centró en riberas, antiguos lechos de ríos y torrentes y terrenos pobres en humus, zonas poco aptas para la producción agrícola. El hombre utilizó estas masas naturales para satisfacer sus necesidades de madera de construcción y leña, y aprovechando su facilidad de multiplicación por estacas, se crearon plantaciones en lugares donde existía agua. Esto determinó que existiera una relación muy estrecha entre las salicáceas y la agricultura; un ejemplo es el abastecimiento de tutores para la viña.

Con la expansión del cultivo del álamo en varios países, se visualiza su integración con la agricultura formando hileras cortavientos que protegen las plantaciones frutales y suministran al mismo tiempo la materia prima para los embalajes. Al principio, la utilización y cultivo del álamo estuvo dada por los árboles locales, *Populus nigra* en la mayoría de los casos, pero con la introducción de los álamos americanos hacia el siglo XVIII en Europa, y la consiguiente aparición de híbridos, hubo un cambio radical en las formas tradicionales de cultivo. El álamo introducido desde Norteamérica demostró un desarrollo extremadamente rápido y gran facilidad de propagación, por lo que pronto aparecieron los primeros viveros cuyo producto era cada vez más solicitado.

Ya, en el siglo XX y en Italia, las primeras papeleras comenzaron a usar la madera de álamo para pasta mecánica lo que incrementó el interés que existía por estos árboles. Además, la industria del contrachapado comenzó a utilizar esta madera en desmedro de las tropicales (FAO, 1980).

Las especies más cultivadas en el mundo corresponden a la Sección Aigeiros, con más de un 90% de la superficie forestada con álamos (FAO, 1980). Dos grandes especies constituyen estas plantaciones: una circunmediterránea, *Populus nigra* L., la otra norteamericana, *Populus deltoides* Marsh, así como sus híbridos. Ambas han sido cultivadas en todo el mundo con una creciente importancia económica; en Europa al sur del paralelo 55 y al oeste del Mar Negro, la superficie plantada alcanza el millón de hectáreas, mientras que América del Sur, al sur del paralelo 30 contaba con alrededor de 100.000 hectáreas, sauces incluidos (FAO 1980). La mayor concentración en

Sudamérica se da en el delta de los ríos Paraná y Tigre, en la República Argentina. Durán (1972), reporta para Uruguay la existencia de unas 7.000 há del género *Populus*. Asimismo entre los años 1975 y 1995 se plantaron alrededor de 4.500 há que se distribuyen en pequeños rodales (*).

Los álamos conforman un grupo económicamente importante en los bosques de Norteamérica (Keays et al., 1974, citado por Beaudoin, 1992). Representan los árboles de más rápido crecimiento en las regiones templadas y producen madera que es ampliamente utilizada por la industria (Beaudoin, 1992). Sin embargo el desarrollo de plantaciones comerciales en esta región comenzó recién en la década del 70.

2. Transformación de la madera

Antes del desarrollo industrial, los árboles de la familia de las salicáceas cubrían las necesidades de madera de los agricultores en regiones desprovistas de recursos maderables, tanto en usos agrícolas como domésticos. A partir de la expansión urbana, el género *Populus* empezó a adquirir gran importancia industrial.

La evolución de los usos varía de unos países a otros. Los países de populicultura muy antigua y en vías de desarrollo industrial pasaron del uso masivo de rollizos para construcción, al del debobinado y pasta de celulosa, mientras que la industria del aserrio prácticamente no evolucionó.

En cambio, los países de populicultura igualmente secular pero con un desarrollo industrial avanzado, destinan al aserrio el 60% de la producción, transformando el antiguo sistema de primitivos y pequeños aserraderos portátiles a grandes centros de aserrado ubicados estratégicamente y con modernas cadenas de transformación.

Por último, aquellos países con alto nivel de desarrollo industrial, en que la populicultura se ha implantado recientemente con técnicas modernas, destinan prácticamente toda su madera a tableros y celulosa (FAO, 1980).

a. Aserrio

La madera de álamo, al ser blanda es fácil de aserrar, moldurar y pulir. Sin embargo en ocasiones se presenta como "nerviosa", lo que puede provocar desviaciones de la cinta, presentando el producto aserrado rajaduras y deformaciones. También es relativamente frecuente el grano entrecruzado, lo que disminuye la calidad del corte.

(*)Superficie declarada por especie. 1997. Material proporcionado por la Dirección Forestal.

En general esta madera es algo abrasiva al tener un significativo contenido en sílice.

Según su utilización, los productos aserrados se dividen en las siguientes categorías básicas (FAO, 1980):

categoría extra: ebanistería y actividades artesanales.

1ª categoría: carpintería no visible (interiores de muebles) y de interiores, embalajes especiales.

1ª y 2ª categorías: Tableros revestidos, estuches, tablas y tableros de dibujo, juguetería

2ª categoría: Construcción (en interiores, al abrigo de la intemperie y no sometido a esfuerzos mecánicos violentos) y encofrados.

3ª categoría: Embalaje y cajonería: el álamo es muy apreciado en este uso, por su ligereza, solidez, propiedades mecánicas que facilitan el claveteado y grapado y la carencia de sabor y olor.

El secado de la madera aserrada de álamo es bastante rápido a pesar de su elevado contenido en agua. Los secados artificiales forzados no suelen dar buen resultado, debido a que pueden producir colapsos, rajaduras, deformaciones y/o colores indeseables en la madera (FAO, 1980).

b. Guillotinado

El álamo suele cizallarse en verde hasta espesores de 6 mm. Para esto se tiende a aplicar una presión del 5 al 10%, a fin de obtener contrachapados para ebanistería o para confeccionar embalajes (Padró Simarro, 1992).

c. Debobinado

Es una transformación muy sencilla, similar a la que realiza un sacapuntas sobre un lápiz, aunque el torno de desenrollo es cilíndrico y no cónico (FAO, 1980). Esta operación se efectúa sin dificultad después de un descortezado rudimentario, pudiendo realizarse inmediatamente después del apeo del árbol. Cuanto más cilíndrico sea el tronco, mejores rendimientos se obtendrán (Vignote Peña, 1993).

La industria española empieza a exigir densidades de la madera por encima de 800 Kg/m³, lo que puede determinar una menor demanda por la madera de álamo para este fin (Padró Simarro, 1992). En cuanto a las exigencias en dimensiones de

diámetro, se trabaja normalmente con trozas de más de 35 cm.. Sin embargo, parte de la industria se adapta al caso particular del álamo para su aplicación en envases hortifrutícolas, aceptándose para la misma diámetros algo menores (Vignote Peña, 1993).

Los principales usos de la madera de debobinado son los siguientes: tablero contrachapado, embalajes ligeros, objetos pequeños (palitos de helado y palillos de dientes) y fósforos (Vignote Peña, 1993).

i) Contrachapado

La industria del contrachapado tuvo su auge después de la segunda guerra mundial, sobre todo en Italia. A partir de los años '50, los países de Europa occidental, aparte de Italia, han dado su preferencia a las maderas tropicales y en particular al okumé (*Aucoumea klaineana*), para la fabricación del contrachapado.

Actualmente se mantiene la demanda de madera de álamo para las partes centrales de los contrachapados, y en caso de poseer tecnología que permita obtener diseños artificiales, también se utiliza en las láminas exteriores (FAO, 1980).

d. Madera de trituración

Los rollizos después del tronzado efectuado en el momento del apeo, encuentran en la industria de la trituración una salida interesante, tanto para la fabricación de tableros como para la de pasta y papel (FAO, 1980).

i) Tableros

Si bien la longitud de fibras de álamo es menor que la longitud de las traqueidas de coníferas, la madera de los álamos reemplaza perfectamente todas las otras en la fabricación de tableros de fibras.

Por otra parte su madera es muy cotizada para la fabricación de tableros de partículas porque se obtienen paneles de un color claro y bastante ligeros (FAO, 1980). La madera de álamo puede formar tanto el alma como las caras exteriores de los paneles con madera proveniente del debobinado. Los tableros de partículas se emplean en la industria de la construcción y en la elaboración de muebles, tendiendo a desplazar el uso de contrachapados (Kennedy, 1985).

ii) Pasta y papel

Uno de los principales destinos del álamo es la fabricación de pulpa de celulosa. El papel obtenido a partir de ésta tiene mayor grado de blancura, más opacidad y mayor flexibilidad que el papel producido a partir de coníferas. El empleo

del álamo en la fabricación de pasta mecánica es antiguo. Con este método se obtiene un rendimiento de 80% de la madera seca con corteza.

Actualmente va adquiriendo mayor importancia (en detrimento de la pasta mecánica) la pasta semiquímica al monosulfito sódico, con rendimientos del 75% (seco/seco). Esta pasta se destina a la elaboración de papel resistente a la grasa, laminados plásticos, papel kraft, y en general para toda clase de papel que no demande una calidad muy alta (Padró Simarro, 1992).

e. Otros usos

Otro de los destinos importantes, incluso en nuestro país, es la mueblería y la carpintería general. Sus productos son: estructuras internas de muebles, sillas, mesas, zócalos, parrillas y largueros de camas, puertas, palillos de ropa, fósforos de seguridad, lápices, mondadientes, palos de escoba y muebles de jardín preservados, entre otros. Como tendencia general para la mayoría de los destinos mencionados, se aprecia un incremento en la demanda de madera de álamo por parte de la industria (*). "En la construcción, se utilizan cantidades muy importantes de maderas aserradas procedentes de álamos. Las condiciones para su uso son que esté protegida de la intemperie (debido a su vulnerabilidad a los hongos) y no estar sometidos a esfuerzos mecánicos demasiado violentos" (FAO, 1980).

3. Características de *Populus deltoides*

El género *Populus* pertenece a la familia de las Salicaceas. La clasificación sistemática es la siguiente (FAO, 1980):

División: Fanerogamas
 Subdivisión: Angiospermas
 Clase: Dicotiledoneae
 Subclase: Monoclamideae
 Grupo: Amentifloras
 Orden: Salicales
 Familia: Salicaceae
 Género: *Populus*

(*) Bavosi, comunicación personal, 1996

El género *Populus* se divide en siete secciones:

Turanga Bge.
Leuce (Duby).
Aigeiros (Duby).
Tacamahaca.
Leucoides (Spach).
Tsavo.
Abaso.

Las dos últimas mencionadas se encuentran actualmente en trámite de propuesta (Padró Simarro, 1994).

La sección Aigeiros es la más importante dentro del género *Populus* en lo que se refiere a su cultivo en plantaciones masivas. Dentro de esta sección se encuentra la especie *Populus deltoides* conocida en Estados Unidos bajo el nombre de "eastern cottonwood" (Padró Simarro, 1994) y en nuestro país como "álamo carolino".

Su distribución natural abarca la mitad este de Estados Unidos y el sur de Canadá. Dentro de Estados Unidos se encuentra desde el Océano Atlántico a las grandes llanuras, y desde la región de los grandes lagos al golfo de México con excepción de los estados de Maine, Massachusetts y Delaware (Figura 1).

En los bosques naturales se encuentra principalmente en terrenos de aluvión a lo largo de los ríos Mississippi, Ohio, Missouri y sus afluentes (Kennedy, 1985).

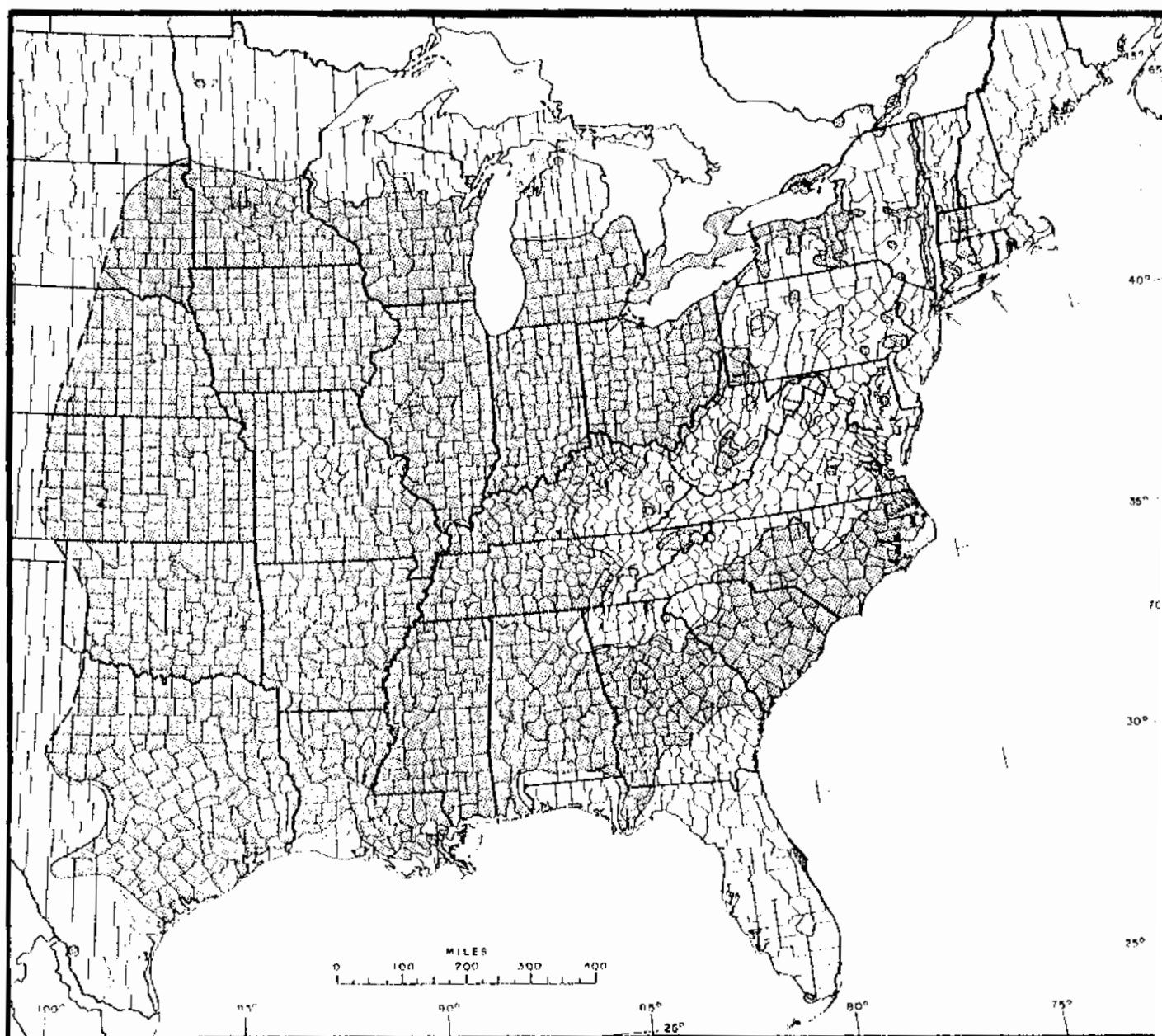


FIGURA 1. Distribución natural de *Populus deltoides*

Fuente: USDA (1971)

B. CARACTERÍSTICAS DEL *POPULUS DELTOIDES* CV 'HARVARD' (ex I-63/51)

1. Obtención

De acuerdo con FAO (1980), en Italia, Alemania y Francia se han logrado, a partir de *Populus deltoides* numerosos híbridos con el objetivo de obtener resistencia a Marssonina. Dentro de las obtenciones italianas se destacan: 'Harvard' (ex- 'I-63/51'), 'Lux' (ex- 'I-69/55') y 'Onda' (ex- 'I-72/51').

Populus deltoides cv. 'Harvard' es un clon macho, obtenido por cruzamiento de individuos de *Populus deltoides*, que provenían de semillas cosechadas en Stoneville, en el delta del río Mississippi, en 33° de latitud norte (Trois Nouveaux clones italiens, 1972). El mismo se obtuvo en el año 1948 en Italia, en el Instituto Casale Monferrato (Padró Simarro, 1992).

2. Cultivo

Si bien desde su creación ha sido ampliamente cultivado en distintos países, en la actualidad ha perdido vigencia. Por ejemplo en Italia, está literalmente abandonado a pesar de figurar en el Registro Nacional de clones de álamo italiano. Se señala también su abandono en España (Padró Simarro, 1992). En Francia no es un cultivar muy común (Trois nouveaux clones italiens, 1972). En Argentina fue una especie muy cultivada, especialmente a partir de 1960, aunque en el presente se encuentra en desuso (Alonzo, 1976). En Uruguay es cultivado actualmente, recomendado por la Ley Forestal N° 15.939 y en el año 1996 había 3.298 hectáreas registradas (Dirección Forestal, 1997).

3. Características ecológicas

El crecimiento es bueno, similar al cultivar 'I-214' en buenas condiciones de estación. Su plasticidad es escasa, y requiere suelos ricos y abundantes en agua, siendo tolerante a cierto nivel de arcilla. Respecto a este tema, Alonzo (1976) señala que en ciertos ambientes de suelos algo pesados, otros clones introducidos en Argentina como el 'Catfish 2', muestran mejor comportamiento que el clon 'I-63/51'. A su vez reporta un I.M.A. de 30 m³/há/año en plantaciones extensivas y en sitios de calidad media; en casos excepcionales sobrepasa los 60 m³/há/año en el Delta del Paraná.

Según Padró Simarro (1992), su propagación vegetativa es pésima, considerando que se trata de un álamo.

Es moderadamente sensible al viento, a las heladas tempranas y a la sequía (Padró Simarro, 1992). Alonzo (1976) comenta que en regiones ventosas presenta el inconveniente de la fragilidad de sus tallos y ramas, sufriendo mutilaciones por esta causa. La sensibilidad a las heladas tempranas está relacionada a la defoliación tardía que experimenta este clon. Es resistente a *Melampsora*, *Marssonina* y *Venturia*, aunque sensible al virus del mosaico (Padró Simarro, 1992).

4. Rasgos morfológicos

Copa: estrechamente expandida, muy verticilada y con ciclos definidos de 4 a 5 ramas; las primeras se insertan a 50-55° con entreciclos sin ramas. Las del año son carenadas y presentan lenticelas lineares. Según Padró Simarro (1992) existe buena dominancia apical.

Tronco: más o menos flexuoso

Corteza: ligeramente agrietada con fisuras longitudinales, poco profundas hasta 2,5 m de altura; luego hay cicatrices triangulares y crestas suberosas con forma de "U" invertida. Le sigue una sección de aproximadamente 1m casi sin marcas para volver a una zona con cicatrices triangulares y horizontales. Este diseño se repite varias veces a lo largo del fuste.

Yemas: casi aplicadas, dispuestas en espigas con una ligera curvatura hacia las ramas (convergente). Las apicales miden 2 cm. de largo por 0,7 cm. de ancho, y las laterales 1,5 cm. por 0,5 cm.

Hojas: deltoides; ápice acuminado, base truncada-cordada, margen aserrado con ciliás escasas y glándulas pequeñas; limbo mediano a grande, de aproximadamente 10 cm. de longitud por 9-10 cm. de ancho; en la zona de inserción del peciolo se observan 2-4 glándulas. Peciolo de longitud igual a la mitad del limbo.

Flor: amento con flores estaminadas color rojo.

5. Fenología

a. Floración

En el norte del Uruguay la floración se produce entre fines de setiembre y mediados de octubre, casi un mes más tarde que otros cultivares tal como *Populus deltoides* cv. 'carolino', *Populus x euramericana* cv. 'I-214' y *Populus x euramericana* cv. 'I-154' (Krall, 1971).

En un trabajo realizado en la localidad de Campana, Provincia de Buenos Aires (34° 20', latitud sur), evaluando 8 clones se determinó una secuencia de floración similar a la anterior donde el cv. 'I-63/51' es el de floración mas tardía, aunque en este caso ocurre a principios de la segunda quincena de setiembre. La caída de flores de este clon se produce hacia mediados de octubre (Baraño, et al. 1988).

b. Brotación y defoliación

La brotación se produce aproximadamente 15 días después de la floración. La pérdida de follaje es muy variable, dependiendo de las precipitaciones de verano y las temperaturas del año. En relación a ésta, el clon 'I-63/51' demuestra un ciclo vegetativo mayor que el resto. Según Baraño (1988) la caída del follaje se inicia entre mediados y fines de abril, y finaliza a mediados de mayo. Padró Simarro (1992) confirma este comportamiento señalando que *Populus deltoides* cv. 'Harvard' presenta defoliación tardía.

6. Características anatómicas

a. A nivel macroscópico

A simple vista la madera de álamo recién cortada presenta una albura de color claro. Según Cozzo (1956) en *Populus deltoides* es blanca o ligeramente rosado-crema, con franjas o vetas irregulares.

El duramen no es necesariamente de distinto color, pero bastante a menudo tiene un tinte más oscuro y determina una zona de contorno irregular de color verdoso hasta pardo, que se atenúa notablemente con el secado (Castro y Zanuttini, 1992).

En el género *Populus* fundamentalmente, pero también en otras especies ocurre un fenómeno por el cual a partir de cierta edad, la zona mas próxima a la médula sufre una transformación que tiene como efecto más llamativo un gran aumento de su humedad. Esto puede deberse a hongos de pudrición y/o bacterias (Ward y Pong, 1980, citados por Gutiérrez Oliva, 1992). La zona se distingue no sólo por el exceso de humedad sino también por el oscurecimiento de la madera, debido a lo cual recibe el nombre de corazón negro y también, aunque de forma no muy exacta, de duramen. El oscurecimiento de la madera es menos patente cuando está seca, pero sigue siendo una de las características de depreciación de esta madera para ciertos usos (Gutiérrez Oliva, 1992).

Los anillos de crecimiento son bastante perceptibles en las secciones transversales, aunque en las longitudinales se distinguen muy difícilmente (FAO, 1980). Presentan desarrollo regular y de amplitud variable, desde unos pocos mm en especies de montaña hasta 25-30 mm en algunos híbridos euroamericanos (Castro y

Zanuttini, 1992). Esto se debe al crecimiento parejo que ocurre en las zonas donde se realiza el cultivo como consecuencia del aporte constante de agua (Fernández-Golfín, Díez, 1994).

Dada la pequeñez de los vasos, la textura es en general fina o media. El grano es generalmente derecho, aunque pueden encontrarse fustes con grano entrecruzado (Castro y Zanuttini, 1992).

b. A nivel microscópico

Todos los álamos presentan características histológicas muy similares las que muchas veces imposibilitan la diferenciación anatómica. El leño es de porosidad difusa, con anillos de crecimiento claramente individualizables debido a la presencia de una fina capa de parénquima terminal, generalmente poco coloreada, en el límite externo de la zona tardía.

Los vasos son elípticos, muy raramente redondeados, distribuidos en todo el anillo de crecimiento pero con frecuencia de dimensiones diversas entre la zona temprana y la tardía. A veces son muy numerosos al inicio de la estación vegetativa o inmediatamente después. Su número varía entre 12,5 a más de 25 por mm^2 (Castro y Zanuttini, 1992). Para el cv. 'Harvard' se reportan los siguientes datos: 46,2 vasos por mm^2 en el leño de primavera, con un diámetro promedio de 47,22 micras (Silva Lepage, 1986; Santini, 1988, citados por Otaño, 1996). La disposición de los vasos puede ser en solitario o muy frecuentemente en grupos, formados por cadenas radiales de 3 a 6 elementos con alineamiento irregular o dendrítico (Castro y Zanuttini, 1992). Presentan una relación longitud-diámetro variable, pero siempre inferior a 15. Las extremidades tienen perforaciones simples; las paredes llevan puntuaciones areoladas, ovaladas o hexagonales, con orificio estrechado de forma no constante (FAO, 1980).

El tejido conductor representa del 20 al 33% de los tejidos leñosos, con un mínimo del 15% en la madera final y un máximo del 42% en la madera inicial. El tejido mecánico representa del 56 al 79% de los tejidos leñosos. En la madera de tensión, en el interior de la cavidad celular de las fibras, a las que entonces se llama gelatinosas, se encuentra una capa no adherente a la pared, donde predomina la celulosa; la presencia de fibras gelatinosas se traduce en un gran número de inconvenientes. El tejido parenquimatoso representa en el conjunto, del 3 al 10% de los tejidos leñosos. Las células del parénquima están en su mayor parte, reunidas en los radios; en dirección vertical son poco numerosas, y generalmente se encuentran en el límite de la madera tardía (FAO, 1980).

Los radios, de disposición homogénea están en general constituidos por una sola fila de células, excepcionalmente dos. Estas células son homogéneas y están todas alargadas en la dirección del radio en la mayor parte de los álamos, y

particularmente en los cultivados (Castro y Zanuttini, 1992). Según Durán (1972) los radios en el álamo no son visibles a ojo desnudo, mientras que los poros son numerosos y pequeños, y apenas o no visibles a simple vista. La homogeneidad del radio constituye un importante elemento taxonómico porque permite distinguir al álamo del sauce, género afín pero caracterizado por radios parenquimáticos heterogéneos (Castro y Zanuttini, 1992).

7. Características organolépticas

Desagradable olor ácido o rancio del leño al estado fresco que desaparece al secarse (Castro y Zanuttini, 1992).

C. PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS

1. Obtención de muestras

Cuando se trabaja con una población pequeña o finita, puede ser posible desde el punto de vista práctico medir cada uno de los individuos que la integran mediante un procedimiento denominado censo poblacional. Sin embargo para poblaciones de gran tamaño, compuestas por numerosos individuos el estudio completo de cada uno y todos sus integrantes, resultaría impracticable o simplemente imposible. En tales casos, para obtener toda la información requerida, debe recurrirse al estudio de porciones pequeñas y representativas de la población llamadas muestras. El procedimiento se denomina muestreo, y los individuos constituyen las unidades muestrales. El conjunto de las unidades de muestreo tomados como un grupo específico determinan el tamaño de muestra. El concepto de unidad muestral o individuo debe definirse previamente a la realización del muestreo (*).

