

MORFOMETRÍA DE TRAQUEIDAS DE *Pinus taeda* L PROVENIENTES DE UN ENSAYO DE PODA EN NE DE ARGENTINA.

Rosa Angela Winck^{1*}, María Isabel Martínez², Elianne Itatí Romberg², Hugo Enrique Fassola³, Alicia Violeta Bohren⁴, Diego Rolando Aquino⁵

^{1*}Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Técnico Investigador Área Tecnología de la Madera y Docente de la Universidad Nacional de Misiones, Montecarlo, Misiones, Argentina – winck.rosa@inta.gob.ar

²Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ciencias Forestales Nacional, Ingeniería Forestal, Eldorado, Misiones, Argentina. marumarti.88@gmail.com, eir487@gmail.com

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Coordinador Nacional del Programa Forestal y Técnico Investigador Área Silvicultura y Manejo, Montecarlo, Misiones, Argentina –fassola.hugo@inta.gob.ar

⁴Universidad Nacional de Misiones, Decana de la Facultad de Ciencias Forestales, Docente de Anatomía de la Madera, Eldorado, Misiones, Argentina.

⁵Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Técnico de Apoyo, Montecarlo, Misiones, Argentina – aquino.diego@inta.gob.ar

Resumen

La región noreste de la Argentina se caracteriza por contar con plantaciones forestales de rápido crecimiento, entre ellas se encuentra el *Pinus taeda*. El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de la poda y del estrato sobre las características morfométricas de las traqueidas del árbol. Se evaluaron 18 árboles de 16 años de edad, proveniente de un ensayo silvícola, con una densidad inicial de 1660 plantas/ha, sin raleo, tres tratamientos de poda, con 0%, 50% y 70% de remoción de la copa verde del árbol, perteneciente a los estratos dominante, codominante y suprimido. Se tomaron rodajas a la altura de 1,3 m, se prepararon las muestras que fueron observadas y medidas al microscopio con cámara acoplada. Los datos fueron analizados con modelos lineales mixtos. La poda no influyó sobre el ancho y la longitud de traqueidas, pero sí afectó al espesor de pared celular, el cual disminuyó con el aumento de la intensidad de poda. Mientras que la posición social del árbol (estrato) tuvo influencia significativa sobre la longitud de traqueidas, obteniéndose mayores valores para los ejemplares del estrato dominante, seguidos del codominante y suprimido. El ancho y espesor de pared celular no fueron afectados por el estrato. Independientemente de la pertenencia al estrato dominante, codominante o suprimido, la longitud de traqueidas presentó un patrón creciente desde médula a corteza, con los menores valores cercanos a la médula.

Palabras clave: anatomía de traqueidas, calidad de madera, poda, estructura vertical del rodal.

Abstract

Morphometry of tracheids of Pinus taeda L from a pruning test in NE de Argentina. The northeast region of Argentina is characterized by fast-growing forest plantations, *Pinus taeda* among them. The objective of this study was to evaluate the influence of pruning and stand structure on the morphometric characteristics of tree tracheids. We evaluated 18 trees of 16 years old, from a silvicultural stand essay, with 1660 plants/ha as initial density, without thinning, three pruning treatments 0%, 50% and 70% removal of the green crown belong to the dominant, codominant and suppressed strata. Tree slices were taken at 1.3 m height, the conditioned samples were observed and measured with a microscope with digital camera. The data was analyzed using mixed linear models. Pruning did not have effect on the width and length of tracheids, but it affected to the cell wall thickness, which decreased with increasing pruning intensity. While the social position (stratum) had significant influences on the length of tracheids, given greater for individual in dominant stratum, followed by codominant and suppressed stratum. The cell wall width and thickness were not affected by the stratum. Regardless of the social position in the stand, the tracheid's length showed an increasing pattern from pith to bark with the lower values near to the pith.

Key words: tracheids anatomy, wood quality, pruning, stand vertical structure

INTRODUCCIÓN

La región NE de la Argentina se caracteriza por cultivar especies forestales de rápido crecimiento con la finalidad de atender a los diferentes mercados de madera. En este sentido, el *Pinus taeda* constituye una de las especies de mayor importancia, por su alta tasa de crecimiento y la extensa superficie implantada. La Mesopotamia, presenta la mayor concentración de bosques cultivados donde predominan las coníferas (83%), fundamentalmente *Pinus elliottii* y *Pinus taeda* con una superficie forestada de 639.135,95 hectáreas (MAGyP, 2017).

Actualmente la madera es ampliamente utilizada para distintos usos industriales. Sin embargo, dentro de las diversas actividades que la utilizan como matería prima, el sector de la construcción es uno de los más exigentes en términos de propiedades físicas, mecánicas, estéticas y anatómicas (ROCHA *et al.*, 2015). Esto genera la necesidad evaluar la calidad

de materia prima que se está obteniendo y verificar si el tipo de manejo silvícola que se está aplicando es el adecuado para lograr los resultados esperados.

El conocimiento de los factores que influyen en la calidad de la madera es trascendente para optimizar el valor de las plantaciones y mejorar la competitividad de las empresas, para ello se debe apuntar a la incorporación de nuevas características que sean representativas de la aptitud de la madera de acuerdo a su uso final. En este sentido, las características anatómicas están íntimamente relacionadas con las propiedades de la madera y por lo tanto, con su procesamiento tecnológico. En muchas aplicaciones, los requisitos se refieren no solo a valores adecuados de propiedades físico-mecánicas, sino también en las características de las fibras de la madera, la homogeneidad y la relación con otras propiedades.

