

## "DENSIDAD INTRAINCREMENTAL DE *Pseudotsuga menziesii*" I: VARIACIONES EN UN ANALISIS FUSTAL

CDO.: (811.152 : 812.31)

Juan Eduardo Díaz - Vaz O.\* y Flavio Ojeda \*\*

### RESUMEN

Se describe y analiza la determinación de densidad intraincremental de madera, mediante radiación de las muestras con rayos "X", usando un procedimiento directo de la medición mediante un contador proporcional. El poder de resolución alcanzado resultó apropiado para conocer la variabilidad de la densidad intraincremental de la madera. Se discuten los resultados obtenidos del análisis fustal de un árbol y se incluyen relaciones preliminares entre la densidad de la madera y otras características tales como: edad cronológica, edad fisiológica, madera temprana, madera de transición y madera tardía.

### SUMMARY

Intraincremental wood density determination by means of X-ray radiation of samples, using a direct method of measurement with one proportional counter, is described and analyzed. The resolution power attained proved appropriate in determining intraincremental wood density variability. Results obtained from the stem analysis of one tree are discussed and some preliminary relationships between density and other characteristics such as chronological age, physiological age, early wood, transition wood, and late wood are included.

### 1) INTRODUCCION Y OBJETIVO

Las plantaciones forestales en Chile, se han realizado casi exclusivamente con *Pinus radiata*, sin embargo otras especies como es el caso de *Pseudotsuga menziesii* (Pino Oregón) han incrementado su participación en los últimos años. Es así como entre 1969 y 1977 esta especie alcanzó un segundo lugar, con una superficie de 5.449,3 há. equivalentes al 2,5% de los reforestados en convenios con la Corporación Nacional Forestal (CONAF, 1978).

La utilización del recurso existente y el incremento de las superficies reforestadas con

esta especie, están sin duda alguna directamente relacionadas con las características tecnológicas de la madera que se obtiene de ella en Chile. Es por esto de gran interés estudiar las propiedades y características de la madera de pino oregón creciendo en Chile, su variabilidad y sus relaciones con el crecimiento. Para ello se consideró que una de las características más importantes, es la densidad de la madera. Ella tiene una muy estrecha relación con todas las propiedades de este material y es por esto un excelente criterio de evaluación.

El conocimiento del efecto de factores exógenos del árbol sobre la variabilidad de la densidad de la madera, puede permitir un mejor apoyo a la toma de decisiones en el manejo del recurso que se crea y a la utilización del existente.

Para evaluar las causas que afectan los valores de densidad, se debe subrayar:

- 1.— Que la formación de la madera está influenciada por factores ambientales y genéticos. El efecto de los factores ambientales puede variar de año en año y de localidad en localidad, pudiendo originar diferencias más o menos notables de las características y propiedades del material leñoso entre períodos de crecimiento y
- 2.— Que la proporción de pared celular, y con esto la densidad de la madera, cambia drásticamente desde el inicio al término de cada período de crecimiento anual, como consecuencia de las variaciones de los factores ambientales durante el año calendario.

Las consideraciones anteriores, permiten inferir que la densidad en el incremento anual depende de la proporción de madera tardía, de transición y temprana y de las densidades que presenten cada una de ellas. Por tanto, para reconocer el efecto del ambiente en la calidad de la madera, es decir, en la densidad de la madera, deben evaluarse los efectos de los factores ambientales durante cada uno de los períodos de formación, es decir, sobre la madera tardía, de transición y temprana.

Para determinar la variabilidad y las tendencias de variaciones de la densidad de cada una

\* Dr. Ingeniero Forestal, Profesor Tecnología de la Madera. Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia - Chile.

\*\* Dr. en Física, Director del Instituto de Física. Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia - Chile.

de estas zonas de los anillos anuales, es necesario emplear un procedimiento que discrimine densidades de pequeñas zonas dentro del anillo. El método de rayos "X" (R-x) es apropiado para estos fines y ha sido usado por investigadores del campo forestal quienes han empleado tradicionalmente como detector, películas R-x (DIAZ-VAZ, KNIGGE, ECHOLS, 1975). Teniendo presente que el proceso de revelado de la película y su posterior densitometría es largo e introduce algunos factores de error, se decidió montar la técnica, tomando como detector, un contador proporcional que ofrece en teoría dos ventajas fundamentales en comparación con la película R-x:

- a) Permite discriminar la energía a usar y por lo tanto establece una mejor correlación entre la atenuación de los R-x y la densidad de la muestra y,
- b) Evita el proceso de revelado de la película y de la densitometría.

