

Variabilidad transversal de características dimensionales de traqueidas en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de plantaciones de 25 años de edad

Radial variability of quantitative features of tracheids in *Pinus caribaea* var. *hondurensis* from 25 years old plantations

Gabrialy Márquez-Carrero.¹, Styles W. Valero², Williams J. León-Hernández³, Ilvania J. Gutiérrez-Gotera⁴, Julio C. Maldonado-Rangel⁵

Fecha de recepción: 16 de setiembre de 2021
Fecha de aprobación: 8 de noviembre de 2021

Márquez-Carrero, G; Valero, S.W; León-Hernández, W.J; Gutiérrez-Gotera, I.J; Maldonado-Rangel, J.C. Variabilidad transversal de características dimensionales de traqueidas en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de plantaciones de 25 años de edad. *Tecnología en Marcha*. Vol. 35-3. Julio-Setiembre 2022. Pág. 82-93.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v35i3.5868>

- 1 Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Laboratorio de Anatomía de Maderas. Venezuela.
Correo electrónico: gabrialy@gmail.com
- 2 Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Sección de Ensayos. Venezuela.
Correo electrónico: styles@ula.ve
- 3 Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Laboratorio de Anatomía de Maderas. Venezuela.
Correo electrónico: wleon@ula.ve
- 4 Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Sección de Pulpa y Papel. Venezuela. Correo electrónico: ilgutie@ula.ve
- 5 Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Laboratorio de Anatomía de Maderas. Venezuela.
Correo electrónico: jmaldonado@ula.ve

Palabras clave

Longitud de traqueidas; madera adulta; madera juvenil; madera temprana; madera tardía.

Resumen

Se presenta el estudio de variabilidad de longitud, diámetro total, diámetro del lumen, espesor de pared y fracción de pared de las traqueidas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* proveniente de plantaciones de 25 años de edad establecidas en Uverito (estado Monagas, Venezuela). Se examinaron un total de seis individuos y se preparó tejido macerado en tres posiciones de la sección transversal: adyacencias de médula, punto medio (muestras en madera temprana y madera tardía) y adyacencias del cambium. Los resultados indican que el mayor diámetro promedio (total y del lumen) correspondió a la madera temprana, mientras que los mayores grosores y fracción de pared se concentraron hacia la madera tardía. En relación a la longitud de traqueidas aumenta desde la zona cercana a la médula hasta el punto medio de la sección transversal para, posteriormente, disminuir hacia las adyacencias del cambium y alcanzar valores muy similares a los del punto inicial. El patrón de variación de longitud de traqueidas indica que a partir del punto medio de la sección transversal comienza la formación de madera adulta.

Keywords

Tracheids length; adult wood; juvenile wood; early wood; late wood.

Abstract

This research is about variability of quantitative features (length, diameter, thickness, wall fraction) in tracheids of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* from 25 years old plantations from Uverito (Monagas state, Venezuela). Six trees were studied and macerated tissue were prepared in three positions in cross section: near of pith, middle point of cross section and near of cambium. Higher diameter was observed in early wood and in late wood were found higher thickness wall. Tracheid length had an increment from the pith to middle point and, then, showed a reduction from middle point to cambium. According variation in tracheids length, adult wood appears from the middle point to cambium.

Introducción

Uno de los elementos más importantes para la correcta utilización de la madera es el conocimiento de la misma. Su uso adecuado requiere de fases de transformación que permiten tener un material idóneo para la satisfacción de necesidades. Tanto el procesamiento como la utilización están en relación directa con las propiedades de la madera y las bondades que ofrece ésta variando de una especie a otra [1]. Las características anatómicas de la madera ejercen una gran influencia sobre las propiedades físico-mecánicas de la misma. Por ejemplo, el peso específico es considerado como uno de los mejores indicadores de la resistencia y los valores de las propiedades mecánicas en la madera [2]. Según [2] y [3], el peso específico depende de tres factores: tamaño de las células, el espesor de sus paredes y la interacción entre el número de células de diferentes tipos. Si se analizan cada uno de esos factores, se puede observar que corresponden a la estructura anatómica de la madera. En el caso de coníferas, [4] señala que la distinción de anillos de crecimiento está determinado por variaciones en el grosor y diámetro radial de paredes de traqueidas pudiendo presentarse una transición gradual o abrupta entre la zona de traqueidas de paredes delgadas y con mayor diámetro radial (madera temprana) y

la región con traqueidas de paredes gruesas y de menor diámetro radial (madera tardía). Esto indica que esas variaciones que permiten diferenciar anillos de crecimiento en este tipo de maderas deben traducirse en variaciones en la densidad y peso específico dentro de un anillo de crecimiento, por lo tanto, en variaciones de las diferentes propiedades físicas y mecánicas. Las características dimensionales de las traqueidas son un elemento de gran importancia para el uso óptimo de la madera: variaciones en grosor de paredes, diámetro del lumen o diámetro total de traqueidas tienen efecto directo sobre el peso específico, tasa de contracciones y las diferentes propiedades mecánicas. Con respecto a la longitud de traqueidas, su variación tiene efecto directo sobre algunos campos de utilización. Por ejemplo, en la industria de pulpa y papel se determinan una serie de índices morfológicos que permiten conocer la aptitud de una especie para ese tipo de producto y algunos de esos índices toman en consideración la longitud de las traqueidas. [5] señala que, en general, las células más largas dan resistencia al papel; aunque en ocasiones la resistencia a la tensión, que habitualmente es la propiedad más asociada con la mayor resistencia del papel, depende más bien del enlace entre las fibras que de la longitud de éstas, pero a su vez, el grado de entrecruzamiento de las células tiene relación directa con su longitud. Adicionalmente, las variaciones de longitud de traqueidas en sentido transversal son el elemento más confiable para delimitar las zonas de madera juvenil y madera adulta; elemento de gran importancia debido a las grandes diferencias de comportamiento tecnológico entre ambas zonas.

