

CINCO CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE LA MADERA DE *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr et Golf.

Amparo Borja-de-la-Rosa¹, David J. Meza-Juárez² y Alejandro Romero-López³

RESUMEN

El presente estudio se realizó con 88 árboles de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, procedentes de la plantación forestal ubicada en "La Sabana", Oaxaca. Los objetivos planteados consistieron en determinar la densidad básica, las contracciones lineales de la madera, estimar el porcentaje de madera tardía existente en los anillos de crecimiento y calcular los índices de calidad de la pulpa para papel. Estas características fueron determinadas por anillo de crecimiento y a tres alturas del fuste (0.30, 1.30 y 3.70 m). Los resultados indican que la proporción de madera tardía, la densidad básica, las contracciones radiales y tangenciales aumentan en función de la distancia a la médula, mientras que a mayor altura disminuyen la densidad y las contracciones radiales; asimismo se presenta una relación anisotrópica baja. La longitud, el grosor de paredes y el diámetro total de las traqueidas se incrementa conforme se avanza de la médula hacia la corteza en las tres alturas del fuste. Las traqueidas de un anillo desde la médula son más largas en la parte elevada del mismo y disminuyen su longitud hacia la base del árbol. En los diámetros del lumen se aprecia una relación inversa en función a la distancia desde la médula. Este estudio permite determinar que la pulpa de la madera es buena para la elaboración de papel.

Palabras clave: Calidad de pulpa para papel, contracciones lineales, densidad básica, dimensiones de traqueidas, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, porcentaje de madera tardía.

Fecha de recepción: 22 de enero de 2002.

Fecha de aceptación: 30 de marzo de 2004.

¹ Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Correo-e: aborja@taurus1.chapingo.mx

² Colegio de Posgraduados.

³ Comisión Federal de Electricidad.

ABSTRACT

The present technological study was carried out with 88 trees of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* from a forest plantation located in "La Sabana", Oaxaca. The objectives were to determine the basic density and the lineal shrinkage of the wood, to estimate latewood per cent in growth rings and to calculate the quality indexes for paper pulp. These characteristics were determined by growth rings in three different stem heights (0.30, 1.30 and 3.70 m). The proportion of latewood, basic density and radial and tangential shrinkage increase as the distance from the pith does, however at higher heights in the stem, the density and radial shrinkage tend to diminish, and the anisotropic relationship of shrinkage was low. Length, cell walls width and total diameter of the tracheids increase with the distance from the pith to the bark at the three stem heights. The tracheids are longer in any particular ring from the pith at the highest part of the stem and reduce their length towards the base of the tree. In contrast, the diameter of the lumen has an inverse relationship in regard to the distance from the pith. The pulp wood of this species is considered good for paper production.

Key words: Quality indexes of paper pulp, lineal shrinkage, basic density, tracheids dimensions, *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*, latewood percentage.

INTRODUCCIÓN

México tiene un gran potencial para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales, principalmente en los trópicos, que como opción impulsaría el desarrollo del país al abastecer de materia prima a la industria maderera nacional y aún a la extranjera, y paralelamente, permitiría reducir la presión a los bosques naturales al disminuir la extracción de maderas.

En 1973 se realizó un estudio en la Región Mixe del estado de Oaxaca, en el que se comparó el crecimiento y la supervivencia de varias especies de pinos tropicales; de ellos, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr et Golf. presentó los mejores resultados (Acevedo *et al.*, 1994), que sugieren que esta especie es de gran valor, aunque es necesario ampliar los conocimientos acerca de las propiedades tecnológicas de su madera y de la calidad de su pulpa, cuando el destino de la materia prima es la elaboración de papel.

El propósito de este estudio fue generar información acerca de algunas características tecnológicas de la madera de *P. caribaea* var. *hondurensis* en función de la edad de la plantación. Para ello se analizó el porcentaje de madera tardía existente en los anillos de crecimiento, las dimensiones longitudinales y transversales de las traqueidas, los índices de calidad de la pulpa para papel, la densidad básica y las contracciones lineales de la madera; esto permitirá evaluar su materia prima y poder asignarle un uso óptimo, o bien, definir el momento en

el que las características de la madera son las requeridas para el fin con que se estableció la plantación.

Hernández (1985) menciona que Hartig realizó un estudio pionero en 1894, con un roble de 246 años, que lo muestreó a 1.30 metros de altura; encontró un peso específico de 0.73 g/cm^3 cerca de la médula y de 0.46 g/cm^3 en la parte interna. De igual forma este autor refiere que Want en 1937 reportó que el peso específico de la madera de *Pinus silvestris* L., aumenta desde un mínimo situado en las proximidades de la médula, hasta un valor máximo para una determinada anchura del anillo de crecimiento.

La medición de madera temprana y tardía ha sido estudiada por Muller-Stoll (citado por Hernández, 1985) quien mostró que en *Pinus pinea* Mill., el peso específico en madera temprana y tardía fue de 0.52 y 0.64 g/cm^3 respectivamente. Esa misma tendencia se obtuvo en *Pinus bankasiana* Lamb. en la que el peso específico correspondiente a la madera temprana fue de 0.33 g/cm^3 , mientras que en la madera tardía el valor se elevó a 0.69 g/cm^3 , con lo que la proporción de madera tardía y temprana fue quizás el factor más importante en la variación del peso específico dentro de los árboles.

Zobel *et al.* (1959) indicaron que en *Pinus taeda* L. y *P. ellioti* Engelm., el peso específico se comporta en relación inversa con la altura del árbol. Kramer (1966) señaló que el peso específico de *Tsuga microphylla* en la parte baja del árbol es alto y que a medida que la altura aumenta, el valor es más pequeño.

Voorhies y Jameson (1968) estudiaron la variación de longitud de traqueidas en el crecimiento juvenil de *Pinus ponderosa* P. & C. Lawson, en el sureste de Estados Unidos. Este tipo de información tiene aplicaciones prácticas en la producción de pulpa; así como en la explicación de las variaciones en los valores de contracción y ciertas propiedades mecánicas de la madera. Obtuvieron que la longitud de fibra presenta un comportamiento asintótico con la edad y que la maduración de las fibras ocurre aproximadamente a los cincuenta años.

Guth (1970) determinó la densidad, el porcentaje de madera tardía, la longitud y el diámetro de las traqueidas, año por año, y en sentido de la médula a la corteza, observó que en todas esas características, salvo el diámetro de las traqueidas, van en aumento de la médula a la corteza. Así mismo, se recomendaron como indicadores de la calidad de la madera a temprana edad la longitud de las traqueidas, la densidad y el porcentaje de madera tardía.

Larios (1979) precisó la variación de las dimensiones en las traqueidas de *Pinus hartwegii* Lindl. y *Abies religiosa* (HBK) Schl. et Cham., en dirección de la médula a la corteza; calculó el coeficiente de flexibilidad, el índice de rigidez, el coeficiente de Peteri y la relación de Runkel, y concluyó que las dos especies muestran índices de calidad intermedios y se califican como regulares para la elaboración de papel.

Ladrach (1987) evaluó 156 árboles de *Pinus oocarpa* Schiede entre 4 y 11 años de edad y obtuvo como resultado que la densidad específica aumenta con la edad y disminuye con la altura: a 12 m fue de 0.49 y a 19 m de 0.44; algo similar ocurre con la longitud de las traqueidas, de 2.90 mm a los 4 años y de 3.82 mm a los 12 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material utilizado provino de la plantación "La Sabana", establecida en los municipios de San Juan Cotzocón y Santiago Yaveo, al noroeste del estado de Oaxaca, en los límites con el estado de Veracruz, entre los paralelos 17°20' y 17°26' de latitud norte y los meridianos 95°23' y 95°33' de longitud oeste. La altura sobre el nivel del mar va desde 100 hasta 200 m (Reyes y Zamora, 1977; INEGI, 1984). En el área predomina un clima cálido húmedo con lluvias en verano y un período de sequía en invierno, corresponde al tipo Am(w)(l)g (García, 1983).

Se seleccionaron 88 árboles de los cuales se sacaron tres trozas de 40 cm cada una: la primera (A), de 0.30 a 0.70 m de altura; la segunda (B), de 1.30 a 1.70 m y la tercera (C), de 3.70 a 4.10 m.