El presente trabajo corresponde a la etapa inicial del estudio, la que considera en esta oportunidad un solo individuo. Probándose la eficiencia de un equipo de R-x con contador proporcional y su poder de resolución, como así también, relaciones preliminares entre densidad de la madera, posición en el diámetro y altura del fuste y edad de formación. Una segunda etapa ya iniciada, abarca un total de 76 árboles de una parcela de prueba de 25 x 25 m en un sitio homogéneo. Con posterioridad se incluirán otros sitios y localidades con lo se completará el estudio. La etapa inicial que se describe, se ha concentrado en un árbol con la idea de facilitar la comprensión de las relaciones y tendencias entre algunas características, impidiendo de este modo, al menos en esta etapa, distorsiones que pudieran originarse por diferencias entre árboles, debidas a caracteres genéticos distintos. Las tendencias y relaciones son válidas aún cuando los valores promedio y sus desviaciones no sean representativas para la especie.

**2.—MONTAJE EXPERIMENTAL**

El trabajo se realizó con un aparato de R-x Phillips, generador 1010 y un tubo de ánodo Cu para cristalografía operado a 30 KV y a 6 mA. La Fig. 1 muestra un esquema del equipo usado en la experimentación.

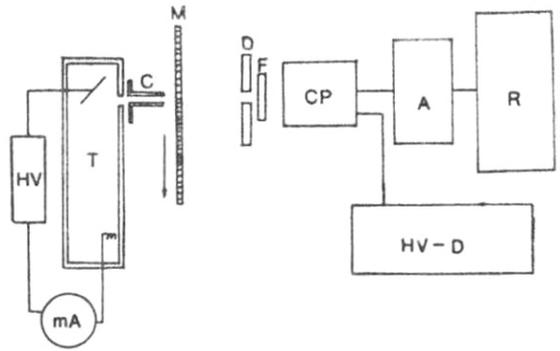


Fig. 1: Esquema de equipo de Rx.-

**Esquema experimental**

- T = tubo de Rayos X Phillips ánodo de Cu
- HV = fuente de alta tensión, operada a 30 KV
- mA = amperímetro, tubo operado a 6 mA
- C = colimador 5 cm de largo, ø=3 mm
- M = muestra de madera
- d = diafragma de Pb. ø=1 mm
- F = filtro de lucita espesor = 4,2 mm
- cP = tubo contador proporcional
- HVD = fuente de alto voltaje para contador
- A = amplificador
- R = registrador (cpm)

La relación teórica entre desidad y absorción de los R-x puede expresarse tomando la relación entre la intensidad del haz incidente y el transmitido como sigue:

$$I = I_0 e^{-upd}$$

en que:

- u = coeficiente de atenuación de masas
- p = densidad
- d = espesor de la muestra
- I = intensidad transmitida
- I<sub>0</sub> = intensidad incidente

Esta relación establece una linealidad entre

$$\ln \frac{I}{I_0} \text{ y } p.$$

En la Fig. 2 puede verse que para las condiciones experimentales de estudio y tomando como patrón probetas de madera de diversas densidades se obtiene una buena li-

$$\ln \frac{I}{I_0} \text{ y } p.$$

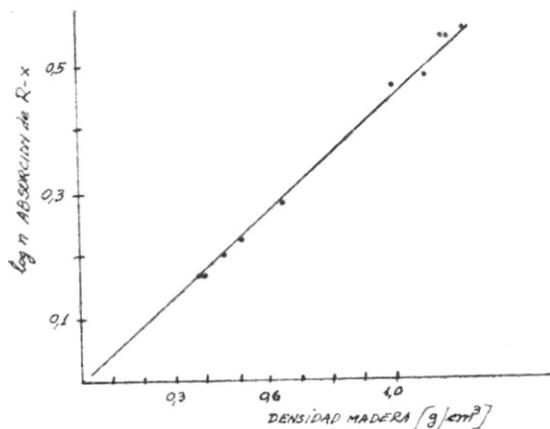


Fig. 2: Linealidad del equipo de R-x.

Esta curva de calibración permite calcular para una muestra desconocida, la densidad directamente en base a la relación de intensidades. Sin embargo, se ha estimado conveniente en el presente trabajo tomar las curvas de calibración directamente para leer las densidades de la muestra problema.

Las condiciones geométricas del montaje experimental permiten estimar el poder de resolución espacial del sistema.