En Venezuela se disponen de grandes extensiones plantadas con *Pinus caribaea* las cuales se han venido estableciendo, con fines comerciales, desde 1969. En este sentido, el único estudio de variación de longitud de traqueidas y proporciones de madera juvenil y adulta es el presentado por [6], lo que indica la existencia de una gran vacía de información en ese sentido; esto se une a la falta de información en cuanto al patrón de variación de diámetros y grosor de paredes de traqueidas para esta especie en el país.

Tomando en cuenta esos aspectos, el objetivo del presente trabajo es la determinación del patrón de variación de la longitud, diámetros (total y lumen) y grosor de paredes de traqueidas en madera temprana y tardía de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl) W. Barret & Golfari (Pinaceae) proveniente de plantaciones de 25 años en tres posiciones de la sección transversal: las adyacencias de la médula, punto medio del radio y a las adyacencias del cambium. La ubicación de muestras en tres posiciones también permitirá determinar el grado de variabilidad de las características dimensionales de las traqueidas en dirección radial.

Materiales y métodos

El material de estudio está representado por secciones transversales (discos) de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl) W. Barret & Golfari de 25 años de edad procedente de las plantaciones establecidas en Uverito (estado Monagas, Venezuela). Se estudiaron seis individuos y se extrajeron discos o secciones transversales de la porción basal del árbol (figura 1a).

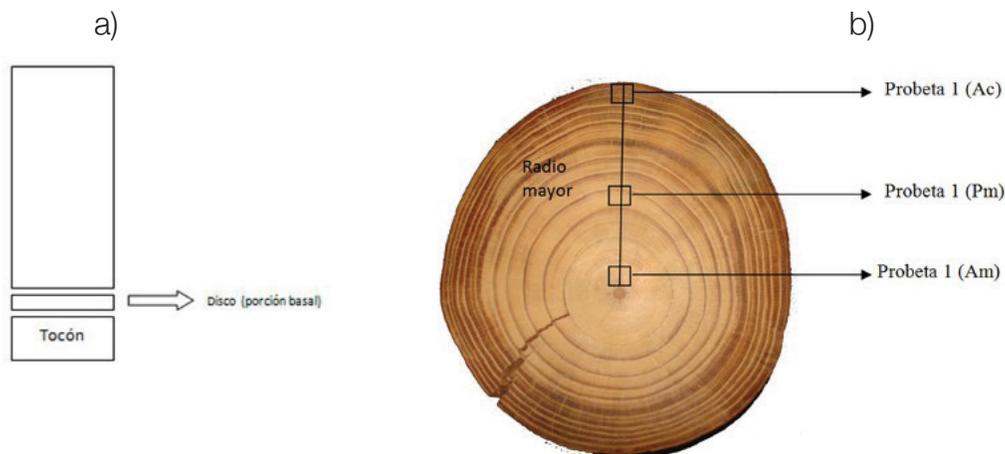


Figura 1. Representación esquemática de la posición de extracción de disco o sección transversal (a) para cada individuo y ubicación de muestra en la sección transversal (b).

En cada sección transversal se determinó el radio mayor (distancia médula - adyacencias del cambium) y se ubicaron muestras en tres posiciones (figura 1b, cuadro 1): adyacencias de médula (Am), punto medio del radio (Pm) y adyacencias del cambium (Ac).

Cuadro 1. Radios de las secciones transversales estudiadas y ubicación de muestras en cada punto (adyacencias de médula, mitad del radio, adyacencias del cambium).

Árbol	Radio cm	Adyacencias de médula cm	Punto medio cm	Adyacencias de zona cambial cm
1	12,00	0,90 - 1,20	5,60 - 5,90	10,00 - 10,90
2	11,60	1,10 - 1,90	5,60 - 6,20	10,50 - 11,00
3	11,10	1,00 - 1,60	5,90 - 6,20	9,60 - 10,00
4	12,30	1,50 - 2,40	6,10 - 6,40	11,00 - 11,40
5	12,80	0,40 - 1,60	5,80 - 6,20	12,40 - 12,80
6	11,70	0,90 - 1,40	5,80 - 6,20	10,50 - 10,90

En cada muestra se ubicaron anillos de crecimiento completos y en la correspondiente al punto medio del radio se delimitó la zona de madera temprana y madera tardía de cada anillo. Las muestras ubicadas en las adyacencias de médula y zona cambial se tomaron de manera que abarcaron todo el anillo de crecimiento en cada una de esas zonas, mientras que la correspondiente al punto medio fue seccionada para tomar muestras en la zona de madera temprana y la zona de madera tardía del anillo de crecimiento.