Preparación de probetas

Las trozas de 40 cm se seccionaron a partir de su base, en cinco rodajas de 2 cm de longitud cada una; la primera se desechó porque presentaba mayor desecación. Las cuatro rodajas restantes se sumergieron en agua durante una o dos semanas con el fin de saturarlas. Para extraer las probetas se hicieron dos cortes paralelos a partir de la médula hacia la corteza, con un ancho de 2 cm; cada anillo de crecimiento fue separado y numerado con lápiz tinta, de la médula hacia la corteza (probetas individuales para el caso de la densidad, contracción y longitud de traqueidas); para la determinación de la proporción de madera tardía no fue necesario disgregar los anillos.

Estimación del porcentaje de madera tardía

La madera tardía presente en cada anillo de crecimiento, se obtuvo al medir el espesor de la madera temprana y la anchura total del anillo con una lupa estereoscópica graduada en milímetros. La cantidad de madera tardía anual se calculó mediante diferencia aritmética y se expresó en porcentaje.

Medición de traqueidas

La preparación de material disociado fue realizada según la metodología de Huerta (1978) modificada en el laboratorio de Anatomía y Tecnología de la Madera de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma

Chapingo. De cada probeta se separaron astillas de madera, que fueron colocadas en frascos de vidrio y se les agregó una mezcla de ácido acético y peróxido de hidrógeno en partes iguales. Los frascos sellados se sometieron a una temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. El material disociado se enjuagó y fue teñido con fushina; se hicieron preparaciones temporales, y las observaciones se realizaron en un microscopio de pantalla.

Se midieron 18 traqueidas por anillo, la longitud se determinó con el objetivo de 2.5x, los diámetros total y el del lumen con el de 40x; los valores se establecieron en centímetros y se transformaron a micras mediante un factor de conversión para cada objetivo.

Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel

Con los valores medios de la longitud, diámetro total, diámetro del lumen y grosor de la pared celular de las traqueidas se calcularon los índices de calidad de pulpa para papel correspondientes a cada anillo de crecimiento y a las tres alturas de cada árbol con las siguientes fórmulas:

$$CR = \frac{2w}{D} \quad CF = \frac{L}{D} \quad IE = \frac{L}{D} \quad RR = \frac{2w}{l}$$

Donde:

- CR = Coeficiente de rigidez
- 2w = Grosor de las paredes
- D = Diámetro total de la traqueida
- CF = Coeficiente de flexibilidad
- l = Diámetro del lumen
- IE = Índice de esbeltez
- L = Longitud de la traqueida
- RR = Relación de Runkel

Densidad básica

La densidad básica se determinó a partir de una probeta por anillo de crecimiento, en una balanza analítica se tomaron lecturas del peso y del volumen; para este último se usó el método de desplazamiento de fluidos. Las muestras se colocaron en un horno de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, por un periodo de 72 horas a fin de obtener el peso y volumen anhidro; el cálculo final se hizo con la siguiente fórmula:

$$Db = \frac{Po}{Vv}$$

Donde:

- Db = Densidad básica
- Po = Peso anhidro (g)
- Vv = Volumen en verde (cm^3)

Contracciones lineales totales

Las contracciones lineales resultaron de medir con un Vernier de aproximación a la centésima, las dimensiones tangenciales y radiales en estado saturado, inmediatamente después fueron colocadas en un horno a $103^\circ \pm 2^\circ$ durante 72 horas con el objeto de tener las dimensiones en estado anhidro. Las contracciones se calcularon con las siguientes fórmulas:

$$\beta_{(tot)}(\%) = \frac{D_v - D_o}{D_v} * 100$$

Donde:

- $\beta_t(\%)$ = Contracción tangencial total en porcentaje
- $\beta_r(\%)$ = Contracción radial total en porcentaje
- D_v = Dimensión en verde (mm)
- D_o = Dimensión anhidra

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observa en la Figura 1 una clara tendencia de aumento en la proporción de madera tardía en función de la edad, debido a que con el paso del tiempo los anillos disminuyen en grosor al igual que la formación de madera temprana. Asimismo, los valores en las tres alturas muestran un patrón similar en su comportamiento.

En las tres alturas, la menor proporción de madera tardía se registró en el anillo número uno, que fue de 11.46, 10.44 y de 9.07%, respectivamente; para la altura A los valores fueron de 66.37% y para la altura B de 66.17%, que corresponden a los porcentajes más altos y se ubicaron en el último anillo; en la altura C el valor máximo de 65.3% se presentó en el anillo 15, con una disminución posterior. La desviación estándar general se calculó en 15.95, y las de cada tramo en 16.06, 16.19 y 16.25. Estos resultados se deben a que la proporción de madera tardía aumenta con la edad, porque al paso del tiempo los anillos disminuyen en grosor.

Los valores promedio de madera tardía en las tres alturas A, B y C, fueron de 41.2, 39 y 37.1%; esta reducción de la proporción de la madera tardía es similar a la citada por Markstron *et al.* (1973), lo que coincide con Daniel *et al.* (1982)

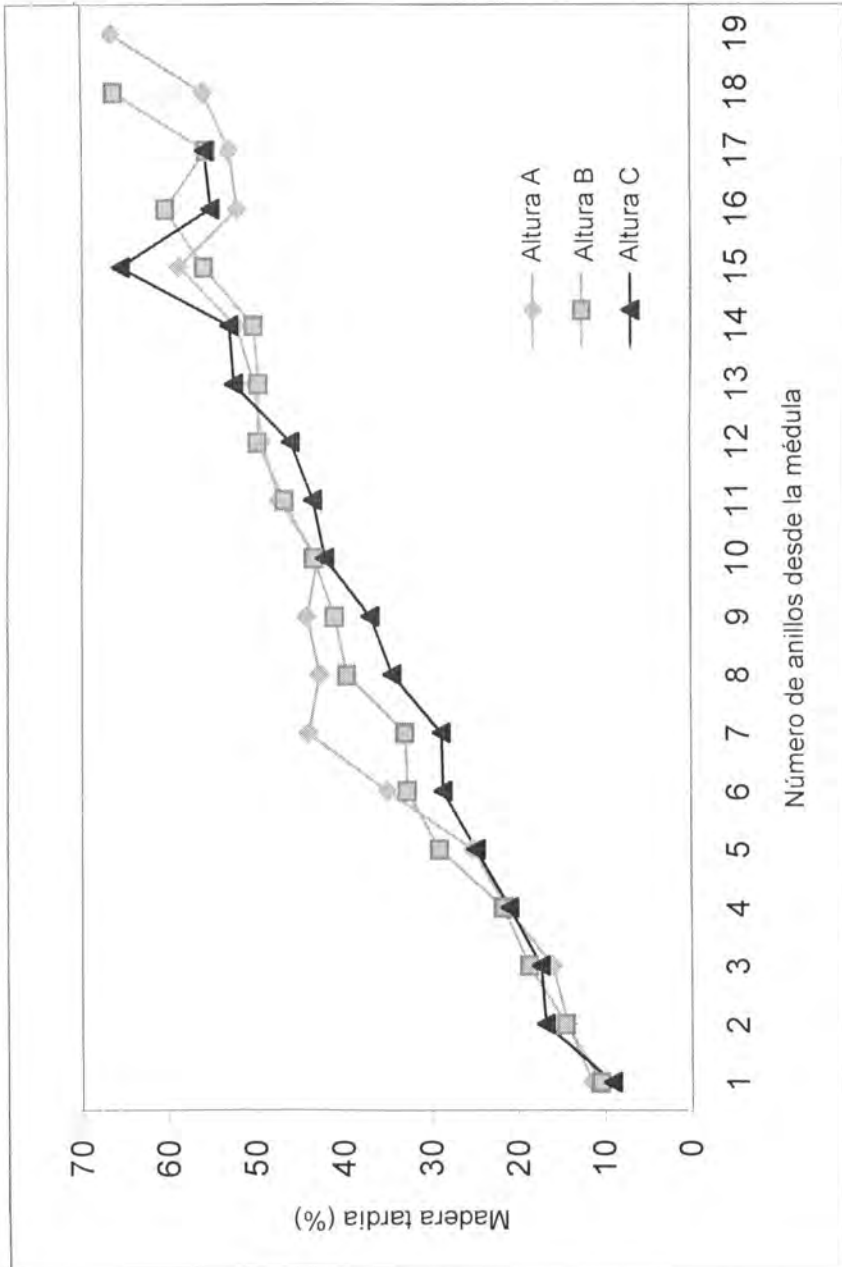


Figura 1. Porcentaje de madera tardía en las tres alturas.

quienes explicaron que debido a mecanismos fisiológicos se tiene mayor proporción de madera temprana en la parte alta del árbol.

