

VARIACION DE LA CALIDAD DE LA MADERA DEL PINUS CARIBAEA VAR. CARIBAEA BARRETT Y GOLFARI; ANALISIS PRELIMINAR DE CINCO ARBOLES DE LAS PLANTACIONES DE TOPES DE COLLANTES, CUBA.

Por:

J. Burley₁
J. F. Hughes₂
A. F. A. Lamb₃
O. Petancourt Rodríguez₄

RESUMEN

Como ejemplo de un análisis biométrico apropiado, se examinó la variación de la densidad y de la longitud de las traqueidas en cinco árboles de *Pinus caribaea* var. *caribaea* Barrett y Golfari de una plantación de 12 años de edad. Se evaluó el espesor de la pared doble de la célula y el diámetro del lumen en dos de los árboles. Todas las propiedades indicaron que el material era adecuado para una amplia variedad de usos como madera y pulpa, pero se detectaron considerables diferencias entre los árboles.

Se observaron diferencias evidentes entre los radios de los anillos de crecimiento anual y entre las alturas de los árboles, en cuanto a la longitud de la traqueida, la densidad y el espesor de la pared

1, 2 y 3 Del Instituto Forestal de la Mancomunidad Británica, Universidad de Oxford, Inglaterra.

4 Del Centro de Investigaciones y Capacitación Forestales, INDAF, La Habana, Cuba.

doble de la célula, pero menos evidentes en cuanto al diámetro del lumen. Ocurrieron diferencias significativas entre los árboles. La longitud de las traqueidas aumentó (2,3 - **2,9 mm**) y la densidad disminuyó (0,47 - 0,38 g/cc) con el aumento en altura; la longitud de las traqueidas aumentó de 1,8 mm, en el anillo 2, a 3,43 mm, en el anillo 10, de los discos más bajos. La densidad disminuyó desde 0,50 hasta 0,42 g/cc (anillos 2 y 4), y luego aumentó hasta **0,55 g/cc** anillo 10).

Las dimensiones de la sección transversal de dos árboles, fueron mayores en la dirección radial que en la dirección tangencial. El diámetro del lumen permaneció virtualmente constante a **30 μ** , aproximadamente. El espesor de la pared doble de la célula, aumentó linealmente de **5 μ** (anillo 2), a **11 μ** (anillo 12), del disco más bajo.

SUMMARY

As an example of an appropriate biometric analysis, the variation in density and the length of the tracheids in five trees of **Pinus caribaea** var. **caribaea** Barrett and Golfary in a 12 year old plantation were examined. The thickness of the double wall of the cell and the diameter of lumen in two of the trees were appraised. All the properties indicated that the material was adequate for an ample variety of uses as wood and pulp, but considerable differences were detected among the trees.

Evident differences were observed among the radii of the rings of annual growth and among the height of the trees, as to the length of the tracheids, the density and thickness of the double wall of the cell, but, less evident as to the diameter of the lumen. Significant differences occurred among the trees.

The length of the tracheids increased (from 2,3 to **2,9 mm**) and the density decreased (from 0,47 to 0,38 g/cc) with the increased in height. The length of the tracheids increased from 1,8 mm, in the 2nd ring, to 3,43 mm in the 10th ring of the lowest disks. The density decreased from 0,50 to 0,42 g/cc (rings 2 and 4), and later increased to 0,55 g/cc (ring 10).

The dimensions in the transversal section of the trees, were bigger in the radial direction than in the tangential direction. The diameter of the lumen remained virtually constant, nearly 30 μ . The thickness of the double wall of the cell of the lowest disks, increased lineally from 5 μ (ring 2), to 11 μ (ring 12).

RESUME

Comme exemple d'une analyse biométrique, on a examiné la variation de la densité et de la longueur des trachéides de cinq échantillons de *Pinus caribaea* var. *caribaea* Barrett et Golfari d'une plantation âgée de 12 ans. L'épaisseur de la double membrane cellulaire et le diamètre du lumen ont été mesurés dans deux des arbres. Toutes les caractéristiques ont montré que le bois convient à divers usages, tels que sciage et pâte à papier; cependant on a décelé des différences considérables entre les arbres.

On a observé des différences entre les rayons des anneaux annuels de croissance, la hauteur des arbres, la longueur de la trachéide, la densité et l'épaisseur de la double membrane cellulaire; mais ces différences furent moins évidentes dans le diamètre du lumen. Entre les arbres on a noté des différences significatives. La longueur des trachéides augmente (2,3 - 2,9 mm), et la densité diminue (0,47 - 0,38 g/cc) avec l'accroissement en hauteur; la longueur des trachéides passe de 1,8 mm dans l'anneau No. 2 à 3,43 mm dans l'anneau No. 10 des sections basses des troncs. La densité baisse de 0,50 jusqu'à 0,42 g/cc (anneaux No. 2 et 4) et après remonte jusqu'à 0,55 g/cc (anneau No. 10).

Les dimensions de la coupe transversale de deux arbres sont plus grandes dans la direction radiale que dans la direction tangentielle. Le diamètre du lumen est resté presque constant à 30 μ environ. L'épaisseur de la double membrane cellulaire augmente linéairement de 5 μ (anneau No. 2) à 11 μ (anneau No. 12) de la section plus basse.

INTRODUCCION

Poco se sabe de la anatomía y de las características de la madera de las cuatro especies de pinos que son oriundas de Cuba: *Pinus caribaea* var. *caribaea* Barrett y Golfari, *P. cubensis* Griseb., *P. occidentalis* Sw. y *P. tropicalis* Morelet. Esa información es de gran importancia para las industrias cubanas de madera y pulpa, y será también de gran interés para todos los demás países que cultiven estas especies.