De cada una se prepararon láminas para observación microscópica de las secciones transversal, radial y tangencial de cada muestra. La preparación se realizó siguiendo los procedimientos estándar de microtecnia xilemática: cada muestra fue sometida a un proceso de ablandamiento en agua hirviendo (4-8 h) para la realización de cortes con un micrótopo de deslizamiento que permitieron obtener láminas o secciones de 25-30 μm de espesor. Las secciones obtenidas fueron sometidas a un proceso de tinción o coloración con una solución de safranina y alcohol al 50 % (1:1) durante 4 h, deshidratación en baños sucesivos de alcohol (50 %, 10 min; 70 %, 10 min; 75 %, 10 min; 95 % 2h) y aclaramiento por inmersión en una mezcla alcohol-xilol (45 min) y xilol (2-3 h). Finalmente se procedió al montaje utilizando bálsamo de Canadá como elemento adhesivo. Se preparó tejido macerado sumergiendo astillas en una solución de peróxido de

hidrógeno y ácido acético glacial (1:1) para llevarlas a estufa durante 12 h. Se realizaron lavados con agua destilada, individualización de elementos celulares (traqueidas) mediante fricción mecánica, tinción con safranina y el respectivo montaje con bálsamo de Canadá. La descripción es de acuerdo a lo establecido en [4].

Tanto la descripción de las características anatómicas como la determinación de características dimensionales de las traqueidas se hizo en un microscopio óptico marca Leica, modelo Galen III. Se tomaron micrografías con una cámara digital Pixelink (PL-B681C) acoplada a un microscopio óptico Nikon, modelo Eclipse E200.

Se realizó un análisis estadístico tanto para los resultados obtenidos en la determinación de la longitud, diámetro total, diámetro del lumen y grosor de paredes de traqueidas. Para el cálculo de grosor de paredes (e) y fracción de pared (FP) se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$e = \frac{(Dt-DI)}{2} \quad (1)$$

e = espesor o grosor de pared

Dt = diámetro total de traqueidas

DI = diámetro del lumen de traqueidas

$$FP = \frac{2e}{Dt} = \quad (2)$$

FP = fracción de pared

2e = dos veces el espesor de traqueidas

Dt = diámetro total de traqueidas

Se calculó la estadística básica (promedio, desviación estándar, valores máximo y mínimo, coeficiente de variación), análisis de varianza ($\alpha = 0,01$) y prueba de diferencia de medias (Tukey, $\alpha = 0,01$).

Resultados y discusión

Descripción anatómica

Pinus caribaea var. *hondurensis* (Sénécl.) W. H. Barrett & Golfari (figura 2)

Anillos de crecimientos definidos, transición abrupta entre madera temprana y madera tardía. Traqueidas con punteaduras uniseriadas y biseriadas, predominantemente uniseriadas, opuestas. Radios heterocelulares, con traqueidas radiales dentadas, células parenquimáticas radiales con paredes laterales y extremas lisas. Punteaduras del área de cruce de tipo pinoide, 2-4 por área de cruce, radios uniseriados y fusiformes. Canales intercelulares longitudinales y transversales, células epiteliales de paredes delgadas.