Los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas de la madera comprenden cuatro etapas diferentes: recolección de las muestras, transporte del material al laboratorio, preparación de las probetas, y análisis y evaluación de los resultados.

Para reducir los gastos de investigación a un mínimo, es preciso seleccionar solamente las muestras necesarias para obtener resultados con una precisión deseable. Esto equivale a reducir los gastos de investigación, de transporte de material, preparación de las probetas, y análisis y evaluación de los ensayos (Hoheisel, 1965).

No hay un número fijo de probetas necesarias para los ensayos de propiedades físicas y mecánicas de la madera. El número de ellas depende de la variación de dichas propiedades dentro de un árbol y también entre árboles de la misma especie en

(*) Sorrentino, apuntes de clase, 1994.

diferentes lugares (Pearson y Williams, Longwood, Keylwerth, Pearson, 1952, citados por Hoheisel, 1965). Cuando se trata de una especie aún no estudiada, es necesario realizar ensayos preliminares basados en un muestreo al azar, para elaborar el plan definitivo de muestreo.

El propósito práctico de un estudio primario y de orientación sobre una propiedad de la madera, aconseja trabajar con una seguridad estadística del 95% y un intervalo de confianza de más o menos 15% de la media, siendo necesarios como mínimo cinco árboles (norma COPANT 458, citada por Noack, 1970). Para estudios más intensivos, con un intervalo de confianza de más o menos 10% se necesitan de 10 a 12 árboles, y para aquellos que requieren una confianza de aproximadamente 95% la muestra deberá ser de 20 a 30 árboles (Noack, 1970).

Hellawell (1956) indica que un gran número de probetas por árbol permite estudiar la variabilidad dentro de árboles. Esto no tiene importancia cuando los resultados de los ensayos estándar solo son requeridos para propósitos prácticos. Pearson (1952), citado por Hellawell (1956), señala que una probeta por árbol provee el mínimo tamaño de muestra para una precisión dada de estimación de la media. En muchos casos esta muestra es asimismo la de tamaño más económico. Si fuera importante estimar las variaciones dentro y entre árboles se deberían tomar varias probetas por árbol.

Con el propósito de investigar las propiedades mecánicas y relacionadas, se han seguido planes sistemáticos de muestreo para obtener probetas sin defectos. Estos están basados en la suposición de que la variabilidad de las propiedades dentro de un árbol es mayor que la variabilidad entre árboles. La misma, ciertamente no es una suposición correcta (Noack, 1970). Las variaciones de las propiedades entre árboles son más significativas que las variaciones dentro de un árbol, con lo que se obtiene una precisión de valores mucho más grande si se incluye más árboles y menos muestras de cada árbol (Pearson y Williams, 1958; Krahmer y Snodgrase, 1967; Lauricio y De la Cruz, 1969, citados por Noack, 1970). Para obtener resultados no distorsionados, que además permitan calcular los errores en las estimaciones de los promedios de las especies, es una exigencia estadística que cada parte maderable tenga la misma probabilidad de ser tomada como probeta. Por lo tanto, el muestreo de probetas debe ser realizado al azar y proporcionalmente al volumen. Un muestreo sistemático, como el ASTM ya no está adecuado a la realidad. En la práctica está demostrado que en la mayoría de los casos, lo mas económico es tomar una o dos muestras de cada árbol. Si se toman dos, también es posible estimar la variación de las propiedades dentro de los árboles (Noack, 1970).

Coronel (1994) indica que al citarse el valor de cualquier propiedad para determinada especie, éste representa sólo un promedio encontrado para la misma, y por tanto sugiere presentar los rangos de los valores dentro de los cuales varía esa propiedad. De esta manera se deben incluir los correspondientes valores estadísticos, tales como varianza, desviación estándar y coeficiente de variación. Según Noack

(1970) no basta con presentar valores promedios de las propiedades físicas y mecánicas de la madera sino que es más importante conocer la forma en que varían estos valores. Según este autor las causas de variación de las propiedades físicas y mecánicas son las siguientes:

Heterogeneidad: la madera por su origen orgánico, presenta grandes variaciones en sus propiedades físicas y mecánicas. Es notable la forma en que varía en árboles de la misma especie debido a los distintos sitios en los que se desarrollan, incluso en el mismo árbol por factores tales como edad, diámetro, altura, diferenciación en las fibras y anillos de crecimiento. Estas variaciones deben tomarse en cuenta en la planificación de los ensayos.

Tamaño de probetas: el tamaño de las muestras tiene gran influencia sobre los resultados de los ensayos. Con muestras pequeñas, adecuadamente orientadas y sin defectos, se obtienen resultados mejores que con muestras grandes en las que es más difícil orientar bien los anillos y tienen mayor posibilidad de incluir defectos. El tamaño de las probetas influye especialmente sobre los ensayos de compresión paralela a las fibras (Hoheisel, 1965), peso específico aparente (Holz y Plickat, 1961, citado por Hoheisel, 1965) y contracción.

Forma de realización de los ensayos: existen dos métodos principales para realizar los ensayos. En uno se aplica una velocidad determinada de deformación (mm. min.^{-1}) por medio del aumento correspondiente de la carga (Kg. min.^{-1}). En el otro se practica un aumento determinado de la carga (Kg. min.^{-1}) que produce una deformación correspondiente (mm. min.^{-1}). Los resultados obtenidos por cada uno de estos sistemas no se pueden comparar, debido a que no existe aún un factor de conversión satisfactorio.

Errores: debido a que cada medida tiene una precisión limitada a la ley de acumulación de errores, los resultados de las propiedades físicas y mecánicas de la madera presentan tolerancias que oscilan entre $\pm 3\%$ a $\pm 6\%$ (Keylwerth, citado por Hoheisel, 1965).

Selección de las muestras: un elevado número de muestras por árbol no mejora la precisión de los promedios debido a que influyen factores no controlables como la presencia de defectos y la influencia del medio ambiente, lo que dificulta la obtención de conclusiones precisas y comparables. La ubicación de las muestras dentro de los árboles es también causa de variaciones en los resultados de los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas. Si los árboles a ensayar se seleccionan por categorías diamétricas, por clases o por su ubicación en el bosque según criterios subjetivos, puede que los resultados presenten tendencias que se aparten de la realidad. La ubicación de las muestras con respecto a la médula y a la altura en el árbol tiene más influencia que la orientación de las mismas (Keylwerth, citado por Hoheisel, 1965). Por lo común se seleccionan las muestras a la mitad de la altura del árbol o en la parte basal pretendiendo con esto evitar la influencia de la altura del árbol. Este

criterio no es correcto, ya que los resultados que se obtienen no son representativos (Hoheisel, 1965).

2. Propiedades físicas

a. *Peso Especifico Aparente*

El peso específico aparente es la relación que existe entre el peso y el volumen de la madera con poros. Se distingue por lo tanto del peso específico, en el que se considera el peso y el volumen sólidos (sin poros). Este último es relativamente constante entre especies, siendo su valor promedio de 1,53 g/cm³ (Tuset y Durán, 1986). Según Brown et al. (1952) el peso específico puede variar entre 1,50 y 1,56 g/cm³ dependiendo de las proporciones de celulosa y lignina. En cuanto al peso específico aparente, estos autores aclaran que las diferencias entre y dentro de especies se deben a la diferente cantidad de sustancia leñosa y materiales extraños por unidad de volumen. La cantidad de sustancia leñosa está determinada en gran forma por las características estructurales de la madera, como tamaño y proporción de los distintos tipos celulares, y por el espesor de las paredes celulares. Esta última es la que tiene mayor efecto en la densidad.

Según Tuset y Durán (1986), es de gran importancia especificar las condiciones de humedad en las que se determinan tanto el peso como el volumen, debido a que no existe unidad de criterios entre los distintos países. A continuación se presentan algunas de las maneras de calcular el peso específico aparente:

$$Pa = Ga / Va$$

donde:

Pa= peso específico aparente anhidro (g/cm³)

Ga= peso de la madera anhidra (g)

Va= volumen de la madera anhidra (cm³)

$$Pb = Ga / Vb$$

donde:

Pb= peso específico aparente básico (g/cm³)

Ga= peso de la madera anhidra (g)

Vb= volumen de la madera en estado verde (cm³)

$$Pc = Ga / Vc$$

donde:

Pc= peso específico aparente corriente (g/cm³)

Ga= peso de la madera anhidra (g)

Vc= volumen de la madera al 12% de humedad (cm³)

De estas tres expresiones el peso específico aparente básico es el más utilizado, pues expresa el peso de madera anhidra que contiene un determinado volumen verde. El peso específico aparente corriente es el más costoso de obtener debido a que para alcanzar el estado de humedad de 12% es necesario contar con una cámara de climatización para tener las condiciones de humedad y temperatura óptimas a tales efectos (Tuset y Durán, 1986).

Cuando no es posible calcular directamente alguna de las formas de peso específico aparente, se puede utilizar ciertas fórmulas que permiten pasar de una a otra de las expresiones (UNIT 237-70). Estas fórmulas son :

$$Pa = \frac{Pb}{1 - 0,27 \times Pb}$$

$$Pa = \frac{Pc}{1 - 0,108 \times Pc}$$

$$Pb = \frac{Pa}{1 + 0,27 \times Pa}$$

$$Pb = \frac{Pc}{1 + 0,162 \times Pc}$$

$$Pc = \frac{Pb}{1 - 0,162 \times Pb}$$

$$Pc = \frac{Pa}{1 + 0,108 \times Pa}$$

Pa: peso específico aparente anhidro (g/cm³)

Pb: peso específico aparente básico (g/cm³)

Pc: peso específico aparente corriente (g/cm³)

Gutiérrez Oliva (1992), trabajando con los principales clones de álamo cultivados en España, propone una serie de ecuaciones de regresión calculadas a partir de los valores de todos los árboles utilizados en su estudio. Estas son:

$$DB = 0,831 \times D_0 + 22,0 ; \quad D_0 = 1,197 \times DB - 24,5 ; \quad \text{correlación} = 0,9976$$

$$DB = 0,802 \times D_{12} + 13,2 ; \quad D_{12} = 1,242 \times DB - 14,8 ; \quad \text{correlación} = 0,9979$$

$$D_0 = 0,964 \times D_{12} - 10,2 ; \quad D_{12} = 1,037 \times D_0 + 11,0 ; \quad \text{correlación} = 0,9996$$

$$D_0 = P_0 / V_0$$

$$DB = P_0 / V_s$$

$$D_{12} = P_{12} / V_{12}$$

donde:

D_0 : densidad anhidra (Kg/m^3)

DB : densidad básica (Kg/m^3)

D_{12} : densidad normal (Kg/m^3)

P_0 : peso anhidro (Kg)

P_{12} : peso al 12% de humedad (Kg)

V_0 : volumen anhidro (m^3)

V_s : volumen saturado (m^3)

V_{12} : volumen a 12% de humedad (m^3)

Formas de determinación

i. Método gravimétrico

En este método la muestra es saturada antes de determinar su volumen por desplazamiento de agua o de mercurio. Luego se procede a secar la muestra en estufa de laboratorio durante 24 horas a una temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta alcanzar peso constante. Se registra la masa y el volumen, y se procede al cálculo del peso específico aparente (Moura, Barnes y Birks, 1987).

ii. Método densitométrico

Se obtienen muestras cilíndricas de corteza a corteza, que luego se transforman en un espesor de 5 mm. Se aplican rayos X y luego se escanea. Las medidas se convierten a densidad mediante modelos lineales previamente establecidos.

Los dos métodos descritos son usados normalmente para la estimación de la densidad. Ambos incluyen la preparación de probetas y son costosos en términos de tiempo de campo y laboratorio (Moura, Barnes y Birks, 1987).

iii. Método del Pilodyn

El testeador de madera 'Pilodyn' (nombre registrado por Porceq S. A., Zurich), fue desarrollado originalmente en Suiza para obtener en forma cuantitativa datos del grado de pudrición blanda de los postes de transmisión eléctrica. Consiste en la inyección de una aguja en la madera con una fuerza determinada que resulta en la penetración del mismo, midiéndose la misma en una escala. La profundidad alcanzada es inversamente proporcional a la densidad de la madera. Este método es muy útil

cuando se considera un gran número de árboles, familias y procedencias. El mismo permite estimar la calidad de la madera en forma rápida, económica, no destructiva, y razonablemente exacta (Moura, Barnes y Birks, 1987).

Variación del peso específico aparente

i. Factores internos

- Efecto de la edad

Brown et al. (1952) considera que es difícil sostener que exista una correlación directa entre la edad del árbol y el peso específico aparente. Según estos autores, los posibles efectos de la edad pierden claridad frente a las fluctuaciones en la tasa de crecimiento

- Estructura

Según Cozzo (1956), las diferencias entre las dimensiones, formas y distribución de los distintos elementos leñosos, pueden dar lugar a maderas homogéneas o heterogéneas. Físicamente la madera es un material heterogéneo, pero estructuralmente puede ser homogéneo cuando los elementos anatómicos no exhiben grandes diferencias entre sí. La madera de álamo es reconocida como homogénea debido a su porosidad difusa, con poros pequeños, uniformemente distribuidos, radios diminutos y escaso parénquima axial.

- Humedad

La relación entre peso y volumen es variable según el contenido de humedad y por tanto la condición higrométrica debe especificarse en cada caso para obtener valores comparativos. La densidad aparente aumenta con el contenido de humedad. El incremento en el contenido de humedad lleva a un aumento en el peso y en el volumen hasta el punto de saturación de las fibras. Por encima de éste, el volumen permanece constante mientras el peso continúa aumentando. Como resultado, la densidad aparente aumenta con el contenido de humedad.

- Leño temprano y leño tardío

La madera de leño temprano, con células de paredes delgadas y gran lumen tiene principalmente la función conductora de la savia, mientras que la madera de leño tardío, con células de pared gruesa y poco lumen, tiene la función de dar solidez al cuerpo de la planta (Coronel, 1994). Esto determina que el peso específico aparente del leño temprano sea menor que el del leño tardío. Esta diferencia es mayor para el caso de las coníferas; en las latifoliadas en cambio, el contraste entre el peso específico aparente de la madera de leño temprano y tardío es menos pronunciado

(Kollman, 1959). Según Brown et al. (1952) en las maderas de porosidad difusa, como el caso del álamo, al haber escasa interdependencia entre tasa de crecimiento y proporción de leño tardío, raramente se observa correlación entre aquella y el peso específico aparente.

- Ancho de anillos de crecimiento

El ancho de anillo ha sido sugerido frecuentemente como medida de las propiedades físicas y mecánicas de la madera, en la suposición de que está relacionado con el peso específico aparente. Sin embargo se ha demostrado que no es un criterio seguro a no ser que se evalúe en conjunción con la calidad de los tejidos formados (Brown et al., 1952). Rochester (1931) reportó que no hubo correlación entre tasa de crecimiento y peso específico aparente en maderas de porosidad difusa, excepto en *Populus balsamifera*, *P. grandidentata* y *P. tremuloides*. En estas excepciones a la regla general, encontró que un óptimo crecimiento produce la madera de mayor peso específico aparente (Brown et al., 1952). Según Fernández-Golfín (1994), debido a que el álamo se cultiva en la ribera de los ríos, no presenta restricciones de crecimiento por la escasez de agua, motivo por el cual su comportamiento se traduce en un crecimiento parejo.

Kennedy y Smith (1959), determinaron un aumento del peso específico aparente con la tasa de crecimiento en *Populus spp.* Göhre (1960) indica que el peso específico aparente de *Populus spp.* no se relaciona con el ancho de anillo. Farmer y Wilcox (1966) reportaron para *Populus deltoides* que el peso específico aparente fue apenas menor en árboles que crecieron más rápidamente. (Zobel y Van Buijtenen, 1989)

- Altura en el árbol

Markwardt y Wilson (1935) señalan que la madera de la parte inferior del árbol posee un peso específico aparente mayor que la de posiciones superiores.

En un estudio de 10 clones de álamo cultivados en Canadá, Beaudoin et al. (1992) llegaron a la conclusión de que existen diferencias significativas entre las 4 alturas muestreadas, que explican alrededor del 15% de la variación fenotípica. En el promedio de los clones, la densidad es alta en la base (0,5 m), decrece hasta los 3 m y aumenta al menos hasta los 4,5 m.

Gutiérrez Oliva (1992), determinó que el peso específico aparente básico y por tanto el anhidro y normal (P12/V12), con los que está altamente correlacionado, aumentan con la altura en el tronco, con la pequeña salvedad de la zona a nivel del suelo. El mismo autor agrega que la densidad en verde (densidad aparente) es máxima sobre los tres metros de altura y mínima para alturas superiores a los nueve metros.

Según Durán (1972), no se observó variación significativa en el peso específico aparente al nivel de 5% en sentido longitudinal, para *Populus x euramericana* cv 'I-154'.

- Posición radial

Según Brown et al. (1952) en latifoliadas, la madera de menor densidad puede producirse en cualquier momento de la vida del árbol dependiendo de las condiciones predominantes en el momento de formación de la madera.

Beaudoin et al. (1992) revelaron que la densidad es mayor cerca de la médula, decrece hacia la mitad del radio y aumenta hacia la corteza. Gutiérrez Oliva (1992), con el fin de eliminar la influencia de la altura, sólo consideró los datos obtenidos de las trozas cortadas entre las alturas de 1 a 2 metros. Encontró que aunque la densidad aumenta de la médula a la corteza, esta variación no es muy significativa ni suele seguir una determinada ley (Gutiérrez Oliva, 1992). Durán (1972), estudiando las propiedades físicas de *Populus x euramericana* cv 'I-154' determinó que se da un incremento del peso específico aparente básico y anhidro desde la médula a la corteza a diferentes alturas: 0,50; 2,50; y 4,50. Según Shukla (1991) para *Populus deltoides* el valor del peso específico aparente a nivel de la médula no difiere significativamente al encontrado en el sector medio, en tanto que es significativamente menor que el valor del sector mas alejado del centro del tronco. Este estudio se realizó con probetas extraídas en el primer, tercer y quinto metro del árbol.

- Impregnantes naturales

Son sustancias de variada composición química, que no forman parte de la sustancia leñosa pero que se depositan dentro de las paredes y cavidades celulares. Su remoción no afecta la estructura celular pero produce una disminución del peso específico aparente (Tsoumis, 1991).

ii. Factores externos

- Lugar de crecimiento

Factores tales como clima, suelo, altitud, humedad, pendiente del terreno, vientos dominantes, espaciamiento, asociación de especies, etc, pueden condicionar el peso específico aparente.

Posey (1969), citado por Zobel (1989) señala que los clones de álamo del este de Oklahoma en Estados Unidos, tienen menor peso específico aparente que los del oeste. El autor lo atribuye a que los clones del este presentan fibras más largas.

- Métodos silviculturales

Los más importantes son la fertilización, labores culturales (podas, desramas, etc.), densidad de la población, composición de especies, etc.

Faulger y HacsKaylo (1968), citados por Zobel (1989), trabajando con *Populus deltoides*, encontraron que deficiencias de nitrógeno y azufre resultan en reducciones en largo y espesor de fibras, y espesor de vasos. La escasez de boro y potasio, y hasta cierto nivel de fósforo, produce el mismo efecto. El nitrógeno causa un aumento de la relación vasos/fibras. Estas relaciones conducen a variaciones en el peso específico aparente.

CUADRO 1: Estimaciones de pea.

Espece	Pea básico*	Pea anhidro*	Densidad*	Pea - 12% *
P. deltoides	0,370 ⁵ 0,398 ⁶	0,444 ⁵ -	- -	0,385 ² -
P. d. cv. 'Harvard'	-	0,381 ¹	0,330 ⁴	0,3475 ³

Fuente: ⁽¹⁾ CITEMA (1996)

⁽²⁾ Conferencia del Chopo (Madrid, 1960)

⁽³⁾ Otaño et al. (1996)

⁽⁴⁾ Padró Simarro (1992)

⁽⁵⁾ USDA (1987)

⁽⁶⁾ Shukla et al. (1990)

b. Humedad

Según Gutiérrez Oliva (1992), la importancia del estudio del contenido de humedad de la madera y su variación radica en que casi todas las características mecánicas de la madera varían con la humedad. Coronel (1994) agrega que la variación de esta característica afecta no solo las propiedades mecánicas sino también las propiedades físicas. También influye sobre la aptitud de transformación de la madera, poder calorífico, resistencia al ataque de hongos e insectos, y sobre procesos industriales tales como el secado, rendimiento y calidad de celulosa, coloración e impregnación.

El agua presente en la madera puede dividirse según su ubicación, en tres tipos a saber: agua libre, de impregnación y de constitución. El agua libre es aquella que se encuentra en los lúmenes y en los espacios intercelulares (Faroppa, 1983). Su presencia no tiene en general influencia sobre las propiedades de la madera, con

(*) g/cm³

excepción del peso específico (Coronel, 1994). Esta fracción del agua total es de fácil extracción.

Por otro lado, el agua de impregnación es la que está presente en las paredes celulares (Faroppa, 1983). La variación de esta humedad es la que determina cambios en las propiedades físicas y mecánicas. Por último, el agua de constitución es aquella que forma parte de la estructura química de la madera, y que sólo es extraíble mediante la calcinación (Coronel, 1994).

El punto de saturación de las fibras es aquel en el cual la madera durante el proceso de secado, termina de perder el agua libre. En la práctica, este punto se sitúa entre 25 y 30% de contenido de humedad, variando según la temperatura, la especie y la dirección considerada (Tuset y Durán, 1986).

Métodos de determinación de humedad

i. Desección en estufa o método por pesadas.

Es un método muy utilizado en trabajos técnicos y de investigación. En primer lugar, se pesa la muestra húmeda de madera y se anota su peso (P_h). Posteriormente la muestra es colocada en estufa de laboratorio a una temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta obtener peso constante en dos pesadas sucesivas. Este se registra como peso anhidro (P_o); con estos datos se tiene la información necesaria para realizar el cálculo del contenido de humedad (%).

$$C.H. = ((P_h - P_o) / P_o) \times 100$$

El desecado en estufa, si bien constituye un método lento y trabajoso, es un patrón para otros métodos de medición de humedad, en virtud de su exactitud.

Entre sus ventajas podemos mencionar:

- buena exactitud en especies latifoliadas
- económico
- técnica sencilla de medición

Desventajas:

- insume mucho tiempo
- implica destrucción del material a investigar
- exige un trabajo prolijo y cuidadoso
- a la temperatura indicada comienza la descomposición térmica de la madera por lo que nunca se alcanza peso constante.

- la exactitud es limitada en especies de coníferas debido a que las resinas, terpenos, aceites esenciales y grasas, alteran el resultado hasta en un 5-10% (Coronel, 1994).

ii. Método por destilación o extracción.

Es especialmente apropiado para especies que contienen resinas o aceites esenciales en su interior. Este procedimiento comienza con la colocación dentro de un matraz, de determinado peso de viruta o aserrín junto con un líquido insoluble en agua como el xilol. Luego se calienta el matraz lo que determina la evaporación del xilol junto con el agua que se desprende de la madera; el vapor de agua se condensa y se recoge en un recipiente graduado, mientras que el xilol regresa al matraz. La humedad se determina de la siguiente manera según Tuset y Durán (1986):

$$C.H. = (Pr / (Pm - Pr)) \times 100$$

C.H.: contenido de humedad (%)

Pr : peso del agua recogida (g)

Pm : peso de la muestra de madera (g)

Ventajas:

- precisión muy alta (aproximadamente 0,5% del contenido de humedad de la madera)
- determina en forma específica la cantidad de agua

Desventajas:

- requiere material de vidrio frágil y costoso.
- utiliza disolventes costosos.
- se desprenden gases fácilmente inflamables y perjudiciales para la salud.
- implica destrucción del material a investigar.

(Coronel, 1994)

iii. Xilohigrómetros eléctricos

La medición de la humedad de la madera mediante procedimientos eléctricos se ha generalizado ampliamente en la industria maderera, especialmente en Estados Unidos y Europa. Los primeros aparatos manejables en forma manual aparecieron alrededor del año 1930 (Coronel, 1994).

Se distinguen dos tipos fundamentales de aparatos: xilohigrómetros de resistencia y de capacitancia. Los primeros se basan en la variación de la resistencia eléctrica que ofrece una madera al pasaje de la corriente según su contenido de humedad. Esta resistencia disminuye a medida que el contenido de humedad aumenta hasta un valor aproximado de 30%, por encima del cual su reducción es relativamente

pequeña, y por lo tanto, se pierde exactitud en las medidas. Por encima de 30% de humedad se han constatado errores de 10% o más. El procedimiento de determinación consiste en la introducción de dos electrodos metálicos en el interior de la madera, unidos aquellos mediante conductores al instrumento de medición (Tuset y Durán, 1986).

Los xilohigrómetros de capacitancia se basan en el cambio de las propiedades dieléctricas o de aislación de la madera según el contenido de humedad que posea. Estos aparatos se usan poco pues sus lecturas resultan afectadas por el peso específico aparente. Sin embargo, pueden ser muy útiles en la determinación de contenidos de humedad por debajo del límite inferior que son capaces de medir los aparatos del tipo de resistencia, establecido en aproximadamente 6% (Tuset y Durán, 1986).