Con relación a la longitud de las traqueidas, en las tres alturas estudiadas se presentó la misma tendencia (Figura 2); las longitudes mínimas fueron de 1792.88 μ en la altura A, 2033.07 μ en la B y 1963.30 μ en la C. En la altura A la mayor longitud correspondió a un anillo cercano a la corteza (18), la cual fue de 5400.32 μ , en la altura B ocurrió en el último anillo cercano a la corteza (16) con 5707.34 μ y en la altura C el penúltimo anillo (14) tuvo una longitud de 5905.96 μ . En promedio, la longitud de las traqueidas fue de 4411.88 μ , con desviaciones estándar de 1088, 1094, 1215, respectivamente y desviación general de 1121.

Plumtre (1984) obtuvo comportamientos similares en individuos de 14 y 20 años de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, con longitudes de 2000 μ hacia la médula y de 6000 μ en las proximidades de la corteza, estos valores disminuyen lentamente con la edad. En este estudio no se observó el decremento en la longitud de las traqueidas debido a la edad de los árboles. En el Cuadro 1 se muestra una comparación con varias coníferas, donde *P. caribaea* destaca por tener las traqueidas más largas.

Cuadro 1. Comparación de la longitud de traqueidas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* con otras coníferas.

Especie	Longitud de traqueidas (micras)	Referencia
<i>Pinus arizonica</i> †	3385	Hernández (1994)
<i>Pinus montezumae</i>	3458	Fuentes (1987)
<i>Pinus hartwegii</i>	3616	Larios (1979)
<i>Abies religiosa</i>	3755	Larios (1979)
<i>Picea chihuahuana</i>	3926	Sánchez (1999)
<i>Pinus arizonica</i>	4139	Borja y Tamarit (1997)
<i>Pinus cooperi</i>	4190	Cruz y Borja (1995)
<i>Pinus caribaea</i>	4412	Presente estudio

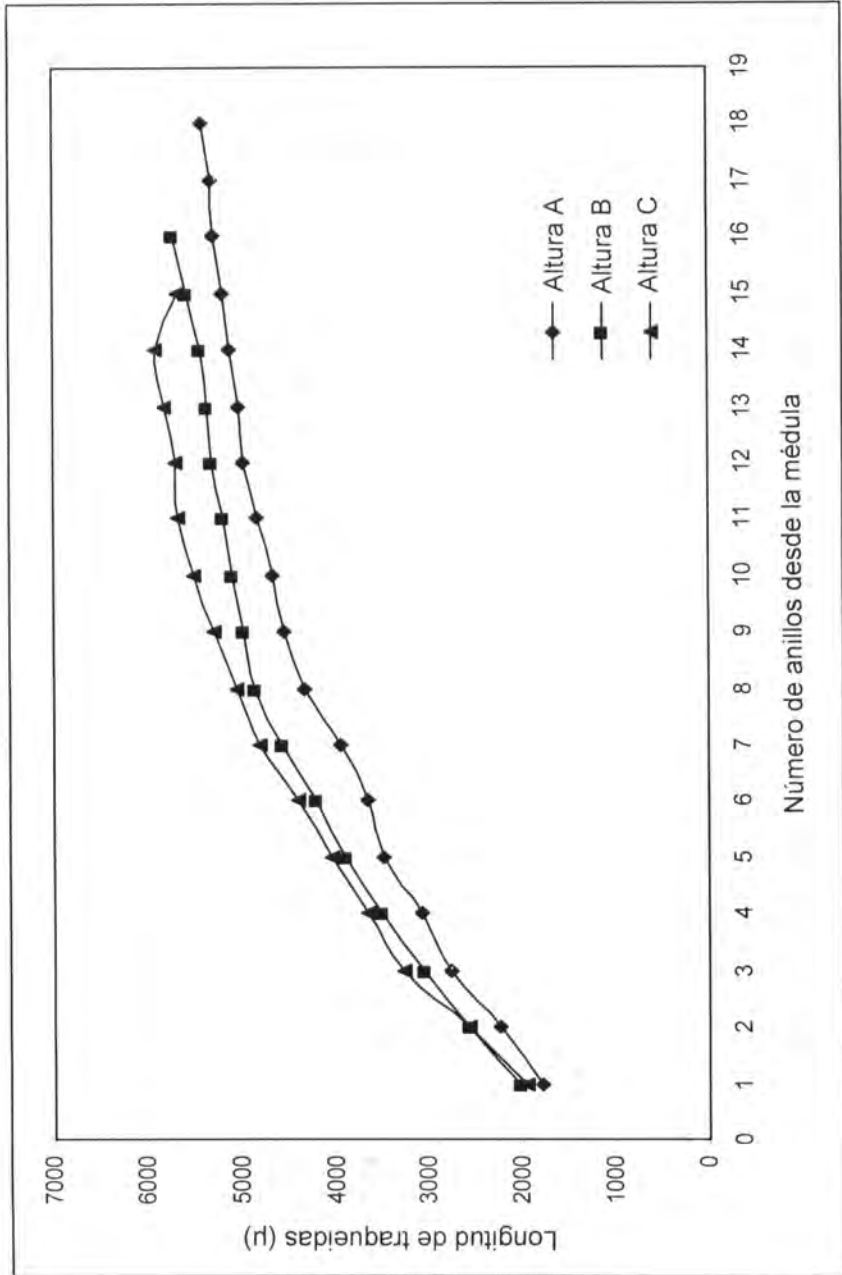


Figura 2. Longitud de traqueidas en las tres alturas.

En cuanto al diámetro total, el valor promedio mínimo ocurrió en el primer anillo y fue de 49.68 μ para la altura A, de 4.147 μ en la B y de 41.96 μ en la C. Referente al diámetro máximo, este se ubicó para la altura A, en el anillo 15 con 51.00 μ ; para la altura B, en el anillo 12 con 51.64 μ y para la altura C, en el anillo 8 con 57.27 μ en promedio. El diámetro total presentó un rango de 40.68 a 52.27 μ , con un promedio general de 47.72 μ .

El diámetro del lumen máximo tanto para la altura A como para la B se obtuvo en el anillo inicial con valores de 34.63 y 35.75 μ , respectivamente. Los diámetros menores se midieron en la altura A, en el anillo más cercano a la corteza (22.06 μ) y para la altura B en el último anillo (22.73 μ). Algo similar se determinó para la altura C, sólo que en ésta el mayor diámetro promedio correspondió al segundo anillo. El rango para los diámetros del lumen fue de 15.95 a 38.94 μ y el promedio general de 27.99 μ .

Con relación al grosor de las paredes, en las tres alturas, el valor más bajo se presentó en el primer anillo con 6.06, 2.96 y 2.96 μ y el mayor en el último anillo con 24.85, 13.14 y 14.38 μ , respectivamente, con lo que se tiene un rango muy amplio que va de 2.96 a 24.38 μ y un promedio general de 13.48 μ .

Los índices de calidad de pulpa para papel se calcularon con los datos antes expuestos de las dimensiones de las traqueidas. En la Figura 3 se muestra el coeficiente de rigidez que relaciona el grosor de las paredes y el diámetro total. En la altura A el coeficiente de rigidez mínimo es de 0.26 y el máximo de 0.50; en la altura B el valor mínimo es de 0.13 y el máximo de 0.24 y en la altura C el valor mínimo es de 0.11 y el máximo de 0.27 con sus respectivas desviaciones estándar de 0.1088, 0.0603 y 0.0721 y una general de 0.1305. Así mismo, el coeficiente de rigidez se incrementa a medida que se aproxima a la corteza, con un promedio general de 0.28.

Según la clasificación de Petroff y Normand (1968), existen paredes delgadas y muy delgadas en el centro del fuste y paredes delgadas con grosores medios en la periferia, por lo que las traqueidas de la madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* presentan buena superficie de contacto y unión entre ellas, lo que les da una alta resistencia a la tensión. Los coeficientes son más bajos en las alturas B y C.

En el Cuadro 2 se observa que *P. caribaea* var. *hondurensis* en comparación con otras coníferas tiene un coeficiente de rigidez muy bajo a excepción de *Picea chihuahuana*, este valor indica que las células se pueden colapsar fácilmente, lo que proporciona una mayor resistencia a la tensión en el papel (Porres y Valladares, 1979).