El poder de resolución empleado, es de aproximadamente 0,3 mm, lo que en virtud de la variabilidad biológica es suficiente para la determinación de la densidad intraincremental de tarugos de madera.

### 3.— MUESTRAS DE MADERA Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las muestras de madera se obtuvieron de un árbol de la especie *Pseudotsuga menziesii* volteado en el fundo "Las Palmas" perteneciente a la UACH y distante 20 Km de la ciudad de Valdivia-Chile. Se extrajeron tarugos de incremento de 5 mm de cada 2,0 m de altura en dirección al ápice. Un tarugo al DAP y uno a 0.20 m de altura, fueron las excepciones de lo anterior.

Del árbol muestra, se obtuvieron catorce tarugos de incremento correspondientes a dife-

rentes alturas en el fuste, todos ellos tomados en dirección norte-sur.

Para homogenizar la muestra, los tarugos fueron almacenados durante 20 días en una cámara de clima a una temperatura de 21°C y 65% de humedad relativa del aire. Con esto se logró que las muestras alcanzaran una humedad de equilibrio cercana al 12%.

Los tarugos climatizados fueron radiados con el equipo de R-x, obteniéndose los valores de densidad intraincremental en forma de gráficos. De éstos se obtuvo la densidad y el ancho de cada uno de los anillos presentes en cada tarugo de la muestra.

En los anillos de crecimiento, se diferenció madera temprana, madera de transición y madera tardía y en cada una de estas zonas del incremento anual, se midió la densidad y el ancho respectivo.

Las variaciones de los valores de densidad a través del diámetro mostraron la existencia de tres épocas de crecimiento del árbol, denominadas: a) Madera Juvenil, b) Madera Intermedia y c) Madera Adulta. Ellas fueron analizadas separadamente, incluyéndose además un análisis de las tres en conjunto.

### 4.— RESULTADOS Y DISCUSION

En el cuadro 1 se resumen los resultados obtenidos en las determinaciones de densidad y ancho, tanto para los anillos completos como para cada una de las zonas diferenciadas dentro del incremento anual, es decir, madera temprana, madera de transición y madera tardía.

Los valores promedios, desviaciones estándares, máximos, mínimos y coeficientes de variación, se han calculado considerando primero el total de los anillos de crecimiento y luego en forma separada cada una de las tres épocas del crecimiento del árbol. Estas corresponden a: los primeros 5 anillos cercanos a la médula, **Madera Juvenil**; desde el 6° al 9° anillo de médula a corteza, **Madera Intermedia** y del 10 anillo hacia la corteza, **Madera Adulta**.

**CUADRO 1: Valores de densidad y ancho de: total de anillos, anillos de madera juvenil, anillos de madera intermedia y anillos de madera adulta.**

Item	Promedio	Desviac. estandar	Máximo	Mínimo	Coefficien. variación
<b>Densidad anillo completo:</b>					
— Total	0,5616	0,0656	0,7733	0,4278	11,6801
— M. Juvenil	0,5613	0,0482	0,6833	0,4724	8,5792
— M. Intermedia	0,5660	0,0531	0,6780	0,4278	10,0951
— M. Adulta	0,6184	0,0786	0,7733	0,4743	12,7013
<b>Densidad madera temprana:</b>					
— Total	0,3142	0,0732	0,5450	0,1900	23,2992
— M. Juvenil	0,3563	0,0851	0,5450	0,2333	23,8897
— M. Intermedia	0,2743	0,0281	0,3411	0,2300	10,2362
— M. Adulta	0,2827	0,3168	0,3350	0,1900	11,2060
<b>Densidad madera transición:</b>					
— Total	0,5253	0,0723	0,7150	0,3200	13,7712
— M. Juvenil	0,5411	0,0595	0,6800	0,4180	11,0037
— M. Intermedia	0,5016	0,0727	0,6300	0,3200	14,4957
— M. Adulta	0,5273	0,0893	0,7150	0,3800	16,9372
<b>Densidad madera tardía:</b>					
— Total	0,9001	0,0879	1,0950	0,6633	9,7635
— M. Juvenil	0,8520	0,0729	1,0066	0,6633	8,4974
— M. Intermedia	0,9206	0,0651	1,0030	0,7240	7,0749
— M. Adulta	0,9759	0,0871	1,0950	0,7250	8,9252
<b>Ancho anillo completo:</b>					
— Total	8,4351	2,8894	16,2530	2,7080	34,2543
— M. Juvenil	10,0313	2,6916	16,2530	4,0630	26,8324
— M. Intermedia	8,4649	1,4236	11,5130	6,0950	16,8178
— M. Adulta	4,7966	1,4109	8,1260	2,7080	29,4144
<b>Ancho madera temprana:</b>					
— Total	3,1170	1,4591	7,4490	0,6770	46,8092
— M. Juvenil	3,3604	1,4530	7,4490	1,3540	43,2377
— M. Intermedia	3,6886	1,1645	6,0950	2,0310	31,5712
— M. Adulta	1,6643	0,8466	0,0630	0,6770	50,8683
<b>Ancho madera transición:</b>					
— Total	2,9478	2,0273	10,8350	0,6770	68,7731
— M. Juvenil	4,1130	2,3417	10,8350	0,6770	56,9348
— M. Intermedia	2,3697	0,7833	4,0630	0,6770	33,0559
— M. Adulta	1,2412	0,3823	2,0310	0,6770	30,7996
<b>Ancho madera tardía:</b>					
— Total	2,3755	0,6593	4,0630	1,3540	27,7561
— M. Juvenil	2,5578	0,6535	4,0630	1,3540	25,5491
— M. Intermedia	2,4231	0,5371	3,3860	1,3540	22,1641
— M. Adulta	1,8900	0,6309	3,3860	1,3540	33,3778

