

COMPARACIONES DE VARIACIONES DE DENSIDAD DE MADERA MEDIDA RADIOGRAFICAMENTE
Y FLUCTUACIONES DE LA ESTRUCTURA ANATOMICA DENTRO DEL INCREMENTO ANUAL

JUAN EDUARDO DIAZ-VAZ OLMEDO (*)

WOLFGANG KNIGGE (**)

ROBERT ECHOLS (***)

C. D. Oxf: (811.152 : 812.31 — 0.15 — 0.16)

INDICE DE MATERIAS

Resumen

Zusammenfassung

Summary

Introducción

Técnicas para las determinaciones

intra-incrementales

Equipo de Rayos X según Echols

Micrómetro-lineal

Técnica de medición microscópica

Resultados y discusión

Proporción de pared celular y densidad radiográfica

Densidad de la pared celular con un 12%

de contenido de humedad

Variaciones de las dimensiones celulares

en el incremento anual

Influencia del diámetro y de la cantidad de pared

celular en la formación de madera tardía

Conclusiones

Referencias.

RESUMEN

Se comparan valores de densidad intra-incremental con las variaciones dimensionales de las células en pino oregón y pino contorta.

Los resultados indican una gran similitud entre ambas mediciones, comparadas en secciones promedios cada 0,24 mm en la dirección radial. Algunas pequeñas diferencias son comentadas y explicadas como inexactitudes del método de rayos X.

Se agregan los resultados obtenidos en cuanto a fluctuaciones de las dimensiones celulares dentro del anillo anual y determinaciones de "Packing-density". Además se analiza y discute la influencia del ancho de pared y diámetro celular (Thickening y Flattening Effect) en los cambios desde madera temprana a madera tardía.

ZUSAMMENFASSUNG

An zwei Holzarten, Douglasie und Lodgepole-Kiefer wurden Röntgenstrahlen - Densitometrie und Zellwandanteil Messungen gegenübergestellt.

Die vergleichbaren Ergebnisse in Messabschnitten von 0,24 mm Gesamtradiallänge zeigten, dass die radiographische Dichtebestimmung die tatsächlichen Veränderungen der Rohdichte des Holzes innerhalb von Bohrspänen mit befriedigender Genauigkeit

ausweist. Geringfügige Unterschiede wurden als Ungenauigkeit der radiographischen Messungen erklärt.

Veränderungen der Tracheidimensionen innerhalb der Jahrringe, die tatsächliche Dichte der Zellwand bei $u = 12\%$ mit Berücksichtigung der Packungsdichte, und Einflüsse des Zelldurchmessers und der Zellwenddicke (Flattening- und Thickening Effect) in der Veränderung des Zellwandanteils, wurden gezeigt.

SUMMARY

Values of intra-incremental density and the dimensional variation of celles in Douglas Fir and Lodgepole pine are compared.

The results show a great similarity between the two measurement compared in averaged sections every 0,24 mm on the radial direction. Small differences are noted and accounted for due to the accuracy that can be obtained by the X-ray method. Results obtained of the cellular dimentionions in the annual ring and determinations of packing-density are compiled.

In addition the influence of cell wall thicknen and cell diameter (Thickening and Flattening Effect) in the change of spring wood to summer wood is analized and discussed.

INTRODUCCION

Los métodos radiográficos empleados en la determinación intra-incremental de densidad de madera, han tenido un gran desarrollo en los últimos años. Estos procedimientos no destructivos iniciaron sus primeros pasos —dentro del campo forestal— empleando radiaciones Gamma, Beta y X. Ellos se basan en que, la mayor o menor cantidad de radiación absorbida por la madera, depende de la densidad de la probeta ensayada, la que a su vez corresponde en gran parte a la proporción de pared celular presente.

Los rayos X se han usado intensivamente en los últimos años, pues con ellos se pueden obtener radiografías con alto poder de resolución. Estos procedimientos permiten realizar mediciones sobre tarugos incrementales que sólo necesitan tener una humedad constante (el presente trabajo emplea una humedad de la madera $u = 12\%$).

La técnica radiográfica de rayos X usada en la determinación intra-incremental de densidad, permite obtener una información amplia y rápida de la estructura y propiedades de la madera, especialmente en el caso de acoplar estos equipos a sistemas de computación. Sin embargo, a pesar del desarrollo alcanzado en los últimos tiempos, los diferentes métodos recomendados aún muestran algunos problemas que no han sido totalmente solucionados.

(*) Doctor Ingeniero Forestal, Director del Instituto de Tecnología e Industrias de la Madera, Casilla 567, Universidad Austral de Chile, Valdivia.

(**) Prof. Dr. Director del Instituto de Utilización de Bosques, Universidad de Göttingen Busgenweg 4 Alemania Federal.

(***) Dr. Ingeniero Forestal del Servicio Forestal, Departamento de Agricultura US. Berkeley CAL. 94701.

Ellos se refieren en parte a: 1. Las características de la radiación, 2. Las fluctuaciones de la absorción y preparación de las radiografías, 3. La calibración del instrumental —para obtener valores reales de densidad a partir de los valores radio-ópticos— y, 4. La estructura heterogénea tan conocida del material investigado, esto es, la estructura macro y microscópica de la madera.

En base a lo anteriormente expuesto, se consideró necesario comparar los resultados de las mediciones densitométricas con rayos X, con las variaciones dimensionales de las células en un mismo material de ensayo.

TECNICAS PARA LAS DETERMINACIONES INTRA-INCREMENTALES

PARRISH y colaboradores describieron por primera vez en el año 1957 el empleo de rayos Gamma. Más tarde emplearon estas mismas radiaciones, entre otros, LOOS (1961) y JURACEK y JOKEL (1962). En el año 1959, CAMERON, BERRY y PHILLIPS, entregaron resultados de algunas características de la madera, obtenidas mediante radiaciones Beta, provenientes de una fuente de Stroncio 90. Casi en forma simultánea a los trabajos que emplearon rayos Gamma y Beta, LENTZ introdujo en 1957 el uso de rayos X en las determinaciones intra-incrementales de densidad de madera.

Las fluctuaciones de densidad, especialmente los máximos en madera tardía, se relacionan fuertemente con factores ambientales tales como climatológicos, hidrológicos, ecológicos, etc. De allí que los valores intra-incrementales de densidad obtenidos con rayos X, permiten una buena resolución en los estudios dendrocronológicos. (POLGE, 1965, 1967; POLGE y KELLER, 1969; KELLER y MILLIER, 1970).

Diversos autores han investigado la estructura y propiedades de la madera y algunos derivados de ella, y también efectos de tratamientos silvícolas sobre la estructura, etc. (PHILLIPS, 1960; SANDER-MANN, SCHWEERS y GAUDERT, 1960; RUCK y RUCK, 1961; POLGE y KELLER, 1968; HARRIS, 1969; POLGE y LUTZ, 1969; ECHOLS, 1968, 1971; KELLER, 1971; POLGE y NICHOLS, 1972).

Comparaciones entre los procedimientos que emplean radiaciones Beta y X, han sido discutidas por HARRIS y POLGE (1967), PHILLIPS (1968), POLGE (1969), mostrándose con esto que los rayos X tienen un uso más amplio que el permitido por los rayos Beta.

Junto a los procedimientos que emplean radioisótopos, encontramos también algunas técnicas que se han basado en las investigaciones realizadas en el año 1904-1906 por BÜSGEN, en determinaciones de dureza de la madera por el método de la aguja. De ellas se desarrollaron nuevas técnicas para lograr determinaciones más afinadas a niveles intra-incrementales (MAYER-WEGELIN, 1950; SACHSSE, 1960; MARIAN y STUMBO, 1960).