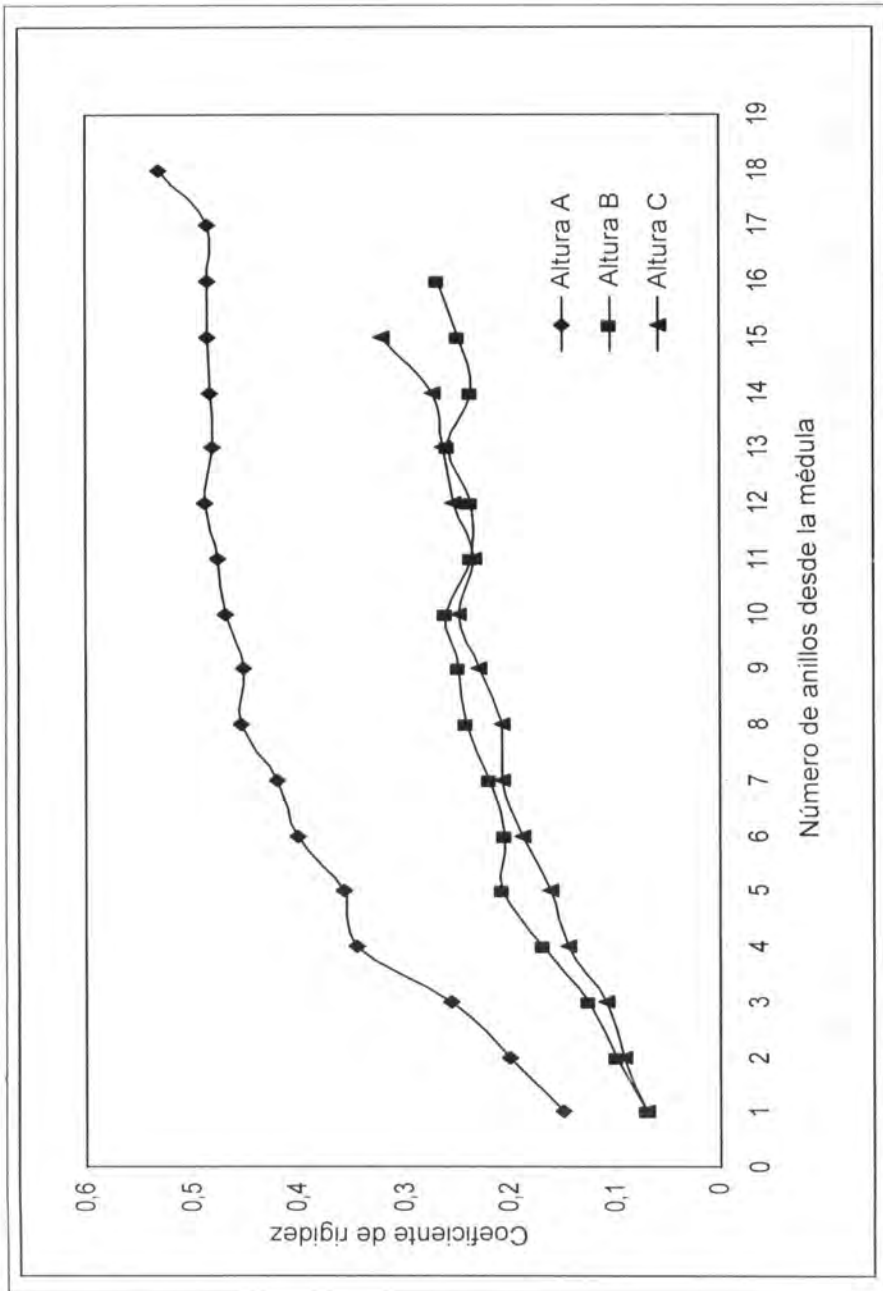


Figura 3. Coeficiente de rigidez en las tres alturas.

Cuadro 2. Comparación del coeficiente de rigidez de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* con otras coníferas.

Especie	Coeficiente de rigidez	Referencia
<i>Picea chihuahuana</i>	0.20	Sánchez (1999)
<i>Pinus caribaea</i>	0.28	Presente estudio
<i>Pinus montezumae</i>	0.32	Fuentes (1987)
<i>Pinus arizonica</i> ¹	0.33	Hernández (1994)
<i>Pinus arizonica</i>	0.40	Borja y Tamarit (1997)
<i>Abies religiosa</i>	0.52	Larios (1979)
<i>Pinus hartwegii</i>	0.52	Larios (1979)
<i>Pinus cooperi</i>	0.55	Cruz y Borja (1995)

En las tres alturas evaluadas, este coeficiente tuvo valores superiores hacia la médula, los cuales disminuyeron hasta un mínimo en la proximidad de la corteza (Figura 4). Para la altura A en el anillo uno fue de 0.74, para la B de 0.73 y para C de 0.77, los valores en el último anillo resultaron ser: 0.50, 0.43 y 0.46, respectivamente, con un promedio general de 0.59 y las correspondientes desviaciones estándar de 0.1095, 0.1206 y 0.1442; así como una desviación estándar general de 0.1220.

Según la clasificación de Petroff y Normand (1968), los datos anteriores son un indicativo de paredes con grosores medios; además las fibras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* son elípticas en su sección transversal y presentan tanto buena superficie de contacto como unión entre fibra y fibra, por lo que se colapsan en forma parcial (Porres y Valladares, 1979).

En el Cuadro 3 se comparan el coeficiente de flexibilidad de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* con otras coníferas y se aprecia que sólo es inferior al de *Picea chihuahuana* y *Pinus montezumae*. Con base en este coeficiente, se puede considerar a la madera de *P. caribaea* como materia prima de buenas características para la producción de pulpa para papel.

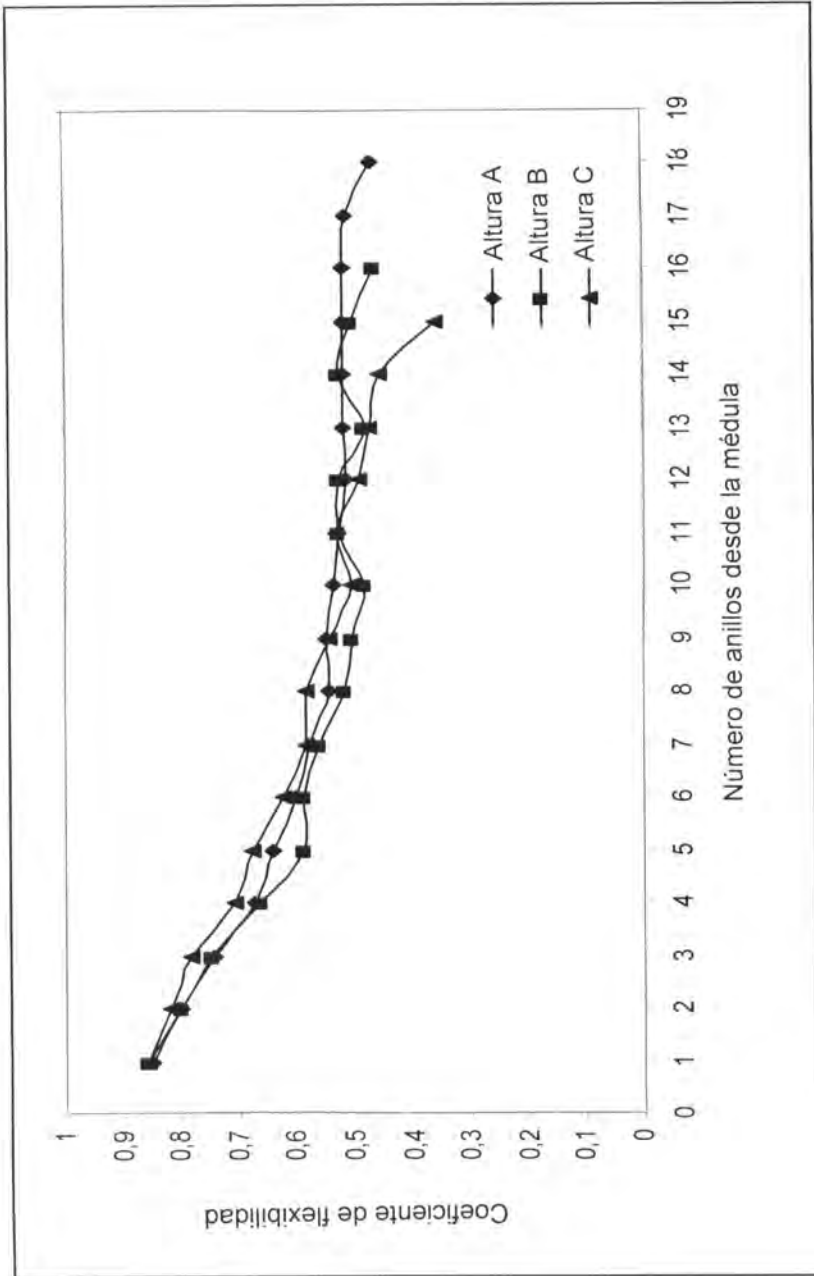


Figura 4. Coeficiente de flexibilidad en las tres alturas.