Los primeros resultados obtenidos mostraron que los valores del tarugo de la base del fuste (0,2 m de altura) tenía tendencias diferentes a las que presentaban el resto de los tarugos. Normalmente la zona del tocón de los árboles es diferente en sus características al resto del árbol, por influencia de las raíces. En consideración a ésto, los datos del tarugo de la base no fueron contemplados en los análisis.

#### 4.1 Variación en el diámetro

En el análisis conjunto de los tarugos de incremento, se obtuvo para la **densidad de anillos completos**, un promedio general de  $0,562 \text{ g/cm}^3$  y un valor máximo de  $0,773 \text{ g/cm}^3$  y un valor mínimo de  $0,489 \text{ g/cm}^3$  (ver cuadro 1).

En distintas edades fisiológicas, la densidad de anillos completos presentó promedios de tendencia parabólica que disminuyen en los seis primeros años de edad de  $0,597 \text{ g/cm}^3$  a  $0,511 \text{ g/cm}^3$  (ver fig. 3). Las variaciones entre el 5° y 8° año, muestran una tendencia más o menos constante, variando entre  $0,52$  y  $0,54 \text{ g/cm}^3$ . A partir del 8° año de edad fisiológica, los valores de densidad aumentan considerablemente desde  $0,527$  a  $0,71 \text{ g/cm}^3$ .

La variación de los valores de densidad de cada una de las zonas que pueden diferenciarse dentro del incremento anual, se presentan también en la Fig. 3.

En la **madera temprana** el promedio general de densidad fue de  $0,314 \text{ g/cm}^3$ , el valor mínimo observado fue de  $0,190 \text{ g/cm}^3$  y el máximo a  $0,545 \text{ g/cm}^3$  (cuadro 1). Las variaciones de densidad de esta zona del incremento anual, semejan una función del tipo hiperbólico, con un decrecimiento fuerte en los primeros 5 anillos de  $0,501$  a  $0,286 \text{ g/cm}^3$ . Luego, se mantienen más o menos constantes desde el sexto hasta el 12° año de edad fisiológica. A partir de los 12 años, se presenta un ligero cambio, aumentando la densidad de  $0,299 \text{ g/cm}^3$  a  $0,330 \text{ g/cm}^3$ , (Fig. 3).

Para la **madera de transición** se obtuvo un promedio general de  $0,525 \text{ g/cm}^3$ , un valor máximo de densidad de  $0,715 \text{ g/cm}^3$  y un valor mínimo de  $0,320 \text{ g/cm}^3$  (ver cuadro 1). En diferentes edades fisiológicas esta zona mostró variaciones de densidad semejantes a las obtenidas para los anillos completos. En los primeros 5 años, la inclinación es descendente desde  $0,611 \text{ g/cm}^3$  a  $0,504 \text{ g/cm}^3$ . De los 5 a los 12 años de edad fisiológica, la variación fue irregular sin una tendencia bien definida.