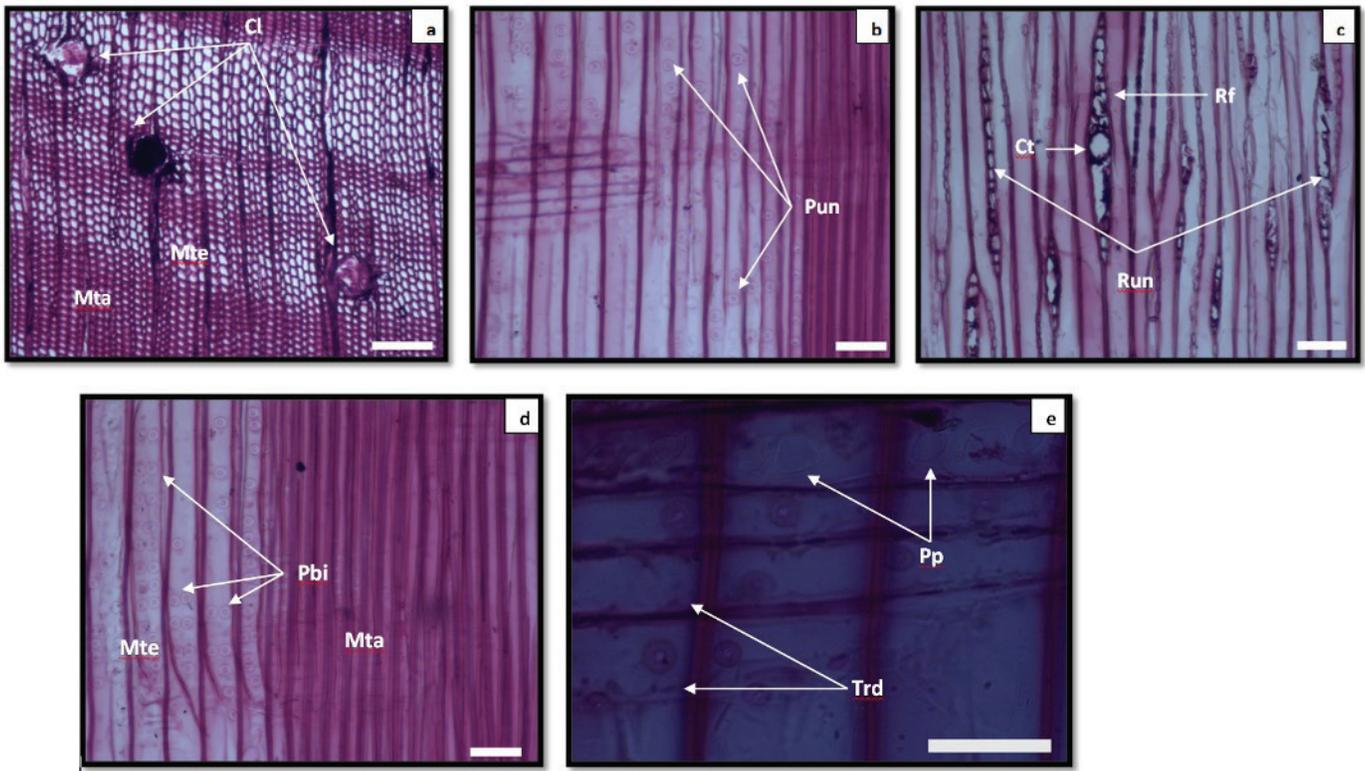


Figura 2. *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. (a) Anillos de crecimiento definidos con transición abrupta entre madera temprana (Mte) y madera tardía (Mta); conductos resiníferos longitudinales (Cl) (Barra = 300 μ m). (b) Traqueidas con puneaduras uniseriadas (Pun) (Barra = 100 μ m). (c) Radios uniseriados (Run) y fusiformes (Rf); conductos resiníferos transversales (Ct) (Barra = 100 μ m). (d) Zonas de madera temprana (Mte) y madera tardía (Mta); puneaduras biseriadas (Pbi) (Barra = 100 μ m). (e) Traqueidas radiales dentadas (Trd); puneaduras de área de cruce de tipo pinoide (Pp) (Barra = 50 μ m).

Diámetro total, del lumen y grosor de paredes de traqueidas

El diámetro total de las traqueidas (cuadro 2) manifestó un comportamiento donde la tendencia más común fue una disminución desde las adyacencias de médula hacia mitad del radio para luego experimentar un incremento. En comparación con otras investigaciones, en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* [7] y *Retrophyllum rospigliosii* [8], los menores diámetros los encontraron en las muestras más cercanas a la médula, pero en algunos individuos se observó un incremento continuo a través de toda la sección transversal y en otros se detectó un aumento hasta cierto punto a partir del cual comienza a disminuir.

El comportamiento más constante fue el observado entre la madera temprana y la madera tardía del punto medio de cada muestra (cuadro 2) donde los valores en madera temprana siempre estuvieron por encima de los de madera tardía, con la excepción del árbol 5 donde ambos valores fueron similares. Porcentualmente, las diferencias de diámetro de traqueidas entre madera temprana y tardía oscilaron entre 0 y 25,98 %. Desde el punto de vista estadístico, de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha = 0,01$), en el 66,67 % de los casos no existieron diferencias estadísticamente significativas y sólo en dos muestras (33,33 %) se observaron diferencias significativas. La no existencia de diferencias en diámetro de traqueidas entre las dos zonas estudiadas podría contradecir un aspecto de gran importancia el cual está relacionado con lo indicado por [4] al señalar que la diferenciación de anillos en coníferas está determinado por un incremento del grosor de paredes y una reducción del diámetro radial de las traqueidas.

En las muestras estudiadas, aún cuando hay variaciones en cuanto a valores absolutos, estadísticamente se consideran similares y la posible causa a este comportamiento puede ser debido a dos razones: la primera de ellas puede indicar que, aún cuando hay diferencias de diámetro de traqueidas desde madera temprana a madera tardía, tal vez esa variación no es suficiente como para que sean significativas desde el punto de vista estadístico. La segunda razón puede estar determinada porque las variaciones de diámetro de traqueidas dentro de un anillo de crecimiento se remiten al diámetro radial de las mismas, mientras que el diámetro tangencial tiende a mantenerse aproximadamente constante. Como las mediciones se hicieron sobre tejido macerado, esta metodología no permite diferenciar el tipo de diámetro (radial o tangencial) sobre el cual se está haciendo la medición.