Procedimientos microfotométricos se han empleado en diversas investigaciones de algunas características de la madera a nivel intra-incremental. Estos métodos usan preparaciones microtómicas en las que se ha mejorado el contraste entre lumen y pared celular con alguna tinción, como por ejemplo, Clorazol negro E. Con ellos se determina la transparencia u opacidad de la preparación, la que está estrechamente correlacionada con la densidad de la madera. Estos equipos están en algunos casos acoplados a aparatos automáticos de medición y registro de las observaciones. (MÜLLER-STOLL, 1947, 1949; GREEN y WORRALL, 1964).

Ultimamente se han desarrollado instrumentos acoplados a circuitos cerrados de televisión, con los cuales se pueden realizar mediciones microscópicas de bastante precisión. Con ellos es posible determinar número, forma, diámetros, superficies, densidad y además hacer discriminaciones de diferentes elementos que concurren en la preparación, diferenciándose por tamaños, densidad, etc. Entre ellos se puede nombrar al Quantimet de la firma Imanco y al Micro-Videomat de la firma Zeiss.

Junto a las diferentes técnicas anteriormente nombradas existen algunas que emplean sistemas ópticos simples, acoplados a equipos automáticos de registro.

Las mediciones se obtienen en estos casos, cuantificando el desplazamiento entre los límites del elemento en cuestión y un punto de referencia, el que se encuentra en el sistema óptico de observación. El movimiento es medido y registrado automáticamente, obteniendo ancho de anillos, diámetros celulares, ancho de pared celular, diámetros de lúmenes celulares, etc. Algunos de ellos cuentan con dos movimientos de medición; uno de la probeta en relación al sistema óptico de referencia y el otro del sistema óptico en relación a la probeta. De especial interés es el Micrómetro-Lineal desarrollado por SMITH en 1965. Este, a pesar de sus muchas ventajas y gran precisión se mostró en su empleo práctico poco adecuado, especialmente por problemas provenientes de su electrónica, al tipo de mediciones requeridas por el presente trabajo (KNIGGE, 1971).

EQUIPO DE RAYOS X SEGUN ECHOLS

Las determinaciones radiográficas fueron realizadas por ECHOLS, quien puso a disposición del presente estudio, las radiografías, los perfiles de densidad y las respectivas muestras de madera. El equipo usado, denominado "Moving-Slit Radiography", fue desarrollado con anterioridad por el mencionado investigador (ver ECHOLS, 1973).

Este instrumental se compone de dos secciones, una en donde se radian las muestras y películas vírgenes y una segunda en donde se interpretan las radiografías obtenidas en la primera sección. Las probetas, tarugos incrementales de 12 mm de diámetro, son homogeneizadas a una humedad constante de 12% y luego son expuestas a la radiación de rayos X.

En la figura N° 1 se puede apreciar un esquema del aparato de radiación. Bajo la probeta, se encuentra la película fotográfica encerrada en una caja de aluminio. La probeta y el negativo son desplazados a una velocidad constante bajo una plancha de plomo, la que cuenta con una ranura de 2,4 mm de ancho y que es la única zona por donde pasa radiación hacia la probeta. Esta radiación controlada y constante, traspasa la probeta e impresiona la película. Cuando se mantienen constante: a) la distancia entre la fuente de radiación y la película, b) la cantidad de radiación que llega a la probeta, y c) la humedad de la muestra, las variaciones de opacidad que presente la película de rayos X, dependerá casi exclusivamente de la densidad de la madera.

La radiografía desarrollada es interpretada por un densitómetro que constituye la segunda parte del equipo (ver Fig. 1 B).

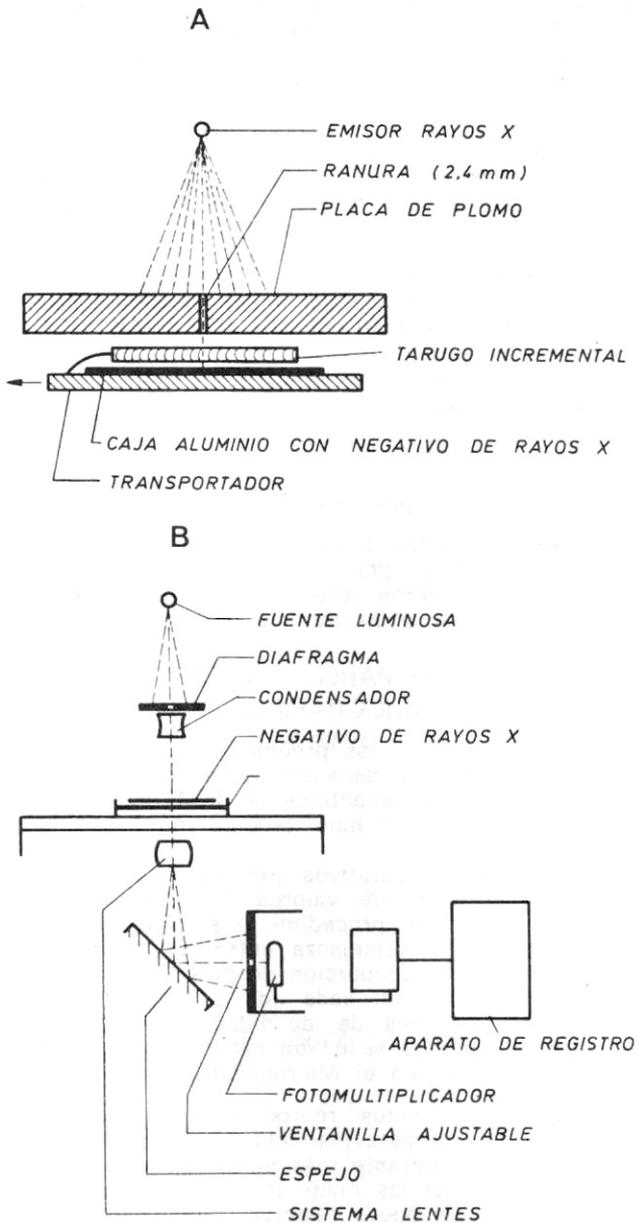


Fig. 1.—Esquema de Sistema de Rayos X según Echols.

A: Equipo de Radiación
B: Densitómetro.

En él encontramos una luz proveniente de una fuente de bajo voltaje, la que es conducida por un sistema óptico hasta el negativo radiográfico. La imagen de la radiografía proyectada por esta luz, pasa por una ranura, un sistema de lentes, y es reflejada finalmente por un espejo, hacia un fotomultiplicador que se encuentra tras una ventanilla de sección regulable.

La opacidad de la imagen que deja pasar la ventanilla al fotomultiplicador, es interpretada y luego convertida en valores de densidad de madera, según una calibración previa. Los datos son entregados por el aparato de registro, en forma de gráficos continuos que constituyen los denominados perfiles de densidad.

MICROMETRO-LINEAL

Para realizar las mediciones en los tarugos de prueba, y por no poder contar con algún equipo ya exis-

tente que permitiera hacer las determinaciones, se tuvo como primer objetivo, desarrollar un Micrómetro-Lineal que cumpliera con las condiciones requeridas (DIAZ-VAZ, 1974).

La Fig. 2 muestra el instrumento, con el cual luego de muchas pruebas y cambios, se logró obtener dimensiones celulares con un error máximo de $\pm 0,25 \mu\text{m}$.