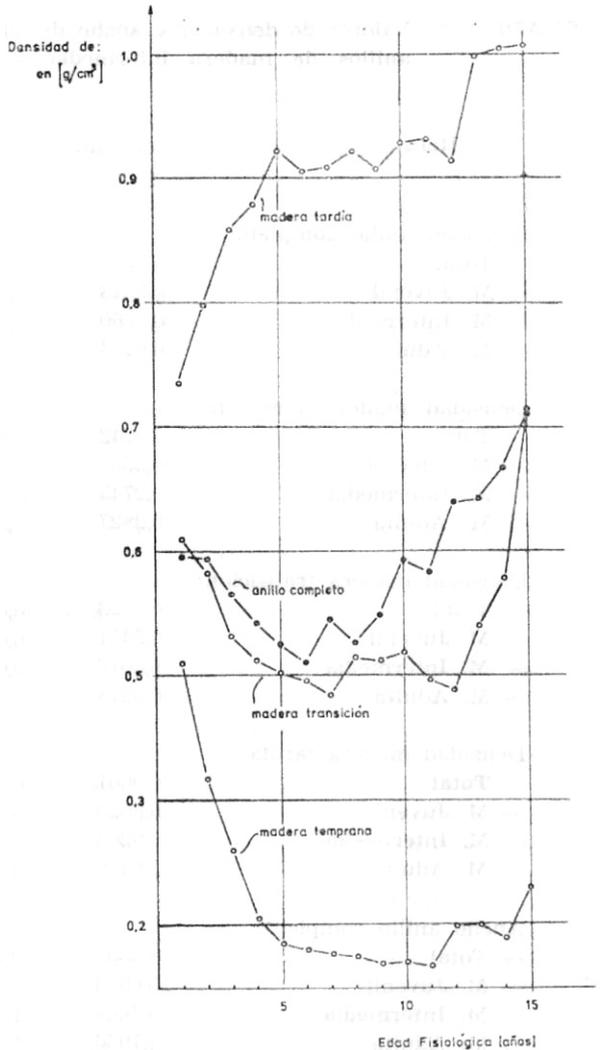


Fig. 3: Variación de la densidad de: anillos completos, madera temprana, madera de transición, y madera tardía, en diferentes edades fisiológicas.

A partir de los 12 años, hay un aumento considerable de los valores de densidad de  $0,489 \text{ g/cm}^3$  a  $0,715 \text{ g/cm}^3$ .

La **madera tardía** presentó un promedio general de densidad de  $0,900 \text{ g/cm}^3$  un valor máximo observado de  $1,095 \text{ g/cm}^3$  y un valor mínimo de  $0,663 \text{ g/cm}^3$  (ver cuadro 1). Las diferencias de densidad de la madera tardía en las distintas edades fisiológicas fueron de un incremento fuerte en los primeros 5 años, variando desde  $0,737 \text{ g/cm}^3$  a  $0,922 \text{ g/cm}^3$ . Entre los 6 y 11 años de edad fisiológica, las variaciones fueron poco definidas, manteniendo valores muy semejantes entre sí. Desde los 12

años en adelante, se determinaron los valores más altos de densidad (ver fig. 3).

Las variaciones de densidad de los anillos completos, de madera de transición, temprana y tardía (ver fig. 3), permiten diferenciar tres etapas en la formación de los incrementos anuales. La primera corresponde a los 5 primeros años más cercanos a la médula, que en relación prácticamente recta entre densidad y edad fisiológica, determina a la MADERA JUVENIL propiamente tal. Entre los 5 y 10 años, se identifica la MADERA INTERMEDIA, con variaciones de densidad menos definidas que en el primer caso. A partir de los 11 años de edad fisiológica, se tiene MADERA MADURA, o al menos la primera parte de este tipo de madera.

#### 4.2 Variaciones con la altura en el fuste

Al analizar las variaciones de la densidad con la altura en el fuste, es posible reconocer el "Efecto Copa", especialmente si se analiza las variaciones de la densidad de los anillos más cercanos a la corteza en diferentes alturas. Esto se muestra en la Fig. 4.

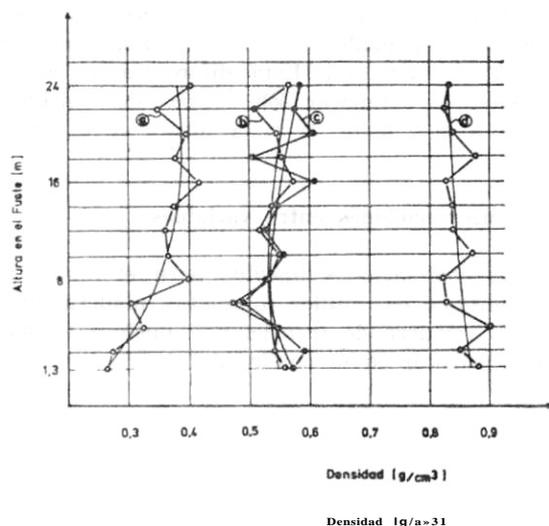


Fig. 4: Variación de la densidad de los 5 anillos más cercanos a la corteza, de: a) Madera temprana, b) Madera de transición, c) Anillos completos y d) Madera tardía.