Cuadro 3. Comparación del coeficiente de flexibilidad de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* con otras coníferas.

Especie	Coeficiente de flexibilidad	Referencia
<i>Pinus arizonica</i>	0.30	Borja y Tamarit (1997)
<i>Pinus arizonica</i> ¹	0.35	Hernández (1994)
<i>Pinus cooperi</i>	0.45	Cruz y Borja(1995)
<i>Abies religiosa</i>	0.52	Larios (1979)
<i>Pinus hartwegii</i>	0.52	Larios (1979)
<i>Pinus caribaea</i>	0.59	Presente estudio
<i>Pinus montezumae</i>	0.68	Fuentes (1987)
<i>Picea chihuahuana</i>	0.79	Sánchez (1999)

En la Figura 5 se observa la tendencia de aumento del coeficiente de Peteri de la médula hacia la corteza. Se considera que la longitud de las traqueidas es uno de los principales indicadores para determinar la utilidad que tiene una especie en la elaboración de pulpa para papel, ya que entre más largas sean dichas estructuras es mejor, puesto que proporcionan mayor resistencia al rasgado, debido posiblemente al enlazamiento entre las fibras como resultado de una distribución de fuerzas en el papel (Larios, 1979). Las alturas A, B y C presentaron en los primeros anillos y en los últimos, valores de 61.0, 67.55 y 66.0 y de 109.0, 116.45 y 117.0, respectivamente, con un promedio general de 91.55; desviaciones estándar de 20.0304 (A), 19,8787 (B) y 24.1797 (C) y una desviación estándar general de 21.0638.

Entre mayor sea el valor del coeficiente de Peteri será mayor el entrelazamiento de las fibras, lo que da como resultado una mayor resistencia al rasgado de la pulpa sin refinar, ya que al aumentar el refinado se producen cortes, disminuyendo la longitud. Con mayores longitudes se incrementa la longitud de rompimiento de la hoja. Este coeficiente también indica un mejor entrelazamiento de las fibras. En el Cuadro 4 *Pinus caribaea* var. *hondurensis* sobresale entre otras siete coníferas por su coeficiente de Peteri más alto.

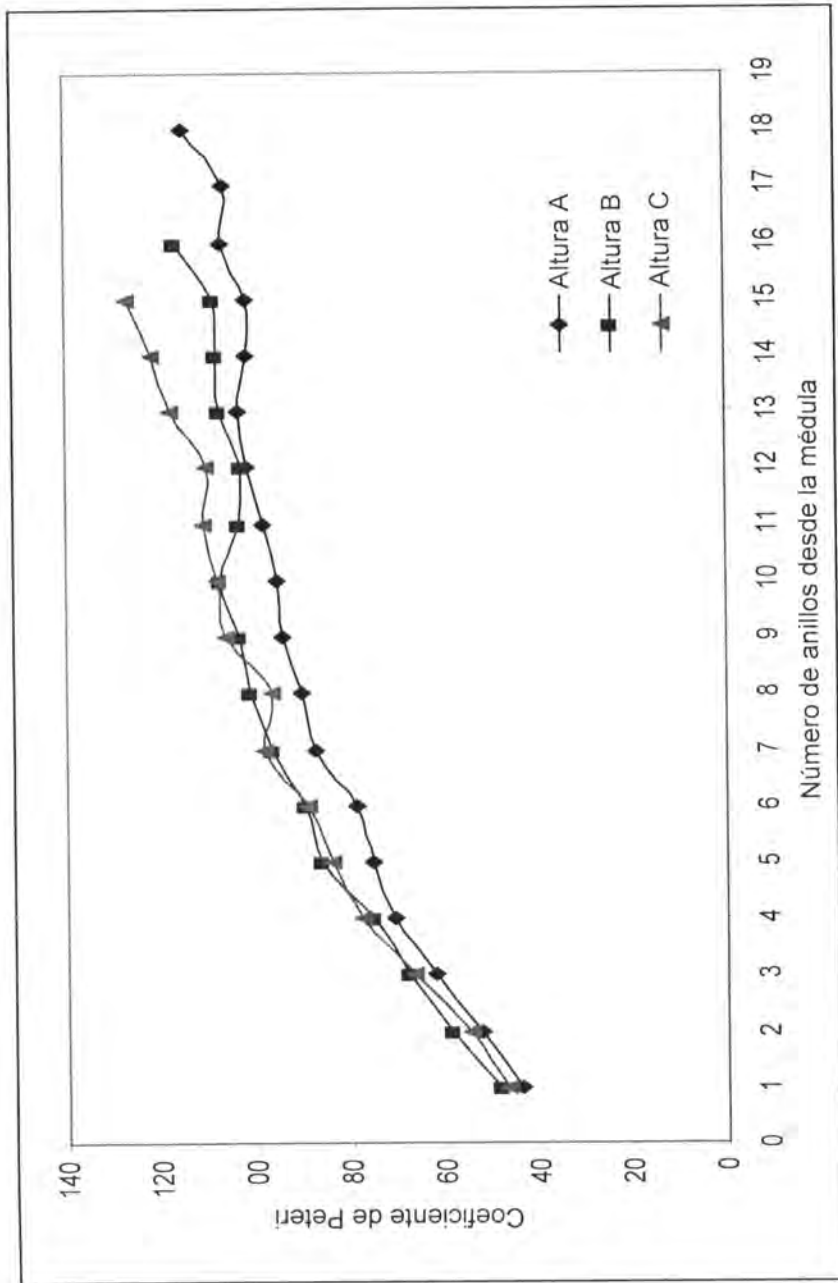


Figura 5. Coeficiente de Peteri en las tres alturas.

Cuadro 4. Comparación del coeficiente de Peteri de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* con otras coníferas

Especie	Coeficiente de Peteri	Referencia
<i>Pinus montezumae</i>	65.91	Fuentes (1987)
<i>Pinus hartwegii</i>	70.73	Larios (1979)
<i>Abies religiosa</i>	74.61	Larios (1979)
<i>Pinus arizonica</i> ¹	78.5	Hernández (1994)
<i>Pinus cooperi</i>	80.95	Cruz y Borja (1995)
<i>Pinus arizonica</i>	85.44	Borja y Tamarit (1997)
<i>Picea chihuahuana</i>	90.25	Sánchez (1999)
<i>Pinus caribaea</i>	91.55	Presente estudio

La Relación de Runkel vincula el grosor de la pared celular con el diámetro del lumen, y se considera como el indicador principal para determinar la calidad de pulpa para papel. La Figura 6 ilustra la tendencia de esta relación en las tres alturas. En los primeros anillos se encontraron valores de 0.36, 0.19 y 0.15 para las alturas A, B y C y en los últimos de 1.00, 0.57 y 0.60, con un promedio general de 0.51 y desviaciones estándar de 0.2709, 0.1528 y 0.2175 respectivamente y una desviación estándar general de 0.2796.

Estos valores indican que la pulpa de la base del árbol tiene calificaciones de buena a regular, mientras en las alturas B y C las calificaciones van de buenas a excelentes, lo cual permite generalizar que la pulpa de la madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* procedente de "La Sabana" es muy buena para la elaboración de papel, sobre todo en los primeros anillos de crecimiento y a cualquier altura.

En el Cuadro 5 se puede observar que según el valor de la clasificación de la Relación de Runkel la madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* fue clasificada como buena para el papel (Porres y Valladares, 1979).