Las lecturas realizadas con ambos aparatos dependen del tipo de madera, peso específico aparente, temperatura al momento de la medición y presencia de preservantes o colas; por esta razón existen tablas de corrección para alguno de estos factores de modo que la humedad puede ser determinada con un error aproximado de 1% (Coronel, 1994)

Variación de la humedad

Durán (1972), estudiando la variación de las principales propiedades físicas de *Populus x euramericana* cv 'I-154', encontró que el contenido de humedad aumenta desde la corteza a la médula, mientras que disminuye desde la parte inferior del árbol a la superior. Gutiérrez Oliva (1992) establece que como norma general la humedad de la madera de álamo disminuye con la altura en el tronco. Entre uno y dos metros de altura la humedad es máxima (158%), de dos a nueve metros disminuye en forma constante con un promedio de 105%, siendo mínima para alturas superiores a nueve metros. También señala que la humedad es mayor cerca de la médula que hacia la corteza, citando valores de 215% en el corazón negro y 125% en la albura, ambos obtenidos en las mismas secciones y al momento del apeo.

CUADRO 2: Estimaciones de humedad.

Especie	Ch (%)
Populus deltoides	145,1 ¹
Populus deltoides cv. 'Harvard'	134,0 ²
Populus x euramericana cv. 'I - 154'	184,9 ³
Populus x euramericana cv. 'I - 214'	165,0 ⁴

Fuente: ⁽¹⁾ Shukla et al. (1990)

⁽²⁾ Calderón et al. (1988)

⁽³⁾ Durán (1972)

⁽⁴⁾ Castro et al. (1994)

c. Contracción

La disminución en las dimensiones, provocada por un descenso en el contenido de humedad, se conoce bajo el nombre de contracción normal de la madera. El proceso inverso se denomina hinchamiento.

Al igual que lo que ocurre con las propiedades mecánicas, las dimensiones de la madera varían con la humedad entre el estado anhidro y el punto de saturación de las fibras, para permanecer prácticamente constantes para humedades superiores a dicho punto (Gutiérrez Oliva, 1992).

La contracción total es la que se registra entre el estado de saturación y el estado anhidro de la madera. Según Gutiérrez Oliva (1992) el valor de la contracción entre el estado saturado y del 12% de humedad, representa un 60% de la total.

El coeficiente de contracción se define como la variación del volumen por cada variación de 1% en el contenido de humedad (Faroppa, 1983). Según Gutiérrez Oliva (1992) este coeficiente en el álamo es aproximadamente igual al 3,3% de la contracción total. Estos porcentajes son aplicables tanto a contracciones volumétricas como lineales.

La contracción provoca una degradación de los productos que da como resultado el desarrollo de varios defectos tales como la separación de piezas solidarizadas (finger-joint), alabeos, combados, encostramiento superficial, y grietas internas. Todos estos defectos pueden ocurrir en madera con estructura normal pero su magnitud puede ser seriamente influenciada por la presencia de anomalías tales como madera de reacción y nudos, entre otros (Tsoumis, 1991).

Debemos distinguir entre el concepto de contracción y el de movimiento ("movement"). Este último se refiere a los cambios dimensionales debidos a variaciones atmosféricas pero una vez que la madera ha llegado al equilibrio higroscópico (Malan y Jansen, 1980; Jain et al., 1993). Su conocimiento es importante

para prever el comportamiento que tendrán los productos según su uso frente a cambios atmosféricos, ampliando y dando mayor seguridad a su utilización (Somoza, 1985).

En algunas maderas se produce un fenómeno de contracción anormal llamado colapso, que ocurre por encima del punto de saturación de las fibras. En el álamo este fenómeno es bastante común (Tuset y Durán, 1986).

Métodos de determinación de la contracción

Los valores de contracción se obtienen midiendo las dimensiones de una pieza cuyas caras deben estar orientadas según los planos típicos de corte, siendo el eje de la probeta paralelo al grano. Las mediciones deben realizarse con un calibre en distintos estados de humedad de la probeta (Tuset y Durán, 1986). Otra manera de calcularla, es mediante el desplazamiento de líquidos por diferencia entre dos estados de humedad.

La contracción volumétrica es la variación del volumen en porcentaje entre dos estados de humedad, y puede calcularse utilizando los datos de contracciones lineales antes mencionadas. Según Gutiérrez Oliva (1992), los valores de las variaciones dimensionales se dan en porcentaje en relación a la dimensión de la madera al estado anhidro. Por otro lado, Tuset y Durán (1986) proponen expresar los valores según la norma ASTM D 143, que determina la contracción en relación a la mayor dimensión.

Factores que afectan la contracción

i. Peso específico aparente

Gutiérrez Oliva (1992), trabajando con 13 clones de álamo cultivados en España determinó que existe una estrecha correlación entre peso específico aparente y contracción, por lo que las diferencias en contracción entre los distintos clones se deben principalmente a sus variaciones en peso específico aparente. Brown et al. (1952) trabajando con maderas de diferentes especies hallaron un coeficiente de correlación positivo de 0,75 entre peso específico aparente y contracción volumétrica, lo que puede ser considerado como una alta interdependencia. Algunas maderas se desvían radicalmente de esta tendencia, como es el caso del álamo que contrae mucho más de lo que indica su peso específico. En el mismo trabajo el autor sostiene que las maderas con mayor contenido sólido, poseen mayor cantidad de agua adsorbida, exhibiendo mayores cambios volumétricos que aquellas mas ligeras.

Yoa (1969), citado por Malan (1982), observó una correlación positiva entre peso específico aparente y contracción radial, tangencial y volumétrica. Por otro lado encontró una correlación negativa entre peso específico aparente y contracción longitudinal. Koehler (1931) y Welsh (1932), citados por Hann (1969) confirman dicha correlación, al señalar que a nivel intraespecífico, la madera de baja densidad contrae más longitudinalmente que la de alta densidad.

Kelsey (1963), citado por Cuevas (1969), sostiene que existe una correlación negativa y significativa entre el peso específico aparente y la anisotropía de la contracción. Esto implica que a bajas densidades, hay mayores diferencias entre las contracciones en dirección radial y tangencial.

ii. Dirección

La madera es un material anisótropo, y por lo tanto sus propiedades varían según la dirección que se considere. Un claro ejemplo es la diferente magnitud de la contracción, según esta se mida en la dirección tangencial, radial o longitudinal. En general se observa que la contracción tangencial es mayor que la radial, y ésta a su vez es mayor que la longitudinal. La madera contrae aproximadamente el doble tangencialmente que en sentido radial.

Algunas teorías que intentan explicar la anisotropía de la contracción son:

- Los radios ejercen un efecto de restricción en sentido radial, no así en el tangencial.
- La laminilla media, al ser de mayor espesor en sentido radial puede colaborar en este efecto.
- "La más aceptada, al menos para coníferas, es que las fibrillas de celulosa se desvían de su curso espiralado normal alrededor de las puntuaciones, y de esta manera introducen un componente restrictivo que tiende a reducir la contracción tangencial y radial. Como la mayoría de las puntuaciones está en el plano radial, este efecto es más acentuado en la dirección radial" (Malan, y Jansen, 1980).

Referido a la contracción longitudinal, en los años 50 se llegó a la conclusión de que "la contracción longitudinal de la madera normal con los cambios en el contenido de humedad, es tan pequeño, que para la mayoría de los propósitos puede ser ignorado" (Hann, 1969).

Koehler (1931) citado por Hann (1969), resumió la información aceptada hasta la fecha sobre contracción longitudinal: "la contracción longitudinal varía entre 0,1 y 0,3%". Del mismo modo menciona un interesante fenómeno: "algunas probetas de madera normal son más largas a 12% que en estado verde". Trabajando con probetas de 62 especies, Welsh (1932) citado por Hann (1969), confirmó lo resumido por Koehler, observando que a menudo existió hinchamiento en lugar de contracción.

iii. Impregnantes naturales

De acuerdo con Choong (1969) citado por Malan (1982), la presencia de estas sustancias reduce la contracción volumétrica. En relación a esto, la correlación entre peso específico aparente y contracción mejora cuando los impregnantes son

removidos de la madera. Esto se explica por el hecho de que estas sustancias aumentan la densidad sin influir en forma definida sobre la contracción.

iv. Maderas con defectos

En maderas con ciertos defectos como corazón juvenil en coníferas o madera de tensión en latifoliadas, se pueden constatar valores de contracción longitudinal considerables (Tuset y Durán, 1986).

v. Posición en el árbol

Durán (1972), sostiene que no existen diferencias significativas en contracción tanto en la dirección longitudinal como transversal.

CUADRO 3: Estimaciones de contracción.

	P. deltoides (1)	cv 'Harvard' (1)	cv 'Harvard' (2)
Contracción total (%)			
radial	4,42	3,25	3,82
tangencial	10,03	4,82	8,34
axial	0,52	0,14	0,31
volumétrica	15,49	8,38	12,83
Contracción 12-0 (%)			
radial	-	-	1,78
tangencial	-	-	3,07
axial	-	-	0,48
Coefficiente de contracción			
radial	-	-	0,15
tangencial	-	-	0,26
axial	-	-	0,04
Punto saturación de fibras (%)			
radial	21,1	22,3	-
tangencial	32,8	24,6	-
axial	8,3	17,8	-

Fuente: ⁽¹⁾ Somoza (1985).

⁽²⁾ Propiedades físicas y mecánicas de la madera de cinco clones de álamo cultivados en la Provincia de Buenos Aires (CITEMA, 1996).

Nota: Los valores de contracción fueron calculados en relación a la menor dimensión de las probetas.

3. Propiedades mecánicas

Los conceptos vertidos en este capítulo fueron extraídos en su gran mayoría de Tsoumis (1991). Para las excepciones se especifica el autor.

Las propiedades mecánicas de la madera son medidas de su resistencia a las fuerzas exteriores que tienden a deformarla. La resistencia de la madera a estas fuerzas depende de su magnitud y del tipo de carga (tensión, compresión, corte, flexión). En contraste con los metales y otros materiales de estructura homogénea, la madera exhibe diferentes propiedades mecánicas en distintas direcciones de crecimiento (axial, radial y tangencial) y, de esta manera es mecánicamente anisotrópica.

a. Conceptos básicos

En muchos materiales, incluida la madera, la relación entre carga y deformación es lineal hasta cierto punto (Ley de Hooke). Este punto es llamado límite proporcional o límite elástico. Por encima del mismo, un incremento de la carga causa una deformación más que proporcional hasta que el cuerpo falle.

Elasticidad es la propiedad de un cuerpo de retornar a su condición inicial en cuanto a forma y tamaño, cuando la carga causante de la correspondiente deformación es removida. Esto ocurre por debajo del límite proporcional. Si la carga se continúa aplicando por encima de este punto, parte de la deformación es permanente.

La relación entre carga y deformación define el módulo de elasticidad (Módulo de Young). Este se calcula por la relación:

$$E = S / d,$$

donde E es el módulo de elasticidad (N/mm^2 ó Pa); S representa la carga por unidad de área o carga unitaria (N/mm^2 ó Pa); d es la deformación unitaria (mm / mm ó in/ in).

El módulo de elasticidad es válido sólo hasta el límite proporcional. Un alto módulo de elasticidad indica que se trata de un cuerpo rígido (i.e., un cuerpo que puede resistir altos esfuerzos sin grandes deformaciones). Este módulo se determina a partir de los ensayos de flexión dinámica o estática, usualmente estática. Los valores obtenidos a partir de los ensayos de flexión dinámica son en promedio entre un 10 y un 15% mayores.

Desde el punto de vista de la elasticidad, la madera tiene una posición intermedia en comparación con otros materiales. Si se tiene en cuenta su peso

(densidad, peso específico aparente), la madera es comparable al acero. El módulo de elasticidad es diferente en las tres direcciones de crecimiento. Los valores de la elasticidad axial son muy superiores a los transversales. Entre los valores radiales y tangenciales no existen diferencias importantes.

Igualmente importante es la propiedad de un cuerpo de presentar resistencia a cargas instantáneas o de impacto. Esta se mide a través de la energía que el cuerpo puede absorber (resiliencia). Cuanto mayor es el trabajo requerido para romper un cuerpo mayor es la resiliencia del mismo.

b. Ensayos mecánicos

i. Compresión paralela a las fibras

La falla de la madera debido a la compresión axial puede deberse a la ruptura de capas intercelulares, clivaje o corte, pliegue de células y rotura de paredes celulares (Kollmann y Côté, 1968; Kucera y Barisca, 1985, citados por Tsoumis, 1991). Las puntuaciones en las paredes celulares constituyen porciones de reducida resistencia a este esfuerzo.

La resistencia a la compresión paralela es en promedio, alrededor de 15 veces mayor que la misma en compresión perpendicular (Giordano, 1971, citado por Tsoumis, 1991).

Este esfuerzo se aplica en la práctica por ejemplo a las columnas utilizadas en la construcción edilicia.

ii. Compresión perpendicular a las fibras

La compresión perpendicular tiene como efecto un cambio en la forma de la sección transversal de las células y una reducción del tamaño de las cavidades celulares. Con el incremento en la carga, estos cambios avanzan gradualmente desde la superficie hacia el interior de la madera.

Se ha observado que en latifoliadas la resistencia a la compresión radial es mayor que la tangencial (Giordano, 1971, citado por Tsoumis, 1991).

Esfuerzos de compresión perpendicular ocurren por ejemplo en durmientes de vías férreas.

iii. Cizallamiento o corte paralelo

El corte puede existir en el plano longitudinal o transversal. Esfuerzos de corte longitudinal existen por ejemplo cuando las piezas de madera están sometidas a flexión.

La resistencia al corte transversal es de tres a cuatro veces mayor que en la dirección axial (Kollmann y Côté, 1968, citados por Tsoumis, 1991), pero carece de importancia práctica debido a que la madera falla primero por corte paralelo que por corte transversal. Por lo tanto, la resistencia de la madera al corte paralelo es la que tiene mayor importancia práctica.

iv. Tracción perpendicular o doble hendimiento

Se trata de evitar el desarrollo de tensiones perpendiculares a la fibra en estructuras de madera, porque la resistencia de la misma en este sentido es muy pequeña y porque además, la formación de grietas debido a las contracciones en secado, puede reducir a cero esta resistencia.

En dirección transversal a las fibras, las diferencias entre un esfuerzo radial y tangencial no son importantes (Kollmann y Côté, 1968, citados por Tsoumis, 1991).

v. Clivaje o hendimiento simple

La resistencia de la madera al clivaje se refiere a fuerzas exteriores actuando en forma de cuña. Debido a su estructura la madera tiene baja resistencia axial al clivaje, i.e., puede rajarse fácilmente. Esto es una ventaja para ciertos usos como la elaboración de tejas, y una desventaja para otros, debido al rajado de piezas de madera al ser clavadas o atornilladas.

La resistencia es menor cuando la carga es aplicada en una superficie transversal y en una dirección radial, lo que se explica por la presencia de radios.

vi. Flexión estática

La resistencia en flexión estática es una propiedad mecánica importante, porque en muchas estructuras la madera está sujeta a cargas que tienden a curvarla. El caso típico es el de una viga de madera bajo fuerzas externas que actúan transversalmente a su eje. Bajo esta acción se desarrollan tres esfuerzos axiales: tensión, compresión y corte. El esfuerzo de tensión tiende a elongar las fibras, el de compresión a acortarlas, y el de corte a deslizar la parte superior de la viga sobre la parte inferior.

En el caso común de una viga, los esfuerzos de tensión y compresión son máximos en la superficie inferior (convexa) y superior (cóncava) respectivamente, disminuyendo gradualmente hacia el centro, hasta alcanzar un valor igual a cero en el plano neutral. Por otro lado el esfuerzo de corte es máximo en el plano neutral y nulo en las superficies.

La resistencia de la madera en flexión es generalmente expresada por el módulo de rotura. Este expresa el máximo esfuerzo en las fibras más exteriores de la madera, cuando la pieza rompe bajo la influencia de una carga que se aplica gradualmente por unos pocos minutos. Los valores del módulo de rotura en flexión estática son similares a los de resistencia a la tensión axial y por tanto, pueden ser utilizados como un índice de ésta cuando sus valores no están disponibles.

vii. Resiliencia o energía en flexión dinámica

A diferencia de los casos anteriores, se trata de la resistencia a una carga aplicada en forma instantánea. Esta propiedad es importante para ciertos usos de la madera como por ejemplo el de mangos de herramientas y cajas de embalaje.

La energía absorbida por la madera es mayor con cargas instantáneas que con cargas aplicadas lentamente. A modo de ejemplo, una viga puede soportar casi el doble de carga si ésta es aplicada instantáneamente. También se ha observado que, con cargas aplicadas bruscamente la deflexión de la viga es el doble en comparación con aquella que ocurre con una carga aplicada en forma lenta (Tiemann, 1947; Wangaard, 1950, citados por Tsoumis, 1991).

viii. Dureza

Es la resistencia de la madera a la entrada de un cuerpo extraño. Esta resistencia es aproximadamente el doble en la dirección axial que en la transversal. Por otro lado no hay diferencias importantes entre la dureza tangencial y radial (Kollmann, 1951, citado por Tsoumis, 1991). Uno de los métodos más utilizados es el método Janka. El mismo consiste en introducir una semiesfera de acero de 11,284 mm de diámetro dentro de la probeta de madera, lo que produce una impresión de 1 cm². La carga se aplica en forma continua hasta alcanzar el plano diametral de la semiesfera. En este punto, el valor de la carga en Kg/cm² representa el valor de la dureza Janka (Burmidad y Grinwald, 1988).

La dureza está relacionada con la trabajabilidad y con la resistencia de la madera a la abrasión. Es una propiedad importante para varios usos, como pisos, muebles, lápices y artículos deportivos, entre otros.

c. Factores que afectan las propiedades mecánicas

i. Humedad

El contenido de humedad afecta las propiedades mecánicas cuando se encuentra por debajo del punto de saturación de las fibras. Cuando se reduce la humedad, se incrementa la resistencia y viceversa. Este incremento se debe a cambios en las paredes celulares, las que se vuelven mas compactas. La magnitud de la influencia de la humedad es diferente en las distintas propiedades.

Debido a los efectos que tiene la humedad y para obtener resultados comparables, las propiedades mecánicas deben ser evaluadas a contenidos de humedad constantes; i.e., en condición verde o seca al aire con alrededor de 12 ó 15% de humedad (Giordano, 1971; Kollmann y Côté, 1968, citados por Tsoumis, 1991).

Wangaard y Woodson (1973), citados por Tsoumis (1991) establecen las siguientes correcciones promedio.

flexión estática	
-módulo de rotura	5%
-módulo de elasticidad	2%
compresión axial	6%
dureza axial	4%
dureza tangencial y radial	2,5%

Por su parte Mack (1979), propone las siguientes correcciones promedio:

flexión estática	
-módulo de rotura	4%
-módulo de elasticidad	1,5%
compresión paralela	5%
compresión perpendicular	5%
hendidamiento simple	2%
doble hendidamiento	2%
cizallamiento	3%
dureza axial	4%
dureza tangencial y radial	3%

Por cada punto porcentual de diferencia de humedad respecto a 12% se aplican dichas correcciones. Las mismas son aditivas si en el momento del ensayo el contenido de humedad está por encima del 12%, y sustractivas si está por debajo (Mack, 1979).

La norma AFNOR B 51-007 y B 51-008 establecen para compresión paralela y módulo de rotura en flexión estática un valor de corrección de 4 y 2% respectivamente.

Como una excepción puede mencionarse la resiliencia, la que no se incrementa cuando disminuye el contenido de humedad, e incluso algunas veces decrece. Esto se atribuye a la mayor deformación que presenta la madera verde. La resiliencia está afectada no sólo por la magnitud de la carga, sino también por la rigidez de la madera. Madera seca puede soportar mayor carga pero se curva menos antes de la rotura (U. S. Forest Laboratory, 1987; Wangaard, 1950, citados por Tsoumis, 1991).

Otros autores utilizan ciertas fórmulas para corregir los valores de las propiedades mecánicas obtenidos a diferentes contenidos de humedad. Una de ellas es la que se detalla a continuación (Galligan, 1975; International Organization for Standardization; U. S. Forest Laboratory, 1987, citados por Tsoumis, 1991):

$$P = P_{12} (P_{12} / P_g)^{-(M-12/M_p-12)}$$

P: resistencia al contenido de humedad "M"

P₁₂: resistencia a un contenido de humedad del 12%

P_g: resistencia en estado verde

M: contenido de humedad (%)

M_p: punto de saturación de las fibras (%)

Wilson (1932), citado por Mack (1979), propone utilizar los valores de resistencia de probetas verdes y secas de una especie para calcular la variación media de cada propiedad por cada cambio de 1% en la humedad, entre 11 y 13%. Este autor asume una relación exponencial entre resistencia y contenido de humedad. De esta manera los valores de resistencia computados a partir de los resultados de ensayos en madera seca son corregidos a valores equivalentes a 12% de humedad, a no ser que exista alguna razón especial para cambiar dicho porcentaje.

$$\log S_{11} = \log S_g + \{(M_i - 11) / (M_i - M_d)\} \log (S_d / S_g)$$

$$\log S_{13} = \log S_g + \{(M_i - 13) / (M_i - M_d)\} \log (S_d / S_g)$$

S₁₁ y S₁₃: valores de resistencia a 11 y 13% de humedad respectivamente

S_d y S_g: valores conocidos de resistencia en estado seco y verde respectivamente

M_i : contenido de humedad al punto de intersección (%)

M_d : contenido de humedad promedio de las probetas secas (%)

El valor de corrección (C) se calcula por cada 1% de variación en la humedad según la fórmula:

$$C = \frac{1}{2} (S_{11} - S_{13})$$

ii. Densidad

La densidad es el mejor y más simple índice de resistencia en los ensayos de madera libre de defectos. La resistencia aumenta con la densidad, debido a que en un volumen dado existe mayor sustancia madera. Mayor densidad significa mayor proporción de células con paredes mas gruesas y pequeñas cavidades.

La relación entre la densidad y la resistencia varía con las diferentes propiedades y especies (Wood, 1960, citado por Tsoumis, 1991), pero en la mayoría de los casos es lineal (Lavers, 1969; Pearson y Gilmore, 1980, citados por Tsoumis, 1991). Las diferencias en peso específico aparente entre especies se deben a la distinta composición celular y cantidad de extractivos que contienen (la resistencia se reduce por la remoción de los extractivos), con el resultado de que maderas con la misma densidad puedan tener diferentes resistencias y viceversa. Por esta razón la densidad no siempre resulta una medida exacta de la resistencia.

iii. Posición en el árbol

Según Shukla et al. (1991), el conocimiento de la variación de las propiedades de la madera dentro del árbol es importante no solo para un apropiado madereo, selección y clasificación del material sino también para un mejor conocimiento de las especies. Esto permite desarrollar técnicas apropiadas de procesamiento, especialmente aserrado, secado, trabajabilidad y acabado de la madera.

iv. Estructura

Los efectos de la densidad sobre las propiedades mecánicas derivan de las diferencias estructurales que producen variaciones en la densidad. Características que tienden a aumentar o disminuir la densidad, como ancho de anillos y proporción de leño tardío, afectan la resistencia de la madera. En coníferas, donde la proporción de leño tardío tiende a decrecer cuando se incrementa el ancho de anillos, árboles de rápido crecimiento producen maderas de baja resistencia; a su vez, en latifoliadas de porosidad circular, amplios anillos son descritos con alta proporción de leño tardío y alta resistencia, mientras que en latifoliadas de porosidad difusa no hay una relación clara debido a la escasez de leño tardío diferenciado.

Las características ultraestructurales son también muy importantes. Por ejemplo, el ángulo microfibrilar de la capa S_2 tiene un profundo efecto, ya que grandes ángulos que caracterizan a la madera juvenil resultan en menor resistencia mecánica (Brazier, 1986, citado por Tsoumis, 1991).

v. Temperatura

En general la resistencia de la madera disminuye con el incremento en la temperatura (Comben, 1955; Comben, 1964; Rusche, 1973, citados por Tsoumis, 1991). Esta disminución es influenciada por factores tales como contenido de humedad, temperatura, tiempo de exposición al calor, especie y dimensiones de las probetas.

Bajas temperaturas incrementan el módulo de elasticidad, mientras que temperaturas superiores a 20°C lo reducen (Geissen, 1976, citado por Tsoumis, 1991).

La humedad de la madera potencia el efecto de la temperatura; esto significa que a mayor contenido de humedad, el efecto de la variación de la temperatura sobre las propiedades mecánicas se multiplica. Este efecto es más notable a bajas temperaturas (Geissen, 1976, citado por Tsoumis, 1991).

Varias propiedades son afectadas por la temperatura en diferentes sentidos. La resiliencia es especialmente sensible. A bajos contenidos de humedad la sensibilidad de la resiliencia es reducida, y a altos contenidos de humedad aumenta con la temperatura (Illston, Dinwoodie y Smith, 1979, citados por Tsoumis, 1991).

vi. Tasa de aplicación de la carga

Los valores de resistencia mecánica que en general se presentan para cualquier especie, son obtenidos a partir de ensayos estáticos; i.e., realizados lentamente. Cuando las cargas son aplicadas más rápidamente, se llega a valores más altos. Por ejemplo, la carga requerida para que una probeta falle en un segundo es aproximadamente un 10% mayor que la que se obtiene en una prueba estándar de aproximadamente dos minutos (USDA, 1987).

vii. Duración de la carga

La duración de la carga tiene una importante influencia en la resistencia de la madera (i. e., en la magnitud de la carga que una estructura de madera puede soportar). Por esta razón los resultados de ensayos en laboratorio basados en cargas aplicadas durante pocos minutos o segundos, presentan solo un valor comparativo y son aplicables en la práctica solo después de ciertas correcciones (Wood, 1960, citados por Tsoumis, 1991). Como ejemplo se puede citar el caso de una pieza de madera que será sometida a la acción continua de un esfuerzo de flexión por un periodo de diez años. Esta pieza sólo puede soportar el 60% o menos de la carga requerida para producir falla por medio de un ensayo estándar de flexión de unos pocos minutos (USDA, 1987).