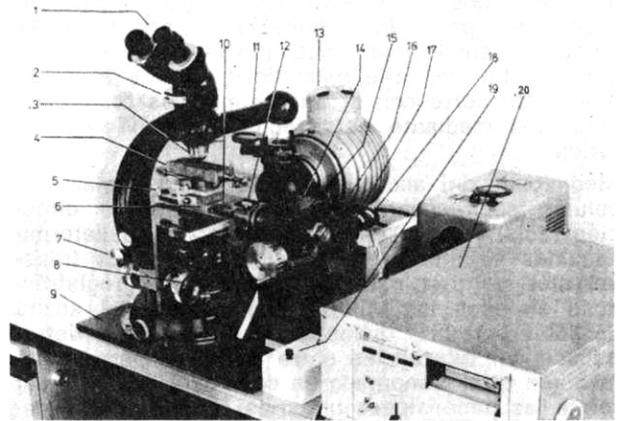


Fig. 2—Micrómetro-Lineal, según DIAZ-VAZ (1974)

1) Ocular con cruz de referencia, 2) filtro, 3) objetivo para luz reflejada, 4) baño de aceite de inmersión, 5) tornillo de ajuste, 6) plato con cremallera, 7) tornillo micrométrico de enfoque, 8) tornillo macrométrico de enfoque, 9) pie del micrómetro, 10) tornillo de medición, 11) espejos de iluminación, 12) tornillo de fijación, 13) lámpara de luz de mercurio, 14) sistema mecánico, 15) manivela de desplazamientos, 16) separador de áreas, 17) embrague de discriminación, 18) codificador de ángulos, 19) botón de cero y 20) aparato de registro.

El Micrómetro-Lineal consta de 3 partes: un microscopio normal, una sección mecánica de medición y una sección electrónica de determinación y registro de las observaciones.

Los desplazamientos del elemento que se mide respecto a una marca fija en el ocular, son cuantificados por un codificador de ángulos y enviados a la sección electrónica, en donde se registran los valores en una cinta de papel.

Discriminaciones entre pared y lumen celular se efectúan por medio de un embrague del tipo cónico.

Las determinaciones densitométricas efectuadas por ECHOLS, corresponden a valores de densidad para maderas con un contenido de humedad $u = 12\%$. Por esta razón, las determinaciones micrométricas tuvieron que efectuarse en las mismas condiciones de humedad a fin de hacer ambas observaciones comparables.

Una posible influencia de este médium en las dimensiones de la madera, se midió con un ensayo previo, el cual indicó que no hay variaciones dimensionales, es decir, hinchamiento causado por el aceite de inmersión. Esta técnica dio buen resultado en la conservación del contenido de humedad. (DIAZ-VAZ, 1974).

TECNICA DE MEDICION MICROSCOPICA

El material empleado consistió de tarugos incrementales de 12 mm de diámetro de pino oregón y pino contorta.

El material de prueba se preparó primeramente con el micrótopo de manera que los elementos celulares no presentaran en el plano transversal, dificultades para discriminar entre pared y lumen celular. La exactitud de las mediciones no sólo depende, en este caso, de la precisión del instrumental, sino que también de la calidad de la superficie en donde se realizan las mediciones. Esta debe presentar los límites entre pared y lumen celular, claros y bien definidos. Para este efecto el material de prueba fue preparado embebiéndolo primeramente en polietilenglicol de alto peso molecular (PEG 4.000) a fin de darle estabilidad durante el tratamiento de corte con el micrótopo. Los resultados obtenidos mediante esta técnica fueron satisfactorios.

Mediciones del ancho de doble pared y diámetro celular, se realizaron primeramente en la dirección radial y luego en la tangencial. Estas determinaciones se efectuaron considerando áreas transversales de 0,24 mm* de ancho radial, registrándose en ellas los valores acumulados del ancho de doble pared. El diámetro de lúmenes era determinado por diferencias entre ancho de pared y dimensión total computada en cada sección. De igual forma las dimensiones unitarias por células se determinaron como promedio de número de células contadas dentro de la respectiva área de 0,24 mm de ancho radial. Este procedimiento de promedio de secciones presenta como ventaja disminuir el gran número de mediciones, disminuir o eliminar células anómalas y finalmente comparar fácilmente las mediciones de estructura anatómica con las determinaciones radiográficas. En total se consideraron en la dirección radial 4 líneas de observación, de las cuales se midieron todas las células. En la dirección tangencial se midieron 30 células por sección, de las cuales se obtuvieron los valores de doble pared y lumen celular correspondiente a esa dirección.

En las determinaciones de áreas y volúmenes, las secciones transversales de las células fueron consideradas como rectángulos. Las esquinas de ellas —en el plano transversal— son redondeadas y no en ángulo recto, como las define el modelo rectangular. Estas áreas de pared tomadas como lumen, son compensadas al considerarse los espacios intercelulares como pared celular (SMITH, 1965).

La conveniencia de emplear un modelo rectangular en la determinación de áreas de elementos celulares, ha sido demostrada por SMITH, quien en 1965 comparó mediciones anatómicas en madera de pino oregón, probando la validez de varias formas geométricas, desde la elíptica a la de un rectángulo, concluyendo que el modelo que más se ajustaba a tales mediciones era el rectangular. Con las dimensiones de diámetros de lúmenes y doble ancho de la pared celular, tanto en la dirección radial como en la tangencial, se calculó el porcentaje de pared celular (A) según la expresión:

$$A (\%) = \frac{(L + P) (L + P) - L \cdot L}{(L + P) (L + P)} \cdot 100$$

en donde:

L = diámetro del lumen, P = ancho de la doble pared, ra = medido en la dirección radial y tg = medido en la dirección tangencial.

Para comparar las dos metodologías en términos de valores de densidad, fue necesario calcular la densidad de la madera a partir de las dimensiones celulares. Para esto se necesitó conocer la densidad de la pared celular.

La pared celular se hincha por efecto de la humedad. Este hinchamiento implica que, el valor de densidad de la pared celular en estas condiciones sea menor que el valor al estado anhidro, es decir, 1,43 g/cm³ (STAMM, 1964). El valor de densidad de la pared celular (Dpc), para un contenido de humedad u = 12%, se calculó como la relación entre la densidad de la madera (D) y la proporción de pared celular (Ppc), considerándose en ambas una humedad del 12% (DIAZ-VAZ, 1974).

$$Dpc (\text{g/cm}^3) = \frac{D (\text{g/cm}^3)}{Ppc (\%)} \cdot 100 (\%)$$

RESULTADOS Y DISCUSION

Las determinaciones logradas con el Micrómetro-Lineal y calculada por los procedimientos antes descritos, permitieron obtener una serie de datos que se presentan y discuten a continuación.

PROPORCION DE PARED CELULAR Y DENSIDAD RADIOGRAFICA

La figura 3 muestra los promedios de proporción de pared celular y densidad radiográfica de las secciones intra-incrementales de 0,24 mm de ancho radial, tanto en pino oregón como en pino contorta.

Estos perfiles comparativos permiten observar la correspondencia de los valores de ancho de anillos entre ambos procedimientos. También se puede apreciar la semejanza entre los valores de densidad y los de proporción de pared celular. Las curvas superiores en cada una de las especies muestra los valores de densidad radiográfica y los perfiles inferiores, los de proporción de pared celular medidos con el Micrómetro-Lineal.

Ambos procedimientos reproducen con bastante exactitud, el contraste marcado de pino oregón e igualmente el contraste más suave en el caso de pino contorta. En las maderas tempranas de ambas especies, se puede observar que las mediciones realizadas con el Micrómetro-Lineal, son algo más sensibles que las del análisis radiográfico.