Las propiedades de la madera de las otras variedades de *P. caribaea*, particularmente *P. caribaea* var. *hondurensis*, están siendo estudiadas en el Instituto Forestal de la Mancomunidad Británica, en Oxford, usando el material de los bosques indígenas de América Central y de plantaciones exóticas en todos los trópicos. Se acordó

incorporar los estudios del material cubano, en el programa de investigaciones de Oxford.

Uno de nosotros (Lamb) actuó, durante 1968, como consultor en mejoramiento de árboles, en un proyecto forestal en Cuba y, entre otras cosas, demostró el procedimiento de Oxford para seleccionar sitios adecuados, árboles y muestras entre los árboles, para caracterizar la variación de las propiedades de la madera. Otro de nosotros (Betancourt) organizó la colección de muestras durante 1969-1970 y su traslado a Oxford. Hughes está supervisando actualmente el trabajo de laboratorio y Burley está realizando el análisis y la presentación de los resultados. Este último actuó como consultor en biometría y genética en el proyecto de la FAO.

Este trabajo se publica como un ejemplo de la forma de análisis, que parece adecuada para datos de este tipo en la Sección de Biometría del proyecto. Se dan también los resultados preliminares, para ayudar a la Sección de Tecnología de la Madera del proyecto a planificar su programa de investigaciones. Se consideran aquí los datos sobre las características de las traqueidas y la densidad de la madera de sólo cinco árboles de *P. caribaea*; el examen de éstas y otras características en las muestras restantes continuará en 1972-1973, y se está preparando un estudio comparativo completo (Paraskevopoulou, 1973).

Los autores expresan su reconocimiento al comandante José Ponce Díaz, presidente del INDAF, por haber suministrado las muestras de madera; así como al señor A. Gourlay y a la señora J. A. Herbert, por la ayuda prestada.

Se hace la aclaración de que todo el trabajo de laboratorio fue realizado en el Instituto Forestal de la Mancomunidad Británica y que los datos se procesaron en la computadora KDF9, en el Centro de Computación de la Universidad de Oxford.

MATERIALES Y METODOS

Muestreo de campo

Se trazaron dos parcelas de 100 árboles en la pendiente sur de la plantación de Castillito, en Topes de Collantes, Trinidad, provincia de Las Villas, Cuba. En el momento del muestreo, los árboles tenían 12 años de plantados. Los árboles se plantaron a un espaciamiento de 4 m x 4 m. La plantación no había sido aclareada ni fertilizada y el material provenía de las colecciones comerciales de semillas de las masas naturales de Pinar del Río, Cuba.

* Tesis de Master of Sciences, Universidad de Oxford, Inglaterra.

La plantación ocupaba unas 5 há en terreno montañoso, escarpado, a 700 m sobre el nivel del mar, aproximadamente. El suelo era profundo, limo-arcilloso rojo, derivado de esquistos, fuertemente expuesto a la intemperie; el área se había usado anteriormente para cafetales, y fue degradada hasta convertirse en pastos, de yerbas, helechos y arbustos.

De cada parcela se seleccionaron 10 árboles, al azar, y se talaron; pero sólo se consideran aquí los datos de 5 árboles. De cada árbol se cortaron discos de 30 cm de largo, centrados a 5, 15, 35 y 65% de la altura total del árbol; se sumergieran los discos en una solución de cloruro mercuríco, como preservativo. Se registró la altura de cada árbol hasta la aproximación de un centímetro y osciló ésta de 150 m a 16,4 m. Tres de los árboles eran rectos y cilíndricos, dos presentaban una ligera inclinación en la parte inferior del fuste. No había ramas por debajo de los 7,2 m en ningún árbol y el ángulo de inserción de las ramas osciló entre 75° y 85°. Los datos sobre la altura y la circunferencia de los árboles, se dan en la tabla 1.

Procesamiento de laboratorio

De cada disco se seleccionaron dos radios al azar y se quitaron las cuñas a lo largo de toda la longitud del radio. Se hicieron todas las evaluaciones, en anillos alternos, a partir de la medula (2, 4, 6, etc.).

Se calculó la densidad del peso secado al horno y del volumen saturado. Se saturaron las muestras mediante la inmersión en agua durante varios días, sometiéndolas, periódicamente, al vacío para extraerles el agua. Se midió el volumen por el método de desplazamiento del agua, y se tomó el peso en seco, después del secado en un horno a 185°C hasta peso constante.

Se midió la longitud de las traqueidas, de secciones finas de madera tomadas a través de todo el ancho del anillo, en una diagonal de 45°, aproximadamente, hasta el radio. Estas secciones fueron maceradas por el método de Franklin; se colocaron las muestras de madera macerada en dos platinas de microscopio y se midieron 15 fibras completas en cada platina, usando un microscopio de proyección a una amplificación de 30 veces

Se midieron las dimensiones de la sección transversal de las traqueidas, en superficies preparadas con una lijadora de banda, usando papel de lija 400. Se fijaron las posiciones para las mediciones, seleccionando primeramente 10 puntos al azar (cinco en cada mitad del anillo), a lo largo de un radio marcado; luego en cada punto se hizo una selección al azar, de una hilera de las 10 hileras de células a cada lado del radio marcado. Se hicieron las mediciones del espesor de la pared doble de la célula y del diámetro del lumen (radial y tangencialmente), en seis células, en cada lugar de muestreo; se hicieron mediciones, a una amplificación de 344 veces, con un microscopio

Leitz Labolux, adaptado especialmente en Oxford, para producir una cinta de computación que registrara los datos hasta la aproximación de $0,1\mu$.

Procesamiento de los datos

Los datos no transformados, sobre la densidad y longitud de las traqueidas, se sometieron al análisis de varianza para determinar las fuentes de variación significativa, de acuerdo con el modelo mixto (Eisenhart, 1947; Searle, 1971), en el cual los efectos de los discos (componentes de varianza σ_D), los anillos anuales (σ_R y su interacción se consideraron fijos, mientras que los árboles (σ_t), los radios (σ_q), y su interacción se consideraron al azar, los componentes del análisis de varianza, dividieron la varianza total proporcionalmente entre todas las fuentes.