La magnitud del cambio en la resistencia debido al tiempo está influenciada - bajo otras condiciones similares- por la forma en que la carga es aplicada (i. e., si la carga es permanente o periódica). Bajo la acción de una carga permanente, la madera y otros materiales exhiben un fenómeno denominado "creep" (i. e., aumento de la deformación con el paso del tiempo). Cargas periódicas resultan en la fatiga del material. En ambos casos hay una reducción de la resistencia. Cargas permanentes reducen la resistencia a 50-75 % de los valores obtenidos en ensayos estáticos. Las cargas periódicas tienen una influencia similar, pero la resistencia residual puede ser tan baja como 25 % de los valores estáticos (Giordano, 1971; Wangaard, 1950, citados por Tsoumis, 1991).

viii. Defectos de la madera

Nudos: Los efectos adversos de los nudos se deben generalmente a desviaciones del grano y a grietas causadas por su presencia. Estas últimas se forman debido a la diferente contracción e hinchamiento de los nudos, que presentan una densidad mayor que la madera normal. Generalmente contienen madera de reacción y la orientación de sus fibras es diferente a la de la madera adyacente. En la mayor parte de los casos el diámetro de los nudos tiene un efecto mayor que su número (Tsoumis, 1991).

La resistencia en compresión axial se reduce por la presencia de nudos, aunque en menor escala que la resistencia en tensión axial. La resistencia a la compresión perpendicular puede incrementarse por la presencia de nudos vivos (Knigge y Schulz, 1966; Trendelenburg y Mayer-Wegelin, 1955, citados por Tsoumis, 1991). El módulo de rotura en flexión está considerablemente influenciado por la posición de los nudos. Los nudos que se encuentran cerca de la mitad inferior de una pieza sometida a flexión provocan una menor resistencia que los que se encuentran en la mitad superior. El efecto es aún menor cuando los nudos están entre la mitad superior e inferior, o cerca de los extremos de la pieza (Wangaard y Woodson, 1973, citados por Tsoumis, 1991). La resistencia al cizallamiento se ve afectada de diferentes maneras por la presencia de nudos, dependiendo de la orientación de los mismos (Wangaard y Woodson, 1973, citados por Tsoumis, 1991). La dureza y la resistencia de la madera al clivaje se incrementan por la presencia de nudos. El módulo de elasticidad, en cambio se reduce (Kollmann, 1951; Kollmann y Côté, 1968; Kunesh y Johnson, 1972, citados por Tsoumis, 1991).

Desviaciones del grano: La influencia de este factor se debe básicamente a la diferencia entre resistencia axial y transversal. A causa de que la primera es mas alta (por ej. en resistencia a la tensión o compresión), es obvio que la resistencia se reduce con cargas aplicadas en ángulo; a mayor ángulo, mayor reducción. La resistencia a la tensión se ve mas afectada por este defecto que la resistencia a la compresión, mientras que la flexión presenta un comportamiento intermedio (Kollmann, y Côté, 1968; Silvester 1967; Wangaard, 1950, citados por Tsoumis, 1991). El módulo de

elasticidad también se ve reducido, pero el mayor efecto es sobre la resiliencia (Kollmann y Côté, 1968, citados por Tsoumis, 1991). Por último, los efectos de la desviación del grano sobre el cizallamiento son mínimos y de hecho, dicha resistencia puede aumentar (Wangaard, 1950, citado por Tsoumis, 1991).

Grietas: Su influencia depende del tamaño, dirección y modo de carga. La resistencia axial casi no se ve afectada si las grietas tienen la misma dirección que las fuerzas que la ejercen. Inversamente, la resistencia transversal se ve reducida en gran medida en las condiciones antedichas. El efecto sobre la resistencia a la compresión es mínimo, y menor en compresión axial que en transversal. La reducción en los valores de resistencia al corte es considerable. En una viga sometida a flexión es evidente que la influencia es mayor cuando las grietas están cerca del plano neutral, donde el esfuerzo de corte es más alto. La resistencia al clivaje se reduce considerablemente ante la presencia de grietas.

Madera de tensión: Los efectos causados por este tipo de madera no siguen una tendencia definida, y por tanto puede tener efectos positivos, negativos, o no significativos (Cockrell y Knudson, 1973; Kucera, 1973; Perem, 1960; Wangaard, 1950, citados por Tsoumis, 1991).

Pudrición: Si bien la mayoría de las propiedades mecánicas no es afectada por el ataque de hongos e insectos en estados incipientes, la resiliencia sin embargo se ve especialmente afectada.

d. Asociación entre propiedades mecánicas

La información que se expone a continuación se tomó de Noack (1970).

Existen algunas propiedades mecánicas de la madera que exhiben alta correlación con otras. Esto implica que el volumen de ensayos podría ser reducido considerablemente, estudiando sólo una de las dos propiedades. Se sabe que hay varias propiedades mecánicas que están altamente correlacionadas con la densidad, como por ejemplo la dureza, la compresión paralela a las fibras y la resistencia a la abrasión.

Existe una correlación bastante alta entre el módulo de elasticidad y el módulo de rotura en flexión. Estudiando los valores promedio de 600 especies descritas en la literatura (Bolza y Kloot, 1963-1966; Kennedy, 1965; Lavers, 1967; Markwardt y Wilson, 1935, citados por Noack, 1970), se ha encontrado un coeficiente de correlación para madera acondicionada de $r = 0,85$. Para madera verde la correlación también es alta ($r=0,84$). La determinación del módulo de elasticidad requiere de instrumental más sofisticado que el necesario para el módulo de rotura, por lo que una estimación del primero a partir del segundo puede ser una ventaja en muchos casos. Esta estimación puede ser suficiente para determinados fines.

Con la base de los trabajos antes citados, se determinó para 550 especies una alta correlación ($r = 0,91$) entre el módulo de rotura promedio en flexión de madera verde y madera estacionada. Se observa que la resistencia a la flexión (MOR) de la madera verde solamente alcanza el 63% del obtenido con un contenido de humedad de 12%. Para el módulo de elasticidad la relación es la misma, con un $r = 0,95$. Sin embargo es claro que el módulo de elasticidad es mucho menos afectado por la humedad que el módulo de rotura ya que la elasticidad verde alcanza casi el 80% de la elasticidad al 12%.

La resistencia a la compresión paralela a las fibras en madera verde alcanza sólo el 60% de la resistencia obtenida en madera estacionada, lo que indica que esta propiedad depende más del contenido de humedad que otras. La correlación entre estos estados de humedad para esta propiedad en 600 especies, es de $r = 0,81$.

Las correlaciones entre las propiedades en madera verde y al 12% llevan a la conclusión práctica de que muchas veces será suficiente con determinar las propiedades con madera verde. En este caso, no sería necesario secar las muestras de madera evitando la pérdida de tiempo, aparición de defectos de secado, y daños por hongos e insectos.

e. Resultados de propiedades mecánicas

CUADRO 4: Resultados de ensayos mecánicos.

Ensayos	cv 'Harvard' ^A		cv. 'I-214' ^A		cv 'IC' (Haldwani) ^B	
	Verde	Seco	Verde	Seco	Verde	Seco
Flexión estática						
M.O.R. *	422,0	590,0	459,0	627,0	341,0	780,0
M.O.E. *	55.740	68.800	50.400	55.500	46.000	84.500
Flexión dinámica						
Resiliencia **	1,8	3,3	1,6	0,9	-	-
Compresión paralela						
M.O.R. *	176,0	210,0	210,0	287,0	171,0	381,0
Comp. perpendicular *	25,0	39,7	49,0	66,4	15,0	44,0
Corte						
Radial *	39,0	76,0	66,0	66,0	52,5	87,2
Tangencial *	39,0	89,0	63,0	72,0	54,8	92,4
Dureza						
Axial *	180,0	280,0	260,0	216,0	182,0	352,0
Tangencial *	140,0	160,0	190,0	165,0	183,0	323,0
Radial *	130,0	130,0	190,0	153,0	195,0	321,0
Tracción perpendicular						
Tangencial *	16,0	13,0	20,0	17,3	15,4	26,5
Radial *	14,0	7,0	17,0	17,3	16,3	22,0
Clivaje						
Radial *	4,4	4,2	4,3	5,1	-	-
Tangencial *	4,4	6,1	5,2	5,2	-	-

Fuente: (*) kg/cm²

(**) kgm

(B) Shukla, et al., 1990.

f. Clasificación tecnológica de la madera

Esta clasificación se realiza mediante el cálculo de cotas a partir de los datos de resistencia mecánica de las especies. En el cuadro 5 se presentan los valores de cotas para *Populus deltoides* y su clasificación.

^(A) Dirección Técnica de CITEMA, 1996. com. pers.

CUADRO 5: Clasificación de la madera de *Populus deltoides* (UNE 56- 540, 1978)

Cotas	Valores	Clasificación
Estática	8,99	Categoría superior
Tenacidad	2,42	Categoría normal
Flexión	21,9	Resistente
Adherencia	0,44	Medianamente adherente
Dinámica	1,44	Apta para empleos móviles
Fisibilidad	0,22	Medianamente fisible
Rigidez	25,29	Elástica

Fuente: Conferencia del chopo y sus aplicaciones (Madrid, 1960).

III. MATERIALES Y METODOS

A. SELECCION Y COLECCION DE MUESTRAS

Para este estudio se recurrió a bosques de producción y se descartaron cortinas rompeviento y montes de abrigo, donde los individuos desarrollan la forma específica y no la comercial. Se tomó un tamaño de muestra de 7 árboles de distintos puntos del país. Las localidades seleccionadas fueron las siguientes (ver figura 2 y anexos 3, 4 y 5):

- árbol 1: Toledo (Canelones)
- árbol 2: Constanica (Paysandú)
- árbol 3: Bacacúa (Paysandú)
- árbol 4: Portón Haedo (Río Negro)
- árbol 5: Bañados de Medina (Cerro Largo)
- árbol 6: Posta del Chuy (Cerro Largo)
- árbol 7: Tranqueras (Rivera)

La identificación botánica no siempre fue posible debido a que la recolección de individuos comenzó a finales de otoño. Fue por este motivo que se tuvieron en cuenta registros de plantación y la palabra de técnicos encargados.

Para la selección del árbol dentro de cada rodal, se tomó un rumbo al azar y se eligió el primer individuo que cumpliera con un diámetro a la altura del pecho superior a 25 cm (medición hecha con cinta diamétrica o forcípula común), buena conformación y estado sanitario aceptable.

Una vez apeado se procedió al desrame y trozado. Se tomó una troza basal de 3,30 m que luego fue dividida en tres partes de 1,05 m por razones de practicidad en el transporte y manipulación. La elección de este sector del árbol obedeció a la posibilidad de disponer de mayor cantidad de material libre de defectos. A su vez, se extrajeron secciones transversales o discos de unos 5 cm de espesor entre cada segmento de la troza basal, y cada 2,40 m hacia la cima, hasta un diámetro de 15 cm. Todas estas tareas fueron llevadas a cabo con motosierra. El detalle de este procedimiento puede verse en las figuras 3 y 4.



FIGURA 2. Ubicación de las localidades seleccionadas

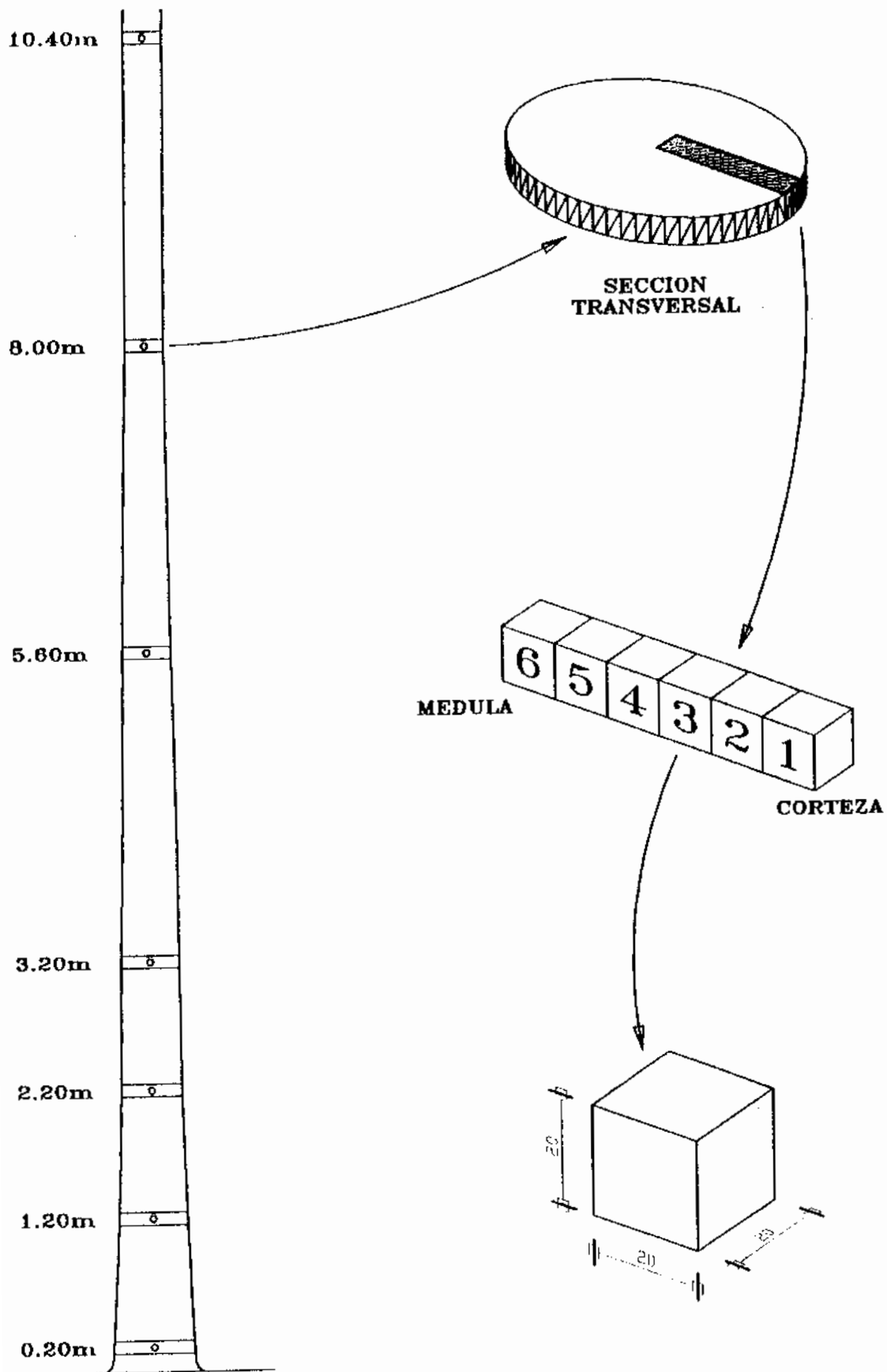


FIGURA 3. Secuencia de extracción de probetas a partir de secciones transversales

Los tres fragmentos de cada troza basal fueron trasladados al aserradero más próximo, donde se obtuvieron de cada uno, cuatro viguetas de 10 x 10 cm de escuadría utilizando sierra sin fin, evitando la médula y la corteza. Las mismas fueron debidamente identificadas con pintura sobre la cara tangencial, y transportadas a la Facultad de Agronomía. La mitad de éstas se acondicionaron en el secadero solar allí existente, cuidando que la temperatura no excediera de 54 °C (ASTM D-143), mientras que el resto se llevó a una carpintería a los efectos de obtener probetas a ser ensayadas en estado verde. Cuando las viguetas dispuestas en el secadero alcanzaron contenidos de humedad de alrededor de 15%, se les realizó el mismo tratamiento que el aplicado a las viguetas verdes.

Para cada ensayo mecánico se extrajeron tres probetas al azar por árbol, una de cada fragmento de 1,05 m, verificando que estuviesen libres de defectos. Las mismas se ensayaron en el Instituto de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería, en la máquina universal Amsler tipo 4 DBZF 120 con capacidad de efectuar carga máxima de 400 Kg y una apreciación de 1 Kg, o carga máxima de 4000 Kg y una apreciación de 10 Kg. Para los ensayos de dureza se utilizó una máquina universal Amsler con capacidad de carga de 10.000 Kg y una apreciación de 1 Kg. Previo a cada ensayo se midió la sección de las probetas utilizando un calibre marca Zeus con una apreciación de 0,05 mm y una longitud de 16cm.

Las probetas se numeraron de la siguiente manera: con un número romano se indicaba el árbol y con uno arábigo el fragmento del cual provenía. La identificación se realizó siempre sobre una cara tangencial, mediante la utilización de marcadores.

Se calculó el contenido de humedad de las probetas ensayadas en estado seco a los efectos de llevar a cabo las correcciones para un 12% de humedad. A su vez, para las probetas de flexión estática, flexión dinámica y compresión paralela ensayadas, se extrajeron fracciones cúbicas de 20 mm de lado, a las que se les determinó además de la humedad, el peso específico aparente básico (para ensayos en madera verde) y anhidro (para ensayos en verde y seco). Con esto se intentó establecer en forma directa que correlación existe entre este parámetro y la resistencia mecánica.

Las secciones transversales se dividieron en probetas cúbicas de 20 mm de lado en una dirección determinada desde la corteza a la médula. A partir de éstas se determinó el peso específico aparente, el contenido de humedad y la variación de estos parámetros con la altura y con la distancia respecto a la médula. La identificación para el árbol se hizo igual al caso anterior, mientras que para la posición radial se utilizaron números arábigos, aumentando progresivamente desde la corteza hacia la médula. Los ensayos se realizaron en el laboratorio del Área Forestal de la Facultad de Agronomía.

B. PROPIEDADES FISICAS

1. Contenido de humedad

Se determinó según la norma UNIT 223 -70, la que define el contenido de humedad como "el peso del agua presente en la madera, expresado como porcentaje del peso anhidro de ésta". Las probetas utilizadas son cúbicas y de 20 mm de lado (ver figura 3). Las mismas se acondicionaron para evitar pérdidas de humedad, y se pesaron en una balanza eléctrica con una apreciación de 0,0001g marca SAÜTER TYP 414. A continuación se colocaron en estufa de laboratorio (marca Pablo Ferrando S.A.) a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Luego de un período de tiempo no menor de 24 horas se retiraron las probetas, se dejaron enfriar en un desecador y se pesaron cuando llegaron a temperatura ambiente. Se repitió este procedimiento a intervalos no inferiores a las 4 horas, hasta obtener peso constante en dos pesadas consecutivas (peso anhidro). El contenido de humedad de cada probeta se calculó como sigue:

$$H = \frac{Ph - Po}{Po} \times 100$$

- H : contenido de humedad (%)
 Ph : peso verde de la probeta (g)
 Po : peso anhidro de la probeta (g)

2. Contracción

Las probetas se ajustaron a la norma UNIT 363 -74. Consistieron en prismas rectos de 10 cm de longitud con una sección transversal de 5 cm de lado (figura 4). Una de las caras es una superficie tangencial a los anillos de crecimiento, con lo cual las dos adyacentes a esta resultan en superficies radiales. El eje longitudinal de la probeta debe ser paralelo al grano.

Los puntos donde se midieron las dimensiones fueron las líneas medias de cada cara para las tres direcciones características (tangencial, radial y longitudinal). Estas mediciones se realizaron por medio de un calibre de precisión. A continuación se pesaron junto con tres probetas testigo. Posteriormente todas las probetas se secaron a temperatura ambiente hasta alcanzar la humedad de equilibrio. A las probetas testigo -luego de alcanzado este punto- se les determinó el contenido de humedad por el método gravimétrico. Se asumió que las probetas calibradas tenían este contenido de humedad. De esta manera se estimó el peso que tendrían éstas cuando alcanzaran el 12% de humedad. Una vez que llegaron al peso calculado se volvieron a calibrar. A continuación se secaron en estufa hasta el estado anhidro y se midieron las dimensiones en ese estado. Con el dato del peso anhidro se determinó el contenido de humedad que realmente tenían cuando se había estimado una humedad del 12%.

Todo el procedimiento antes detallado es un artificio que intentó solucionar el inconveniente de no contar con una cámara de climatización como lo indica la norma citada. Se trata entonces de un método indirecto de determinación de las dimensiones al 12% de humedad.

Con los valores obtenidos se calculó el porcentaje de contracción lineal entre los estados verde-12% , 12-0% y verde-0%. A continuación se detalla la fórmula utilizada:

$$C = \frac{di - df}{di} \times 100$$

C: contracción lineal (%)

di: dimensión inicial (cm)

df: dimensión final (cm)

Luego se calculó el punto de intersección de la siguiente manera:

$$PI = \frac{Hr \times C_{v-0}}{C_{12-0}}$$

PI : punto de intersección (%)

C_{v-0}: contracción entre los estados verde y anhidro (%)

C₁₂₋₀: contracción entre el 12% de humedad y el estado anhidro (%)

Hr : contenido de humedad real (%)

A continuación se calculó el coeficiente de contracción para las distintas direcciones según la fórmula:

$$CC = \frac{C_{v-12}}{PI - Hr}$$

CC : coeficiente de contracción (%)

C_{v-12}: contracción entre el estado verde y el 12% de humedad (%)

PI : punto de intersección (%)

Hr : contenido de humedad real (%)

A partir de este coeficiente y mediante simples multiplicaciones, se calculó la contracción real entre los contenidos de humedad verde-12% y 12%-0%.

Por ejemplo, para saber el porcentaje de contracción entre el 12% de humedad y el estado anhidro, se multiplica el coeficiente de contracción por doce. Por otro lado,

si se quiere calcular la contracción en porcentaje entre 20% y 12% de humedad, se multiplica dicho coeficiente por ocho, que es la diferencia entre ambos porcentajes.

A partir de los valores de contracción lineal (tangencial, radial y longitudinal) se calculó la contracción volumétrica según la siguiente fórmula:

$$Cv = \{ [(1+Ct/100) \times (1+Cr/100) \times (1+Cl/100)] - 1 \} \times 100$$

Cv: contracción volumétrica (%)

Ct: contracción tangencial (%)

Cr: contracción radial (%)

Cl: contracción longitudinal (%)

Se calculó además la contracción volumétrica total, a partir de los valores de volumen verde y anhidro de las probetas cúbicas de 20 mm de lado (figura 3). La fórmula empleada fue la siguiente:

$$Cv = \frac{Vv - Va}{Vv} \times 100$$

donde:

Cv: Contracción volumétrica total (%)

Vv: Volumen verde (cm³)

Va: Volumen anhidro (cm³)

3. Peso específico aparente

Se siguió la norma UNIT 237-70 que propone utilizar probetas de forma cúbica de 20 mm de lado (figura 3). Las probetas deben estar libres de astillas y aserrín en su superficie.

Según dicha norma "se coloca la probeta en una estufa de laboratorio con ventilación adecuada para renovar el aire de su interior, y se estabiliza la temperatura en 103 ± 2 °C. Luego de 24 horas se retira la probeta de la estufa, se la deja enfriar en un desecador de laboratorio y se pesa en una balanza de precisión con aproximación al centígramo. Se repiten las pesadas en lapsos no inferiores a 4 horas, hasta obtener peso constante. De inmediato se determina el volumen de la madera anhidra mediante el volumenómetro con apreciación de 1 mm³". En nuestro caso se utilizó un volumenómetro de Breuil con apreciación de 10 mm³.

Para el cálculo del peso específico aparente básico, debió realizarse una medición adicional del volumen en estado verde, previo a la introducción de la probeta en la estufa. Antes de la determinación del volumen anhidro se realizó una aplicación

de parafina en las caras transversales de cada una de las probetas; el objetivo fue impedir la entrada de mercurio en las cavidades celulares.

Se calculó el peso específico aparente anhidro de cada probeta con la fórmula:

$$Pa = \frac{Po}{Vo}$$

Pa: peso específico aparente anhidro (g/cm³)

Po: peso de la madera anhidra (g)

Vo: volumen de la madera anhidra (cm³)

El peso específico aparente básico se calculó de la siguiente manera:

$$Pb = \frac{Po}{Vh}$$

Pb: peso específico aparente básico (g/cm³)

Po: peso de la madera anhidra (g)

Vh: volumen verde (cm³)

Para clasificar la madera de álamo según la norma AFNOR NF B 51- 002 se requirió el dato de densidad a 12% de humedad (P_{12} / V_{12}). La misma se obtuvo a partir de una de las ecuaciones propuestas por Gutiérrez Oliva (1992), que utiliza el valor de densidad anhidra (P_0 / V_0):

$$D_{12} = 1,037 \times D_0 + 11,0$$

D_{12} : densidad a 12% de humedad (g/cm³)

D_0 : densidad anhidra (g/cm³)

4. Variación de las propiedades físicas

a. En dirección radial

A partir de los datos obtenidos en las propiedades físicas se estudió su variación en la dirección radial. Para dicho estudio se tomaron tres secciones a diferentes alturas: superior, media e inferior. Las mismas se distribuyen en proporción a la altura de cada árbol. Dentro de cada sección se analizaron tres posiciones en la dirección radial. Las posiciones 1 y 3 fueron representadas por las probetas mas cercanas a la corteza y a la médula respectivamente. Para la posición 2 se realizó un promedio de todas las probetas comprendidas entre las posiciones 1 y 3.