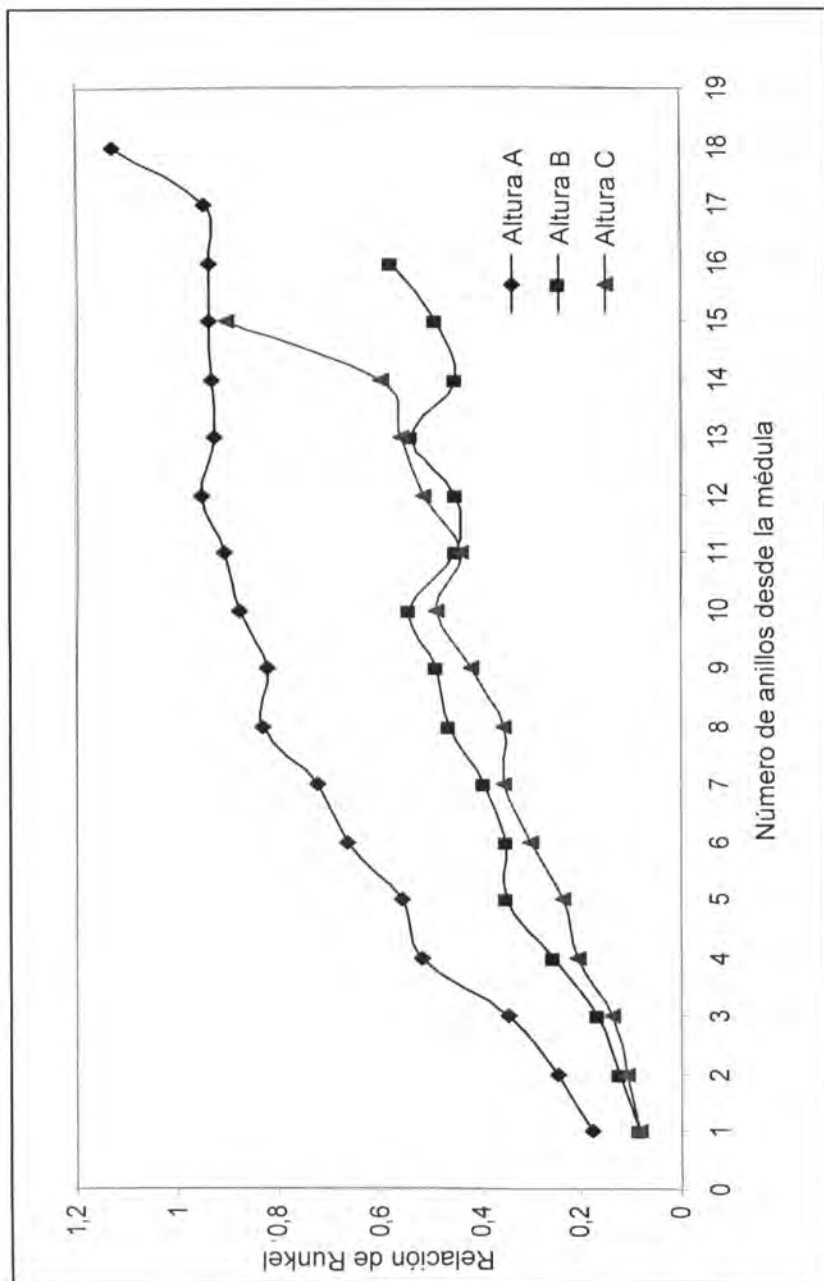


Figura 6. Relación de Runkel en las tres alturas.

Cuadro 5. Comparación de la Relación de Runkel de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* con otras coníferas.

Especie	Relación de Runkel	Referencia
<i>Picea cl.ihuahuana</i>	0.27	Sánchez (1999)
<i>Pinus caribaea</i>	0.51	Presente estudio
<i>Pinus arizonica</i>	0.52	Borja y Tamarit (1997)
<i>Pinus montezumae</i>	0.55	Fuentes (1987)
<i>Pinus arizonica</i> 1	0.61	Hernández (1994)
<i>Pinus hartwegii</i>	1.17	Larios (1979)
<i>Abies religiosa</i>	1.21	Larios (1979)
<i>Pinus cooperi</i>	1.55	Cruz y Borja (1995)

En la Figura 7 se muestra el comportamiento de la densidad básica en la altura A, que aumenta a un ritmo de crecimiento acelerado hasta el anillo seis, a partir del cual se estabiliza, y disminuye en los últimos tres anillos. Los rangos van desde 0.39 a 0.65 g/cm³, el promedio es de 0.58 g/cm³, con una desviación estándar de 0.0766. La altura B tiene un patrón de comportamiento similar a la altura inferior, excepto en los dos últimos anillos en los que se manifiesta un incremento; los rangos en dicha altura son de 0.40 a 0.69 cm³, y el promedio de 0.50 g/cm³, presenta una desviación estándar de 0.0865.

Por último, en la altura C, asciende en forma constante la densidad básica conforme crece el número de anillos de la médula hacia la corteza, y varía desde 0.38 a 0.65 g/cm³, un promedio de 0.53 g/cm³, con una desviación estándar de 0.0925. El rango total de la densidad básica es de 0.38 a 0.69 g/cm³, y el promedio total de 0.56 g/cm³, con una desviación estándar general de 0.0864 por lo que se clasifica como una madera semipesada (Vignote y Jiménez, 1996).

La densidad básica disminuye conforme se incrementa la altura, lo que es similar a lo citado por Lenhart *et al.* (1977) en *Pinus taeda* L.; Markstrom *et al.* (1983), en *Pinus ponderosa* Dougl. ex. Laws y Ladrach (1987) en *Pinus oocarpa* Schiede.

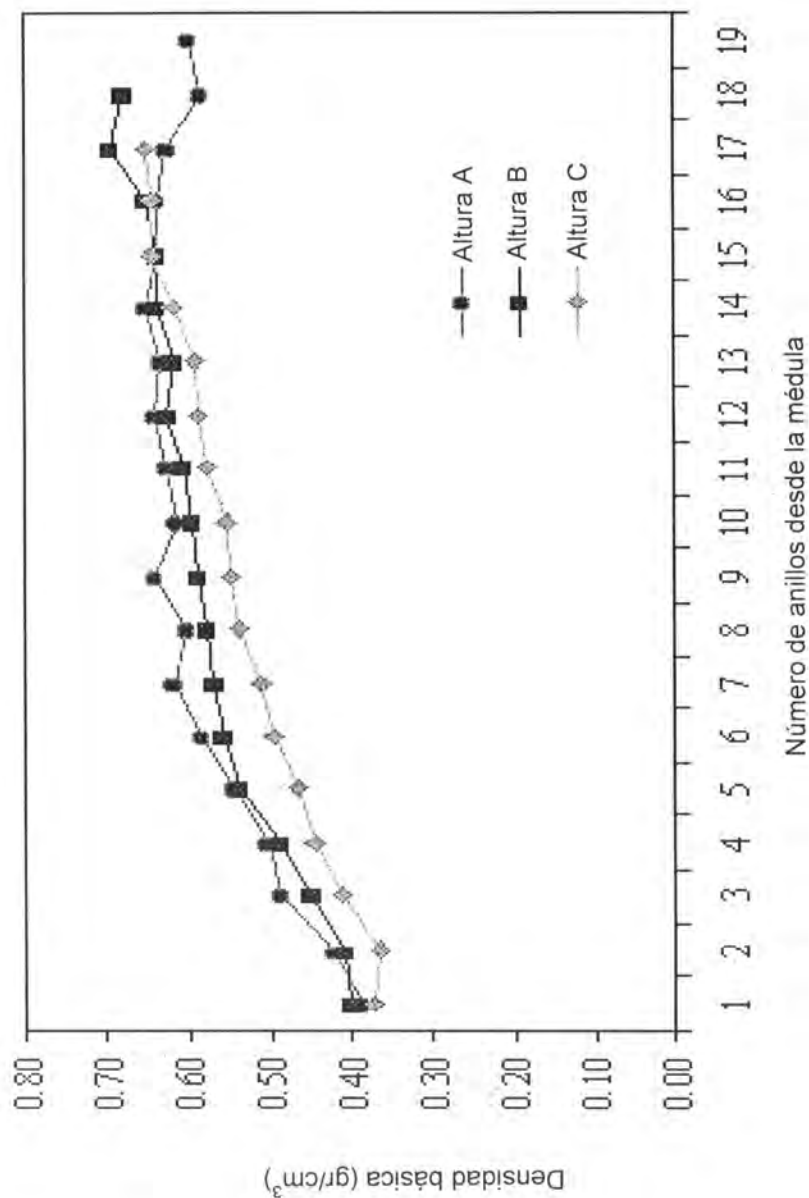


Figura 7. Densidad básica en las tres alturas.