La pendiente entre un máximo de densidad de un anillo (madera tardía) y los primeros valores de densidad baja de la madera temprana del anillo siguiente, es menos abrupta en el caso del análisis radiográfico. Esto tiene como consecuencia que en este procedimiento se presente una zona de transición entre 2 anillos. Es bien conocido que esta zona no existe y, por lo tanto, ésta es sólo una imprecisión del método radiográfico.

Causas de ella pueden ser: a) la curvatura del límite del anillo, especialmente en la zona cercana a la médula, lo que puede significar que en la interpretación densitométrica se determinen valores combinados de madera tardía y madera temprana, b) una posible difusión de las radiaciones por diferencia de la densidad, y c) el tiempo requerido por el equipo para registrar la variación de densidad. Estos mismos factores pueden ser causas de la menor sensibilidad mostrada por el método radiográfico en la madera temprana.

(*) Esta dimensión se consideró como la mínima factible de separar en los perfiles de densidad.

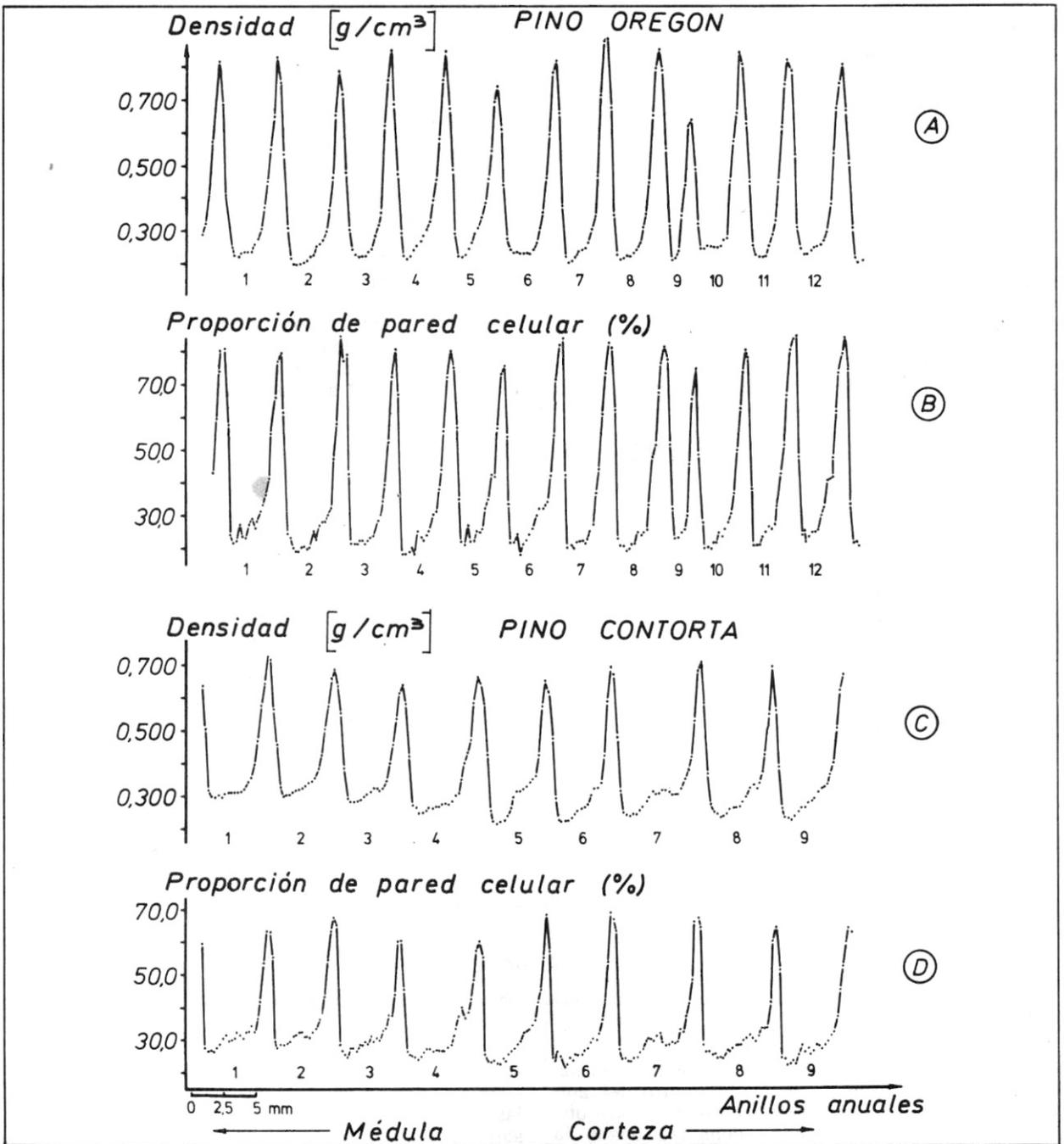


Fig. 3.— Promedios intra-incrementales de Proporción de Pared Celular (Micrómetro-Lineal) y Densidad (Método Radiográfico), según DIAZ-VAZ (1974)

En el cuadro 1 se muestran las relaciones entre el porcentaje de pared celular y densidad radiográfica obtenidas de la suma de todas las mediciones.

Las regresiones lineales obtenidas muestran una correlación muy estrecha. En ella se puede observar que en el caso de pino oregón la correlación es algo más fuerte que para pino contorta, pero las desviaciones son también algo mayores.

Para el empleo práctico de la metodología, las diferencias son pequeñas, de modo que puede decirse que las determinaciones de densidad, según

Cuadro 1: Relación entre densidad radiográfica y proporción de pared celular

ITEM	PINO OREGON	PINO CONTORTA
Ecuación de regresión	$Y = 0,0152 + 0,9605 X$	$0,0346 + 0,8496 X$
Coefficiente de correlación	$r = 0,9725$	$0,9578$
Desvío de la regresión	$S_{yx} = 0,0491$	$0,0349$
Número de muestras	$n = 170$	179

métodos radiográficos corresponden a las variaciones de las dimensiones celulares y por ende a la densidad de la madera con suficiente exactitud. Sólo deben de tenerse presente los errores anteriormente mencionados, especialmente en el caso de mediciones en especies de anillos muy delgados, en donde la presencia de una zona falsa de transición, entre madera tardía de un anillo y temprana del siguiente, pudiera influir en proporción muy fuerte.

DENSIDAD DE LA PARED CELULAR CON UN 12% DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Al enunciarse la comparación entre las densidades calculadas con las dimensiones celulares y las del método radiográfico, ha quedado hecha la pregunta, ¿Cuál es la densidad de la pared celular en la medición? Considerando el hinchamiento originado por la humedad, debe pensarse que la densidad de la pared celular al 12% ha de tener valores

más bajos que la que se da para el estado anhidro (1,43 g/cm³). Además de esto que se ha subrayado, no se puede dejar de considerar diferencias de densidad entre madera temprana y madera tardía. A menudo la pared celular muestra en su estructura íntima, variaciones de "Packing density" las que fueron consideradas en las observaciones presentes. Estas se originan no tanto por las diferencias de componentes principales, sino más bien por la estructura fibrilar de la pared secundaria S₂ y probablemente por variaciones de los constituyentes accesorios.

Los valores encontrados para la densidad de la pared celular con una humedad de 12% fueron para pino oregón de 1,0107 g/cm³ y para pino contorta de 1,0718 g/cm³. Estos valores se emplearon en los cálculos de densidad de la madera. Las variaciones de densidad de la pared celular dentro del crecimiento anual se muestran en la figura 4.