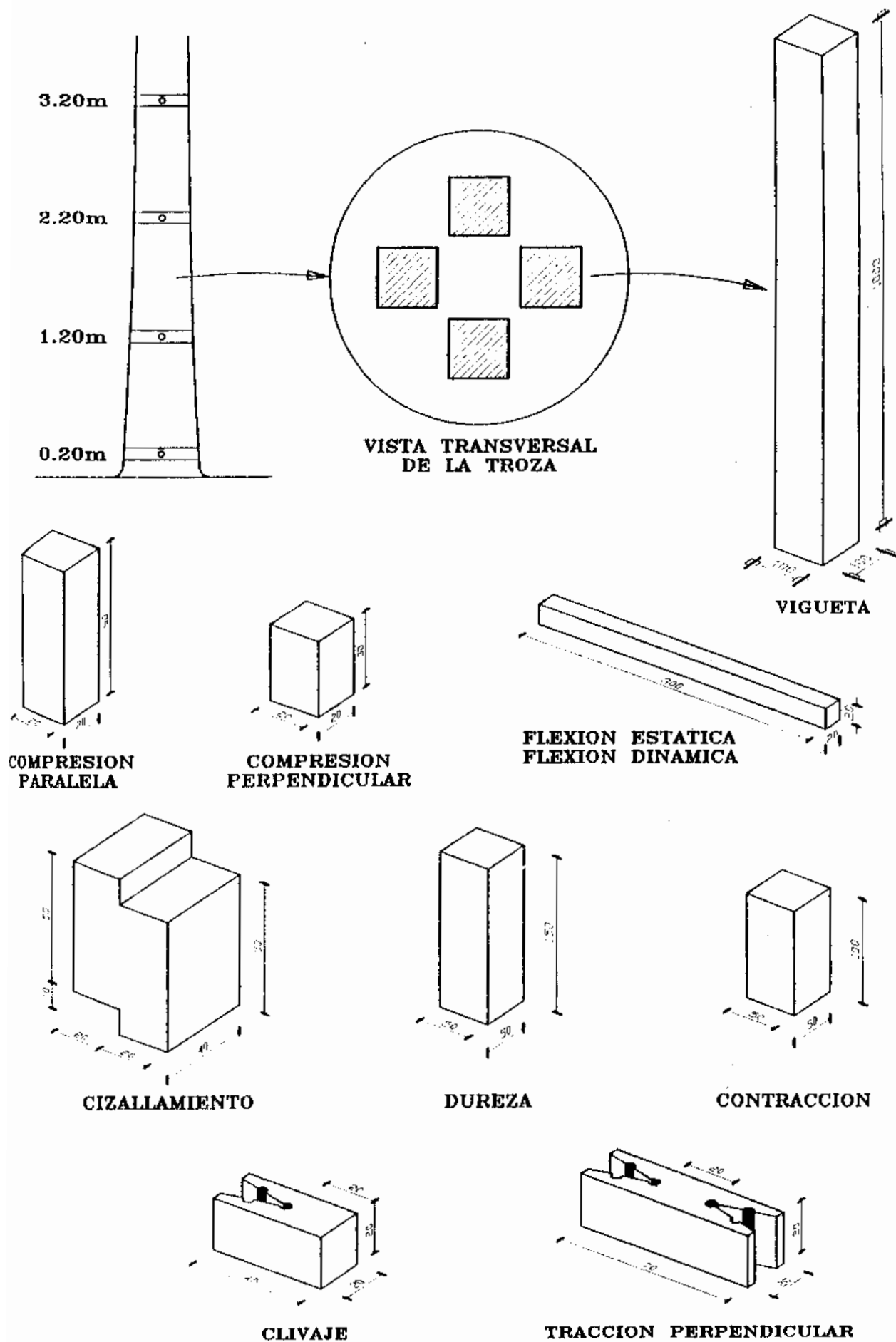


FIGURA 4. Secuencia de extracción de probetas a partir de vigüetas

A partir de los resultados obtenidos, se graficó la variación de la humedad en función de la posición radial para las tres secciones (figura 8).

b. En dirección longitudinal

Para el estudio de la variación de las propiedades físicas en dirección longitudinal, se utilizó el valor promedio de los discos extraídos a una misma altura en todos los árboles. Este promedio se realizó para todas las alturas consideradas.

Al igual que para la variación radial se realizaron gráficas que ilustran la variación longitudinal para peso específico aparente (básico y anhidro) y para la humedad (figuras 5, 6 y 7 respectivamente).

C. PROPIEDADES MECANICAS

Los ensayos se realizaron mediante un aumento determinado de la carga (Kg. min.⁻¹) que produce una deformación correspondiente (mm. min.⁻¹).

1. Compresión paralela

La probeta utilizada para este ensayo presenta una sección transversal cuadrada de 20 mm de lado y una longitud de 60 mm en la dirección del grano (figura 4) según lo indica la norma AFNOR NF B 51-007. Se colocó la probeta entre dos placas de presión. La placa superior es fija y la inferior se mueve verticalmente comprimiendo al prisma en forma continua. La presión máxima que se puede ejercer en este ensayo es de 4.000 kg. La resistencia a la compresión axial se calculó mediante la fórmula:

$$R = P / S$$

R: resistencia a la compresión axial (Kg/ cm²)
 P: carga máxima soportada por la probeta (Kg)
 S: sección de la probeta (cm²)

Se determinó la resistencia a la compresión axial para un tenor de humedad de 12% (C₁₂), en kg/cm² según la fórmula:

$$C_{12} = Ch (1 + c (H - 12))$$

Ch : resistencia a la compresión a un contenido de humedad h (kg/cm²)
 c : coeficiente de corrección de la resistencia por contenido de humedad (se toma como promedio un valor de 0,04)
 H : contenido de humedad al momento del ensayo (%)

2. Compresión perpendicular

La probeta utilizada consiste en un prisma de 20 x 20 x 30 mm y a diferencia de las utilizadas en el resto de los ensayos, su eje mayor es perpendicular al grano (figura 4). El dispositivo de esta prueba es el mismo que el empleado para compresión paralela, y la máxima carga para este ensayo es de 400 kg. Según la siguiente fórmula se calculó la resistencia a la compresión perpendicular:

$$R = P / S$$

R: resistencia a la compresión (Kg/cm²)

P: carga máxima soportada por la probeta (Kg)

S: sección de la probeta (cm²)

3. Clivaje o hendimiento simple

Se procedió de acuerdo a la norma AFNOR NF B 51-011. Se utilizaron probetas de 20 x 20 x 45 mm (figura 4). La probeta se coloca entre los dispositivos que ejercen la tracción perpendicular a las fibras. La tracción máxima desarrollada en este ensayo es de 400 kg. La resistencia al clivaje se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$R_c = C / a$$

R_c: resistencia al clivaje (Kg/cm)

C : carga total de rotura (Kg)

a : ancho del hendimiento (cm)

4. Tracción perpendicular o doble hendimiento

Se trabajó con la norma AFNOR NF B51-010. Las probetas utilizadas presentan las siguientes dimensiones: 20 x 20 x 70 mm (figura 4). El dispositivo que ejerce la fuerza es similar al de hendimiento simple. La sección que soporta la carga es de 4 cm². La carga máxima para este ensayo es de 400 kg.

La resistencia a la tracción se calculó según la fórmula:

$$R_h = C / S$$

R_h: resistencia a la tracción (Kg/cm²)

C : carga máxima (Kg)

S : sección (cm²)

5. Dureza

Fue determinada de acuerdo a la norma UNIT 364-74. La misma establece un tamaño de probeta de 50 x 50 x 150 mm (figura 4). El método empleado es el de dureza Janka, detallado en el capítulo anterior. Se efectuaron para cada probeta dos pruebas sobre la superficie tangencial, dos sobre la superficie radial y una en cada uno de los extremos. Con los valores obtenidos se calculó el valor promedio.

6. Flexión estática

Se utilizaron probetas de 20 x 20 x 300 mm como lo indica la norma AFNOR NF B51-008 (figura 4). Las mismas se dispusieron sobre dos apoyos separados por 24 cm y se les aplicó una carga continua en el centro, regulada manualmente hasta su rotura. Simultáneamente se registró el resultado en una cinta de papel milimetrado. La aplicación de la carga se realizó sobre una cara tangencial.

Así, en el momento de la rotura se obtuvo una carga máxima y una flecha de rotura. La resistencia a la flexión (MOR) viene dada por la siguiente fórmula:

$$MOR = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2}$$

MOR: módulo de rotura (Kg/cm²)

P : carga máxima (Kg)

L : distancia entre apoyos (cm)

b : base de la probeta (cm)

h : altura de la probeta (cm)

A partir de las gráficas impresas en papel milimetrado se realizó la medición de flecha y carga en el límite proporcional. Con estos valores se calculó el módulo de elasticidad según la siguiente fórmula:

$$MOE = \frac{P_{prop} \times L^3}{4 \times F_{prop} \times b \times h^3}$$

MOE : módulo de elasticidad (Kg/cm²)

P_{prop} : carga en el límite proporcional (Kg)

F_{prop} : flecha en el límite proporcional (cm)

L : distancia entre apoyos (cm)

b : base de la probeta (cm)

h : altura de la probeta (cm)

7. Flexión dinámica

Se aplicó la norma AFNOR NF B51-009 que utiliza probetas de 20 x 20 x 300 mm (figura 4). La prueba de choque consiste en determinar el trabajo absorbido (W) por la probeta, cuando se la somete a un esfuerzo dinámico de flexión producido por el choque de una masa péndula en el centro de la misma.

Según esta norma, se calcula un coeficiente de resiliencia (K) mediante la siguiente fórmula:

$$K = \frac{W}{b \times h^{10/6}}$$

W: trabajo absorbido (kgm)

b : base de la probeta (cm)

h : altura de la probeta (cm)

8. Cizallamiento o corte paralelo

La probeta utilizada en este ensayo se adecuó al instrumental y accesorios disponibles. Las dimensiones son: 40 x 40 x 60 mm (figura 4). Se realizó el cálculo de resistencia al corte por la siguiente fórmula:

$$RC = \frac{C}{S}$$

RC: resistencia al corte (Kg/ cm²)

C : carga de rotura (Kg)

S : sección de corte (cm²)

D. CORRECCION POR HUMEDAD

Todos los valores de resistencia computados a partir de los resultados de ensayos en madera seca fueron corregidos a valores equivalentes a 12% de humedad. Para el módulo de rotura y compresión paralela, se utilizaron los valores de corrección propuestos por la norma AFNOR B 51-007 y B 51-008, mientras para las restantes propiedades se trabajó con los valores de corrección propuestos por Mack (1979).

E. ANALISIS

Para cada propiedad se calculó media, desvío estándar y coeficiente de variación. A continuación se establecieron intervalos de confianza para un 95% de seguridad estadística, utilizando la siguiente fórmula:

$$L.C. = \bar{x} \pm t.S\bar{x}$$

donde:

L.C.: intervalo de confianza

t: variable de Student para (n-1) grados de libertad y α de significación.

$\bar{x}$: promedio

$S\bar{x}$: error de estimación del promedio

A partir de estos parámetros se calculó la amplitud y el error relativo. La amplitud surge de la diferencia entre el límite superior e inferior del intervalo de confianza, y el error relativo (Er) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Er(\%) = \frac{L.S\bar{x}}{\bar{x}} \cdot 100$$

Para el estudio de la variación de las propiedades físicas según la posición en el árbol se realizó un análisis de varianza según el siguiente modelo:

$$y = \mu + alt + rad + alt \times rad$$

donde:

μ : media poblacional

alt: efecto de la altura

rad: efecto de la posición radial

alt x rad: efecto de la interacción entre ambas

Por otra parte se estudiaron una serie de asociaciones entre distintas propiedades por medio del coeficiente de correlación de Pearson. Las mismas se presentan en dos grupos:

-directas, en las cuales la correlación se establece entre dos variables obtenidas de la misma probeta. Este grupo incluye las correlaciones siguientes:

PEA básico y anhidro con: -flexión estática .

-flexión dinámica

-compresión paralela

-humedad

MOR seco con MOE seco

MOR verde con MOE verde

-indirectas: donde las variables en cuestión provienen de probetas diferentes de las ensayadas. Este grupo lo integran las propiedades físicas y mecánicas no mencionadas en el grupo anterior. Para estas correlaciones se utilizó el pea promedio de las probetas de los discos extremos de la troza a partir de la cual se extrajo la probeta ensayada. Dentro del grupo de las correlaciones indirectas se incluyen aquellas entre los estados verde y seco para cada propiedad.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados presentados deben ser tenidos en cuenta según el muestreo realizado, donde los montes no fueron seleccionados al azar, lo que puede resultar en estimaciones sesgadas.

En los cuadros 6 y 7, se detallan los resultados de las propiedades físicas y mecánicas obtenidos en este estudio. Los datos de las probetas con las cuales se confeccionaron estos cuadros se encuentran en los anexos 1 y 2.

CUADRO 6: Parámetros estadísticos de las propiedades físicas.

Propiedad	Media	Desvio	C.V. (%)	Amplitud	L. sup.	L. inf.	E. rel. (%)
C.H. (%)	141,83	25,16	17,74	123,27	517,47	80,19	43,46
PEA anhidro (g/cm ³)	0,384	0,015	3,87	0,073	0,421	0,348	9,49
PEA básico (g/cm ³)	0,341	0,014	4,04	0,067	0,375	0,307	9,89
Dens. verde (g/cm ³)	0,814	0,055	6,71	0,268	0,948	0,680	16,44
Contracción total (%)							
tangencial	6,18	0,66	10,73	2,78	7,58	4,80	22,41
radial	4,32	1,10	25,46	5,41	7,03	1,62	62,61
axial	0,15	0,14	93,33	0,68	0,49	-0,20	233,23
volumétrica	10,96	1,85	16,91	5,10	15,49	6,41	23,29
Contracción 12-0 (%)							
tangencial	2,37	1,25	52,74	6,10	5,42	-0,68	128,65
radial	2,16	1,06	49,07	5,18	4,75	-0,43	119,71
axial	0,05	0,21	388,89	1,02	0,56	-0,45	943,67
volumétrica	4,64	0,73	15,83	3,08	6,16	3,08	33,27
Contracción V-12 (%)							
tangencial	4,01	0,94	23,44	4,58	6,30	1,72	57,15
radial	2,26	0,70	30,97	3,42	3,97	0,55	75,71
axial	0,05	0,23	460,00	1,12	0,61	-0,51	1185,44
volumétrica	6,02	1,096	18,22	5,37	8,70	3,33	44,65

La contracción longitudinal total hallada fue de 0,15%, valor que se encuentra comprendido entre 0,1 y 0,3%, rango mencionado por Koehler (1931), citado por Hann (1969).

Algunas probetas presentaron una dimensión longitudinal mayor a 12 y 0% de humedad que en el estado verde, lo que indica que hubo hinchamiento en lugar de contracción (Anexo 1). Este fenómeno también fue observado por Welsh (1932) en un estudio de contracción de 62 especies, citado por Hann (1969). La existencia de contracciones longitudinales negativas puede estar explicando los elevados coeficientes de variación hallados.

CUADRO 7: Parámetros estadísticos de las propiedades mecánicas al 12% de humedad.

Propiedad ¹	Media	Desvio	C.V. (%)	Amplitud	L. sup.	L. inf.	E. rel. (%)
MOR*	628,94	52,66	8,37	270,79	764,33	493,54	21,53
MOE*	31.471	4135,8	13,14	21.266	42.104	20.837	33,79
Flexión dinámica	1,90	0,66	34,81	3,40	3,60	0,20	89,62
Comp. paralela	253,21	15,53	6,13	79,85	293,14	213,29	15,67
Comp. perp.	40,68	2,50	6,14	12,84	47,10	34,26	15,78
Cizallamiento	86,52	8,60	9,94	44,21	108,63	64,41	25,55
Dureza tangencial	210,28	25,25	12,01	129,86	275,20	145,35	30,88
Dureza radial	195,00	36,72	18,83	188,82	289,42	100,59	48,42
Dureza axial	287,56	21,14	7,35	108,70	341,91	233,21	18,90
Tracción perp.	23,72	5,19	21,88	26,69	37,07	10,38	56,26
Clivaje	14,14	4,26	30,12	21,90	25,10	3,19	77,42

De los cuadros precedentes se desprende que el tamaño de muestra de 7 árboles resultó insuficiente para lograr un error relativo inferior al 15%, en la mayoría de las propiedades estudiadas.

El peso específico aparente anhidro y básico fueron las únicas propiedades que alcanzaron un error relativo inferior a 15%. La densidad en estado verde no alcanzó la precisión deseada, con un error relativo de 16,44%. Entre las propiedades mecánicas, la compresión paralela y la compresión perpendicular al grano fueron las que presentaron menor error relativo (15,67 y 15,78% respectivamente). La dureza axial es otra propiedad que se aproxima al error relativo mínimo deseado, con un valor de 18,90%.

(*) En flexión estática

(¹) Los valores de las propiedades están expresados en Kg/cm², excepto la flexión dinámica (Kgm) y el clivaje (Kg/cm).

CUADRO 8: Comparación de las propiedades físicas con las obtenidas por otros autores.

Propiedad	I	II
Pea anhidro (g/cm ³)	0,381*	0,384
Humedad (%)	134,0***	141,83
Contracción tg. total (%)	8,34*	6,18
	4,82**	-
Contracción rad. total (%)	3,82*	4,32
	3,25**	-
Razón Cl/Cr	1,49**	1,56
Contracción long. total (%)	0,31*	0,15
	0,14**	-
Contracción vol. total (%)	12,83*	10,96 (1)
	8,38**	10,70 (2)
Contracción tg. 12 - 0 (%)	3,07*	2,37
Contracción rad. 12 - 0 (%)	1,78*	2,16
Contracción long. 12 - 0 (%)	0,48*	0,05
Coef. de contracción tg.	0,26*	0,20
Coef. de contracción rad.	0,15*	0,18
P. de intersección tg. (%)	24,6**	29,26
P. de intersección rad. (%)	22,3**	32,96

Fuente: (I) Resultados de otros investigadores

(II) Resultados propios

(**) Somoza (1985)

(***) Calderón (1988)

(1) Datos obtenidos a partir de probetas de 50x50x100 mm

(2) Datos obtenidos a partir de probetas cúbicas de 20 mm de lado

Se determinó que el coeficiente de contracción hallado representa un 3,47% de la contracción total. Este porcentaje es muy similar al presentado por Gutiérrez Oliva (1992).

La contracción volumétrica entre el estado saturado y al 12 % de humedad representa un 58,26 % del total de la contracción. Para Gutiérrez Oliva (1992) este porcentaje es del 60%. Debe tenerse en cuenta, que el método utilizado para el cálculo de la contracción por el citado autor es diferente al realizado en este trabajo.

Los resultados propios de contracción volumétrica total fueron muy similares para los dos tipos de procedimientos llevados a cabo, como puede apreciarse en el cuadro 8.

(*) CITEMA (1996)

CUADRO 9: Comparación de las propiedades mecánicas con las obtenidas por otros autores.

Propiedades	cv 'Harvard' (1)		cv '1-214' (1)		cv 'Harvard' (2)	
	Verde	Seco	Verde	Seco	Verde	Seco
Flexión estática *						
M.O.R.	422,0	590,0	459,0	627,0	515,4	628,9
M.O.E.	55.740	68.800	50.400	55.500	26.655	31.471
Flexión dinámica **						
Resiliencia	1,8	3,3	1,6	0,9	3,6	1,9
Compresión paralela *						
M.O.R.	176,0	210,0	210,0	287,0	202,4	253,2
Compresión Perpendicular *	25,0	40,0	49,0	66,0	-	40,7
Dureza *						
Axial	180,0	280,0	260,0	216,0	230,0	287,6
Tangencial	140,0	160,0	190,0	165,0	198,2	210,3
Radial	130,0	130,0	190,0	153,0	193,0	195,0
Cizallamiento *						
Radial	39,0	76,0	66,0	66,0	-	-
Tangencial	39,0	89,0	63,0	72,0	60,4	86,5
Tracción Perpendicular *						
Tangencial	16,0	13,0	20,0	17,0	18,3	23,7
Radial	14,0	7,0	17,0	17,0	-	-
Clivaje ***						
Radial	4,4	4,2	4,3	5,1	-	-
Tangencial	4,4	6,1	5,2	5,2	12,8	14,2

Fuente: (*) Kg/cm²

(**) Kgm

(***) Kg/cm

([?]) Resultados propios

Se confirmó lo señalado por el U.S. Forest Laboratory (1987) y Wangaard (1950), citados por Tsoumis (1991), en cuanto a que la resiliencia aumenta con el contenido de humedad.

Se comprobó que la dureza axial resulta superior a la dureza tangencial y radial, aunque no alcanza a duplicar los valores de éstas, como lo sostiene Kollmann (1951), citado por Tsoumis (1991). En cuanto a las diferencias entre dureza tangencial y radial, se confirmó lo mencionado por dicho autor.

(¹) CITEMA (1996)

El módulo de elasticidad en estado verde es el 85% del mismo en estado seco al aire, lo que está de acuerdo con el valor citado por Noack (1970). Por otra parte el módulo de rotura y la compresión paralela en verde resultaron ser del 82 y 80% de la resistencia en seco, valores superiores a los encontrados por el mismo autor.

Las resistencias en verde resultaron ser un 94 y 99 % de las resistencias en seco para la dureza tangencial y radial respectivamente, lo que denota que esta propiedad presenta cierta independencia del contenido de humedad.

A. VARIACION DE PROPIEDADES CON LA POSICIÓN EN EL ARBOL

Para el estudio de la variación de las propiedades físicas y mecánicas, salvo que se especifique lo contrario, se trabajó con un nivel de significancia de 0,05.

1. Variación de las propiedades físicas con la altura

a. Peso específico aparente

Como se observa en las figuras 5 y 6, el peso específico aparente tanto básico como anhidro aumentan con la altura. Las diferencias entre alturas son significativas ($p < 0,10$) para los valores de peso específico aparente básico, mientras que no lo son para el peso específico aparente anhidro ($p > 0,10$). No se encontraron diferencias significativas para ningún peso específico aparente ($p > 0,05$), lo que concuerda con lo observado por Durán (1972). La curva muestra una disminución inicial, que luego se revierte en forma gradual, lo que concuerda con lo observado por Gutiérrez Oliva (1992). También se corresponde con lo expuesto por Beaudoin et al. (1992) en un trabajo sobre 10 clones de álamo. Sin embargo no coincide con lo señalado por Markwardt y Wilson (1935) en un trabajo sobre varias maderas norteamericanas.

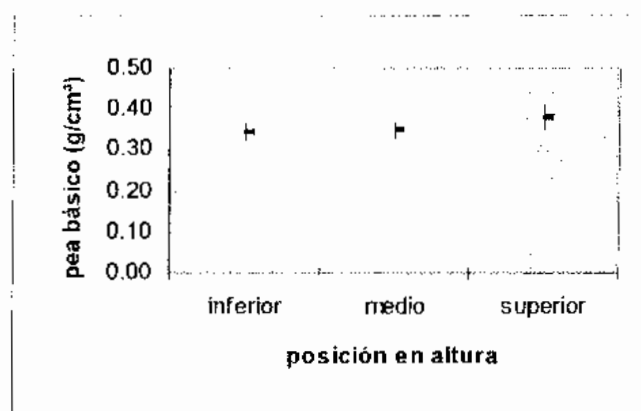


FIGURA 5: Variación del peso específico aparente básico con la altura ($\bar{x} \pm 2s$)

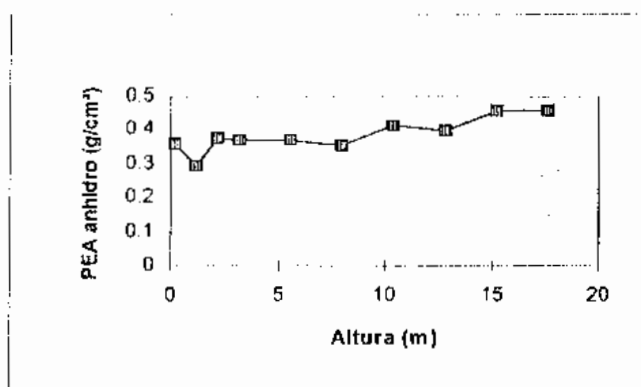


FIGURA 6: Variación del peso específico aparente anhidro con la altura

b. Humedad

Como se aprecia en el figura 7, la humedad disminuye con la altura. Esta disminución es significativa ($p < 0,01$). Este comportamiento también fue observado por Durán (1972) y por Gutiérrez Oliva (1992), aunque existen pequeñas variaciones en la distribución de la humedad en altura. La máxima humedad se encontró entre 0,20 y 1.20 m (170%), lo que es similar a lo señalado por Gutiérrez Oliva (1992), que cita un valor máximo de 158% entre 1 y 2 metros.