La densidad de los 5 anillos más cercanos a la corteza tomados como un conjunto para cada una de las alturas del fuste, se analiza separadamente para el caso de anillos completos y para cada una de las zonas diferenciadas dentro del incremento anual.

La densidad de anillos completos desde la base hasta los 6 metros de altura, tiende a disminuir de  $0,68 \text{ g/cm}^3$  en la parte baja hasta  $0,51 \text{ g/cm}^3$ , a los 6 metros. Desde esta altura, la densidad aumenta, alcanzando en la parte superior no más de  $0,58 \text{ g/cm}^3$ .

La densidad de la madera temprana por su parte, tiene una disminución desde  $0,30 \text{ g/cm}^3$  en la parte baja del fuste, hasta  $0,24 \text{ g/cm}^3$  a los 8 metros de altura. En la parte superior el aumento de densidad de la madera temprana es considerable, alcanzando valores de  $0,40 \text{ g/cm}^3$ .

La densidad de la madera de transición presenta valores de tendencias semejantes a los de los anillos completos.

La densidad de la madera tardía entre los 1,3 y 4 metros de altura, tiene valores casi constantes de aproximadamente  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , pero en general, presenta una cierta disminución con la altura en el fuste. En la parte superior, los valores disminuyen hasta  $0,87 \text{ g/cm}^3$ .

Las variaciones experimentadas por la densidad de los 5 anillos más cercanos a la corteza, con la altura en el fuste, permite apreciar la influencia de la copa en la densidad de la madera. A través de estas diferencias se puede identificar las tres etapas del crecimiento, a decir: la madera adulta, la madera intermedia y la madera juvenil.

En la parte baja y hasta los 6 m de altura los valores de densidad disminuyen, circunscribiéndose a esta parte, la madera adulta. Desde los 6 m a los 14 m en el fuste, la densidad es poco variable correspondiendo esta parte a la madera intermedia. Desde los 14 m hacia el ápice, existe un aumento de la densidad, no en el caso de la madera tardía, que indica la etapa de madera juvenil.

En los árboles adultos, la madera juvenil presenta valores de densidad mayores en la parte alta del fuste. A esta zona de mayor densidad se le ha denominado TOP WOOD (ZOBEL et al, 1972). Por los resultados obtenidos, la especie *Pseudotsuga menziesii* pareciera presentar este tipo de madera de mayor densidad en la parte alta. Un análisis más completo de las variaciones de densidad de madera juvenil con la altura en el árbol se discuten a continuación.

La variación de los valores de densidad de la madera juvenil con la altura en el fuste se grafican en la Fig. 5.

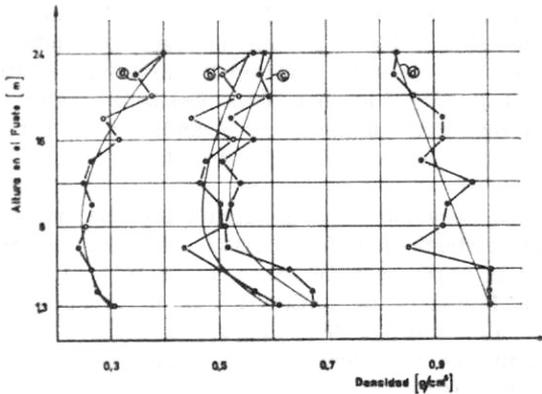


Fig. 5: Variación de la densidad de madera con la altura en el fuste de los 5 primeros anillos más cercanos a la médula: a) Madera temprana, b) Madera de transición, c) Anillo completo y d) Madera tardía.

Los valores de densidad de la Fig. 5 corresponden al valor promedio de los 5 primeros anillos más cercanos a la médula en cada una de las alturas consideradas.

La variación de la densidad de los anillos completos (Fig. 5 C) es muy leve, disminuyendo desde 1,3 hasta 8 m para luego aumentar hacia el ápice.