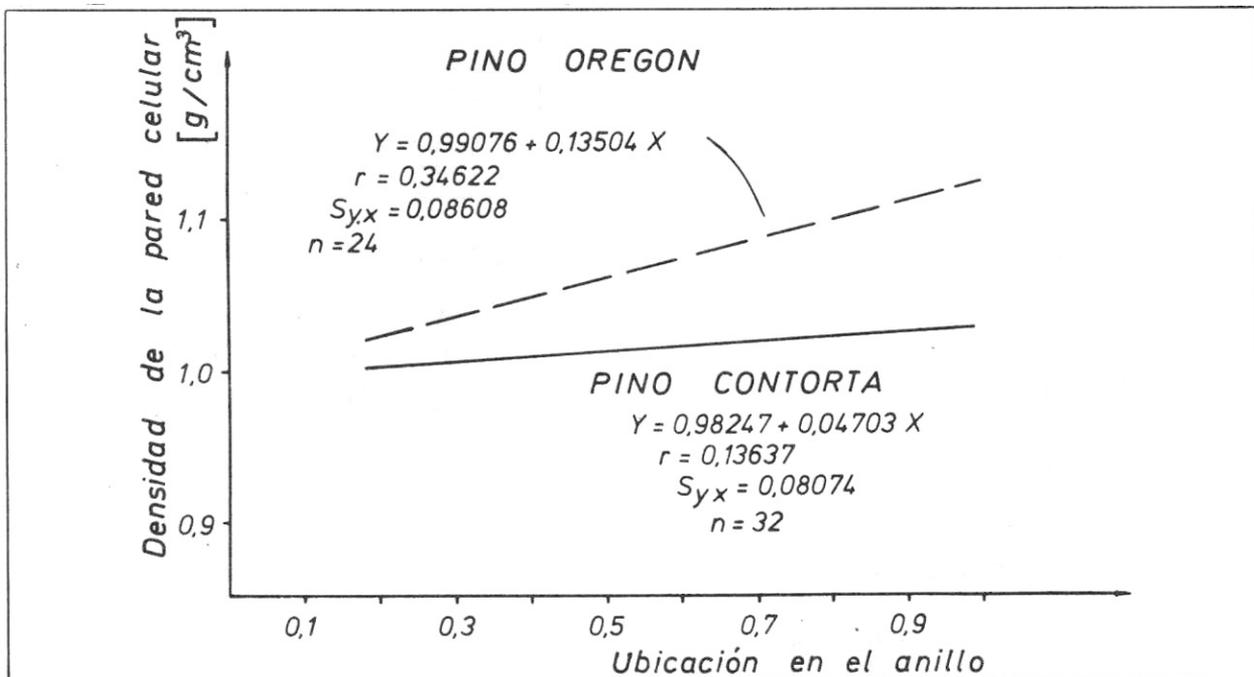


Fig. 4.— Relación entre la densidad de la pared celular con u = 12% y la ubicación en el anillo de crecimiento, según DIAZ-VAZ (1974)

Para el caso de pino oregón, la densidad de la pared celular prácticamente no varía dentro del anillo de crecimiento. Para pino contorta sí hay una variación, incrementándose la densidad desde la madera temprana a la madera tardía. En todo caso esta variación no fue estadísticamente significativa. De esto se puede concluir que no es necesario hacer diferenciaciones de la densidad de la pared celular dentro del anillo. Estos resultados pueden ser en cierta forma comparables con determinaciones hechas sobre madera anhidra en que se han encontrado diferencias muy pequeñas entre la madera temprana y tardía (STONE, SCALLAN y ABERSON, 1966; WILFONG, 1966).

VARIACIONES DE LAS DIMENSIONES CELULARES EN EL INCREMENTO ANUAL

Las determinaciones se realizaron llevando la posición de cada valor medido a un anillo tipo, de ancho = 100. Todas las dimensiones siguieron las fluctuaciones conocidas desde madera temprana a madera tardía.

La figura 5 nos muestra las variaciones de los anchos radiales y tangenciales de la pared celular de las 2 especies consideradas, las que siguen un desarrollo semejante a la proporción de la pared celular mostrada en la figura como comparación.

En pino oregón se puede apreciar que la pared radial, especialmente en madera tardía, es más gruesa que la tangencial. Estas diferencias son en todo caso pequeñas. En la madera temprana y la de transición las diferencias son poco reconocibles. En pino contorta el ancho de la pared tangencial es algo mayor que el radial. En ambas especies las diferencias no fueron estadísticamente significativas. La literatura al respecto no muestra una regla fija para estas variaciones. SMITH y MÜLLER en 1964, encontraron en sequoia sempervirens, curvas de desarrollo que corresponden al caso de pino contorta. FERGUS et al. (1966), encontraron una variación muy semejante para picea mariana. En 1958, NAKATO, investigando diversas especies japonesas, determinó que tanto en madera temprana co-