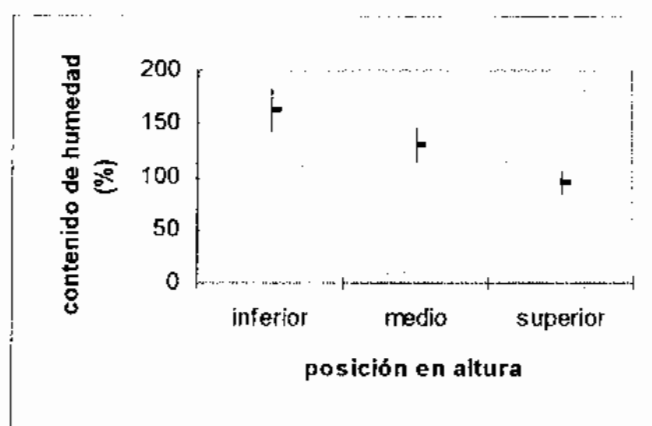


FIGURA 7: Variación de la humedad con la altura
 $(\bar{x} \pm 2s)$

2. Variación de las propiedades físicas en dirección radial

a. *Peso específico aparente*

No se encontraron diferencias significativas en peso específico aparente básico y anhidro entre distintas posiciones radiales ($p > 0,10$).

La tendencia dentro de la sección inferior concuerda con lo obtenido por Gutiérrez Oliva (1992) para una altura de 1 a 2 m, donde el peso específico aparente básico aumenta desde la médula hacia la corteza. Este autor aclara que dicha variación no es significativa ni suele seguir ninguna ley.

Para las secciones media e inferior se observa un comportamiento similar al descrito por Beaudoin et al. (1992) a una altura de 1,30 m. El mismo explica que el peso específico aparente básico es mayor cerca de la médula, decrece hacia la mitad del radio y aumenta hacia la corteza.

La variación radial a una altura de 0,20 m, sigue el comportamiento descrito por Durán (1972) a 0,50 m, el cual señala un aumento del peso específico aparente básico y anhidro desde la médula hacia la corteza.

La tendencia observada en este trabajo para la sección inferior, es similar a la expuesta por Shukla et al. (1991) para *Populus deltoides*. Este investigador determinó que en esta sección se verifica un incremento del peso específico aparente básico entre la médula y la corteza, si bien describe que no existen diferencias significativas entre la médula y la posición media.

En la parte superior se observó un aumento del peso específico aparente anhidro desde la médula hacia una posición media, para luego decrecer hacia la corteza. Por su parte, el peso específico aparente básico disminuyó en forma continua

desde la médula hacia la corteza. Ambos patrones de distribución no fueron reportados por ningún autor.

b. Humedad

Se constata un aumento significativo del contenido de humedad desde la corteza hasta la médula para las tres alturas estudiadas ($p < 0,01$), lo que concuerda con lo encontrado por Durán (1972). Este comportamiento puede observarse en la figura 8.

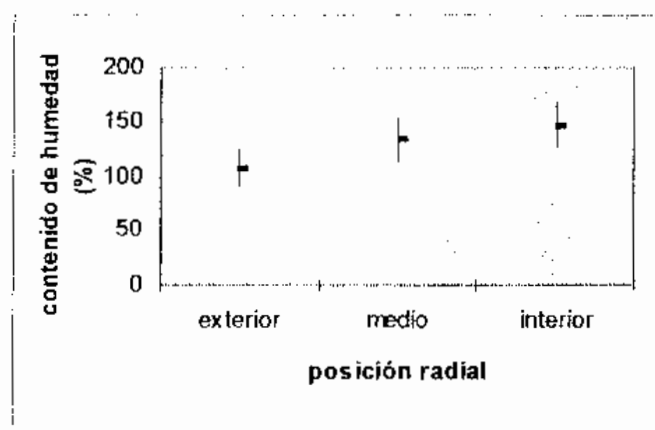


FIGURA 8: Variación de la humedad en dirección radial
($\bar{x} \pm 2s$)

De igual modo los resultados del presente trabajo son coincidentes con los de Gutiérrez Oliva (1992), autor que determinó que la humedad del corazón negro fue mayor que la de la albura.

c. Contracción

No se determinaron diferencias significativas ($p > 0,10$) en contracción volumétrica entre las alturas consideradas, así como tampoco en la dirección radial, lo que concuerda con lo señalado por Durán (1972).

B. CORRELACION ENTRE PROPIEDADES FÍSICAS Y PESO ESPECÍFICO APARENTE

El nivel de significancia utilizado es de 0,05.

Como era de esperar en base a lo expuesto por Gutiérrez Oliva (1992), el pea anhidro y el pea básico presentaron una alta correlación, positiva y significativa de

0,85.

La correlación entre la humedad y el pea básico y anhidro, es negativa y significativa con valores de -0,57 y -0,47 respectivamente. Se confirmó lo expuesto por Currò (1959) citado por Durán (1972), y Durán (1972) en cuanto a la tendencia de la correlación, si bien el valor hallado por Durán es superior.

De las contracciones desde el estado verde al anhidro estudiadas, sólo la radial presenta una correlación significativa con el peso específico aparente básico, cuyo valor es -0,58. La contracción volumétrica presenta un coeficiente de correlación con el peso específico aparente básico de -0,28. Este comportamiento difiere del observado por Yoa (1969), citado por Malan (1982) en su estudio sobre la variación de las dimensiones de maderas sudafricanas (1982), que encontró una correlación positiva entre peso específico aparente y contracción radial, y volumétrica. Del mismo modo, los resultados propios tampoco coinciden con lo observado por Brown et al. (1952) que cita un coeficiente de correlación positivo de 0,75 entre peso específico aparente y contracción volumétrica. Yoa (1969), citado por Malan, menciona la existencia de una correlación negativa entre el peso específico aparente y la contracción longitudinal. Esto no se observó en este trabajo, debido a que dicho coeficiente fue positivo, aunque no significativo.

Se encontró una correlación de 0,57 entre peso específico aparente básico y el cociente entre la contracción tangencial y radial. Este fenómeno es claramente diferente del observado por Kelsey (1963), citado por Cuevas (1969).

C. CORRELACION ENTRE PROPIEDADES MECANICAS Y PESO ESPECÍFICO APARENTE (ver cuadro 11)

Los valores de correlación entre peso específico aparente básico y dureza axial, tangencial y radial en estado verde fueron de 0,71, 0,77, y 0,56 respectivamente, todos ellos significativos. Por otra parte sólo la dureza radial exhibe una correlación significativa (0,43) con el peso específico aparente básico en el estado seco al aire. Esto concuerda con lo sostenido por Noack (1970) respecto a que esta propiedad se encuentra altamente correlacionada con la densidad.

CUADRO 10: Correlaciones entre peso específico aparente y propiedades físicas

Propiedades	Pea anhidro	Pea básico
Pea anhidro	-	0,85
Humedad	-0,47	-0,57
Contracción verde-0%		
tangencial	0,34	-
radial	-0,64	-0,58
Ct/Cr	0,61	0,57
longitudinal	0,18	0,30
volumétrica	-0,37	-0,28
Contracción verde-12%		
tangencial	-0,54	-0,53
radial	-0,02	-0,01
Ct/Cr	0,50	0,46
longitudinal	0,17	0,47
volumétrica	-0,20	-0,25
Contracción 12%-0%		
tangencial	0,58	0,57
radial	-0,49	-0,45
longitudinal	-0,10	-0,22
volumétrica	0,08	0,11
Punto de intersección		
tangencial	-0,09	-0,11
radial	0,11	0,22
volumétrico	-0,30	-0,27
Coefficiente de contracción		
tangencial	0,58	0,57
radial	-0,49	-0,45
volumétrico	0,17	0,14

Nota: los valores en "negrita" son estadísticamente significativos ($p \leq 0,05$).

CUADRO 11: Correlaciones entre peso específico aparente y propiedades mecánicas.

Propiedad	Pea anhidro		Pea básico	
	verde	seco	verde	seco
Módulo de rotura	0,05	0,59	0,07	-
Módulo de elasticidad	0,15	0,33	0,08	-
Flexión dinámica	0,19	0,11	0,28	-
Compresión paralela	0,59	0,47	0,60	-
Compresión perpendicular	-	-0,04	-	-0,19
Cizallamiento	0,57	0,30	0,55	0,33
Dureza axial	0,65	0,04	0,71	0,15
Dureza tangencial	0,61	0,03	0,77	0,28
Dureza radial	0,39	0,22	0,56	0,43
Tracción perpendicular	0,08	0,49	0,01	0,52
Clivaje	-0,15	0,58	-0,02	0,56

Nota: los valores en "negrita" son estadísticamente significativos ($p \leq 0,05$)

D. CORRELACIONES ENTRE ENSAYOS EN VERDE Y SECO

Para la mayoría de las propiedades la correlación encontrada no es significativa. Esto determina que para conocer las propiedades mecánicas en estado seco no alcanza con la realización de los ensayos en estado verde, como lo propone Noack (1970). Solo la dureza tangencial y radial presentan una correlación significativa entre ambos estados de humedad, siendo sus valores 0,59 y 0,68 respectivamente (Cuadro 12).

CUADRO 12: Correlaciones entre ensayos mecánicos en estado verde y seco.

Propiedades	Coficiente
mor en flexión estática	0,11
moe en flexión estática	-0,07
flexión dinámica	0,11
compresión paralela	0,02
cizallamiento	0,06
dureza axial	0,40
dureza tangencial	0,59
dureza radial	0,68
tracción perpendicular	0,05
clivaje	-0,28

Nota: los valores en "negrita" son estadísticamente significativos ($p \leq 0,05$)

E. CORRELACION MOR - MOE

Sólo el módulo de rotura y el módulo de elasticidad en estado verde se correlacionan en forma significativa, con un coeficiente de 0,45. Dicho valor es sensiblemente menor al indicado por Noack (1970), que reporta un coeficiente de 0,84 para madera verde y 0,85 para madera seca entre ambas propiedades (Cuadro 13).

CUADRO 13: Correlación entre módulo de rotura y módulo de elasticidad para los estados verde y seco

Propiedades	Coeficiente
Moe (s) - Mor (s)	0,31
Moe (v) - Mor (v)	0,45

Nota: los valores en "negrita" son estadísticamente significativos ($p \leq 0,05$)

En el cuadro que sigue se presenta una clasificación de la madera de *Populus deltoides* cv. 'Harvard', así como las normas utilizadas en cada caso.

CUADRO 14. Clasificación de la madera de *Populus deltoides* cv. 'Harvard', según distintas normas

Propiedad	Valor de Cota	Clasificación	Norma
Pea (g/cm^3)	0,341	baja	COPANT 30: 1-020
Contracción volumétrica (%)	10,94	media	COPANT 30: 1-020
ct/cr	1,56	baja	COPANT 30: 1-020
Flexión estática	15,75	mediana	UNE 56-540-78
Tenacidad	2,48	medianamente tenaz	AFNOR NF B 51-002
Rigidez	46,73	rígida	AFNOR NF B 51-002
Flexión dinámica	1,68	resiliente	AFNOR NF B 51-002
Compresión paralela (Kg/cm^2)	253,00	madera blanda de categoría inferior	AFNOR NF B 51-002
Dureza (Kg/cm^2)	202,64	de clase baja	COPANT 30: 1-020
Tracción perpendicular	0,59	de alta adherencia	UNE 56-540-78
Clivaje	0,35	poco hendible	UNE 56-540-78

V. CONCLUSIONES

Debido a que la muestra estudiada resultó insuficiente para obtener un error relativo inferior al 15% en la mayor parte de las propiedades, ésta se puede incorporar a un estudio más intensivo de propiedades físicas y mecánicas de *Populus deltoides* cv. 'Harvard'.

Para la mayoría de las propiedades no es posible estimar los resultados en estado seco a partir de los mismos en madera verde, ya que no se encontraron correlaciones significativas entre ambos estados de humedad.

Las únicas que mostraron una correlación significativa entre ambos estados de humedad fueron la dureza tangencial y radial, para las que el valor de resistencia en estado saturado puede tomarse como indicador de la resistencia en estado seco.

Debido al aumento del peso específico aparente básico con la altura y a la correlación existente entre éste y algunas de las propiedades mencionadas, podemos inferir que las mismas van a presentar valores diferentes según la altura. Esto debe ser tenido en cuenta al momento del madereo y transformación.

En base a la clasificación final de la madera de *Populus deltoides* cv. 'Harvard', podemos afirmar que la misma se adecua a los usos que tradicionalmente se le ha dado a la madera de álamo.

Recomendaciones

Se propone el estudio de las propiedades anatómicas de este cultivar, para lo cual se cuenta con discos de madera de los individuos que componen la muestra estudiada en este trabajo.

Argentina, uno de los principales productores mundiales de salicáceas, ha sustituido el cultivar 'Harvard' por otros cultivares con mayor potencialidad para su transformación en papel. A nuestro entender sería importante la evaluación de estos cultivares en el Uruguay, tanto desde el punto de vista de su crecimiento, como de las características tecnológicas de su madera.

VI. RESUMEN

Se realizaron ensayos normalizados para estimar las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Populus deltoides* cv 'Harvard' (ex I-63/51), a partir de un tamaño de muestra de siete árboles procedentes de siete localidades del territorio uruguayo. Los ensayos se realizaron en dos estados de humedad: madera verde (C.H. > 30%) y madera seca al aire (C.H. entre 12 y 15%).

Se estimó la media y la variabilidad para cada una de las propiedades. Se establecieron correlaciones entre el peso específico aparente y las propiedades físicas y mecánicas, así como entre la resistencia en estado verde y seco para cada propiedad mecánica. También se estudió la variación de las propiedades físicas con la altura y en dirección radial.

Con los valores obtenidos se clasificó la madera de acuerdo con las normas AFNOR, COPANT y UNE, las que se aplicaron para diferentes propiedades.

Las únicas propiedades que alcanzaron un error relativo inferior a 15% fueron el peso específico aparente anhidro y básico.

Para la mayoría de las propiedades mecánicas no se encontraron correlaciones significativas entre ambos estados de humedad. Las excepciones fueron la dureza tangencial y radial.

Se determinó un incremento del peso específico aparente básico con la altura. Se observó un descenso de la humedad en el mismo sentido y un aumento de ésta desde la médula hasta la corteza.

Debido a que para la mayoría de las propiedades la muestra estudiada resultó insuficiente para obtener un error relativo inferior al 15%, ésta puede ser incorporada a un estudio más intensivo de propiedades físicas y mecánicas de *Populus deltoides* cv. 'Harvard'.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. ALONZO, A. E. 1976. Mejoramiento del álamo en Argentina. In Congreso Técnico Latinoamericano sobre celulosa y papel (1°, 1976, Buenos Aires). pp. 157-168.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1984. Standard methods of testing small clear specimens of timber. D 143-83. Philadelphia; ASTM, pp. 37-78.
3. ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALIZATION. 1942. Caractéristiques physiques et mécaniques des bois. Paris (NF B 51-002). 16 p.
4. _____. 1942. Bois-essai de compression axiale. Paris (NF B 51-007). 2 p.
5. _____. 1942. Bois-essai de flexion statique. Paris (NF B 51-008). 2 p.
6. _____. 1942. Bois-essai de choc ou flexion dynamique. Paris (NF B 51-009). 2p.
7. _____. 1942. Bois-essai de fendage. Paris (NF B 51-011). 2 p.
8. _____. 1942. Bois-essai de traction perpendiculaire aux fibres. Paris (NF B 51-010). 2 p.
9. BARAÑAO, J. J.; BASCIALI, M. E. y GARAU, A. M. 1988. Introducción a la taxonomía y fenología de clones cultivados de álamo; *Populus* sp. In Congreso Forestal Argentino (6°, 1988, Santiago del Estero). pp. 339-342.
10. BEAUDOIN, M.; HERNÁNDEZ, R. E.; KOUBAA, A. and POLIQUIN, J. 1992. Interclonal, intraclonal and within- tree variation in wood density of poplar hybrid clones. Wood and Fiber Science 24 (2): 147-153.
11. BROWN, H. P. A.; PANSIN, A. J. and FORSAITH, C. C. 1952. The physical, mechanical, and chemical properties of the commercial woods of the United States. New York, American Forestry Series, Textbook of wood technology, Mc. Graw-Hill, 492 p.
12. CALDERON, A. D.; ARREGHINI, R. I. y SOMOZA, A. R. 1988. Humedad en madera de álamos. In Congreso Forestal (6°, 1988, Santiago del Estero). pp. 546-547
13. CARACTERISTICAS FISICO-mecánicas de la madera de chopo. 1960. In Conferencias sobre el Chopo y sus Aplicaciones (1960, Madrid). Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. pp. 69-74.

14. CASTRO, G.; GIOVANINETTI, G. e ZANUTTINI, R. 1994. Variaciones de algunas características físicas del legno di pioppo in un vivaio policlonale. Monti e boschi N°6: 46-49.
15. CASTRO, G. e ZANUTTINI, R. 1991. Aspecti tecnologici del legno di pioppo coltivato in Italia. In Linea ecologica - Economia Montana (6°, 1991, Roma) pp 45-53.
16. COMITE PANAMERICANO DE NORMAS TECNICAS. 1972. Selección y Colección de muestras. Norma COPANT 458. 4 p.
17. _____ 1980. Clasificación de las maderas a partir de sus características físico-mecánicas. Proyecto de Norma Panamericana COPANT 30:1-020. 4 p.
18. CORONEL, E. O. 1994. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Santiago del Estero, Argentina. Facultad de Ciencias Forestales. 93 p.
19. COZZO, D. 1975. Arboles forestales, maderas y silvicultura de la Argentina. In Parodi, L.R. Enciclopedia argentina de Agricultura y Jardinería. Buenos Aires, Acme, Tomo 2 Fascículo 16- 1.
20. CUEVAS, E. I. 1969. Incidencia de los fenómenos de contracción y colapso en el secado de algunas maderas comerciales de Chile. Universidad de Chile, Instituto Forestal. Informe Técnico N° 36. 10 p.
21. DURAN, F. 1972. Propiedades físicas de *Populus x euramericana* (Dode) Guinier cv. 'I-154'; estudio de su variación. Boletín del Departamento Forestal N° 18: 1-17.
22. FAROPPA, H. C. y MASSA, J. E. 1983. Determinación del contenido de humedad de equilibrio, tiempos de secado y evaluación de defectos, en maderas comerciales uruguayas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 132 p.
23. FERNANDEZ - GOLFÍN, J. I.; DIEZ, M. R. 1994. Influencia de la anchura del anillo de crecimiento en la densidad y otras propiedades físico-mecánicas de la madera estructural de diversas especies. Investigación Agraria. Serie Recursos Forestales 3 (2): 211-219.
24. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 1980. Los álamos y los sauces en la producción de madera y la utilización de las tierras. Roma. 349 p. (FAO, Montes N° 10).

25. GUTIERREZ OLIVA, A. 1992. Características físico - mecánicas de la madera de los principales clones de chopo que se cultivan en España. In International Poplar Commission (19th Session, Madrid). Proceedings. V. 2, pp. 227-271.
26. HANN, R. A. 1969. Longitudinal shrinkage in seven species of wood. USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory. Research Note FPL-0203. 13 p.
27. HELLAWELL, C. R. 1956. The sampling of timber for standard mechanical tests. Part I: A practical comparison of two sampling methods. New Zeland Forest Service. Research Notes N°7. 2 p.
28. HOHEISEL, H. 1965. Estipulaciones e instrucciones sobre la recolección de probetas para ensayos de propiedades físicas y mecánicas de la madera. Instituto Forestal Latinoamericano. Boletín N°18: 53-65.
29. INSTITUTO NACIONAL DE RACIONALIZACION Y NORMALIZACION. 1978. Características físico- mecánicas de la madera; interpretación de los resultados de los ensayos. UNE 56-540-78. Madrid. 5 p.
30. INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS TECNICAS. Método de determinación de la contracción. UNIT 363-74. 4 p.
31. _____. Determinación del contenido de humedad en maderas. UNIT 223-70. 3 p.
32. _____. Método de ensayo de la dureza janka. UNIT 364-74. 5 p.
33. _____. Determinación del peso específico aparente en maderas. UNIT 237-70. 6 p.
34. JAIN, V. K.; ARORA, K. L., and SHARMA, A. K. 1993. A note on the movement of some indian timbers. *The Indian Forester*, 119 (11). pp. 936-939.
35. KENNEDY, H. E. Jr. 1985. Cottonwood (*Populus deltoides* Bartr. ex Marsh. and *P. Trichocarpa* Torr. & Gray). U. S. Department of Agriculture Forest Service. American Woods, N° FS - 231. 8 p.
36. KOLLMAN, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Madrid, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicios de la madera. V.1, 657 p.
37. KRALL, J. 1971. *Populus*; Datos sobre fenología y crecimiento en el Uruguay. Boletín del Departamento Forestal N° 17: 8-18.
38. MACK, J. J. 1979. Australian methods for mechanically testing small clear specimens of timber. Commonwealth Scientific and Industrial Research

Organization, Australia. Division of Building Research. Technical Paper (Second Series) N° 31. 19 p.

39. MALAN, F. S. and JANSEN, A. 1982. Seasonal dimension variation in wood of some South African grown timber species. Pretoria, South Africa. National Timber Research Institute . CSIR Special Report HOUT 250. 15 p.
40. MARKWARDT, L. J.; WILSON, T. R. C. 1935. Strength and related properties of woods grown in the United States. USDA. Forest Service. Technical Bulletin N° 479. 98 p.
41. Mc KNIGHT, J. S. 1971. Cottonwood; *Populus* species. USDA. Forest Service. American Woods FS-231. pp 3-8.
42. MOURA, U. P. G.; BARNES, R. D. and BIRKS, J. S. 1987. A comparisson of three methods of assesing wood density in provenances of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. and other *Eucalyptus* species in Brazil. Australian Forestry Research 17: 83-90.
43. NOACK, D. 1970. Evaluación de propiedades de maderas tropicales. In Reunión del Grupo de Trabajo IUFRO. (1°, 1970, Hamburgo). 18 p.
44. OTAÑO, M.; KEIL, G. D.; MARLATS, R. N.; LUNA, M. L. 1996. Comportamiento de la madera de distintos clones del género *Populus* L. sometida al tratamiento de vacío-presión con sales hidrosolubles. In Comisión Internacional del Alamo (20ª, 1996, Budapest). Proceedings. pp. 65-72.
45. PADRO SIMARRO, A. 1992. Clones de chopo para el valle medio del Ebro. Zaragoza. Diputación General de Aragón. 203 p.
46. PADRO SIMARRO, A. 1994. Curso de repoblación forestal y silvicultura de masas forestales. Montevideo. 1994. Tema 1: el Género *Populus*. 18 p.
47. SHUKLA, N. K., KHANDURI, A. K. and MOHAN LAL. 1990. Physical and Mechanical Properties of *Populus deltoides* "IC" from Haldwani (U.P.). Van Vigyan, 28 (1-2): 26-33.
48. _____; RAJPUT, S. S. and SINGH, K. R. 1991. A note on variation of density and strength properties from pith to periphery in *Populus deltoides*. Forest Research Institute, Dehra Dun, India. Journal of the Indian Academy of Wood Science, 22 (1): 6.
49. SOMOZA, A. R. 1985. Determinación de contracciones en cinco clones de álamos cultivados en Mendoza. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias

- Agrarias. Instituto Forestal. Mendoza, Argentina. pp. 1-4. (Cuadernos de Dasonomia, Serie Científica N°5)
50. TROIS NOUVEAUX clones italiens, 'Lux', 'Harvard' et 'San Martino'. 1972. *Revue Forestière Française* 24 (1): 51.
 51. TSOU MIS, G. 1991. Science and technology of wood; structure, properties, utilization. New York, Chapman & Hall. 494 p.
 52. TUSET, R. y DURAN, F. 1986. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Montevideo, Hemisferio Sur. 696 p.
 53. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1987. Wood handbook; wood as an engineering material. USDA Forest Service. Agriculture Handbook, 72. 466 p.
 54. UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA (URUGUAY). FACULTAD DE AGRONOMIA. 1986. Atlas climatológico del Uruguay. Montevideo. 57p.
 55. URUGUAY. DIRECCION DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1979. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Montevideo. v.3 452p.
 56. VIGNOTE PEÑA, S.; MARTOS, J.; ZAZO, J.; SORIA, S. 1993. Influencia de las características de la madera en la calidad de los productos. *Revista Vetas* 13 (134): 42-50.
 57. ZOBEL, B. J. and BUIJTENEN, J. P. 1989. Wood variation; Its causes and control. Berlin Heidelberg, Springer Verlag. 363 p.