La **madera temprana** que es normalmente la zona menos variable en cuanto a densidad, presentó una variación inesperada aumentando considerablemente su densidad de 0,25 g/cm<sup>3</sup> en la parte baja del fuste, hasta 0,40 g/cm<sup>3</sup> en la parte superior (Fig. 5 A).

La densidad de la **madera de transición** varió con la altura de manera muy semejante a la de los anillos completos (Fig. 5 B).

La densidad de la **madera tardía**, presentó una leve tendencia a disminuir (Fig. 5 D), de 0,87 g/cm<sup>3</sup> a 0,83 g/cm<sup>3</sup>.

Las variaciones de densidad de la madera juvenil, se mostraron en general poco significativas. Las diferencias de densidad de la madera temprana parecen indicar que es ésta la única zona del incremento anual que se ve afectada por la altura en el fuste. Pudiera pensarse, que las necesidades de transporte del árbol son distintas a diferentes edades. En los primeros años de vida del árbol (parte baja de la madera juvenil), durante el inicio de cada incremento anual, se requiere transportar mayores volúmenes de savia que en el caso de edades mayores del árbol (parte alta de la madera juvenil). Esto afectaría el diámetro de los lúmenes de las traqueidas y por ende la densidad de la madera temprana.

Las diferencias de densidad de la madera juvenil con la altura en el fuste son pequeñas. En este caso, la parte más alta del fuste considerada como Top Wood, no sobrepasaría el resto de la madera juvenil en más de 0.05 g/cm<sup>3</sup> de densidad. Esta diferencia se logra obtener al comparar los valores de densidad a los 8 m y a los 24 m de altura en el fuste (Fig. 5).

#### 4.3 Interrelaciones entre variables

Las correlaciones lineales para el ancho y la densidad de: anillos completos, madera temprana, madera de transición y madera tardía, se presentan en el cuadro 2.

**CUADRO 2: Relaciones de densidad y ancho de: total de anillos, anillos de madera juvenil, anillos de madera intermedia y anillos de madera adulta.**

Variables	Coeficiente de Variación			
	Total de anillos	Madera juvenil	Madera intermedia	Madera adulta
N° Observaciones	116	54	38	24
densidad anillo completo/ ancho anillo completo	— 0,384	— 0,318	— 0,079	— 0,364
densidad anillo completo/ ancho madera temprana	— 0,545	— 0,507	0,244	— 0,523
densidad anillo completo/ ancho madera transición	— 0,158	— 0,113	0,112	— 0,025
densidad anillo completo/ ancho madera tardía	0,013	0,235	0,484	— 0,094
densidad madera temprana/ ancho madera temprana	0,086	— 0,027	— 0,474	— 0,199
densidad madera transición/ ancho madera transición	0,069	0,067	— 0,024	0,347
densidad madera tardía/ ancho madera tardía	—0,168	0,204	0,092	— 0,339
ancho anillo completo/ ancho madera temprana	0,629	0,385	0,856	0,886
ancho anillo completo/ ancho madera transición	0,796	0,821	0,206	0,382
ancho anillo completo/ ancho madera tardía	0,532	0,304	0,472	0,816

Las relaciones se realizaron por separado para cada una de las épocas de crecimiento establecidas anteriormente y un análisis del conjunto, es decir: 1) el total de anillos, 2) los de madera juvenil, 3) los de madera intermedia y 4) los de madera adulta.

De las regresiones lineales se pudo constatar que la gran mayoría de las interrelaciones, presentaron coeficientes de correlación menores a 0,7. Únicamente las relaciones entre el ancho total del anillo y los anchos de la madera temprana, de transición y tardía tuvieron coeficientes mayores a 0,79.

Algunas diferencias se pueden reconocer entre las relaciones dependiendo de la época de crecimiento considerada, las que se discuten brevemente.

Considerando todos los anillos en conjunto, es decir, el **total de anillos**, los coeficientes de correlación entre ancho total y los anchos de las maderas: temprana, de transición y tardía, fueron muy semejantes.

El valor más alto de coeficiente de correlación se presentó entre el ancho total y el ancho de la madera de transición ( $r = 0,796$ ).

Las tres épocas del crecimiento (Juvenil, Intermedia y Madura), muestran diferencias en cuanto a la relación entre el ancho total del anillo con las zonas discriminadas dentro del incremento anual (Temprana, Transición y Tardía).