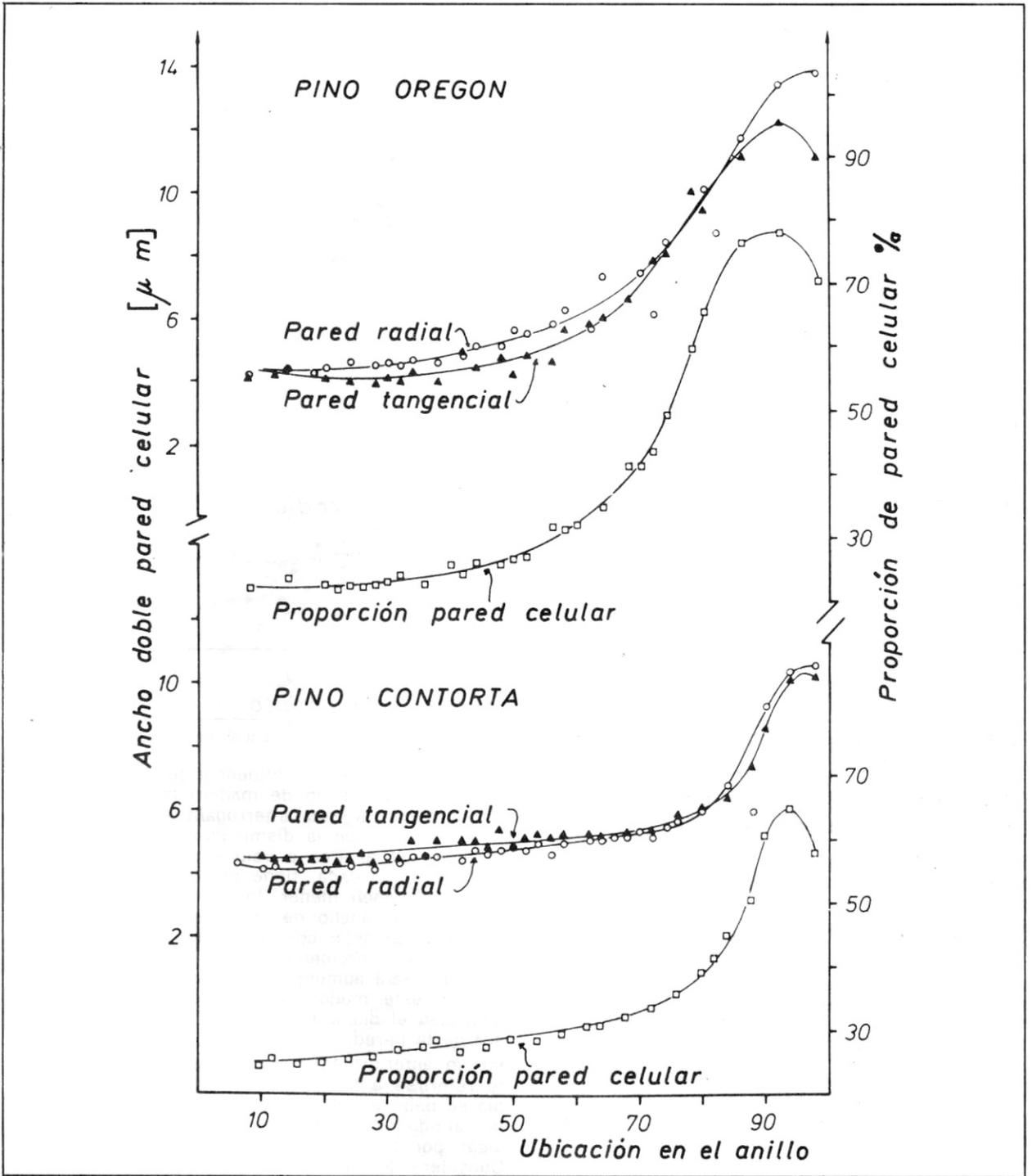


Fig. 5.— Variación del ancho radial y tangencial de la pared celular dentro del anillo de crecimiento, según DIAZ-VAZ (1974)

mo en madera tardía la pared tangencial era más ancha que la radial. Resultados heterogéneos al respecto, mostraron las investigaciones hechas por SAIKI en 1970.

Las variaciones de los diámetros celulares dentro del anillo se calcularon con el mismo procedimiento que el empleado en el ancho de pared celular, el que se muestra en la figura 6.

Los diámetros tangenciales varían muy poco, especialmente en el caso de pino contorta, el que prácticamente se mantiene constante a través del anillo de crecimiento. Los diámetros radiales disminuyen lentamente dentro de la zona inicial (primeros 70% del anillo) para luego decrementarse rápidamente en el resto del anillo.

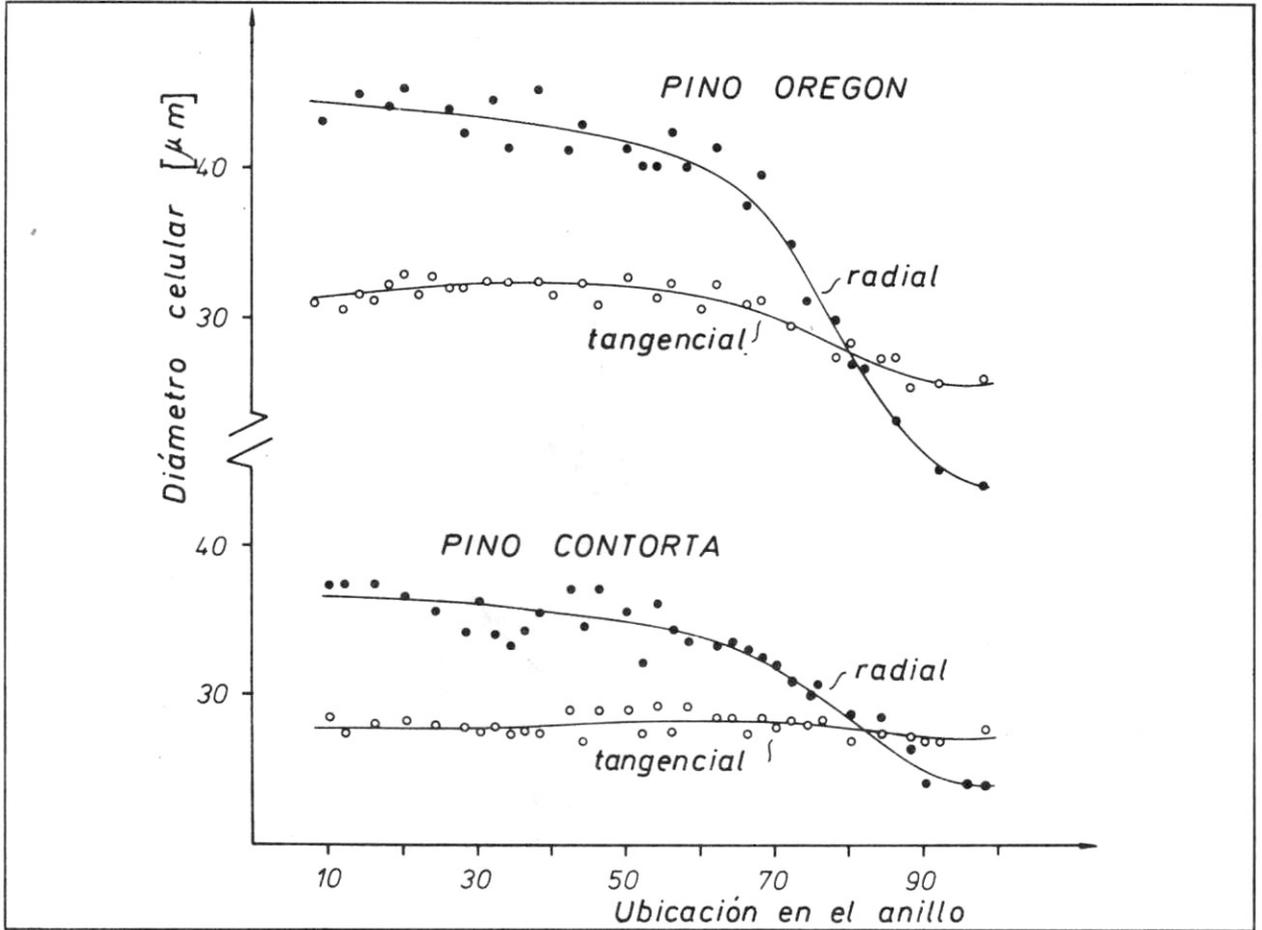


Fig. 6.— Fluctuaciones de los diámetros radiales y tangenciales dentro del crecimiento anual, según DIAZ-VAZ (1974)

INFLUENCIA DEL DIAMETRO Y DE LA CANTIDAD DE PARED CELULAR EN LA FORMACION DE MADERA TARDIA

En algunas investigaciones se ha explicado la formación de madera tardía como consecuencia de la acción de factores fisiológicos. La influencia de estos factores se ha medido en términos de: decremento del diámetro e incremento del ancho de pared celular. Se indica además que ellos son controlados independientemente y que actúan en forma simultánea, dentro del período vegetativo, sólo por mera coincidencia (RICHARDSON y DINWOODIE, 1961; LARSON, 1964, 1973).

Siguiendo estos conceptos, SAIKI determinó en 1965, la influencia del diámetro y del grosor de pared celular en la formación de madera tardía, denominándolas "Flattening y Thickening Effect", respectivamente.

La figura 7 muestra la formación de madera tardía como aumento de la proporción de pared celular. Las curvas "C" se han obtenido según la fórmula de cálculo de SAIKI, esto es, manteniendo el ancho que presenta la pared celular en la madera temprana, a través de todo el anillo. Las curvas "A" en cambio, han sido calculadas considerando las fluctuaciones del ancho de pared. Al comparar las curvas "A" y "C", las diferencias entre ellas muestran la influencia del ancho de pared celular (Thickening Effect) y las diferencias entre "C" y la línea de referencia "D", la influencia del diámetro celular (Flattening Effect). Los conceptos antes

mencionados sobre la influencia de estas dimensiones en la formación de madera tardía, presentan, sin embargo, algunas interrogantes.