VIII. ANEXO

1. Resultados obtenidos de propiedades físicas Arbol 1.

H ¹	P.v. ²	V.v. ³	P.s. ⁴	V.s. ⁵	C.h. ⁶	PEAb ⁷	PEAa ⁸	D.b. ⁹	C. ¹⁰
0.20	5.11	7.43	2.37	6.46	115.7	0.319	0.367	0.688	13.1
0.20	8.22	7.30	3.13	6.57	162.5	0.429	0.476	1.126	10.0
0.20	7.22	7.26	2.22	6.36	225.1	0.306	0.349	0.994	12.4
0.20	7.96	8.96	2.79	6.86	185.3	0.311	0.407	0.888	23.4
0.20	7.78	8.35	2.89	6.75	169.3	0.346	0.428	0.932	19.2
1.20	5.71	7.53	2.39	6.49	130.9	0.317	0.368	0.758	13.8
1.20	6.74	7.37	2.19	6.56	207.5	0.297	0.334	0.914	11.0
1.20	7.58	7.73	2.39	6.69	217.2	0.309	0.357	0.981	13.5
1.20	7.67	7.65	2.44	6.89	214.1	0.319	0.354	1.002	9.9
1.20	7.35	7.15	2.56	6.58	186.9	0.358	0.389	1.027	8.0
2.20	6.81	8.09	2.77	7.20	145.9	0.342	0.385	0.842	11.0
2.20	8.06	8.31	3.42	7.27	135.8	0.412	0.470	0.970	12.5
2.20	8.12	8.24	2.5	7.25	224.8	0.303	0.345	0.985	12.0
2.20	7.40	8.34	2.72	7.49	171.9	0.326	0.363	0.887	10.2
3.20	7.56	8.13	3.08	6.55	145.4	0.379	0.470	0.930	19.4
3.20	6.09	8.22	2.24	6.80	171.8	0.273	0.329	0.741	17.3
3.20	6.13	7.42	2.44	6.75	151.1	0.329	0.361	0.826	9.0
3.20	8.05	7.33	3.93	6.55	104.8	0.536	0.600	1.098	10.6
3.20	5.92	7.07	2.41	6.38	145.6	0.341	0.378	0.837	9.8
5.60	6.63	7.37	2.31	6.53	186.9	0.313	0.354	0.899	11.4
5.60	5.03	7.33	4.3	6.50	17.0	0.587	0.662	0.687	11.3
5.60	6.26	7.58	2.26	6.66	177.1	0.298	0.339	0.826	12.1
5.60	6.47	8.19	2.31	6.68	180.3	0.282	0.346	0.791	10.4
5.60	7.33	8.24	2.69	6.06	172.4	0.326	0.444	0.889	26.5
8.00	5.80	8.44	2.68	6.68	116.3	0.318	0.401	0.687	20.9
8.00	6.40	8.29	2.91	7.40	120.1	0.351	0.393	0.772	10.7
8.00	8.70	8.26	2.68	6.88	224.8	0.324	0.390	1.054	16.7
8.00	5.76	8.44	2.81	7.74	105.1	0.333	0.363	0.683	8.3
8.00	5.95	8.22	2.92	7.51	103.6	0.355	0.389	0.723	8.6
10.40	6.69	8.32	2.53	7.43	164.4	0.304	0.341	0.804	10.7
10.40	8.20	8.34	2.59	7.40	216.5	0.311	0.350	0.983	11.3
10.40	6.97	8.40	2.58	7.54	170.1	0.307	0.342	0.830	10.2
10.40	7.60	8.49	2.75	7.58	176.4	0.324	0.363	0.895	10.7
10.40	8.76	8.36	2.71	6.92	223.4	0.324	0.392	1.048	17.2
12.80	5.21	7.42	2.38	6.75	118.7	0.321	0.353	0.702	9.0
12.80	4.88	7.46	2.56	6.74	90.7	0.343	0.380	0.654	9.7
12.80	6.44	8.07	3.23	6.52	99.3	0.400	0.495	0.798	19.2
12.80	5.06	7.35	2.49	6.59	103.4	0.339	0.378	0.689	10.3
15.20	6.88	8.19	4.09	7.41	68.3	0.499	0.552	0.841	9.5
15.20	6.17	7.57	3.24	6.45	90.4	0.428	0.502	0.815	14.8
15.20	6.15	9.75	3.21	7.06	91.5	0.329	0.455	0.630	27.6

(¹) Altura (m)

(²) Peso verde (g)

(³) Volumen verde (cm³)

(⁴) Peso seco (g)

(⁵) Volumen seco (cm³)

(⁶) Contenido de humedad (%)

(⁷) Peso específico aparente anhidro (g/cm³)

(⁸) Peso específico aparente básico (g/cm³)

(⁹) Densidad básica (g/cm³)

(¹⁰) Contracción (%)

Arbol 2.

H ¹	P.v. ²	V.v. ³	P.s. ⁴	V.s. ⁵	C.h. ⁶	PEAb ⁷	PEAd ⁸	D.b. ⁹	C. ¹⁰
0.20	5.82	10.52	4.41	8.86	32.0	0.419	0.498	0.553	15.8
0.20	5.76	10.14	3.77	9.43	52.8	0.372	0.400	0.568	7.0
0.20	5.55	9.70	3.37	9.03	64.7	0.347	0.373	0.572	6.9
0.20	5.63	9.99	3.35	9.14	68.1	0.335	0.367	0.564	8.5
0.20	7.65	9.98	3.16	8.75	142.1	0.317	0.361	0.767	12.3
0.20	9.66	10.20	3.45	8.99	180.0	0.338	0.384	0.947	11.9
0.20	9.45	10.05	3.27	9.15	189.0	0.325	0.357	0.940	9.0
1.20	5.90	9.81	3.44	8.95	71.5	0.351	0.384	0.601	8.8
1.20	5.73	9.77	3.14	9.00	82.5	0.321	0.349	0.586	7.9
1.20	5.94	9.96	3.2	9.05	85.6	0.321	0.354	0.596	9.1
1.20	9.41	9.96	3.24	8.78	190.4	0.325	0.369	0.945	11.8
1.20	10.10	10.32	3.39	9.39	197.9	0.328	0.361	0.979	9.0
2.20	5.99	9.89	3.47	8.45	72.6	0.351	0.411	0.606	14.6
2.20	6.61	9.97	3.58	9.20	84.6	0.359	0.389	0.663	7.7
2.20	6.74	9.54	4.04	8.85	66.8	0.423	0.456	0.706	7.2
2.20	7.15	9.35	3.04	8.80	135.2	0.325	0.345	0.765	5.9
2.20	8.84	8.99	4.02	8.30	119.9	0.447	0.484	0.983	7.7
3.20	6.28	10.33	3.4	9.15	84.7	0.329	0.372	0.608	11.4
3.20	5.98	10.13	3.22	9.37	85.7	0.318	0.344	0.590	7.5
3.20	6.32	10.10	3.42	9.29	84.8	0.339	0.368	0.626	8.0
3.20	6.18	10.09	3.29	9.14	87.8	0.326	0.360	0.612	9.4
3.20	9.35	10.13	4.42	8.69	111.5	0.436	0.509	0.923	14.2
3.20	10.47	10.63	4.89	8.87	114.1	0.460	0.551	0.985	16.6
5.60	6.96	9.89	3.56	10.02	95.5	0.360	0.355	0.704	-1.3
5.60	7.00	10.79	3.81	9.00	83.7	0.353	0.423	0.649	16.6
5.60	5.64	9.36	3.01	8.60	87.4	0.322	0.350	0.603	8.1
8.00	6.10	9.96	3.64	10.17	67.6	0.365	0.358	0.612	-2.1
8.00	5.88	9.82	3.42	9.14	71.9	0.348	0.374	0.599	6.9
10.40	7.15	9.92	3.57	9.36	100.3	0.360	0.381	0.721	5.6
10.40	6.52	10.00	3.49	9.41	86.8	0.349	0.371	0.652	5.9

Arbol 3

H ¹	P.v. ²	V.v. ³	P.s. ⁴	V.s. ⁵	C.h. ⁶	PEAb ⁷	FEAa ⁸	D.b. ⁹	C. ¹⁰
0.20	8.01	9.83	4.43	9.11	80.8	0.451	0.480	0.815	7.3
0.20	8.67	10.01	3.44	8.47	152.0	0.344	0.406	0.866	15.4
0.20	8.03	9.78	3.16	8.32	154.1	0.323	0.380	0.821	14.9
0.20	7.52	9.87	3.05	8.75	146.6	0.309	0.349	0.762	11.3
0.20	8.73	9.52	2.87	8.37	204.2	0.301	0.343	0.917	12.1
0.20	9.30	9.65	3.05	9.02	204.9	0.316	0.338	0.964	6.5
1.20	5.62	9.50	3.72	8.56	51.1	0.392	0.435	0.592	9.9
1.20	4.94	9.11	3.02	8.37	63.6	0.332	0.361	0.542	8.1
1.20	8.41	9.36	2.84	7.90	196.1	0.303	0.359	0.899	15.6
1.20	8.67	9.38	3.02	8.31	187.1	0.322	0.363	0.924	11.4
1.20	8.55	9.22	3.04	8.00	181.3	0.330	0.380	0.927	13.2
1.20	9.19	9.46	3.2	8.33	187.2	0.338	0.384	0.971	11.9
2.20	5.71	10.05	3.68	9.13	55.2	0.366	0.403	0.568	9.2
2.20	6.29	10.19	3.56	8.72	76.7	0.349	0.408	0.617	14.4
2.20	7.92	10.00	3.23	8.75	145.2	0.323	0.369	0.792	12.5
2.20	9.06	9.75	3.19	7.99	184.0	0.327	0.399	0.929	10.1
2.20	8.75	9.67	3.02	8.50	189.7	0.312	0.355	0.905	12.1
2.20	9.11	9.99	3.22	9.05	182.9	0.322	0.356	0.912	9.4
3.20	6.61	9.89	3.49	8.15	89.4	0.353	0.428	0.668	17.6
3.20	7.51	9.50	3.15	8.02	138.4	0.332	0.393	0.791	15.6
3.20	9.24	9.67	3.53	8.85	161.8	0.365	0.399	0.956	8.5
3.20	9.95	9.82	3.35	8.78	197.0	0.341	0.382	1.013	10.6
3.20	9.67	9.65	3.3	8.36	193.0	0.342	0.395	1.002	13.4
3.20	9.19	9.55	3.06	8.53	200.3	0.320	0.359	0.962	10.7
5.60	6.94	8.96	3.58	8.34	93.9	0.400	0.429	0.775	6.9
5.60	5.71	9.24	2.86	7.93	99.7	0.294	0.361	0.586	18.6
5.60	6.49	9.98	3.18	9.22	104.1	0.319	0.345	0.650	7.6
5.60	6.88	9.75	2.86	8.91	140.6	0.293	0.321	0.706	8.6
5.60	9.22	9.65	2.85	8.74	223.5	0.295	0.326	0.955	9.4
5.60	9.43	9.61	3.03	8.52	211.2	0.315	0.356	0.981	11.3
8.00	5.91	9.86	3.42	8.99	72.8	0.347	0.380	0.599	8.8
8.00	5.65	9.56	3.1	8.96	82.3	0.324	0.346	0.591	6.3
8.00	7.28	9.66	3.35	8.54	117.3	0.347	0.392	0.754	11.6
8.00	9.36	8.90	4.17	8.27	124.5	0.469	0.504	1.052	7.1
10.40	6.91	10.32	4.24	9.29	63.0	0.411	0.456	0.670	10.0
10.40	6.78	10.00	4.17	9.05	62.6	0.417	0.461	0.678	9.5
10.40	6.52	10.14	3.68	9.38	77.2	0.363	0.392	0.643	7.5
12.80	5.96	9.99	3.54	9.17	68.4	0.354	0.386	0.597	8.2
12.80	6.12	10.17	3.45	9.61	77.4	0.339	0.359	0.602	5.5

Arbol 4

H ¹	P.v. ²	V.v. ³	P.s. ⁴	V.s. ⁵	C.h. ⁶	PEAb ⁷	PEAa ⁸	D.b. ⁹	C. ¹⁰
0.20	9.32	8.96	3.14	7.78	196.8	0.350	0.404	1.040	13.2
0.20	9.13	9.14	2.93	7.92	211.6	0.321	0.370	0.999	13.3
0.20	9.21	9.39	2.93	7.91	214.3	0.312	0.370	0.981	15.8
0.20	9.69	9.45	2.95	7.97	228.5	0.312	0.370	1.025	15.7
0.20	10.03	9.03	3.32	8.63	202.1	0.368	0.385	1.111	4.4
0.20	9.91	10.57	3.04	8.21	158.1	0.363	0.468	0.938	22.3
1.20	9.42	9.06	3.14	7.88	200.0	0.347	0.398	1.040	13.0
1.20	9.17	9.44	3.14	7.99	192.0	0.333	0.393	0.971	15.4
1.20	8.85	8.27	2.96	8.06	199.0	0.358	0.367	1.070	2.5
1.20	9.53	9.20	3.1	8.39	207.4	0.337	0.369	1.036	8.8
1.20	7.20	9.14	3.02	8.20	138.4	0.330	0.368	0.788	10.3
2.20	8.94	9.44	2.71	7.55	229.9	0.287	0.359	0.947	20.0
2.20	9.44	9.21	2.78	8.48	239.6	0.302	0.328	1.025	7.9
2.20	9.83	9.29	2.91	8.25	237.8	0.313	0.353	1.058	11.2
2.20	7.03	9.68	3.04	7.65	131.3	0.314	0.397	0.726	21.0
2.20	7.79	9.28	3.33	8.20	133.9	0.359	0.406	0.839	11.6
3.20	7.77	9.04	2.71	8.42	186.7	0.300	0.322	0.860	6.9
3.20	7.55	9.37	3.08	8.70	145.1	0.329	0.354	0.806	7.2
3.20	7.85	9.51	2.99	8.58	162.5	0.314	0.348	0.825	9.8
3.20	7.59	9.54	3.2	8.47	137.2	0.335	0.378	0.796	11.2
5.60	6.13	9.36	2.79	8.42	119.7	0.298	0.331	0.655	10.0
5.60	6.59	9.24	2.88	8.55	128.8	0.312	0.337	0.713	7.5
5.60	6.53	9.44	2.83	8.06	130.7	0.300	0.351	0.692	14.6
5.60	6.59	10.00	3.36	8.18	96.1	0.336	0.411	0.659	18.2
8.00	6.59	9.16	3.07	8.26	70.3	0.422	0.469	0.719	9.8
8.00	6.59	9.35	3.10	8.18	107.2	0.340	0.389	0.705	12.5
8.00	6.58	9.66	3.09	8.71	112.9	0.320	0.355	0.681	9.8
10.40	6.58	9.00	3.06	8.22	115.0	0.340	0.372	0.731	8.7
10.40	6.59	9.78	3.51	8.41	87.7	0.359	0.417	0.674	14.0
10.40	8.49	10.05	3.71	8.43	128.8	0.369	0.440	0.845	16.1
12.80	5.93	8.96	3	7.75	97.7	0.335	0.387	0.662	13.5
12.80	5.58	8.36	2.85	7.69	95.8	0.341	0.371	0.667	8.0

Arbol 5.

H ¹	P.v. ²	V.v. ³	P.s. ⁴	V.s. ⁵	C.h. ⁶	PEAb ⁷	PEAa ⁸	D.b. ⁹	C. ¹⁰
0.2	7.29	8.90	3.17	7.87	130.0	0.356	0.403	0.819	11.6
0.2	5.85	7.53	2.47	7.85	136.8	0.328	0.315	0.777	-4.2
0.2	5.93	8.67	2.73	7.62	117.2	0.315	0.358	0.684	12.1
0.2	8.00	8.72	2.52	6.84	217.5	0.289	0.368	0.917	21.6
0.2	7.27	8.44	2.51	7.17	189.6	0.297	0.350	0.861	15.0
0.2	6.79	7.99	2.19	6.90	210.0	0.274	0.317	0.850	13.6
1.2	5.57	8.58	3.1	7.64	79.7	0.361	0.406	0.649	11.0
1.2	7.37	8.51	2.89	7.46	155.0	0.340	0.387	0.866	12.3
1.2	7.96	8.50	2.77	7.15	187.4	0.326	0.387	0.936	15.9
1.2	7.22	8.24	2.22	6.82	225.2	0.269	0.326	0.876	17.2
1.2	6.78	8.49	2.59	7.67	161.8	0.305	0.338	0.799	9.7
1.2	6.43	8.29	2.22	7.46	189.6	0.268	0.298	0.776	10.0
2.2	5.25	8.48	3.06	7.71	71.6	0.361	0.397	0.619	9.1
2.2	7.57	8.53	2.86	7.60	164.7	0.335	0.376	0.887	10.9
2.2	8.47	8.58	2.83	6.89	199.3	0.330	0.411	0.987	19.7
2.2	6.93	8.41	2.49	7.34	178.3	0.296	0.339	0.824	12.7
2.2	7.39	8.41	3.16	7.42	133.9	0.376	0.426	0.879	11.8
2.2	7.93	8.22	3.51	7.19	125.9	0.427	0.488	0.965	12.5
3.2	5.44	7.75	2.9	6.92	87.6	0.374	0.419	0.702	10.7
3.2	7.13	8.20	2.69	7.36	165.1	0.328	0.365	0.870	10.2
3.2	6.88	8.26	2.58	7.19	166.7	0.312	0.359	0.833	13.0
3.2	7.72	8.36	2.42	7.11	219.0	0.289	0.340	0.923	15.0
3.2	5.98	8.13	2.33	7.34	156.7	0.287	0.317	0.736	9.7
3.2	6.23	7.95	2.09	7.23	198.1	0.263	0.289	0.784	9.1
5.6	6.57	8.94	3.11	8.12	111.3	0.348	0.383	0.735	9.2
5.6	6.10	8.58	2.75	7.72	121.8	0.321	0.356	0.711	10.0
5.6	5.80	8.19	2.78	7.27	108.6	0.339	0.302	0.708	11.2
5.6	7.92	8.32	2.49	6.98	218.1	0.299	0.357	0.952	16.1
5.6	6.59	7.77	2.52	6.02	161.5	0.324	0.419	0.848	22.5
5.6	5.66	7.33	2.25	6.72	151.6	0.307	0.335	0.772	8.3
8	6.43	8.91	3.24	7.45	98.5	0.364	0.435	0.722	16.4
8	6.12	8.74	2.83	7.77	116.3	0.324	0.364	0.700	11.1
8	5.96	8.47	2.6	7.62	129.2	0.307	0.341	0.704	10.0
8	6.67	8.35	2.45	7.25	172.2	0.293	0.338	0.799	13.2
8	6.76	8.07	2.56	6.69	164.1	0.317	0.383	0.838	17.1
10.4	6.74	9.70	3.41	7.98	97.7	0.352	0.427	0.695	17.7
10.4	6.44	8.97	2.94	7.90	119.0	0.328	0.368	0.718	11.0
10.4	6.53	7.40	3.27	7.62	99.7	0.442	0.429	0.882	-3.0
10.4	5.33	8.23	2.44	7.40	118.4	0.296	0.330	0.648	10.1
10.4	7.53	8.05	2.42	6.47	211.2	0.301	0.374	0.935	19.6
12.8	5.67	8.27	2.81	7.61	101.8	0.340	0.369	0.686	8.0
12.8	6.03	8.31	2.73	7.58	120.9	0.329	0.360	0.726	8.8
12.8	6.78	8.41	3.27	7.65	104.9	0.309	0.427	0.797	9.0
12.8	6.51	7.76	2.75	7.05	136.7	0.354	0.390	0.839	9.1
15.2	6.39	7.18	2.91	7.01	119.6	0.405	0.415	0.890	2.4
15.2	6.69	8.32	3.05	7.37	119.3	0.367	0.414	0.804	11.4
15.2	7.27	7.01	2.83	7.11	156.9	0.404	0.398	1.037	-1.4
17.6	6.20	8.19	3.18	7.45	95.0	0.388	0.427	0.757	9.0
17.6	6.53	7.18	3.72	7.39	75.5	0.518	0.503	0.909	2.9
17.6	7.01	7.84	4.38	6.82	60.0	0.559	0.642	0.894	13.0

Arbol 6.

H ¹	P.v. ²	V.v. ³	P.s. ⁴	V.s. ⁵	C.h. ⁶	PEAb ⁷	PEAa ⁸	D.b. ⁹	C. ¹⁰
0.2	7.45	7.73	3.21	7.09	132.1	0.415	0.453	0.964	8.3
0.2	8.12	8.06	3.02	6.64	168.9	0.375	0.455	1.007	17.6
0.2	6.43	6.54	2.47	6.72	160.3	0.378	0.368	0.983	2.8
0.2	7.10	6.93	2.43	6.72	192.2	0.351	0.362	1.025	3.0
0.2	6.79	7.35	2.31	6.71	193.9	0.314	0.344	0.924	8.7
0.2	6.75	6.46	2.37	6.27	184.8	0.367	0.378	1.045	2.9
0.2	6.97	7.48	2.52	6.57	176.6	0.337	0.384	0.932	12.2
1.2	5.06	7.55	2.91	7.81	73.9	0.385	0.373	0.670	-3.4
1.2	7.45	7.56	2.77	7.54	169.0	0.366	0.367	0.985	0.3
1.2	8.00	8.35	2.95	7.71	171.2	0.353	0.383	0.958	7.7
1.2	7.18	8.71	2.62	7.87	174.0	0.301	0.333	0.824	9.6
1.2	6.87	8.13	2.68	7.92	156.3	0.330	0.338	0.845	2.6
1.2	7.06	8.41	2.73	7.51	187.9	0.325	0.364	0.935	10.7
2.2	6.20	8.69	3.64	7.93	70.3	0.419	0.459	0.713	8.7
2.2	6.08	8.59	2.86	7.82	112.6	0.333	0.366	0.708	9.0
2.2	7.86	8.53	2.74	7.49	186.9	0.321	0.366	0.921	12.2
2.2	7.43	8.30	2.69	8.00	176.2	0.324	0.336	0.895	3.6
2.2	6.57	8.28	2.38	7.14	176.1	0.287	0.333	0.793	13.8
3.2	6.46	8.49	3.01	7.63	114.6	0.355	0.394	0.761	10.1
3.2	6.71	8.04	2.54	7.05	164.2	0.316	0.360	0.835	12.3
3.2	6.78	8.37	2.68	7.59	153.0	0.320	0.353	0.810	9.3
3.2	6.27	8.51	2.76	7.27	127.2	0.324	0.380	0.737	14.6
3.2	6.59	8.27	2.69	7.45	145.0	0.325	0.361	0.797	9.9
5.6	6.42	8.64	3.02	7.03	112.6	0.350	0.386	0.743	9.4
5.6	6.26	8.65	3.02	7.81	107.3	0.349	0.387	0.724	9.7
5.6	7.83	8.24	3.46	7.20	126.3	0.420	0.481	0.950	12.6
5.6	7.54	8.03	3.6	7.35	109.4	0.448	0.490	0.939	8.5
5.6	8.09	7.97	3.79	7.78	113.5	0.476	0.487	1.015	2.4
8	6.08	7.38	2.84	7.55	114.1	0.385	0.376	0.824	-2.3
8	7.30	8.25	2.66	7.14	174.4	0.322	0.373	0.885	13.5
8	6.13	7.87	2.65	7.42	131.3	0.337	0.357	0.779	5.7
10.4	5.27	8.23	2.53	7.43	108.3	0.307	0.341	0.640	9.7
10.4	5.46	8.07	2.55	7.31	114.1	0.316	0.349	0.677	9.4
10.4	5.62	7.46	2.4	6.77	134.2	0.322	0.355	0.753	9.2
12.8	6.67	8.47	3.31	7.44	101.5	0.391	0.445	0.787	12.2
12.8	5.80	8.11	2.87	7.27	102.1	0.354	0.395	0.715	10.4

Arbol 7.