En el análisis de varianza, los valores esperados de los cuadrados medios se pueden expresar en términos de componentes de varianza. Estos son parte del modelo matemático señalado; se pueden usar para obtener estimados insesgados del error para las comparaciones seleccionadas de la varianza. Además, se pueden usar para estudiar las contribuciones relativas hechas por diferentes fuentes de la varianza de una medición y, por ende, para determinar el sistema económico de muestreo para el trabajo futuro de un tipo similar.

Los cálculos de las varianzas son los mismos, pero los valores de los componentes de varianza difieren, ya que dependen de si un factor se considera fijo (no sujeto a variación al azar), o al azar. Hay dos reglas generales para la determinación de la esperanza de los cuadrados medios (ver Snedecor y Cochran, 1967, 6ª Ed. sección 12.11).

Dejemos que U denote el efecto en cuyo cuadrado medio estamos interesados; puede ser un factor simple o una interacción. Entonces el valor esperado para U contiene el componente para la varianza residual (aquí σ_q) y un término para σ_U (comúnmente escrito σ_U^2). Además, contiene un término de varianza para cualquier interacción en la cual (i) aparece en todas las letras en U y (ii) todas las demás letras en la interacción representan efectos al azar.

El coeficiente del término para la varianza residual es 1. El coeficiente para cualquier otro término, es el producto de los números de niveles de todos los factores que no están incluidos en el término. Se usó el análisis de regresión múltiple para relacionar los caracteres anatómicos con las otras características de la muestra, tales como la altura sobre el terreno (H) en metros y la edad (R) desde la medula, contando los anillos. Para este último grupo de análisis se usaron todos los datos disponibles; sin embargo, para obtener la ortogonalidad para el análisis de varianza, se usaron los datos de dos grupos de anillos interiores (2, 4, 6), que fueron comunes a todos los discos y árboles; (ii) los cinco anillos interiores (2, 4, 6, 8, 10), que fueron comunes al disco más bajo de todos los árboles.

RESULTADOS Y DISCUSION

Densidad y longitud de las traqueidas

Análisis de varianza de cuatro discos, El análisis de varianza para todos los discos, se muestra en la tabla 2. Los componentes de la varianza, se enumeran en la tabla 3 y los valores medios en la tabla 4. Estrictamente en la tabla 2, el examen de los efectos significativos debe comenzar en la última entrada, para la cual es posible una comparación de la varianza (por ejemplo, entrada 8, efectos de interacción de los Arboles x Discos x Anillos). Si éste u otros efectos de interacción son significativos, es insignificante examinar los efectos de los principales factores individuales; contribuyentes (es decir, Arboles o Discos o Anillos). Así, en la tabla 2, el efecto de la interacción significativa sobre la densidad ($F = 11,1^{***}$) implica que el efecto de los anillos difiere en cada disco, y esta misma interacción de dos vías difiere entre árboles. El alto nivel de significación puede ser parcialmente atribuible a los grandes números de grados de libertad (alta precisión) asociados con esta interacción; aunque los componentes de varianza (tabla 3) indican que la interacción cuenta para un tercio de la variación total en la densidad, aproximadamente. Se puede ver, en las figuras 2 y 3, que esto se debe, en gran parte a árbol 1.

En la práctica, una interacción de tres vías es difícil de visualizar, representar, subdividir o interpretar, y comúnmente, las interacciones de dos vías se examinan más completamente. Aquí, la interacción de Discos x Anillos tiene poca importancia, como se muestra en la figura 1, donde las líneas para todos los discos son esencialmente paralelas.

La interacción de Arboles x Anillos, es **más** importante para la densidad y la longitud de las traqueidas (Fig. 2). Gran parte del efecto de interacción es causado por el Arbol 1, particularmente para la densidad con valores extremadamente altos cerca de la médula; éstos fueron causados por el alto contenido de resina y la presencia de células cortas estrechamente comprimidas. Este efecto de interacción, contó también para un tercio de la variación total en la densidad. A causa de este árbol atípico, no se detectaron diferencias significativas en la densidad entre los anillos anuales; sin embargo, es evidente en las figuras 1 y 2 y en la tabla 4, que la longitud de las traqueidas tiende a aumentar con el número creciente de anillos, y esta relación se examinó, posteriormente, en los discos más bajos, que contenían más anillos anuales. La interacción de Arboles x Discos tiene un efecto altamente significativo en *** Significativa a un nivel de probabilidad de 0,1%

la densidad (tabla 2), pero cuenta relativamente poco en la variación total, ya sea en la longitud de las traqueidas (8,3%), o en la densidad (13,7%; tabla 3). Se hace evidente en la figura 3 que el Arbol 1 contribuye grandemente a este efecto de interacción en la densidad.

Es visible que la altura del disco no tiene efecto en la densidad, sino un efecto significativo en la longitud de las traqueidas en los seis anillos interiores (tablas 2 y 4; Fig. 3). En algunos árboles los valores pico de la longitud de las traqueidas se presentan en el 25% de la altura total del árbol, con un ligero descenso en la parte más alta del tronco (45%). Sin embargo, en el promedio, la longitud de las traqueidas aumenta (2,28 - 2,91 mm), con el aumento en altura. La densidad disminuye (0,47 - 0,38 g/cc; 29,3 - 23,7 lb/pie³), pero gran parte de esta diferencia ocurre entre el disco basal y los restantes; nuevamente éste es atribuible a la mayor concentración de resina en la base del tronco.