Considerando que la disminución del diámetro hará disminuir el área o volumen celular, una cantidad de pared dada, tiene que distribuirse en una área o volumen menor, lo que debe significar un aumento del ancho de la pared celular. Esto implica que al dejar constante la cantidad de pared dentro del incremento anual, la disminución del diámetro hará aumentar el ancho de la pared celular. De este modo, los factores fisiológicos que controlan el diámetro, también influyen en el grosor de la pared.

Por lo anteriormente expuesto es más conveniente referirse a que: "La formación de madera tardía se debe a las fluctuaciones del diámetro y de la cantidad de pared celular, las que son controladas por factores fisiológicos independientes". Considerando este nuevo concepto, se ha calculado la influencia en la formación de madera tardía. En la figura 7 se muestran con las curvas "B", los valores de proporción de pared en el anillo, cuando se deja constante la cantidad de pared celular. Las diferencias entre "A" y "B", corresponden a la influencia del aumento de la cantidad de la pared y las entre "B" y "D" a la disminución del diámetro de las células. Se puede apreciar además, que en el caso de pino oregón la mayor influencia corresponde al diámetro celular. En pino contorta en cambio, la influencia del aumento de la cantidad de pared celular es algo mayor que la del diámetro.

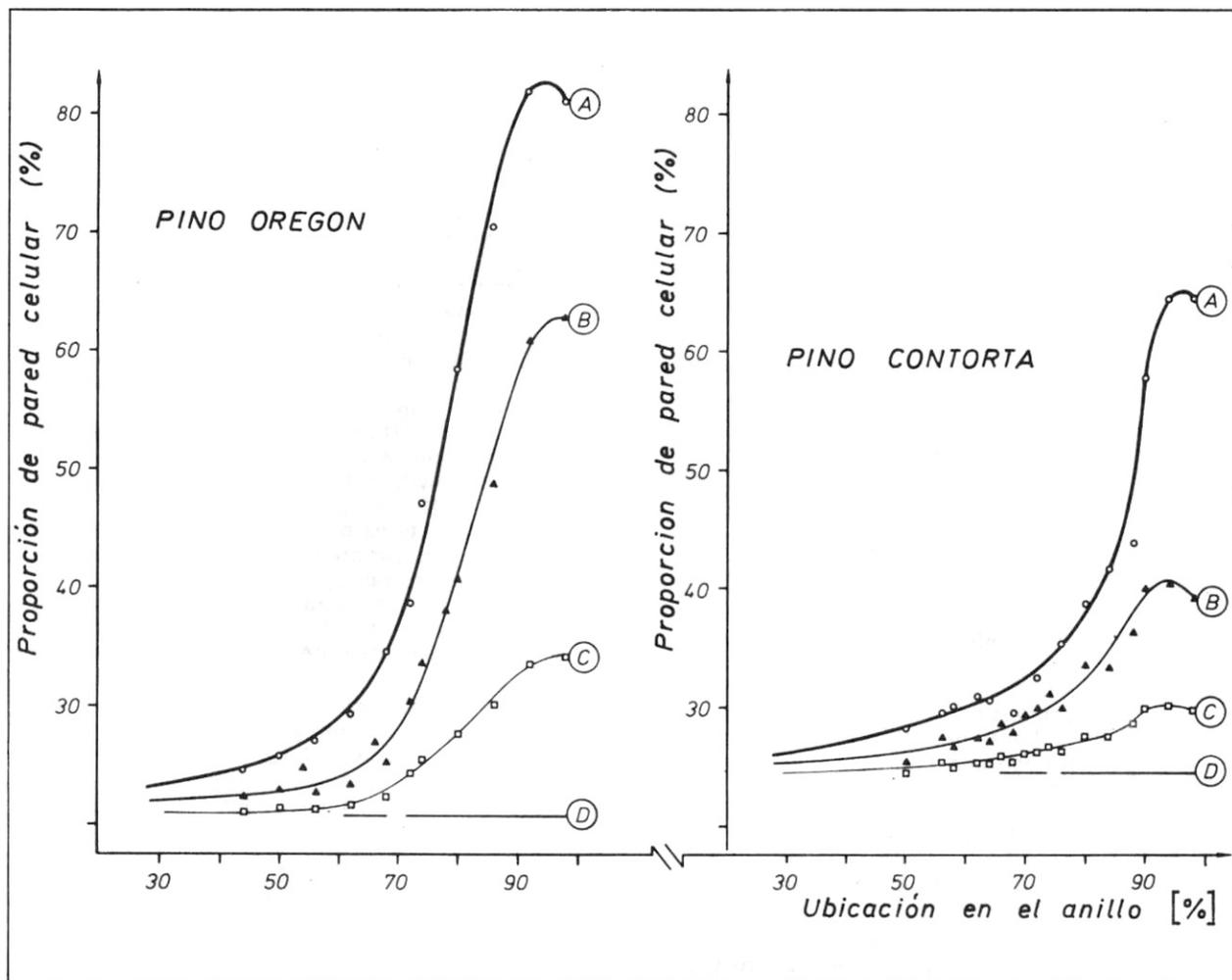


Fig. 7.— Influencia del diámetro y cantidad de pared celular en la formación de madera tardía, según DIAZ-VAZ (1974)

CONCLUSIONES

Del presente trabajo se desprende que:

- 1.— El Micrómetro-Lineal desarrollado cumple con los requisitos deseados para las mediciones;
- 2.— El contenido de humedad del 12% en las probetas se logró mantener, dejando las muestras durante las mediciones, sumergidas en un baño de aceite de inmersión. Este no compromete las dimensiones de la madera por efectos de hinchamiento;
- 3.— Las determinaciones intra-incrementales de densidad de madera, efectuadas con el sistema de rayos X, según ECHOLS, corresponde a las variaciones estructurales determinadas con el Micrómetro-Lineal;
- 4.— Pequeñas inexactitudes del sistema de rayos X se encontraron en las zonas límites entre anillos, en donde el método radiográfico indica una zona de densidad intermedia, no existente. También se pudo apreciar una menor sensibilidad de este método, en comparación con las mediciones anatómicas;
- 5.— La densidad de la pared celular, con un contenido de humedad $u = 12\%$, fue menor a la dada comúnmente para el estado anhidro $1,43 \text{ (g/cm}^3\text{)}$. En el caso de pino oregón fue de $1,0107 \text{ g/cm}^3$ y en pino contorta $1,0718 \text{ g/cm}^3$.
- 6.— Las dimensiones celulares: diámetros y anchos de paredes celulares, tanto radiales como tangenciales en el anillo de crecimiento siguieron las formas ya conocidas;
- 7.— La comparación de la pared radial con la tangencial no mostró una regla fija significativa en la madera temprana. En la madera tardía la pared radial resultó ser algo mayor que la tangencial para ambas especies;
- 8.— En la formación de la madera tardía, la influencia del ancho de pared celular es mejor reemplazada en las apreciaciones por la influencia de la cantidad de pared celular, ya que la primera sufre una influencia del diámetro celular, lo que no sucede al considerar la cantidad de pared celular;
- 9.— Las variaciones que se producen en la madera tardía en comparación con la madera temprana son consecuencia del aumento de la cantidad de pared celular y la disminución del diámetro de las células. Ambas son controladas por factores fisiológicos independientes que inician su acción simultáneamente sólo por coincidencia.