H ¹	P.v. ²	V.v. ³	P.s. ⁴	V.s. ⁵	C.h. ⁶	PEAb ⁷	PEAa ⁸	D.b. ⁹	C. ¹⁰
0.2	6.11	7.08	2.1	6.29	191.0	0.297	0.334	0.863	11.2
0.2	6.31	6.99	1.95	6.20	223.6	0.279	0.315	0.903	11.3
0.2	6.55	7.00	1.85	6.06	254.1	0.264	0.305	0.936	13.4
0.2	6.44	7.14	2.03	6.32	217.2	0.284	0.321	0.902	11.5
0.2	6.67	7.10	2.16	6.25	208.8	0.304	0.346	0.939	12.0
0.2	6.57	7.07	2.22	6.35	195.9	0.314	0.350	0.929	10.2
1.2	6.23	8.09	2.48	7.32	151.2	0.307	0.339	0.770	9.5
1.2	7.05	7.44	1.95	5.96	261.5	0.262	0.327	0.948	19.9
1.2	7.39	7.61	2.3	6.83	221.3	0.302	0.337	0.971	10.2
1.2	7.32	7.62	2.43	6.85	201.2	0.319	0.355	0.961	10.2
2.2	5.16	7.47	2.47	6.78	108.9	0.331	0.364	0.691	9.2
2.2	6.21	7.78	2.28	6.94	172.4	0.293	0.329	0.798	10.8
2.2	7.47	7.80	2.18	6.77	242.7	0.279	0.322	0.958	13.3
2.2	7.38	7.07	2.07	7.09	256.5	0.263	0.292	0.938	10.0
3.2	5.43	7.46	2.79	6.67	94.6	0.374	0.418	0.728	10.6
3.2	6.53	7.32	2.13	6.62	206.6	0.291	0.322	0.892	9.6
3.2	6.56	7.34	2.04	6.25	221.6	0.278	0.326	0.894	14.9
3.2	6.81	7.54	2.11	5.39	222.7	0.280	0.391	0.903	28.5
3.2	6.81	7.65	2.26	6.90	201.3	0.295	0.328	0.890	9.8
5.6	6.12	7.71	2.47	6.86	147.8	0.320	0.360	0.794	11.0
5.6	7.83	7.67	2.9	6.65	170.0	0.378	0.436	1.021	13.3
5.6	7.53	7.08	2.34	6.70	221.8	0.331	0.349	1.064	5.4
8	4.81	7.68	2.37	7.03	103.0	0.309	0.337	0.626	8.5
8	5.89	7.62	2.17	6.87	171.4	0.285	0.316	0.773	9.8
8	6.65	7.31	1.9	6.72	250.0	0.260	0.283	0.910	8.1
10.4	5.97	7.83	2.89	7.16	106.6	0.369	0.404	0.762	8.6
10.4	7.65	7.46	2.18	5.04	250.9	0.292	0.433	1.025	32.4
10.4	6.93	7.14	2.25	6.33	208.0	0.315	0.355	0.971	11.3
10.4	8.15	7.63	3.32	6.48	145.5	0.435	0.512	1.068	15.1
12.8	4.65	7.69	2.56	7.04	81.6	0.333	0.364	0.605	8.5
12.8	4.76	7.68	2.38	7.11	100.0	0.310	0.335	0.620	7.4
12.8	6.30	6.56	2.51	5.97	151.0	0.383	0.420	0.960	9.0

Contracción total (%)

(T=tangencial; R=radial; L=longitudinal; V=volumétrica)

ARBOL	1	2	3	4	5	6	7
PROBETA							
T1	5.74	6.52	6.78	5.33	-	8.47	3.35
T2	5.88	6.37	6.56	5.56	6.87	6.16	5.02
T3	6.34	5.98	6.21	6.51	6.76	6.40	6.85
MEDIA	5.99	6.29	6.52	5.80	6.81	7.01	5.07
DESVIO	0.31	0.28	0.28	0.63	0.07	1.27	1.75
R1	2.70	4.46	4.71	5.63	-	5.15	8.55
R2	3.60	3.42	3.02	4.21	3.91	5.09	5.20
R3	2.98	3.65	2.79	3.14	4.29	4.56	5.59
MEDIA	3.10	3.85	3.51	4.33	4.10	4.93	6.44
DESVIO	0.46	0.54	1.05	1.25	0.27	0.33	1.83
L1	0.35	0.29	0.10	0.00	-	0.64	-0.05
L2	-0.15	0.10	0.44	-0.10	0.00	0.20	0.00
L3	-0.05	0.24	0.10	0.74	0.45	-0.10	-0.35
MEDIA	0.05	0.21	0.21	0.21	0.22	0.25	-0.13
DESVIO	0.26	0.10	0.20	0.46	0.32	0.38	0.19
V1	8.98	11.60	11.92	11.26	-	14.79	12.13
V2	9.53	10.12	10.27	9.89	11.04	11.78	10.47
V3	9.45	10.12	9.28	10.67	11.84	11.14	12.43
MEDIA	9.32	10.61	10.49	10.61	11.44	12.57	11.68
DESVIO	0.30	0.85	1.33	0.69	0.57	1.95	1.06
Media gral. tang.		6.18					
Desvío gral. tang.		0.66					
C.V.(%)		10.73					
Amplitud		2.78					
Error relativo (%)		22.41					
Media gral. rad.		4.32					
Desvío gral. rad.		1.10					
C.V.(%)		25.46					
Amplitud		5.41					
Error relativo (%)		62.61					
Media gral. long.		0.15					
Desvío gral. long.		0.14					
C.V.(%)		93.33					
Amplitud		0.68					
Error relativo (%)		233.23					
Media gral. vol.		10.96					
Desvío gral. vol.		1.85					
C.V.(%)		16.91					
Amplitud		5.10					
Error relativo (%)		23.29					

Contracción verde - 12 (%)

ARBOL	1	2	3	4	5	6	7
PROBETA							
T1	2.07	3.90	3.97	3.24	-	5.02	7.19
T2	3.68	3.56	3.55	3.18	4.74	4.73	3.92
T3	3.34	3.53	3.16	2.66	4.57	4.15	5.37
MEDIA	3.03	3.66	3.56	3.03	4.66	4.63	5.49
DESUDIO	0.85	0.21	0.41	0.32	0.12	0.44	1.64
R1	0.72	2.78	2.23	3.02	-	4.64	-0.53
R2	1.81	2.84	1.24	2.15	2.32	2.32	3.05
R3	1.12	2.79	1.15	2.04	2.44	2.81	4.18
MEDIA	1.21	2.80	1.54	2.40	2.38	3.25	2.23
DESUDIO	0.55	0.03	0.60	0.54	0.08	1.22	2.46
L1	0.41	0.19	0.14	-0.28	-	0.56	-0.14
L2	-0.22	0.14	0.26	-0.24	0.04	0.44	0.06
L3	-0.05	0.00	0.00	-0.43	0.37	-0.09	-0.24
MEDIA	0.05	0.11	0.13	-0.32	0.20	0.30	-0.11
DESUDIO	0.32	0.10	0.13	0.10	0.23	0.35	0.15
V1	3.23	6.99	6.44	6.06	-	10.50	6.48
V2	5.32	6.65	5.10	5.14	7.22	7.63	7.15
V3	4.44	6.42	4.34	4.31	7.51	6.97	9.50
MEDIA	4.33	6.69	5.29	5.17	7.36	8.37	7.71
DESUDIO	1.05	0.29	1.07	0.87	0.21	1.88	1.59
Media gral. tang.		4.01					
Desvio gral. tang.		0.94					
C.V. (%)		23.44					
Amplitud		4.58					
Error relativo (%)		57.15					
Media gral. rad.		2.26					
Desvio gral. rad.		0.70					
C.V. (%)		30.97					
Amplitud		3.42					
Error relativo (%)		75.71					
Media gral. long.		0.05					
Desvio gral. long.		0.23					
C.V. (%)		460.00					
Amplitud		1.12					
Error relativo (%)		1185.44					
Media gral. vol.		6.02					
Desvio gral. vol.		1.10					
C.V. (%)		18.22					
Amplitud		5.37					
Error relativo (%)		44.65					

Contracción 12 - 0 (%)

ARBOL	1	2	3	4	5	6	7
PROBETA							
T1	3.85	2.80	3.02	2.21	-	3.83	-3.91
T2	2.39	2.94	3.19	2.52	2.30	1.54	1.14
T3	3.20	2.57	3.27	4.12	2.39	2.43	1.65
MEDIA	3.14	2.77	3.16	2.95	2.35	2.60	-0.37
DESVIO	0.73	0.19	0.12	1.03	0.06	1.15	3.07
R1	2.02	1.75	2.61	2.77	-	0.54	9.54
R2	1.89	0.60	1.83	2.16	1.67	2.96	2.24
R3	1.92	0.89	1.69	1.13	1.96	1.85	1.53
MEDIA	1.95	1.08	2.05	2.02	1.81	1.78	4.44
DESVIO	0.07	0.60	0.49	0.83	0.21	2.20	4.44
L1	-0.06	0.10	-0.05	0.28	-	0.09	0.09
L2	0.07	-0.14	0.18	0.14	-0.04	-0.24	-0.06
L3	0.05	0.00	0.00	1.17	-0.37	0.09	-0.10
MEDIA	0.02	-0.01	0.04	0.53	-0.20	-0.02	-0.03
DESVIO	0.07	0.12	0.12	0.56	0.23	0.19	0.10
V1	5.88	4.71	5.66	5.34	-	4.48	5.35
V2	4.39	3.41	5.27	4.89	3.96	4.30	3.35
V3	5.24	3.49	5.01	6.54	4.01	4.42	3.09
MEDIA	5.17	3.87	5.31	5.59	3.99	4.40	3.93
DESVIO	0.75	0.73	0.33	0.85	0.03	0.09	1.24
Media gral. tang.		2.37					
Desvío gral. tang.		1.25					
C.V.		52.74					
Amplitud		6.10					
Error relativo (%)		128.65					
Media gral. rad.		2.16					
Desvío gral. rad.		1.06					
C.V.		49.07					
Amplitud		5.18					
Error relativo (%)		119.71					
Media gral. long.		0.05					
Desvío gral. long.		0.21					
C.V.		4.20					
Amplitud		1.02					
Error relativo (%)		943.67					
Media gral. vol.		4.64					
Desvío gral. vol.		0.73					
C.V.		15.83					
Amplitud		3.08					
Error relativo (%)		33.27					

2. Resultados obtenidos de propiedades mecánicas (V= verde; S= seco)

Módulo de rotura (Kg/cm²)

ARBOL	1	2	3	4	5	6	7
PROBETA							
V1	431,12	520,29	580,21	450,32	598,25	550,39	477,43
V2	469,56	540,64	556,83	417,74	673,29	544,42	392,14
V3	495,86	516,70	665,10	454,91	542,58	493,58	451,28
MEDIA	465,51	525,88	600,71	440,99	604,71	529,46	440,28
DESVIO	32,56	12,91	56,98	20,26	65,59	31,22	43,70
S1	671,50	644,28	542,97	684,09	671,72	559,92	640,78
S2	669,18	685,26	795,37	630,44	500,53	612,57	419,82
S3	705,06	645,18	661,88	580,84	692,71	687,75	505,80
MEDIA	681,92	658,23	666,74	631,79	621,65	620,08	522,14
DESVIO	20,08	23,41	126,27	51,64	105,42	64,25	111,38
Media general verde	515,36						
Desvio general verde	74,78						
C.V. verde (%)	14,51						
Amplitud	621,63						
Error relativo (%)	60,31						
Media general seco	628,94						
Desvio general seco	84,95						
C.V. seco (%)	13,51						
Amplitud	469,03						
Error relativo (%)	37,29						

Módulo de elasticidad (Kg/cm²)

ARBOL	1	2	3	4	5	6	7
PROBETA							
V1	23321,32	23205,69	26419,26	23960,04	34796,43	34469,29	20715,02
V2	26853,10	24872,95	21612,68	26574,95	28707,98	33222,31	30054,05
V3	26578,51	22023,93	31661,37	22932,35	27652,44	31710,20	24412,78
MEDIA	25584,31	23367,52	26564,44	22489,11	30385,62	33133,93	25060,62
DESVIO	1964,61	1431,39	5025,92	1735,53	3856,16	1381,67	4703,10
S1	33103,48	30926,39	35719,19	30706,62	29382,48	29176,40	26771,93
S2	33196,32	28134,09	36719,06	28321,59	37246,97	27965,14	26657,01
S3	48447,08	37377,21	31862,08	29036,03	24248,65	33340,14	22542,93
MEDIA	38248,96	32145,89	34786,78	29354,74	30292,70	30160,56	25323,95
DESVIO	8831,96	4740,70	2564,73	1224,04	6546,79	2819,41	2409,13
Media general verde	26655,08						
Desvio general verde	4524,47						
C.V. verde (%)	16,97						
Amplitud	34060,24						
Error relativo (%)	63,89						
Media general seco	31470,51						
Desvio general seco	5648,98						
C.V. seco (%)	17,95						
Amplitud	36834,22						
Error relativo (%)	58,52						

Flexión dinámica (kgm)

ÁRBOL	1	2	3	4	5	6	7
PROBETA							
V1	2,70	3,75	5,40	3,70	3,80	5,10	4,35
V2	2,90	4,00	2,90	3,10	4,85	3,80	2,80
V3	2,65	3,55	2,70	3,30	3,05	4,20	2,35
MEDIA	2,75	3,77	3,67	3,37	3,83	4,37	3,17
DESVIO	0,13	0,23	1,50	0,31	0,80	0,67	1,05
S1	3,20	1,30	2,05	0,95	1,20	2,45	4,30
S2	2,95	2,40	2,55	1,30	1,40	2,00	1,10
S3	2,75	1,40	2,15	1,20	0,60	1,60	1,00
MEDIA	2,97	1,70	2,25	1,15	1,07	2,02	2,13
DESVIO	0,23	0,61	0,26	0,18	0,42	0,43	1,88
Media general verde	3,56						
Desvio general verde	0,84						
C.V. verde (%)	0,24						
Amplitud	4,64						
Error relativo (%)	65,16						
Media general seco	1,90						
Desvio general seco	0,91						
C.V. seco (%)	47,89						
Amplitud	5,89						
Error relativo (%)	155,23						

Compresión paralela (kg/cm²)

ÁRBOL	1	2	3	4	5	6	7
PROBETA							
V1	187,04	187,50	207,62	209,46	226,24	232,07	180,21
V2	157,23	203,60	189,00	202,48	227,77	205,81	200,13
V3	185,19	197,67	206,84	210,18	246,57	216,80	170,17
MEDIA	176,49	196,25	201,15	207,37	233,53	218,23	183,50
DESVIO	16,71	8,14	10,53	4,25	11,32	13,19	15,25
S1	269,59	240,35	258,65	240,11	239,60	253,70	220,67
S2	263,66	240,98	275,14	280,59	233,97	250,64	223,59
S3	278,55	264,43	273,18	252,71	266,67	260,63	230,11
MEDIA	270,60	248,59	268,99	257,80	246,75	254,99	224,79
DESVIO	7,49	13,73	9,01	20,71	17,48	5,12	4,83
Media general verde	202,36						
Desvio general verde	21,16						
C.V. verde (%)	10,46						
Amplitud	174,83						
Error relativo (%)	43,20						
Media general seco	253,21						
Desvio general seco	18,11						
C.V. seco (%)	7,15						
Amplitud	138,30						
Error relativo (%)	27,31						

Compresión perpendicular (kg/cm²)

ARBOL	1	2	3	4	5	6	7
PROBETA							
S1	49,21	43,44	42,78	41,29	36,76	41,71	41,51
S2	36,02	39,44	44,85	41,95	41,14	45,48	36,88
S3	41,64	31,11	41,84	47,53	35,98	36,55	37,21
ME DIA	42,29	38,00	43,16	43,59	37,96	41,25	38,54
DESVIO	6,62	6,29	1,54	3,43	2,78	4,48	2,58
Media general seco	40,08						
Desvio general seco	4,32						
C.V. seco	10,62						
Amplitud	22,24						
Error relativo (%)	27,33						

Cizallamiento (kg/cm²)

ARBOL	1	2	3	4	5	6	7
PROBETA							
V1	51,41	68,70	58,28	62,19	39,12	80,18	43,04
V2	58,98	72,34	63,12	62,60	66,02	64,50	50,10
V3	59,85	79,31	57,05	64,78	50,68	58,43	58,06
ME DIA	56,75	73,45	59,48	63,19	51,94	67,70	50,40
DESVIO	4,64	5,39	3,21	1,39	13,50	11,22	7,51
S1	90,15	84,37	93,50	98,70	104,94	79,44	83,25
S2	85,47	95,74	78,82	87,53	99,64	87,26	80,21
S3	81,77	86,64	74,55	76,93	81,47	109,12	67,41
ME DIA	85,80	88,92	82,29	87,72	95,35	95,28	70,28
DESVIO	4,20	6,01	9,94	10,89	12,31	14,94	8,84
Media general verde	60,42						
Desvio general verde	10,20						
C.V. verde (%)	16,99						
Amplitud	74,26						
Error relativo (%)	61,40						
Media general seco	86,52						
Desvio general seco	11,79						
C.V. seco (%)	13,62						
Amplitud	76,58						
Error relativo (%)	44,26						

Dureza tangencial (kg/cm²)

ARBOL	1	2	3	4	5	6	7
PROBETA							
V1	271,00	172,00	193,50	183,00	221,00	265,25	159,00
V2	221,00	191,00	190,00	171,00	186,00	227,25	134,50
V3	272,50	225,00	213,50	159,00	180,50	200,50	126,00
MEDIA	254,83	196,00	199,00	171,00	195,83	231,00	139,83
DESUDIO	29,31	26,85	12,68	12,00	21,97	32,54	17,13
S1	297,55	191,42	183,60	169,92	293,94	254,58	189,26
S2	212,07	181,24	208,12	218,46	206,00	228,48	179,51
S3	180,63	185,00	260,83	214,43	206,77	211,99	141,98
MEDIA	230,08	185,89	217,52	200,94	235,57	231,68	170,25
DESUDIO	60,50	5,15	39,47	26,94	50,55	21,47	24,96
Media general verde	198,21						
Desvio general verde	40,47						
C.V. verde (%)	20,42						
Amplitud	334,05						
Error relativo (%)	84,26						
Media general seco	210,28						
Desvio general seco	39,18						
C.V. seco (%)	18,63						
Amplitud	224,92						
Error relativo (%)	53,48						

Dureza radial (kg/cm²)

ARBOL	1	2	3	4	5	6	7
PROBETA							
V1	235,00	175,00	179,00	187,50	198,00	302,00	134,00
V2	247,00	143,00	166,50	173,50	186,50	227,00	152,50
V3	232,00	207,00	193,00	166,00	176,50	228,00	143,00
MEDIA	238,00	175,00	179,50	175,67	187,00	252,33	143,17
DESUDIO	7,94	32,00	13,26	10,91	10,76	43,02	9,25
S1	258,97	228,81	251,50	116,80	227,03	278,53	137,86
S2	186,03	153,17	176,03	203,55	192,14	252,24	148,88
S3	239,59	158,50	207,48	191,84	136,78	214,32	135,02
MEDIA	228,19	180,16	211,67	170,73	185,32	248,36	140,59
DESUDIO	37,78	42,22	37,91	47,07	45,51	32,28	7,32
Media general verde	192,95						
Desvio general verde	40,92						
C.V. verde (%)	21,20						
Amplitud	342,46						
Error relativo (%)	88,74						
Media general seco	195,00						
Desvio general seco	47,08						
C.V. seco (%)	24,14						
Amplitud	327,05						
Error relativo (%)	83,86						

Dureza axial (kg/cm²)

ARBOL	1	2	3	4	5	6	7
PROBETA							
V1	250,00	232,00	231,00	217,00	215,00	256,00	164,00
V2	270,00	247,50	207,50	217,00	253,50	268,50	197,50
V3	247,50	240,50	252,50	217,50	246,50	236,50	163,50
MEDIA	255,83	240,00	230,33	217,17	238,33	253,67	175,00
DESVIO	12,33	7,76	22,51	0,29	20,51	16,13	19,49
S1	312,04	344,12	279,72	186,94	288,45	294,14	272,91
S2	311,65	285,67	281,62	285,82	328,01	306,72	236,27
S3	249,89	276,50	336,53	339,29	277,94	280,53	263,97
MEDIA	291,19	302,10	299,29	270,68	298,13	293,80	257,72
DESVIO	35,77	36,68	32,26	77,29	26,40	13,10	19,10
Media general verde	230,05						
Desvio general verde	29,43						
C.V. verde (%)	12,79						
Amplitud	246,25						
Error relativo (%)	53,52						
Media general seco	287,56						
Desvio general seco	36,61						
C.V. seco (%)	12,73						
Amplitud	188,27						
Error relativo (%)	32,74						

Tracción perpendicular (kg/cm²)

ARBOL	1	2	3	4	5	6	7
PROBETA							
V1	17,51	16,31	18,13	21,37	15,01	18,62	19,20
V2	20,10	18,73	20,18	23,18	12,97	15,79	19,74
V3	20,60	17,90	18,28	20,34	15,53	17,76	16,47
MEDIA	19,40	17,65	18,86	21,63	14,50	17,39	18,47
DESVIO	1,66	1,23	1,14	1,44	1,35	1,45	1,75
S1	30,42	36,53	25,81	22,49	23,83	20,09	16,39
S2	31,78	29,82	24,68	19,85	17,71	19,38	19,53
S3	24,13	26,98	30,90	21,78	20,15	18,18	17,71
MEDIA	28,78	31,11	27,13	21,37	20,56	19,22	17,88
DESVIO	4,08	4,90	3,31	1,36	3,08	0,97	1,57
Media general verde	18,27						
Desvio general verde	2,39						
C.V. verde (%)	13,08						
Amplitud	19,35						
Error relativo (%)	52,94						
Media general seco	23,72						
Desvio general seco	5,56						
C.V. seco (%)	23,43						
Amplitud	46,23						
Error relativo (%)	97,45						

3. Detalle de los árboles escogidos

ARBOL 1

Ubicación

Departamento: Canelones
Localidad: Toledo
Ruta: Camino del Andaluz, Km 1,500

Datos del árbol

Hábito : fustal
Fecha de apeo: 30/5/96
Diam. tocón: 0,45
Dap con corteza: 0,33 m
Altura total (m): 21,0
Altura comercial ($\phi=15$ cm.): 18,4
Edad: 16 años
Origen de la planta: Toledo

ARBOL 2

Ubicación

Departamento: Paysandú
Localidad: Constanica
Ruta: 3, Km 391

Datos del árbol

Hábito : fustal
Fecha de apeo: 26/06/96
Diam. tocón: 0,87 m
Dap con corteza: 0,27 m
Altura total: 16,31 m
Altura comercial ($\phi=15$ cm.): 8,23 m
Edad: 8 años
Marco de plantacion: 4x4 m

ARBOL 3

Ubicación

Departamento: Paysandú
Localidad: Bacacúa
Ruta: 90 -Km 39,5

Datos del árbol

Hábito : fustal
Fecha de apeo: 27/06/96
Diam. tocón (cm): 0,41 m
Dap con corteza: 0,31 m

Altura total: 19,96 m
 Altura comercial ($\phi=15$ cm.) 12,1 m
 Edad: 16 años
 Marco de plantacion: 5,5x7 m

ARBOL 4

Ubicación

Departamento: Río Negro
 Localidad: Portón Haedo
 Ruta: 24 - Km 19,5

Datos del árbol

Hábito : fustal
 Fecha de apeo: 22/07/96
 Diam. tocón: 0,34 m
 Dap con corteza: 0,28 m
 Altura total: 21,0 m
 Altura comercial ($\phi=15$ cm.): 11,43 m
 Edad: 12 años
 Marco de plantacion: 6x3 m

ARBOL 5

Ubicación

Departamento: Cerro Largo
 Localidad: Bañado de Medina
 Ruta: 26 - Km 408

Datos del árbol

Hábito : fustal
 Fecha de apeo: 21/08/96
 Diam. tocón: 0,45 m
 Dap con corteza: 0,35 m
 Altura total: 26,22 m
 Altura comercial ($\phi=15$ cm.): 18,2 m
 Edad: 17 años
 Marco de plantacion: 3x3,5 m

ARBOL 6

Ubicación

Departamento: Cerro Largo
 Localidad: Posta del Chuy
 Ruta: 26 - Km 440

Datos del árbol

Hábito: fustal
 Fecha de apeo: 21/08/96
 Diam. tocón: 0,40 m
 Dap con corteza: 0,34 m
 Altura total: 20,3 m
 Altura comercial ($\phi=15$ cm.): 13,6 m
 Edad: 17 años
 Marco de plantacion: 5x4 m

ARBOL 7

Ubicación

Departamento: Rivera
 Localidad: Los abuelos
 Ruta: 5 - Km 470

Datos del árbol

Hábito: fustal
 Fecha de apeo: 8/10/96
 Diam. tocón: 0,40 m
 Dap con corteza: 0,29 m
 Altura total: 25,73 m
 Altura comercial ($\phi=15$ cm.): 15,6 m
 Edad: 20 años
 Marco de plantacion: 3x3 m

4. Datos climatológicos

Arbol N°	1	2	3	4	5	6	7
Variable							
T media anual (°C)	17	18	18	18	17.5	17	18.5
T media Julio (°C)	11	12	12	12	12	11.5	13
T media Enero (°C)	23	25	25	25	24	23.5	25
T min. media Julio (°C)	7	6	7	6	6	7	8
T max. media Enero (°C)	29	31	32	32	32	32	32
Lluvia media anual (mm)	1000	1100	1100	1000	1200	1100	1300
Humedad relativa (%)	73	70	70	70	70	75	70
Días con heladas	17	25	25	25	25	25	25
Fecha media primera helada	01-jul	10-jun	01-jun	20-jun	01-jun	01-jun	15-jun
Fecha media última helada	10-ago	20-ago	01-sep	20-ago	01-sep	20-ago	20-ago

5. Datos edafológicos

ARBOL 1

Unidad de suelos (1:1.000.000; D.S.F.)

Toledo

Tipo de suelo

Argisol Subéutrico Melánico (Ocrico) Abrúptico.

Descripción del perfil

Horizonte	Espesor (cm)	Color	Textura
A1	20	pardo grisáceo muy oscuro	FL
Bt	50	pardo oscuro	Ac
C	-	pardo	AcL

ARBOL 2

Unidad de suelos (1:1.000.000; D.S.F.)

Colonia Palma

Tipo de suelo

Brunosol Subéutrico Típico

Descripción del perfil

Horizonte	Espesor (cm)	Color	Textura
A	35	pardo oscuro	FAcAr
Bt	30	negro	FAc

ARBOL 3

Unidad de suelos (1:1.000.000; D.S.F.)

Bacacué

Tipo de suelo

Brunosol Subéutrico (Dístrico) Lúvico

Descripción del perfil

Horizonte	Espesor (cm)	Color	Textura
A	25	pardo muy oscuro	FAr
Bt	40	pardo grisáceo	AcAr
C	-	-	FAcAr

ARBOL 4

Unidad de suelos (1:1.000.000; D.S.F.)

Villa Soriano

Tipo de suelo

Gleysol Háptico Melánico

Descripción del perfil

Horizonte	Espesor (cm)	Color	Textura
A	40	gris oscuro	FL
B	80	gris oliva claro	FAcL
Cca	40+	gris claro	AcL

ARBOL 5

Unidad de suelos (1:1.000.000; D.S.F.)

Los Mimbres

Tipo de suelo

Vertisol Háptico

Descripción del perfil

Horizonte	Espesor (cm)	Color	Textura
A ₁₁	14	negro	AcL
A ₁₃	60	negro	AcL
Ac	20	gris muy oscuro	Ac
C	-	gris oscuro	-

ARBOL 6

Unidad de suelos (1:1.000.000; D.S.F.)

Lechiguana

Tipo de suelo

Brunosol Eutricto Típico / Lúvico

Descripción del perfil

Horizonte	Espesor (cm)	Color	Textura
A	20	pardo oscuro	FAcL
Bt	35	negro	Ac
C	-	pardo grisáceo	-

ARBOL 7

Unidad de suelos (1:1.000.000; D.S.F.)

Río Tacuarembó

Tipo de suelo

Gleysol Lúvico Melánico Típico

Descripción del perfil

Horizonte	Espesor (cm)	Color	Textura
A	30	pardo oscuro	F
Bg	50	gris muy oscuro	Ac
Cg	-	gris parduzco claro	FAc