Posiblemente, la conclusión más importante del análisis de varianza, es que los árboles difieren significativamente en ambas características (tabla 2), particularmente en la longitud de las traqueidas; para esta característica el 49% de la variación fortuita es atribuible a la diferencia entre los árboles, comparadas con, aproximadamente, el 10% cada una, para cualquiera de las otras fuentes de variación fortuita (tabla 3).

Esto implica que muchos de los árboles se deben muestrear para caracterizar un sitio o una especie con precisión.

En el caso de la densidad, la mayor parte de la variación fortuita se atribuye a las dos interacciones que comprenden Árboles y Anillos; de nuevo el uso de muchos árboles reducirá estos componentes, mientras que al mismo tiempo reduce otros, mejorando así la precisión de todas las medias que se estiman.

Parece haber poca razón para aumentar el número de muestras radiales (véase Fig. 2) cuenta para 9% y 2% de variación fortuita en la longitud de las traqueidas y en la densidad de los seis anillos interiores. Se llegó a conclusiones similares por Burley y otros (1971), usando 10 árboles de *P. caribaea* var. *hondurensis* de 10 años, desarrollados en Jamaica.

Análisis de varianza de los discos más bajos. El análisis de los datos de tres pares de anillos, en cuatro discos por árbol, había indicado tendencias sistemáticas de variación en las propiedades de la madera. En los discos más bajos de todos los árboles había 10 anillos visibles, formando cinco pares de anillos, y los datos de ellos fueron analizados para examinar las tendencias posteriormente (tablas 5 y 6; Fig. 4).

El análisis de varianza (tabla 5) confirmó de nuevo la existencia de diferencias entre los cinco árboles.

El valor extremadamente alto de la densidad en el Arbol 1 ocultó la tendencia del aumento en la densidad, con el aumento en el número de anillos que fue señalado en los otros cuatro árboles. Posteriormente, fue la causa principal de la interacción altamente significativa de los efectos de Árboles y Anillos. La longitud de las traqueidas aumentó significativamente desde la medula hasta la corteza (**1.82 - 3.43 mm**), excluyendo el par anómalo de anillos interiores; la densidad alimentó también (**0.42 - 0.53 g/cc; 26,2 - 34,3 lb/pie³**).

Estos valores son considerablemente más bajos (longitud de las traqueidas) y más altos (densidad), que los reportados por Brown (1971) y Burley et al. (1971), para dos grupos de diez árboles, en Jamaica.

Estos valores indican que la madera de *P. caribaea* var *caribaea* debe ser adecuada para una amplia variedad de usos como pulpa y madera de construcción, por poseer una fibra adecuadamente recta. Para muchas pulpas las traqueidas deben tener una longitud de 3 a m, aproximadamente, y las densidades determinadas aquí prometen un rendimiento razonable de pulpa y resistencia de la madera; sólo se muestrearon los 10 anillos anuaies interiores. Las tendencias de la variación, indican que los mayores valores para ambas características, se encontraron en el material más viejo.

Análisis de regresión múltiple

El análisis gráfico y estadístico indicó la presencia de patrones sistemáticos de variación, que fueron asociados con la altura de la muestra en el árbol y con la edad a partir de la medula. Se ha descubierto que las leyes de Sanio se aplican a otros pinos tropicales y, para evaluarlos para el presente material, se realizó un análisis de regresión múltiple para ambas (la longitud de las traqueidas y la densidad), usando todos los datos disponibles. Se examinaron los siguientes modelos por el análisis de los cuadrados mínimos.

- 1 $Y = a + b_1R$
- 2 $Y = a + b_1R + b_2R^2$
3. $Y = a + b_1H$
- 4 $Y = a + b_1H + b_2H^2$
- 5 $Y = a + b_1R + b_2R^2 + b_3H + b_4H^2$
6. $Y = a + b_1R + b_2R^2 + b_3H + b_4H^2 + b_5RH$

en el cual

Y = longitud de las traqueidas o densidad,

a = regresión constante,

b_{1-5} = coeficientes de regresion,

R = número de anillos,

H = altura del disco sobre el terreno.

El análisis de varianza había indicado que el Arbol 1 era atípico y ocultó los patrones sistemáticos promedio de variación. Entonces, se realizaron dos grupos de análisis de regresión: uno incluyendo los datos del Arbol 1 y el otro excluyéndolos. La bondad de ajuste de los diversos modelos, puede ser comparada por sus coeficientes de determinación (r^2), que se enumeran en la tabla 7.

En el caso de la longitud de las traqueidas, el Arbol 1 tiene poca influencia; para cada modelo los valores r^2 son aproximadamente los mismos para el análisis de ambos grupos (el de cuatro y el de cinco árboles).

Los efectos de la altura sola (lineales o cuadráticos, modelos 3 y 4) no son de importancia, explicando solamente el 3% de la variación total. Cuando se añaden a los efectos del número de los anillos, sin embargo, ellos aumentan el valor desde un 6070 (efectos lineales y cuadráticos de los anillos, modelos 1 y 2), hasta un 70% (modelos 5 y 6).

El Arbol 1 tiene mucho más efecto sobre la densidad. En los modelos 1, 2, 5 y 6, que incluyen los efectos de los anillos, los valores de r^2 aumentan aproximadamente el triple cuando se omiten los datos del Arbol 1. Hay poca diferencia cuando se consideran solamente los efectos de la altura (modelos 3 y 4), pero los efectos adicionales de la altura y el número de los anillos (modelos 5 y 6) mejoran la bondad de ajuste en un 5%, en relación con los modelos que incluyen solamente los efectos de los anillos (modelos 1 y 2).

Para ambos caracteres anatómicos, hay poca evidencia de un efecto cuadrático del número de los anillos; por ejemplo, los valores de las características están todavía aumentando linealmente en la periferia de los árboles de diez años de edad.