Cuadro 2. Diámetro total y diámetro del lumen de traqueidas (mínimo, promedio, desviación, máximo, número de mediciones, coeficiente de variación) y prueba de Tukey ($\alpha = 0,01$) para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Diámetro total de traqueidas (μm)				
Árbol	Adyacencias de médula	Punto medio, madera temprana	Punto medio, madera tardía	Adyacencias del cambium
1	(3,750) 5,527 ^c \pm 1,345 (8,130) n = 50; CV = 24,33 %	(3,130) 4,502 ^{a,b} \pm 0,954 (6,250) n = 25; CV = 21,19 %	(2,500) 4,127 ^a \pm 0,92 (6,880) n = 25; CV = 22,29 %	(3,750) 5,090 ^{b,c} \pm 0,818 (6,880) n = 50; CV = 16,07 %
2	(3,750) 4,703 ^a \pm 0,717 (6,880) n = 50; CV = 15,25 %	(3,130) 4,478 ^a \pm 1,016 (6,250) n = 25; CV = 22,69 %	(3,130) 4,203 ^a \pm 0,817 (5,630) n = 25; CV = 19,44%	(3,750) 4,277 ^a \pm 0,637 (6,250) n = 50; CV = 14,89 %
3	(3,750) 4,652 ^a \pm 0,809 (6,880) n = 50; CV = 17,39%	(3,750) 5,677 ^b \pm 0,936 (7,500) n = 25; CV = 16,49 %	(3,130) 4,202 ^a \pm 0,754 (6,250) n = 25; CV = 17,94 %	(3,130) 4,277 ^a \pm 0,637 (5,630) n = 50; CV = 14,89 %
4	(3,750) 4,239 ^{a,b} \pm 0,660 (6,250) n = 50; CV = 15,57 %	(3,130) 4,327 ^{a,b} \pm 1,065 (6,250) n = 25; CV = 24,61 %	(3,130) 3,803 ^a \pm 0,672 (5,000) n = 25; CV = 17,67 %	(3,750) 4,589 ^b \pm 0,775 (6,250) n = 50; CV = 16,89 %
5	(2,500) 4,327 ^{a,b} \pm 0,952 (6,250) n = 50; CV = 22,00 %	(2,500) 3,852 ^a \pm 0,877 (6,250) n = 25; CV = 22,77 %	(3,130) 3,852 ^a \pm 0,561 (5,000) n = 25; CV = 14,56 %	(3,130) 4,577 ^b \pm 0,783 (6,250) n = 50; CV = 17,11 %
6	(3,130) 4,328 ^b \pm 0,816 (6,25) n = 50; CV = 18,85 %	(3,130) 4,202 ^b \pm 0,797 (6,25) n = 25; CV = 18,97 %	(2,500) 3,603 ^a \pm 0,578 (5,000) n = 25; CV = 16,04 %	(3,130) 3,790 ^{a,b} \pm 0,648 (5,000) n = 50; CV = 17,09 %
Diámetro del lumen de traqueidas (μm)				
Árbol	Adyacencias de médula	Punto medio, madera temprana	Punto medio, madera tardía	Adyacencias del cambium
1	(1,880) 4,052 ^c \pm 1,423 (6,250) n = 50; CV = 35,12 %	(1,250) 2,952 ^b \pm 0,963 (5,000) n = 25; CV = 32,62 %	(1,250) 1,726 ^a \pm 0,813 (5,000) n = 25; CV = 47,10 %	(1,880) 3,715 ^{b,c} \pm 1,033 (5,630) n = 50; CV = 27,81 %
2	(1,880) 3,403 ^c \pm 0,848 (5,630) n = 50; CV = 24,92 %	(1,250) 2,577 ^b \pm 0,728 (3,750) n = 25; CV = 28,25 %	(0,630) 1,302 ^a \pm 0,439 (2,500) n = 25; CV = 33,72 %	(1,880) 2,903 ^{b,c} \pm 0,677 (5,000) n = 50; CV = 23,32 %
3	(1,880) 3,153 ^b \pm 0,856 (5,630) n = 50; CV = 27,15 %	(1,880) 3,402 ^b \pm 1,184 (6,250) n = 25; CV = 34,80 %	(0,630) 1,877 ^a \pm 0,675 (3,130) n = 25; CV = 35,96 %	(1,250) 2,202 ^a \pm 0,538 (3,750) n = 50; CV = 24,43 %
4	(1,250) 2,327 ^b \pm 0,799 (4,380) n = 50; CV = 34,34 %	(0,630) 1,677 ^a \pm 0,801 (4,380) n = 25; CV = 47,76 %	(0,630) 1,427 ^a \pm 0,461 (2,500) n = 25; CV = 32,31 %	(1,250) 2,503 ^b \pm 0,846 (5,000) n = 50; CV = 33,79 %
5	(1,250) 2,152 ^b \pm 0,738 (3,750) n = 50; CV = 34,29 %	(0,630) 1,952 ^{a,b} \pm 1,026 (4,380) n = 25; CV = 52,56 %	(0,630) 1,402 ^a \pm 0,416 (1,880) n = 25; CV = 29,67 %	(1,250) 2,553 ^b \pm 0,806 (5,000) n = 50; CV = 31,57 %
6	(1,250) 2,003 ^b \pm 0,505 (3,130) n = 50; CV = 25,21 %	(1,250) 2,077 ^b \pm 0,692 (3,750) n = 25; CV = 33,32%	(0,630) 1,428 ^a \pm 0,585 (2,500) n = 25; CV = 40,97 %	(0,630) 1,965 ^b \pm 0,645 (3,130) n = 50; CV = 32,82 %

Nota: Letras diferentes representan grupos estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha = 0,01$).

Con respecto al diámetro del lumen (cuadro 2), la tendencia observada es una reducción desde la zona medular hacia el punto medio para luego aumentar hacia las cercanías de la zona cambial; excepto en un árbol donde se observó un decrecimiento continuo desde la médula hacia el cambium. [7] menciona que para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* encontró un incremento del diámetro del lumen desde la zona medular hasta los anillos 3-7, para luego tener un comportamiento irregular hacia las zonas cercanas a la corteza y señala que, estadísticamente, se observa una variación sin ninguna tendencia definida. Por otra parte, [8] encontraron un incremento del diámetro del lumen en *Retrophyllum rospigliosii* hasta, aproximadamente, los anillos 4-8 para luego mostrar una tendencia a la estabilización. Con respecto a las diferencias de diámetro del lumen entre madera temprana y tardía determinados a mitad del radio (cuadro 2), los valores siempre fueron mayores en la zona de madera temprana y las diferencias mostraron significancia estadística en la mayoría de los casos.

Porcentualmente, el decrecimiento del diámetro del lumen desde leño temprano hacia el tardío osciló entre un mínimo de 14,91 % y un máximo de 49,48 %. [9], estudiando *Pinus radiata*, encontró valores superiores de diámetro de lumen en madera temprana pero las diferencias no mostraron significancia estadística.