Barnes *et al.* (1977) obtuvieron valores parecidos en *Pinus caribaea* a los seis años de edad, lo mismo que Resch y Bastendoff (1978) a edades de entre 10 y 17 años; Plumptre (1984) en plantaciones de África calculó densidades de 0.41 a 0.68 g/cm³ en árboles de ocho a 17 años y mencionó que la densidad básica de *Pinus caribaea* en áreas de crecimiento natural, con árboles de 30 años de edad, presenta un rango de 0.381 a 0.50 g/cm³.

El Cuadro 6 indica que la madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* es la más densa en comparación con varias especies maderables, las cuales no provienen de plantaciones, ya que se espera que la madera de plantaciones sea menos densa.

Cuadro 6. Comparación de la densidad básica de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* con otras coníferas.

Especie	Densidad básica g/cm ³	Referencia
<i>Abies religiosa</i>	0.34	Larios (1979)
<i>Picea chihuahuana</i>	0.37	Sánchez (1999)
<i>Pinus arizonica</i> 1	0.38	Hernández (1994)
<i>Pinus arizonica</i>	0.42	Borja y Tamarit (1997)
<i>Pinus cooperi</i>	0.43	Cruz y Borja (1995)
<i>Pinus montezumae</i>	0.43	Fuentes (1987)
<i>Pinus hartwegii</i>	0.44	Larios (1979)
<i>Pinus caribaea</i>	0.56	Presente estudio

Con relación a la contracción radial, se puede observar en la Figura 8 que la altura A no muestra un patrón uniforme a partir del anillo doce, los valores varían en un intervalo de 4.2 a 10.32% y el promedio resultante es del 7.0%. De manera diferente la altura B, en la cual se manifiesta un ascenso uniforme hasta el penúltimo anillo de crecimiento, los valores extremos a esta altura son de 3.2 y 9.0%, el promedio del 6.1%. La altura C mantiene un comportamiento semejante a la altura B. La variación dentro de dicha altura es de 4.3 a 7.6%, con un promedio de 5.9%. Las desviaciones estándar de las tres alturas fueron

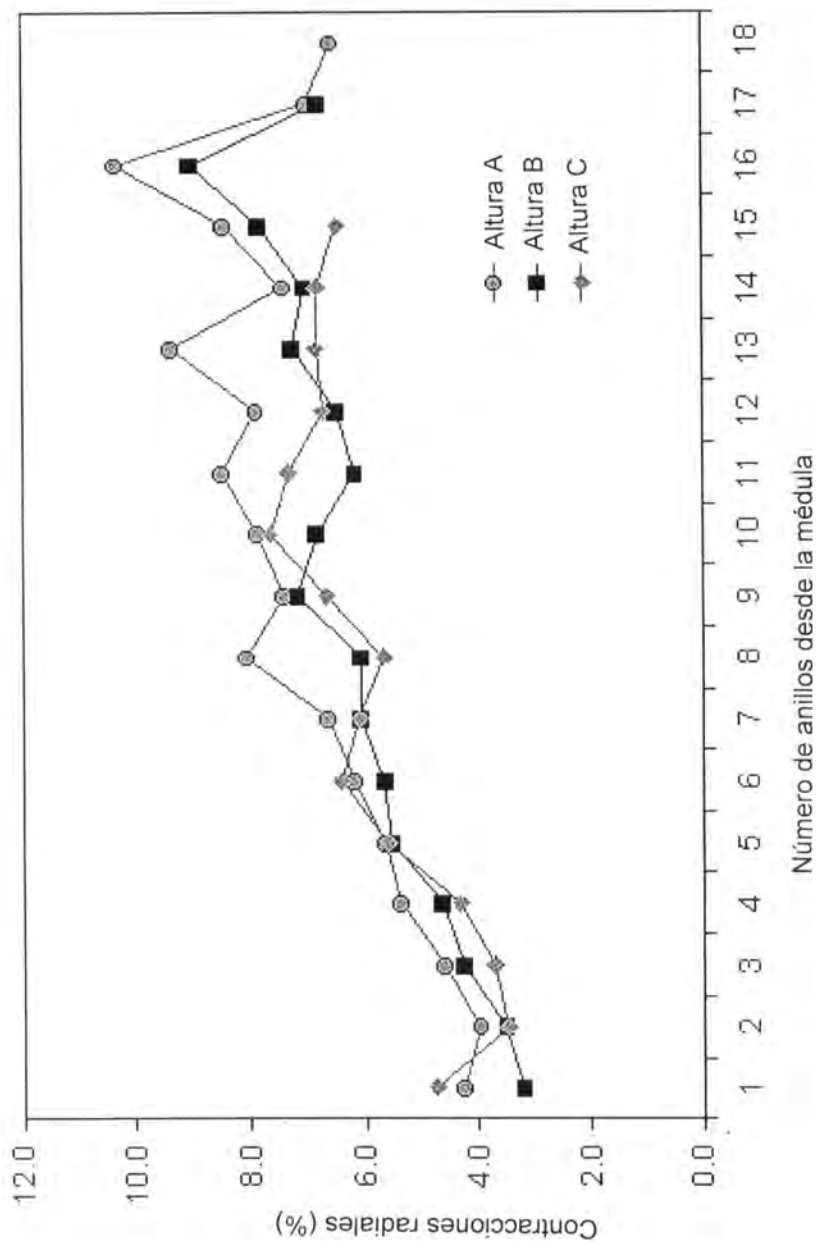


Figura 8. Contracción radial en las tres alturas.

de 1.6838 (A), 1.5469 (B) y 1.3128 (C) y una general de 1.5729. Estos resultados coinciden con los registrados por Plumptre (1984), para la misma especie en las Islas Fiji; lo mismo ocurre con los valores obtenidos en rodales naturales, lo cual puede obedecer a que las condiciones de crecimiento son parecidas. El promedio total fue de 6.2%, considerándose como muy alto (Salinas, 2000).

La Figura 9 presenta un patrón de comportamiento de las contracciones tangenciales muy similar hasta el decimoquinto anillo en las tres alturas. Para la altura A el rango va desde 3.9 a 7.7%, con un promedio de 6.9% (desviación estándar de 1.5266). En la altura B el porcentaje de contracciones aumenta de 4.1 a 8.5%, con 7.1% en promedio (desviación estándar de 1.382). Por otro lado, en la altura C se tiene un mínimo de 4.7% y un máximo de 7.8%, con 6.9% de promedio y desviación estándar de 1.2011; una desviación estándar general de 1.327. El promedio total de las contracciones fue de 7.0%, lo que lo clasifica como "alto" según Salinas (2000). Plumptre (1984), citó que en rodales naturales de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, la contracción tangencial es de 7.8 a 8.0% y en las plantaciones de la misma especie en las Islas Fiji es de 6.4%.

La relación anisotrópica es el resultado de la interacción entre la contracción tangencial total y la contracción radial. En la especie estudiada fue de 1.10 y se considera baja según la clasificación de Salinas (2000), lo cual indica que es una madera dimensionalmente estable.

CONCLUSIONES

La madera tardía en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* está presente en 39.46% en tres alturas del fuste: 0.30 a 0.70 m, de 1.30 a 1.70 m y de 3.70 a 4.10 m. En todas ellas las traqueidas más largas se localizan cerca de la corteza.

El coeficiente de rigidez señala que las traqueidas tienen una alta resistencia a la tensión, lo que implica que tienen una buena superficie de contacto y buena unión entre ellas.

Los valores más altos del coeficiente de flexibilidad se ubican en la cercanía de la médula. La madera juvenil se caracteriza por tener paredes delgadas y muy flexibles.

La relación de Runkel da calificaciones de buenas a excelentes para el material de estudio, lo cual significa que la pulpa de la madera de *P. caribaea* es muy recomendable para la elaboración de papel, especialmente en los primeros anillos de crecimiento y en las tres alturas estudiadas.