Para la densidad de cuatro árboles, hay un mayor aumento proporcional en la bondad de ajuste de los modelos lineales y cuadráticos de la altura (modelos 3 y 4), pero la disminución lineal de la densidad con el aumento en la altura, cuenta para menos de un quinto de la variación total de esta característica.

Dimensiones de las secciones transversales

Otro grupo de características anatómicas que tienen influencia importante, particularmente en el rendimiento y calidad de la pulpa, son las dimensiones de las secciones transversales de las traqueidas. Estas están siendo evaluadas en todas las muestras cubanas, pero como la recolección, el análisis y la interpretación de esos datos son complejos y consumen mucho tiempo, sólo se da aquí una descripción preliminar de su variabilidad, usando los datos de una muestra radial en los discos a 5% y a 65% de la altura de dos árboles (2 y 5).

Los anchos del lumen (diámetro del lumen) y de la pared doble (espesor de la pared doble de la célula) entre dos células adyacentes, fueron determinados con una amplificación de 1200 veces en ambas direcciones, radial y tangencial, en 60 células, en los anillos **2, 4, 6, 8, 10 y 12** (los discos al **5%** de altura) y **2, 4 y 6** (discos al **65%** de altura). Todos los datos disponibles están ilustrados en las figuras **5 y 6**.

Virtualmente, para todos los anillos, las dimensiones radiales de las células individuales son mayores que las dimensiones tangenciales. En los discos superiores, el espesor de la pared doble de las células es ligeramente menor en la dirección radial, pero esta diferencia probablemente no es estadística ni prácticamente significativa.

El diámetro del lumen disminuye ligeramente del anillo **2** al anillo **12**, en los discos al **5%** de altura y aumenta del anillo **2** al anillo **4**, con un ligero descenso hasta el anillo **6**, en los discos al **65%** de altura.

El espesor de la pared doble de la célula, aumenta linealmente en los discos más bajos de ambos árboles y en el disco superior del Arbol **2**, pero disminuye ligeramente en el disco superior del Arbol **5**. Prácticamente, hay pocas diferencias importantes entre los árboles o los discos, en los valores medios para los seis anillos interiores.

Los valores obtenidos con este material cubano, son similares a los obtenidos por Lantican (**1972**) con árboles de *P. caribaea* var. *hondurensis*, de Honduras Británica. Los datos de todas las muestras cubanas recibirán un tratamiento analítico más riguroso, más adelante (incluyendo el análisis de la relación de Runkel, el poder de aglutinación, el coeficiente de flexibilidad, y las correlaciones entre la densidad, la longitud de las traqueidas y las dimensiones de la sección transversal).

Sin embargo, estos resultados preliminares indican que hasta 12 anillos a partir de la medula, la relación de Runkel es mucho menor de **1,0**; esta relación se expresa como la proporción entre el espesor ue la pared doble de la célula y el diámetro del lumen

$$(\text{relación de Runkel} = \frac{\text{espesor de la pared doble de la célula}}{\text{diámetro del lumen}})$$

Los valores menores de **1,0** indican que el material es generalmente útil para pulpa. Si los valores se tornan muy bajos (menos de **0,25**) la ligadura entre las traqueidas en la pulpa es satisfactoria, pero el rendimiento total se reduce marcadamente.

Hasía los **12** anillos a partir de la medula, el espesor de la pared doble de la célula aumenta, mientras que el diámetro del lumen

permanece efectivamente constante, de forma que la relación de Runkel aumenta también. Si esta tendencia continúa en la proporción actual, el material puede tornarse menos adecuado para pulpa, sobre la base de las dimensiones de las secciones transversales, a los 20 años aproximadamente; aunque la densidad y la longitud de las traqueidas puede aumentar aún, la que mejorará el rendimiento y calidad de la pulpa, para algunos usos.

CONCLUSIONES

El análisis preliminar de los datos de estos cinco árboles indica que *P. caribaea* var. *caribaea* desarrollado en plantaciones, es probable que sea útil para una amplia variedad de usos finales, como madera y pulpa. No pueden observarse rasgos adversos definidos en esta pequeña muestra.

La longitud de las traqueidas es aceptable para pulpa, porque en los anillos interiores es aproximadamente de **2 mm** y por el sexto anillo a partir de la medula, se obtienen valores de **3 mm**. Si las traqueidas exceden grandemente este valor, es posible que tengan que cortarse durante el proceso de hacer la pulpa para reducir la incidencia de coágulos que producen un papel grueso y disparejo; alternativamente ellas pueden mezclarse con fibras más cortas de especies de maderas duras. Las diferencias entre los anillos anuales, los discos y los árboles se añaden a la variación total **Y**, para muchos usos finales, habría una gran ventaja en el mejoramiento genético para lograr la uniformidad dentro y entre los árboles.

La proporción del espesor de la pared doble de la célula y el diámetro del lumen (relación de Runkel) es también aceptable, y es probable que permanezca así para el material, hasta los 20 años de edad.

La madera se torna menos adecuada para madera de construcción, cuando la densidad disminuye por debajo de **0,4 g/cc**; el rendimiento de pulpa también disminuye. Con estas muestras de material cubano de algunos árboles, particularmente de los anillos interiores y los discos más altos, se tienen densidades de **0,35 g/cc**, aproximadamente, pero generalmente la densidad es aceptable después de 6 años, a partir de la medula.

Están en marcha estudios más amplios de estas características anatómicas, con muchas muestras más de varios sitios de Cuba, tanto de *P. caribaea* como de las otras tres especies de pinos indígenas. Estas características anatómicas ofrecen una guía para la conveniencia del material para diversos usos finales, ya que se sabe que las

mismas están correlacionadas con muchas propiedades de la pulpa y la resistencia de la madera. Sin embargo, es todavía deseable conducir ensayos de la conveniencia del material para pulpa ("ensayos para la conversión en pulpa"), y se espera estar en condiciones para iniciar estos ensayos de pulpa, con el material cubano, a la terminación del presente proyecto cooperativo.