El comportamiento en cuanto a grosor de paredes desde la zona cercana a la médula hacia la zona cambial, comúnmente se manifestó como un aumento desde las adyacencias de la médula hasta el punto medio para luego disminuir y alcanzar en las cercanías de la corteza valores cercanos a los observados en el punto inicial (cuadro 3). Por lo general, los valores de la zona medular no mostraron diferencias estadísticamente significativas con respecto a los de la zona cercana al cambium, pero si existieron diferencias significativas respecto al punto medio. En relación a las diferencias de espesor entre madera temprana y tardía observados en el punto medio de la sección transversal, el comportamiento general fue un aumento de espesor desde madera temprana hacia madera tardía (cuadro 3) excepto en el árbol 4 donde se presentó una disminución no significativa estadísticamente. Los aumentos porcentuales mostraron una alta variación y tomando en consideración los cinco árboles donde aumentó el espesor de pared desde madera temprana hacia tardía, los valores oscilaron entre 2,1 y 34,48 %. En el único caso donde se presentó una reducción de grosor de paredes, éste representó el 11,19 %. En comparación con otros estudios, [9] encontró un aumento de grosor de paredes de madera temprana a tardía en *Pinus radiata* pero sin diferencias estadísticamente significativas; mientras que [10], estudiando *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, encontró diferencias significativas entre madera temprana y madera tardía pero las diferencias en dirección médula-corteza no fueron tan marcadas, aunque encontró una tendencia al aumento desde las adyacencias de médula hacia el punto medio para luego disminuir. Con respecto a la fracción de pared celular (cuadro 3), los valores observados muestran una tendencia al aumento desde las adyacencias de médula hacia el punto medio para luego disminuir hacia la zona cambial observándose que, en la mayoría de los casos, existen diferencias estadísticamente significativas (Tukey = 0,01) entre la zona medular y el punto medio pero no hay diferencias entre la zona medular y las adyacencias de la zona cambial. Con respecto a los valores observados entre madera temprana y madera tardía, en todos los casos se observó un incremento donde la mayor diferencia entre las dos zonas se presentó en el árbol 2 con 41,5 % de pared celular en madera temprana y 69,13 % en madera tardía; mientras que la menor diferencia fue en el árbol 4 con 61,14 % y 62,69 % en madera temprana y tardía respectivamente. En todos los casos, con la excepción del árbol 4, las diferencias entre las dos zonas fueron estadísticamente significativas.

Cuadro 3. Espesor y fracción de paredes de traqueidas (mínimo, promedio, desviación, máximo, número de mediciones, coeficiente de variación) y prueba de Tukey ($\alpha = 0,01$) para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Espesor de pared de traqueidas (μm)				
Árbol	Adyacencias de médula	Punto medio, madera temprana	Punto medio, madera tardía	Adyacencias del cambium
1	(0,310) 0,739 ^a \pm 0,234 (1,560) n = 50; CV = 31,66 %	(0,310) 0,775 ^a \pm 0,273 (1,560) n = 25; CV = 35,23 %	(0,630) 1,200 ^b \pm 0,410 (1,880) n = 25; CV = 34,17 %	(0,310) 0,689 ^a \pm 0,236 (1,250) n = 50; CV = 34,25 %
2	(0,310) 0,651 ^a \pm 0,289 (1,560) n = 50; CV = 44,39 %	(0,310) 0,950 ^b \pm 0,418 (1,880) n = 25; CV = 44,00 %	(0,940) 1,450 ^c \pm 0,324 (2,190) n = 25; CV = 22,34 %	(0,310) 0,689 ^a \pm 0,261 (1,250) n = 50; CV = 37,88 %
3	(0,310) 0,751 ^a \pm 0,275 (1,250) n = 50; CV = 36,62 %	(0,310) 1,138 ^b \pm 0,412 (1,880) n = 25; CV = 36,20 %	(0,630) 1,163 ^b \pm 0,388 (1,880) n = 25; CV = 33,36 %	(0,630) 1,039 ^b \pm 0,263 (1,560) n = 50; CV = 25,31 %
4	(0,310) 0,957 ^a \pm 0,376 (2,190) n = 50; CV = 39,29 %	(0,630) 1,325 ^b \pm 0,496 (2,190) n = 25; CV = 37,43 %	(0,630) 1,188 ^{a,b} \pm 0,271 (1,880) n = 25; CV = 22,81 %	(0,310) 1,045 ^{a,b} \pm 0,402 (2,190) n = 50; CV = 38,47 %
5	(0,310) 1,088 ^{a,b} \pm 0,297 (1,560) n = 50; CV = 27,29 %	(0,310) 0,950 ^a \pm 0,331 (1,560) n = 25; CV = 34,84 %	(0,630) 1,225 ^b \pm 0,237 (1,560) n = 25; CV = 19,35 %	(0,310) 1,013 ^{a,b} \pm 0,406 (1,880) n = 50; CV = 40,08 %
6	(0,630) 1,164 ^b \pm 0,384 (2,190) n = 50; CV = 32,99 %	(0,630) 1,063 ^{a,b} \pm 0,299 (1,560) n = 25; CV = 28,13 %	(0,630) 1,088 ^{a,b} \pm 0,223 (1,560) n = 25; CV = 20,49 %	(0,630) 0,914 ^a \pm 0,234 (1,560) n = 50; CV = 25,60 %
Fracción de pared de traqueidas (%)				
Árbol	Adyacencias de médula	Punto medio, madera temprana	Punto medio, madera tardía	Adyacencias del cambium
1	(16,670) 28,345 ^a \pm 12,030 (62,500) n = 50; CV = 42,44 %	(16,670) 35,228 ^a \pm 11,738 (62,500) n = 25; CV = 33,32 %	(27,270) 58,048 ^b \pm 14,049 (75,000) n = 25; CV = 24,20 %	(10,000) 27,949 ^a \pm 11,486 (57,140) n = 50; CV = 41,09 %
2	(11,110) 27,969 ^a \pm 12,24 (55,560) n = 50; CV = 43,75 %	(20,000) 41,501 ^b \pm 14,359 (66,670) n = 25; CV = 34,59 %	(50,000) 69,126 ^c \pm 8,123 (85,710) n = 25; CV = 11,75 %	(16,670) 32,169 ^a \pm 11,599 (57,140) n = 50; CV = 36,06 %
3	(14,290) 32,564 ^a \pm 11,697 (57,140) n = 50; CV = 35,92 %	(9,090) 40,764 ^{a,b} \pm 14,342 (62,500) n = 25; CV = 35,18 %	(28,570) 55,176 ^c \pm 14,701 (83,330) n = 25; CV = 26,64 %	(25,000) 48,526 ^{b,c} \pm 10,618 (71,430) n = 50; CV = 21,88 %
4	(12,500) 41,195 ^a \pm 16,163 (71,430) n = 50; CV = 39,24 %	(30,000) 61,140 ^b \pm 15,901 (80,000) n = 25; CV = 26,01 %	(33,330) 62,686 ^b \pm 10,037 (80,000) n = 25; CV = 16,01 %	(14,290) 45,494 ^a \pm 15,018 (77,780) n = 50; CV = 33,01 %
5	(25,000) 50,549 ^a \pm 11,375 (71,430) n = 50; CV = 22,50 %	(12,500) 51,389 ^a \pm 19,098 (80,000) n = 25; CV = 37,16 %	(40,000) 63,763 ^b \pm 9,855 (80,000) n = 25; CV = 15,46 %	(14,290) 43,983 ^a \pm 14,924 (75,000) n = 50; CV = 33,93 %
6	(33,330) 53,078 ^{a,b} \pm 10,795 (75,000) n = 50; CV = 20,34 %	(33,330) 50,889 ^a \pm 12,485 (66,670) n = 25; CV = 24,53 %	(33,330) 61,309 ^b \pm 13,193 (80,000) n = 25; CV = 21,52 %	(28,570) 48,817 ^a \pm 12,111 (80,000) n = 50; CV = 24,81 %