Los valores superiores del coeficiente de Peteri se presentan en la proximidad de la corteza, lo que denota un mejor enlace de las traqueidas y un aumento en

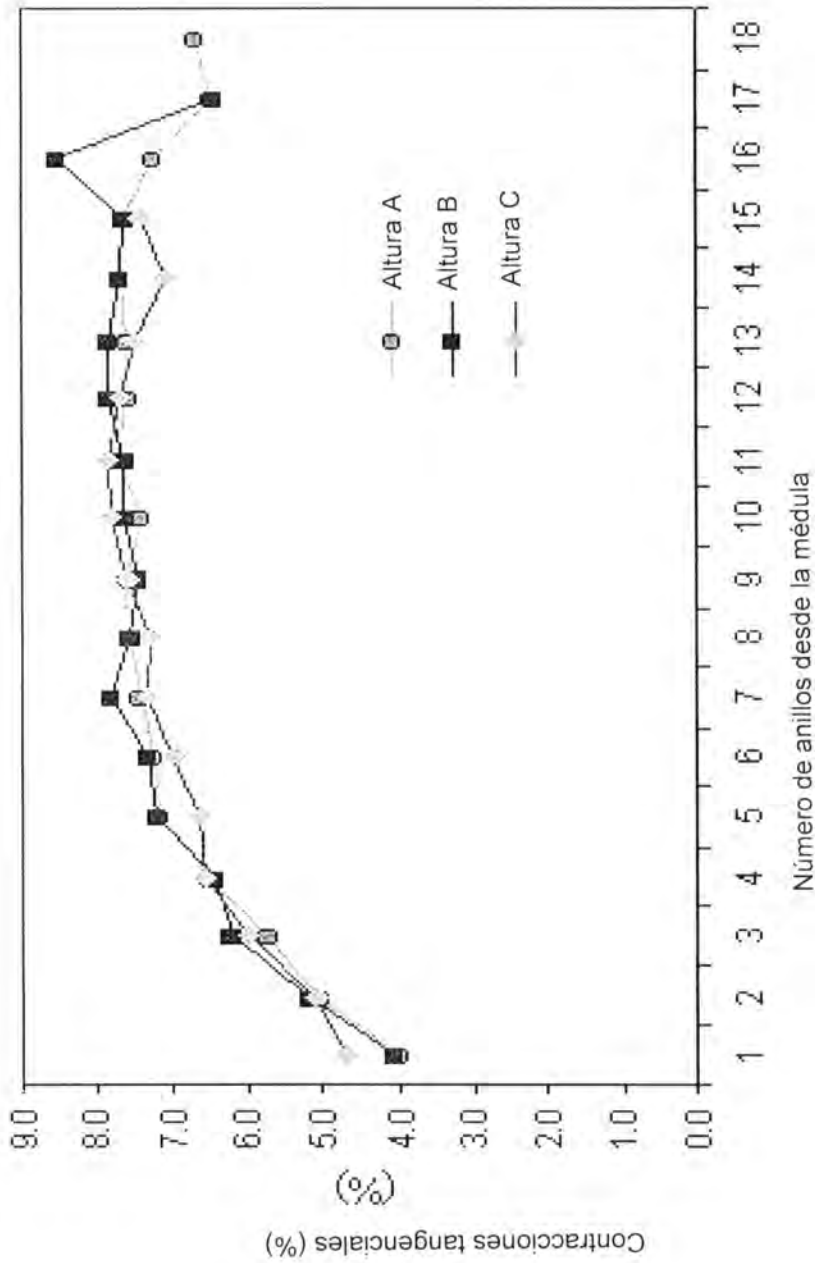


Figura 9. Contracción tangencial en las tres alturas.

la resistencia al rasgado. Además con estas traqueidas rígidas, largas y duras será más poroso el papel, por lo que es ideal para la elaboración de papel secante e higiénico.

La densidad básica de la madera de esta especie se clasificó como semipesada; las contracciones resultaron ser muy altas y con baja relación anisotrópica.

REFERENCIAS

- Acevedo-H. A., M. Kanninen y E. Korhonen. 1994. La Sabana: experiencia de 20 años de una plantación forestal comercial. *In: Memoria de la IV Reunión nacional sobre plantaciones forestales.* SARH-SFF-INIFAP. México, D.F. pp. 377 - 422.
- Barnes, R., J. J. Woodend, M. A. A. Schweppenhauser and L. J. Mullin. 1977. Variation in diameter growth and wood density in six years old provenance trials of *Pinus caribaea* Moroleet on five sites in Rhodesia. *Silvae Genetica* 26(5-6):163-167.
- Borja de la R., A. y J. C. Tamarit U. 1997. Propiedades tecnológicas de la madera de *Pinus arizonica* Engelm. del estado de Durango. *Rev. Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 1(1):103-108.
- Cruz D., J. R. y A. Borja de la R. 1995. Estudio tecnológico de la madera de *Pinus cooperi* Blanco, del estado de Durango. *Rev. Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 1(1):11-16.
- Daniel, T. W., J. A. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. McGraw-Hill. México. 490 p.
- Fuentes S., M. 1987. Análisis de digestión de los índices de calidad de pulpa para papel de la madera de *Pinus montezumae* Lamb. Tesis profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. 73 p.
- García, E. 1983. Apuntes de climatología. Larios, S. A. 3ª ed. México, D. F. 153 p.
- Guth, E. B. 1970. Variación del largo de fibra en el leño de *Pinus elliottii*. *IDIA* (5):31-35.
- Hernández H., F. 1985. Variación natural en *Pinus hartwegii*: peso específico y longitud de traqueidas en Zoquiapan, México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 53 p.
- Hernández T., M. 1994. Estudio comparativo de la madera juvenil y la madera madura de *Pinus arizonica* en la región de Guanaceví, Durango. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 85 p.
- Huerta C., J. 1978. Anatomía de la madera de 12 especies de coníferas mexicanas. 3ª ed. Bol. Téc. Inst. Nal. de Invest. For. No. 51. México. 36 p.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1984. Carta geológica. Minatitlán. Escala 1:250 000. SPP. México. E-15, C-15.
- Kramer, R. L. 1966. Variation of specific gravity in western hemlock trees. *TAPPI* 49(5):227-229.

- Ladrach, W. E. 1987. Wood quality of *Pinus oocarpa*. Cartón de Colombia, S. A. Bol. 116. 7 p.
- Larios S., P. 1979. Índice de calidad de las pulpas de dos coníferas. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Edo. de México. 68 p.
- Lenhart, J. D., B. E. Cutter and K. H. Shinn. 1977. Specific gravity at various positions along stem of planted loblolly pine trees. *Forest Products Journal* 27(4):43-44.
- Markstrom, D. C., H. E. Troxell and C. E. Bolldt. 1993. Wood properties of old immature ponderosa pine after thinning. *Forest Products Journal* 33(4):33-36.
- Petroff, G. and D. Normand. 1968. The correlation between the physical and mechanical properties of paper, and dimensional characteristics of fiber for tropical hardwoods. *Pulp and paper development in Africa and the Near East*. FAO 1:269-287.
- Plumptre, R. A. 1984. *Pinus caribaea*: Wood Properties. Tropical Forestry Paper. Bol. 17, Volumen 2. 148 p.
- Porres, C. e I. Valladares J. 1979. Producción de pulpa y papel con materias primas autóctonas centroamericanas. Instituto Centroamericano de Investigaciones y Tecnología Industrial de Guatemala. 72 p.
- Resch, H. and K. Bastendorff. 1978. Some wood properties of plantation pines, *Pinus caribaea* and *Pinus oocarpa*. *Wood Fiber and Science* 10(3):210-217.
- Reyes, C. R. y C. Zamora S. 1977. Estudio de una sabana de montaña localizada en las estribaciones de la Sierra Madre del Sur. *Ciencia Forestal* 2(26):36-64.
- Salinas H., S. 2000. Sistemas de clasificación de las características, propiedades y procesos de transformación primaria de las maderas. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 196 p.
- Sánchez B., S. 1999. Determinación de la transición de la madera juvenil a la madera madura de *Picea chihuahuana* Mtz. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 62 p.
- Vignote, P., S. y F. J. Jiménez, P. 1996. Tecnología de la Madera. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa. Madrid, España. 602 p.
- Voorhies, G. and D. A. Jameson. 1968. Fiber length in southwestern young-growth ponderosa pine. *Forest Products Journal* 19(5):52-55.
- Zobel, B., C. Webb and F. Henson. 1959. Core and juvenile wood of loblolly and slash pine trees. *TAPPI* 42(5):345-355.