REFERENCIAS

BROWN. G. A.

1971. **"A** statistical analysis of density variation in **Pinus** caribaea Morelet grown in Jamaica". Pap. Symp. "Selection and breeding to improve some tropical conifers". **Wkg.** Gp. Breeding Tropical and Subtropical Species. 15 th IUFRO Congress, Gainesville, Florida.

BURLEY J.,J. P. HUGHES, P. FRANKLIN, AND I. GOURLAY.

1971. "Summary report on variarion in density and tracheid length of **Pinus**caribaea var. hondurensis Barr. and Golf. from Jamaica. Pap. Symp. "Selection and breeding to improve some tropical conifers". Wkg Gp. Breeding Tropical and Subtropical Species. 15 th IUFRO Congress, Gainesville, Florida.

EISENHART, C.

19-17, "The assumptions underlying the analysis of variance". Biometrics, 3, 1-21.

LANTICAN, C. B.

1972 "Variation in some structural features and wood propertier of **Pinus** caribaea Morelet from British Honduras". Unpubl. D. Phil. Thesis, Dept. of Forestry, Oxford University, England.

SEARLE, S. R.

1971 "Topics in variance component estimation". Biometrics, 27, **1-76**.

SNEDECOR, G. W. Y W. C. COCHRAN.

1971 "Métodos estadísticos". G. E. C. S. A., México, 1971, 704 pp, traducido de la sexta edición en inglés.

TABLA No. 1

Altura y distancia promedio desde la medula hasta el centro del anillo exterior muestreado en todos los discos.

Número del árbol para este informe.	Número del árbol en la codificación original.	Altura del árbol (m)	Número del disco	Altura (m)	Circunferencia (cm)	Anillo exterior	
						Número	Distancia de la medula al centro (mm)
1	2	16,45	1	0,82	76,0	12	113,4
			2	2,45	69,5	10	98,2
			3	5,75	60,5	8	92,5
			4	10,69	37,5	6	47,5
2	17	16,45	1	0,83	84,0	12	130,1
			2	2,50	72,0	10	107,9
			3	5,84	60,5	8	91,4
			4	10,85	41,0	6	52,8
3	22	15,00	1	0,75	51,5	12	87,8
			2	2,25	48,2	10	79,8
			3	5,25	42,7	8	62,0
			4	9,75	27,2	6	38,4
4	51	16,00	1	0,81	79,5	10	121,8
			2	2,44	68,5	10	97,5
			3	5,70	58,6	8	84,8
			4	10,59	33,5	6	49,6
5	88	15,70	1	0,78	73,2	12	113,8
			2	2,35	67,8	10	100,4
			3	5,49	60,1	8	79,7
			4	10,20	36,5	6	43,6

TABLA No. 2

Componentes de varianza expresados como valores absolutos y como porcentajes de los efectos totales y fortuitos. (basados en el análisis de varianza mostrado en la Tabla No. 2).

Componentes de varianza:	Longitud de las trayectorias			Densidad	
	Valor	Porcentaje de:		Valor	Efectos totales
		Efectos totales	Efectos fortuitos		
V _T	0,0849	13,0	48,9	0,0016	9,4
Ø _D	0,0794	12,1	-	0,0010	5,8
V _{DT}	0,0143	2,2	8,3	0,0022	12,9
V _{qDT}	0,0157	2,4	9,1	0,0003	1,8
Ø _R	0,3889	59,5	-	0	0
V _{RT}	0,0140	2,1	8,1	0,0054	31,6
Ø _{RD}	0,0124	1,9	-	0	0
V _{RDT}	0,0089	1,4	5,2	0,0055	32,1
V _Q	0,0353	5,4	20,4	0,0011	6,4
					8,9
					-
					13,7
					1,9
					-
					33,5
					-
					34,2
					6,8

1.- Los porcentos están presentados para efectos totales para mostrar la importancia de todas las fuentes de variación; los porcentos para efectos fortuitos, indican la importancia de estas fuentes de variación, que se pueden usar en la planificación de muestreo futuro.

TABLA No. 4

Medias y errores standards de las diferencias para tres anillos en cuatro discos de cinco árboles.

Arbol	Longitud de las traqueidas (mm)	Densidad (g/cc)	Discos	Longitud de las traqueidas (mm)	Densidad (g/cc)	Número de los anillos	Long. de las traqueidas (mm)	Densidad (g/cc)
1	2,42	0,47	1	2,28	0,47	2	2,01	0,42
2	2,64	0,39	2	2,65	0,42	4	2,78	0,39
3	2,38	0,43	3	2,88	0,38	6	3,25	0,42
4	3,04	0,37	4	2,91	0,38			
5	2,92	0,39						
e.s. de las dif.	0,08	0,01		0,04	0,01		0,04	0,01
Media general	2,68	0,41						

TABLA No. 5
Análisis de varianza y componentes de la varianza para la densidad y la longitud de las
traqueidas en cinco anillos de los discos basales de cinco árboles.