REFERENCIAS

- BÜSGEN, M., 1904: Zur Bestimmung der Holzärten, Z. f. Forst- und Jagdwesen. 39: 543-561.
- CAMERON, J. F.; BERRY, P. F.; PHILLIPS, E. W. J., 1959: The Determination of wood Density using Beta Rays. *Holzforschung*, 13 (3): 78-84.
- DIAZ-VAZ, J. E., 1974: Vergleichende Untersuchungen der Schwankungen von Tracheidimensionen und röntgenoptisch ermittelter Rohdichte innerhalb des Jahrrings. Tesis doctoral. Forstliche Fakultät der Georg August Universität-Göttingen. Alemania Federal.
- ECHOLS, R. M., 1971: Patterns of wood Density Distribution and Growth Rate in Ponderosa Pine. Symposium on the Effect of Growth Acceleration on Properties of wood, Madison Wis.
- , 1973: Uniformity of wood density assessed from X-rays of increment cores. *Wood Science and Technology*. 7: 34-44.
- FERGUS, *et al.*, 1969: The distribution of lignin in Sprucewood as determined by ultraviolet microscopy. *Wood Science and Technology*. 3 (2): 117-138.
- GREEN, H.; WORRAL, J., 1964: Wood quality studies. I. A scanning microphotometer for automatically measuring and recording certain wood characteristics. *Tappi*. 47 (7): 419-427.
- HARRIS, J.; POLGE, H., 1967: A comparison of X-ray and Beta-ray techniques for measuring wood density. *Journal of the Institute of wood Science* (19): 39-42.
- HARRIS, J. M., 1969: The use of Beta-rays in determining wood properties. Part 1. measurement of wood density and interpretation of results. Part 2. measuring earlywood and latewood. Part 3. summarising radial variation in wood density. Part 4. Estimating the measuring resin content. *New Zealand J. Sci.*, Wellington 12 (2): 395-451.
- JURASEK, L.; JOKEL, J.; 1962: Absorption of Co⁶⁰ Gammarays in Woods of various density. *Drew. Viskum* (1): 21-32.
- KELLER, R., 1968: Des caracteristiques nouvelles pour l'etudes des proprietes mecaniques des bois: Les composantes de la Densité Anuales. *Sci. For. rest.* 25 (4): 237-249.
- KELLER, R.; MILLIER, C., 1970: Utilisation des Composantes de la Density en xylochronologie. *Ann. Science Forest* 27 (2): 157-196.
- KELLER, R., 1971: Ermittlung der mechanischen Eigenschaften und der Dichte von Holz mit Hilfe von Röntgenstrahlen. *Holztechnologie* 12 (4): 225-232.
- KNIGGE, W., 1971: Información personal.
- LARSON R., P., 1964: Some Indirect Effect of Environment on Wood Formation in ZIMMERMANN, Formation of wood in Forest Tres. Academic Press, INC., New York.
- , 1973: The Physiological basis for wood specific gravity in Conifers. IUFRO Congress. Sud Afrika.
- LENZ, O., 1957: The use of X-rays for the analysis of increment layers. *Mitt. Schweiz. Aust. Forstl. Versuchsw.* 33 (5).
- LOOS, W. E., 1961: The relationship between gamma-ray absorption and wood moisture content and Density. *For. Prod. J.* 11 (3): 145-149.
- MARIAN, J. E.; STUMBO, D. A., 1960: Ein neues Verfahren der Jahrring analyse und der Rohdichtebestimmung durch Messung des Oberflächengefüges. *Holz als Roh und Werkstoff*. 18 Jg (8): 287-296.
- MAYER-WEGELIN, H., 1950: Der Härtetaster, ein neues Gerät zur Untersuchungen von Jahrringbau und Holzgefüge. *Allg. Forst. u. Jagdzeitg.* 122 (1): 12-23.
- MÜLLER-STOHL, W. R., 1947: Über die Ermittlung von Jahrringaufbau und spätholzanteil auf Photometrischen Weg. *Planta* (35): 397-426.
- MÜLLER-STOHL, 1949: Photometrische Holzstrukturuntersuchungen II Mitteilung: Über die Beziehungen der Lichtdurchlässigkeit von Holzchnitten zu Rohdichte und Wichtekontrast. *Forstwiss, centralblatt*, 68 (1): 21-63.
- NAKATO, K., 1958: On the Cause of the Anisotropic Shrinkage and Swelling of Wood VIII. On the Relationships between the Microscopic Structure and the Anisotropic Shrinkage in Transverse Section. *Japan Wood Res.* 4 (3): 100-105.
- PARRISH, W. B.; MYSER, W. C.; POOL, M. P., 1957: Radio-isotopes-a possible means for finding defects in logs and Trees. *J. For.* 55 (11):
- PHILLIPS, E. W. J., 1960: The Beta Ray Method of determining the Density of wood and the proportion of summer wood. *Journal of the Institute of Wood Science.* 5 (8): 16-28.
- , 1968: A further contribution to the comparison of X-ray and beta-ray techniques for measuring wood density. *J. Inst. Wood Sci.* 4 (2) 64-66.
- POLGE, H., 1965: Study of wood Density Variations by densitometric analysis of X-ray negatives of samples taken with a Pressler auger. *IUFRO. Sec. 41 October. V* (2): 19 p.
- , 1967: Propositions pour une meilleure utilisation des courbes de variation de la densité du bois. XIV IUFRO-Kongr., Sect. 41, Munich, West. Ger.
- , 1969: Further considerations about the X-ray and Beta-ray Methods for determining wood density. *The Journal of the Institute of Wood Science.* 4 (5): 39-44.
- POLGE, H.; KELLER, R., 1968: Influence de l'approvisionnement en eau sur la esturcture interne des accroissements annuels. *Ann. Sci. Forest.* 25 (3): 125-133.
- , 1969: La xylochronologie, Perfectioment Logique de la Dendrochronologie. *Ann. Sci. Forest* 26 (2): 225-256.
- RICHARDSON, S. D.; DINWOODIE, J. M., 1961: Studies on the Physiology of Xylem development. Part I. The Effect of Nicht. Temperature on tracheid Size and Wood density in Conifers. *Wood Science* (6): 3-13.
- RUCK, M.; RUCK, H., 1961: X-Ray Absorption Measurement on Wood Constituents. *Holzforschung. Bd.* 15 (2): 39-44.
- SACHSEE, H. H., 1960: Zur Methodik der Strukturprüfung von Hölzen mit dem Nadelstichverfahren. *Holzf.* 14 (6): 168-178.
- SAIKI, H., 1965: Studies on the Annual Ring Structure of Conifers Wood. IV. Effects of Diameter Decrease and Cellwall Thickening of Tracheid on Late wood Formation. *Japan Wood Research* 11 (1): 1-6.
- , 1970: Proportion of component Layers in Tracheids wall of Early and Late wood of some conifers. *J. Japan. Wood Res. Soc. Meguro Tokyo* 16 (5): 244-249.
- SANDERMANN, W.; SCHWEERS, W.; GAUDERT, P., 1960: Messung der Holzdicthe und Bestimmung der Holz-Jahrringbreite mit Hilfe von Beta-Strahlem. *Forstarchiv* (31): 126-128.
- SMITH, D. M.; MILLER, R. B., 1964: Methods of measuring and estimating tracheids wall thickness of redwood. (*Sequoia sempervirens* (D. Don) ENDL). *Tappi*, New York 47 (10): 599-604.
- SMITH, D., 1965: Rapid Measurement of Tracheid Cross-Sectional Dimensions of Conifers: Its Application to Specific Gravity Determination. *For. Prod. J.* 15 (8): 325-334.
- STAMM, A., 1964: *Wood and Cellulose Science.* New York.
- STONE, J.; SCALLAN, M. und ABERSON, G., 1966: The Wall Density of Native cellulose Fibres. *Pulp and Paper Magazine of Canada.* 67 (5): 263-268.
- WILFONG, J. G., 1966: Specific Gravity of Wood Substance. *For. Prod. J.* 16 (1): 55-61.