Nota: Letras diferentes representan grupos estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha = 0,01$).

Cuadro 4. Longitud de traqueidas en micras (mínimo, promedio, desviación, máximo, número de mediciones, coeficiente de variación) y prueba de Tukey ($\alpha = 0,01$) para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Árbol	Adyacencias de médula	Punto medio, madera temprana	Punto medio, madera tardía	Adyacencias del cambium
1	(2121,00) 3013,638 ^b ± 609,34 (4635,90) n = 50; CV = 20,22 %	(4605,60) 4925,57 ^d ± 200,05 (5241,90) n = 25; CV = 4,06 %	(3484,50) 4374,11 ^c ± 365,90 (4908,60) n = 25; CV = 8,37 %	(1939,20) 2406,43 ^a ± 317,91 (2969,40) n = 50; CV = 13,21 %
2	(2333,10) 2756,69 ^a ± 307,21 (3787,50) n = 50; CV = 11,14 %	(3393,60) 3751,14 ^b ± 206,62 (4181,40) n = 25; CV = 5,51 %	(2969,40) 3714,78 ^b ± 360 (4302,60) n = 25; CV = 9,69 %	(2363,40) 2793,66 ^a ± 221,98 (3181,50) n = 50; CV = 7,95 %
3	(333,30) 2814,26 ^a ± 470,67 (3575,40) n = 50; CV = 16,72 %	(3939,00) 4529,24 ^c ± 279,51 (4999,50) n = 25; CV = 6,17 %	(3787,50) 4146,25 ^b ± 174,87 (4454,10) n = 25; CV = 4,22 %	(2424,00) 2913,65 ^a ± 242,43 (3575,40) n = 50; CV = 8,32 %
4	(2787,60) 3415,42 ^b ± 317,56 (4242,00) n = 50; CV = 9,29 %	(3484,50) 3781,44 ^c ± 155,98 (4120,80) n = 25; CV = 4,12 %	(3878,40) 4185,04 ^d ± 218,90 (4545,00) n = 25; CV = 5,23 %	(1969,50) 2563,38 ^a ± 251,95 (3181,50) n = 50; CV = 9,83 %
5	(2272,50) 2744,57 ^a ± 263,30 (3333,00) n = 50; CV = 9,59 %	(3333,00) 3591,16 ^b ± 191,66 (4060,20) n = 25; CV = 5,34 %	(3605,70) 4154,74 ^c ± 268,08 (4605,60) n = 25; CV = 6,45 %	(2121,00) 2608,22 ^a ± 250,672 (3090,60) n = 50; CV = 9,61 %
6	(2666,40) 3234,20 ^a ± 325,99 (4060,20) n = 50; CV = 10,08 %	(3484,50) 3780,23 ^b ± 189,28 (4120,80) n = 25; CV = 5,01 %	(3878,40) 4474,70 ^c ± 342,55 (4999,50) n = 25; CV = 7,66 %	(2575,50) 3097,27 ^a ± 300,47 (3757,20) n = 50; CV = 9,70 %

Nota: Letras diferentes representan grupos estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha = 0,01$).