Entrada	Fuente de variación	G.l.	Longitud de las traqueidas		Densidad		Esperanza del cuadrado medio
			C.M.	F.	C.M.	F.	
1	Arboles	4	1,19	9,2*	0,0165	10,3***	$V_Q + rV_{QT} + r^2V_T$
2	Radiales en los árboles.	5	0,13	5,0**	0,0011	< 1 n.s.	$V_Q + rV_{QT}$
3	Anillos	4	3,84	46,9***	0,0238	< 1 n.s.	$V_Q + qV_{RT} + t^2Q_R$
4	Arboles x Anillos	16	0,0822	3,1**	0,0278	17,2***	$V_Q + qV_{RT}$
5	Residuo	20	0,0261		0,0016		V_Q

Componentes de la varianza	Longitud de las traqueidas		Densidad			
	Valor	Porcentaje de:		Valor		
		Total	Fortuito		Total	
V_T	0,1060	19,0	58,6	0,0015	9,3	9,3
V_{QT}	0,0208	3,7	11,5	0	0	0
Q_R	0,3758	67,5	-	0	0	-
V_{RT}	0,0281	5,1	15,5	0,0131	80,9	80,9
V_Q	0,0261	4,7	14,4	0,0016	9,8	9,8

Notas: Comparaciones apropiadas para la varianza : 1:2 ; 2:5 ; 3:4 ; 4:5

TABLA No. 6

Medias y errores standards de las diferencias para cinco anillos en los discos basales de cinco árboles;

Arbol	Longitud de las traqueidas (mm)	Densidad (g/cc)	Número de los anillos	Longitud de las traqueidas (mm)	Densidad (g/cc)
1	2,56	0,55	2	1,82	0,50
2	2,40	0,47	4	2,32	0,42
3	2,29	0,48	6	2,70	0,45
4	3,05	0,45	8	3,01	0,49
5	2,98	0,45	10	3,43	0,55
e.s. de las dif.	0,16	0,02		0,07	0,02

TABLA No.7 Coeficiente de determinación (r^2) para seis modelos, relacionando la longitud de las traqueidas y la densidad con el número de anillos (R) y la altura (H).

Número del modelo	Variables independientes	Cinco árboles		Cuatro árboles	
		r^2 para		r^2 para	
		Longitud de las traqueidas	Densidad	Longitud de las traqueidas	Densidad
1	R	53,0	15,7	49,1	54,2
2	R + R ²	59,9	19,6	56,1	55,7
3	H	0,3	16,6	0,7	17,0
4	H + H ²	3,0	18,8	3,4	21,5
5	R + R ² + H + H ²	71,7	27,6	68,8	60,6
6	R + R ² + H + H ² + RH	73,0	28,6	69,9	61,0

Figura No. 1

Relación de la longitud de las traqueidas y la densidad, con el número de los anillos a --- cuatro alturas; promediada en cinco árboles.

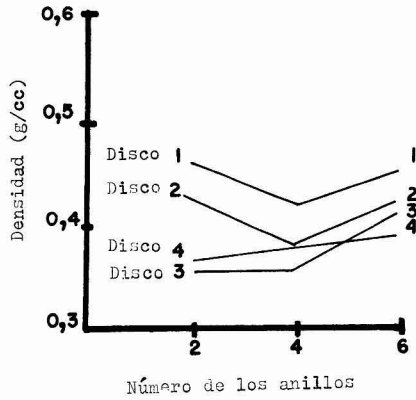
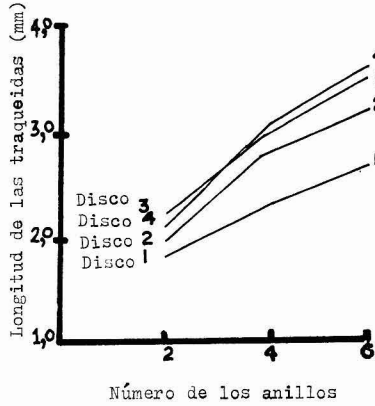


Figura No. 2

Relación de la longitud de las traqueidas y la densidad, con el número de los anillos en cinco árboles; promediada en cuatro discos.

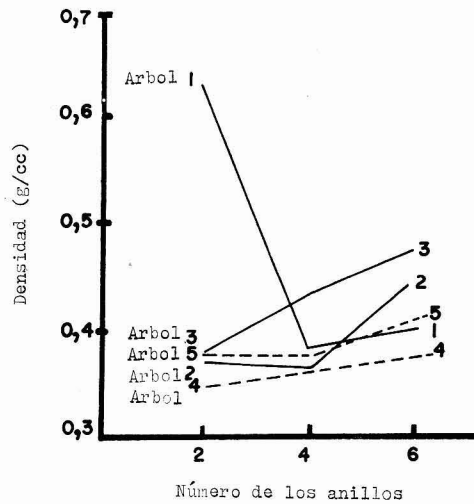
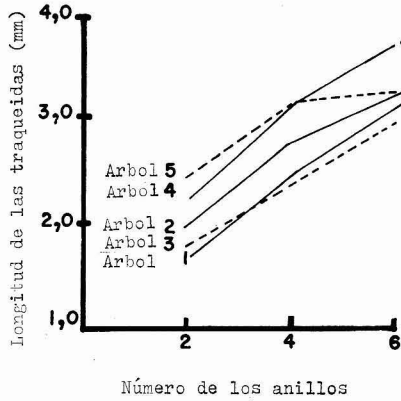


Figura No. 3

Relación de la longitud de las traqueidas y la densidad con la altura, promediada sobre tres pares de anillos en cinco árboles.