En el caso de la **madera juvenil** (1° a 5° anillo desde la médula) el ancho total del anillo, está más correlacionado con el ancho de la madera de transición, con un  $r = 0,821$ . El ancho de la madera temprana y madera tardía muestran coeficientes menores con,  $r = 0,385$  y  $r = 0,304$  respectivamente.

En el análisis de la **madera intermedia** (6° a 10° anillo desde la médula), el ancho total se muestra más correlacionado con el ancho de la madera temprana ( $r = 0,856$ ) que con el ancho de la madera de transición ( $r = 0,206$ ), o que con el de la muestra tardía ( $r = 0,470$ ).

En la **madera adulta** (desde el 11° anillo hacia la corteza), el ancho total del anillo, está correlacionado tanto con el ancho de la madera tardía ( $r = 0,816$ ) como con el ancho de la madera temprana ( $r = 0,888$ ).

Al incrementarse la edad fisiológica, disminuiría el efecto del ancho de la madera de transición en las variaciones del ancho total del anillo y se aumentaría el efecto del ancho de la madera temprana y tardía. Esto parece congruente con las variaciones que presenta

la formación de los anillos de incremento, por el Efecto Copa.

Las relaciones entre densidad de la madera y ancho de los anillos, para todas las etapas del crecimiento que se calcularon, resultaron no significativas en el modelo lineal. El coeficiente de correlación más bajo se determinó para la relación densidad de la madera y ancho de los anillos en madera intermedia ( $r = 0,079$ ) y el mayor para el caso de madera adulta ( $r = 0,363$ ).

Las relaciones entre la densidad total del anillo y los anchos de madera temprana, madera de transición y madera tardía, resultaron igualmente bajos entre  $r = 0,013$  y  $r = 0,484$ . Se encontró un valor algo mayor solo para la madera temprana con un  $r = 0,545$ .

Las relaciones particulares de cada una de las zonas dentro del incremento anual, entre densidad y ancho, no indicaron tampoco tendencias definidas o relaciones significativas.

## 5.— CONCLUSIONES

- 1.— El poder de resolución del equipo empleado, resultó adecuado para las determinaciones de densidad intraincremental, al usar como detector un contador proporcional.
- 2.— La linealidad del sistema, operado a 30 kv y 6 mA, permitieron determinar densidades reales en tarugos de 5 mm. de diámetro.
- 3.— Considerando las variaciones de densidad en el diámetro, se determinó el límite de la madera juvenil, la que abarca para la especie los 5 primeros anillos más cercanos a la médula. Entre los 6 y 10 años de edad fisiológica se determinó el área de madera intermedia y a partir de los 11 años de edad fisiológica se presenta madera adulta.
- 4.— La densidad en relación con la altura en el fuste, disminuye desde la base hasta los 6 m de altura y desde allí al ápice aumenta. Esta tendencia se presenta tanto para la densidad de anillos completos como para la densidad de madera temprana y madera de transición. La madera tardía por su parte, disminuye sus valores de densidad a partir de los 4 m de altura en el fuste.
- 5.— En la etapa de madera juvenil, la madera temprana presentó un aumento inesperado de su densidad con la altura en el fuste,

de 0,26 g/cm<sup>3</sup> en la parte baja a 0,40 g/cm<sup>3</sup> en la parte superior del árbol.

6.—No se encontró relación significativa entre la densidad de la madera y el ancho de los anillos de crecimiento. Tampoco se presentó relación significativa, analizando por separado cada una de las épocas de crecimiento (madera juvenil, madera in-

termedia, madera adulta) ni separando cada una de las zonas del incremento anual (madera temprana, madera de transición, madera tardía).

7.—De las relaciones analizadas se presentaron correlaciones significativas solo entre el ancho total del anillo y los anchos de: madera temprana, madera de transición y madera tardía.

#### REFERENCIAS

- CORPORACION NACIONAL FORESTAL (CONAF), 1978: Plantaciones Forestales Efectuadas por la Corporación Nacional Forestal, Depto. Silvicultura, Santiago, Chile, 106 pp.
- DIAZ-VAZ, J., KNIGGE, W., ECHOLS, R., 1975: Comparación de Variaciones de Densidad de Madera medida radiográficamente y fluctuaciones de la estructura Anatómica Dentro del Incremento anual, Bosque 1 (1), 1975: 33-42.
- ZOBEL, B., KELLISON, R., MATTHIAS, M., HARCHER, A., 1972: Wood Density of the Southern Pines. North Carolina Agr. Exp. Sta., Tech. Bull. 208, 56 pp.