Longitud de traqueidas

La longitud promedio de las traqueidas (cuadro 4) manifestó un aumento desde las adyacencias de médula hacia el punto medio para luego disminuir. La diferencia entre el punto cercano a la médula mostró significancia estadística (Tukey $\alpha = 0,01$) con respecto al punto medio y este último también mostró diferencias significativas con relación al punto adyacencias a la zona cambial. En la mayoría de los casos la reducción entre estos dos últimos puntos de medición, estadísticamente mantiene semejanza con relación al punto inicial.

El incremento porcentual entre las cercanías de la médula y el punto medio osciló entre 16,63 % (árbol 4) y 54,28 % (árbol 1).

El patrón de variación en sentido radial indica la existencia de madera adulta a partir del punto medio de la sección transversal, aspecto que coincide con lo reportado por [6] en plantaciones de 15 y 20 años en el oriente venezolano. Por otra parte, [7] señala que en plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de 17 años de edad, la longitud de traqueidas cercanas a la médula presenta menores valores que las de las adyacencias de la corteza.

En relación a las diferencias de longitud de traqueidas entre madera temprana y tardía, se observó un comportamiento irregular: en dos árboles (33,33 % del material estudiado) se encontró mayor longitud en madera temprana; en tres individuos (50 %), los mayores valores se ubicaron en la zona de madera tardía y en el individuo restante (16,67 %) no existieron diferencias entre madera temprana y tardía. Esta irregularidad de comportamiento coincide con lo encontrado por [10] donde en el 66 % de las muestras estudiadas, las menores longitudes correspondieron a madera temprana.

Conclusiones

- a) Las dimensiones transversales de las traqueidas mostraron un comportamiento irregular desde la médula hacia la corteza y se alternaron la ocurrencia de menores valores en cercanías de la médula en algunos árboles, y en cercanías del cambium en otros. El comportamiento más uniforme fue la tendencia a desarrollarse mayores grosores de pared en el punto medio.
- b) El diámetro del lumen, diámetro total, espesor de pared y fracción de pared mostraron uniformidad al establecer las respectivas comparaciones entre madera temprana y tardía del anillo de crecimiento. De manera constante, los diámetros mayores totales y del lumen correspondieron a la madera temprana mientras que los mayores grosores y fracción de pared se concentraron hacia la madera tardía.
- c) La longitud de traqueidas aumenta desde la zona cercana a la médula hasta el punto medio de la sección transversal para, posteriormente, disminuir hacia las adyacencias del cambium y alcanzar valores muy similares a los del punto inicial. Esto indica que a partir del punto medio de la sección transversal se puede considerar que se inicia la formación de madera adulta. Por otra parte, dentro de un anillo de crecimiento no se encontró un patrón de variación uniforme de longitud de traqueidas: en el 50 % de los árboles, las longitudes menores correspondieron a madera tardía y el 50 % restante los valores menores se ubicaron en madera temprana.
- d) Los cambios que se presentan a lo largo del radio siempre serán bastante irregulares ya que, resulta engorrosa la delimitación exacta y precisa de las partes de madera temprana y madera tardía, a menos que se tenga implementos de alta tecnología como por ejemplo un cortador rayo láser para realizar dichos cortes y así obtener resultados con la mayor confiabilidad y satisfacción posible.

Referencias

- [1] León H., W. (2010). *Anatomía y densidad o peso específico de la madera*. Revista Forestal Venezolana, 1 (54), 67 - 76.
- [2] Arroyo, J. (2003). *Propiedades físico-mecánicas de la madera*. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida, Venezuela.
- [3] Pashin, A. & C. de Zeeuw. (1980). *Textbook in wood technology*. McGraw-Hill. Series in forest resources. New York, USA.
- [4] IAWA Committee. (Published for the International Association of Wood Anatomists). (2004). List of microscopic features for softwood identification. IAWA Journal, 25(1), 1–70.
- [5] Tamarit, J. (1996). *Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas*. Revista Madera y Bosques, 2 (2), 29 - 41.
- [6] Trejo, E. (2006). *Determinación de la proporción de madera juvenil en la especie Pinus caribaea var. hondurensis en plantaciones de 10, 15 y 20 años (Chaguaramas Norte y Guayamure) bajo jurisdicción de la Empresa Terranova* (Tesis de Postgrado). Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Mérida, Venezuela.

- [7] Vásquez, A. (1998). *Variación de las características anatómicas y de la densidad básica de la madera en árboles de Pinus caribaea Morelet var. hondurensis Barret y Golfari en función del espaciamiento de plantación*. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín, 51(1), 91 - 122.
- [8] Vásquez, A. y E. Alcántara. (2009). *Anatomía y densidad de la madera de árboles de pino romerón (Retrophyllum rospigliosii (Pilger) C. N. Page de ocho años de edad*. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín, 62 (1), 4869-4880.
- [9] Salvo, L. (2004). *Relación de la estructura anatómica con la permeabilidad y tasa de secado de la madera de Pinus radiata D. Don* (Tesis de Postgrado). Universidad de Bio-Bío. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería en Maderas. Concepción, Chile.
- [10] Rojas, A. (2016). *Estudio de variabilidad de la madera de Pinus caribaea var. hondurensis (Sénécl) W. H. Barret & Golfari (Pino Caribe) en Villanueva. Casanare, Colombia* (Tesis de Postgrado). Universidad de Los Andes. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Mérida, Venezuela.