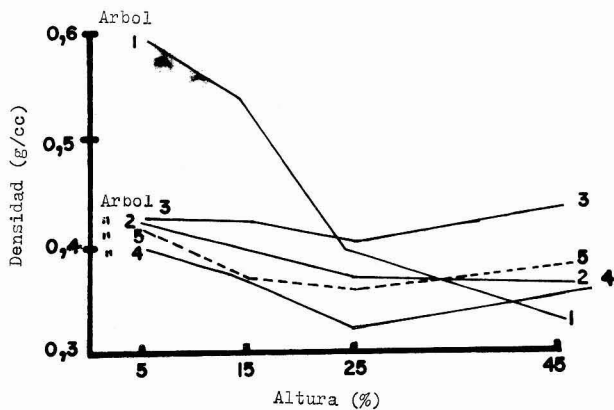
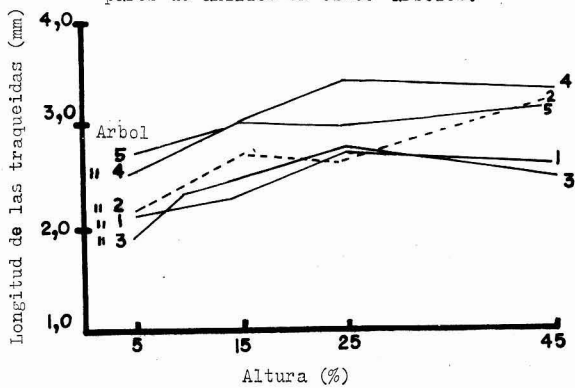


Figura No. 4

Relación de la longitud de las traqueidas y la densidad, con el número de los anillos en el disco inferior de los cinco árboles.

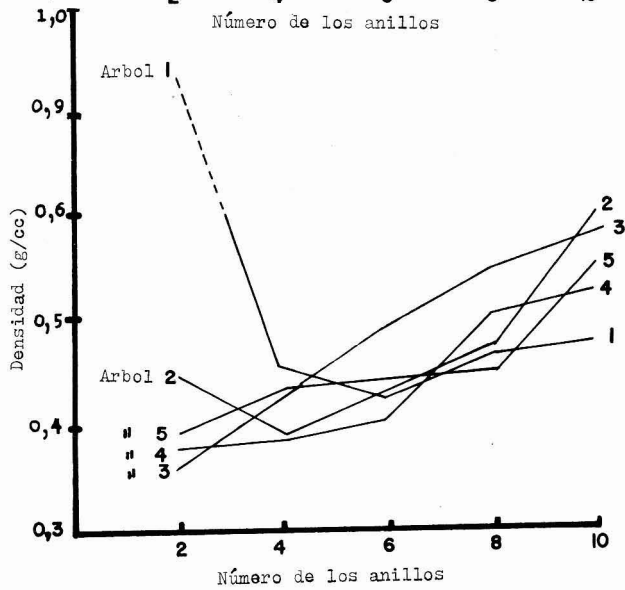
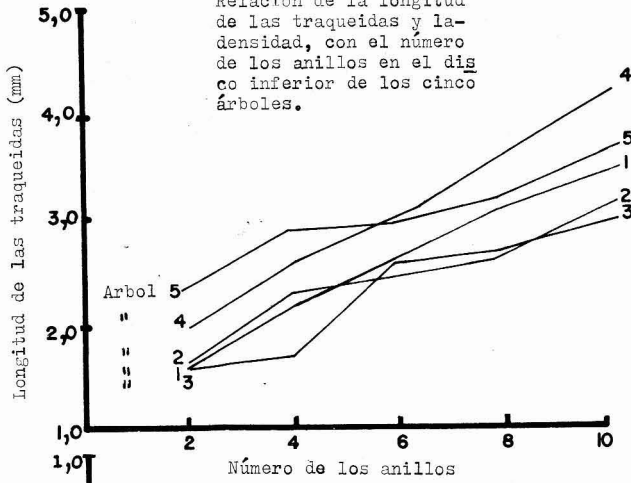


Figura No. 5

Relación del diámetro del lumen (arriba) y el espesor de la pared doble de la célula (abajo), con el número de anillos al 5% de la altura (izquierda), y al 65% de la altura (derecha) del árbol 2.

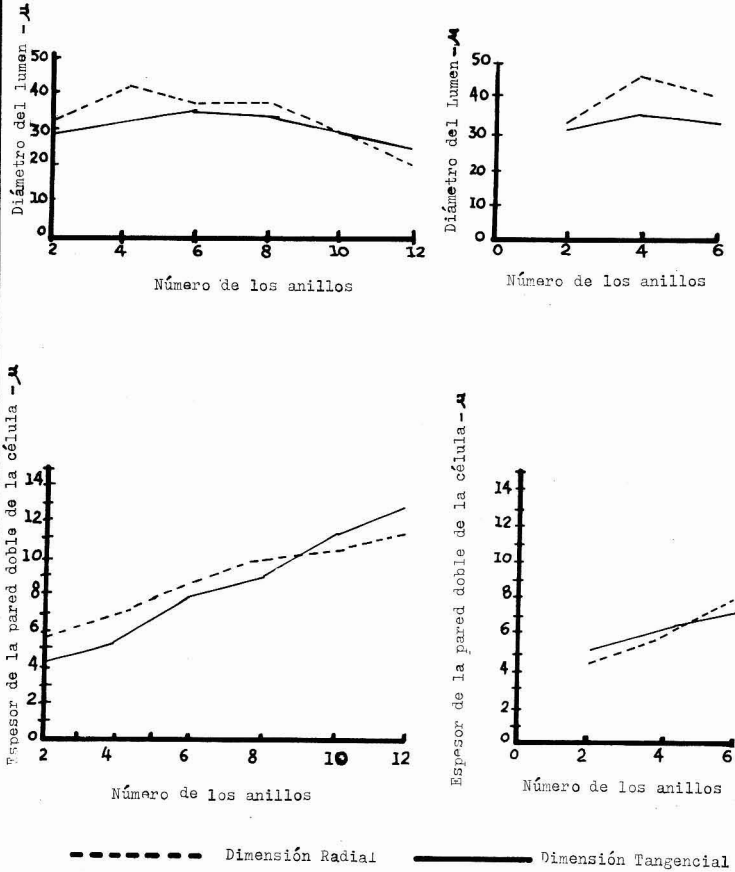


Figura No. 6

Relación del diámetro del lumen (arriba) y el espesor de la pared doble de la célula (abajo) con el número de anillos a una altura del 5% (izquierda) y a una altura del 65% (derecha) del árbol 5.