Las propiedades de la madera afectan a la calidad de sus productos derivados, lo que es especialmente cierto para la longitud de traqueidas (KAMALA y MISSANJO, 2017). Estos autores determinaron que esta variable se correlaciona fuertemente con módulo de elasticidad y que por lo tanto, para mejorar las propiedades de flexión de la madera, la longitud de traqueidas sería un factor a considerar.

En una conífera, un aumento en la longitud de la traqueida suele ir acompañado de una disminución en el ángulo de microfibra de la capa S2 (MOLIŃSKI *et al.*, 2008; LASSERRE *et al.*, 2009). DONALDSON (2008) y OLADI *et al.*, (2017), encontraron una relación fuerte y negativa entre la longitud de la traqueida y el ángulo microfibrilar. También otros estudios demuestran que la velocidad de propagación del sonido a lo largo de las fibras está fuertemente relacionado con longitud de los elementos anatómicos (FABISIAK *et al.*, 2010; FABISIAK *et al.*, 2012). También esta variable es importante en la industria papelera; la resistencia al rasgado del papel, aumenta con la longitud de traqueidas. Por otro lado, las traqueidas cortas, flexibles con paredes delgadas se colapsan con facilidad en el proceso industrial y producen papeles de alta calidad con excelente entramado, con densas capas de fibras con superficies lisas, otorgando flexibilidad y resistencia. Las paredes celulares gruesas otorgan poca fuerza de tensión, escasa resistencia de plegado pero alta resistencia al desgarramiento (PEÑA-ALONSO, 2011). Tanto el espesor de pared como la longitud de traqueidas están directamente relacionadas a las propiedades físico-mecánicas y tecnológicas, siendo fundamentales en la definición de su uso final. Una poda adecuada puede contribuir a mejorar las características del leño, sin embargo WINCK *et al.*, (2013) determinaron que la poda no afectó a la longitud de traqueidas de materiales provenientes de un ensayo de intensidad de poda.

La longitud de traqueidas varía también con la posición sociológica del individuo, los árboles del estrato dominante alcanzan mayores longitudes, seguidos por los codominantes y suprimidos (WINCK *et al.*, 2013).

El espesor de pared celular y la longitud de traqueidas, son atributos relevantes dado su influencia en la calidad papelera y en menor medida en la calidad de la madera para aserrío, mientras que el ancho al ser es un parámetro variable a lo largo de la longitud de la misma, no es utilizado como valor diagnóstico (MARJASISKO, 1994).

Existen investigaciones sobre la influencia de los tratamientos silvícolas sobre las propiedades físicas y mecánicas, mientras que, a nivel fibras, son más escasas. Recientemente (WINCK *et al.*, 2013, WINCK *et al.*, 2015) han iniciado estudios de caracterización anatómicamente del *Pinus taeda* cultivado en la región. Además está poco clara la incidencia de la poda sobre la calidad de las fibras de la madera. La hipótesis del trabajo es que la intensidad de poda y el diámetro del árbol causan variaciones en el espesor de pared celular, ancho y longitud de las traqueidas. El objetivo fue evaluar el efecto de la intensidad de poda y del estrato sobre la morfometría de las traqueidas de la madera de *Pinus taeda* de 16 años de edad y su comportamiento en el sentido radial a la altura de 1,3 metros de altura.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material utilizado se obtuvo de un ensayo silvícola de *Pinus taeda* L. con distintas intensidades y oportunidades de raleos y podas, instalados a campo en bloques completos al azar (FASSOLA *et al.*, 2002), ubicadas a los 56 ° 01' de latitud O y 28 ° 24' de longitud S, cerca de la ciudad de Santo Tomé, en la provincia de Corrientes. El ensayo se estableció en 1996, cuando la plantación tenía 3 años de edad. La densidad inicial de plantación fue de 1660 plantas hectárea. En este estudio se tuvo en cuenta las parcelas sin raleo y con dos intensidades de poda. La poda se aplicó a los 3, 4 y 5 años. Los tratamientos quedaron constituidos por el testigo, sin poda (T1), 50 % (T2) y 70 % (T3) de remoción de copa verde, realizadas en 3 reales con diferencia de un año entre los mismos.

Se voltearon 18 árboles, 6 árboles de cada tratamiento, dentro de cada uno de ellos, se seleccionaron 2 árboles por estratos, suprimidos (S), codominantes (CD), dominantes (D) (KÖHL *et al.*, 2006). En la tabla 1 se presentan las variables de estado del rodal en el momento del apeo de los árboles.

Tabla 1: Variable de estado del rodal de *Pinus taeda* por tratamiento a los 16 años de edad

Table 1: *Pinus taeda* stands state variables by treatment at 16 years of age.

Trat	Arb/ha (N°)	dap (cm)	dap máx. (cm)	dap min (cm)	h (m)	hdom (m)	hp (m)	hbcv (m)	Realces (N°)	Edad de poda (años)
T1	1111	26,4	39,8	18,3	25,4	26,2		19,5	0	
T2	1055	26,1	39,5	15,6	25,5	26,9	7,0	19,9	3	3;4;5
T3	833	26,5	34,0	16,2	24,7	26,1	6,4	18,9	3	3;4;5

Trat.: tratamiento de poda; T1: 0% de poda, T2: 50% de poda, T3: 70% de poda; Arb/ha: número de árboles por hectárea, dap: diámetro medio a la altura del pecho; dap max: diámetro máximo; dapmin: diámetro mínimo; h: altura media del árbol; hdom: altura dominante, hp: altura de poda; hbcv: altura hasta la base de la copa verde; Realces: número de intervenciones de poda

Si bien se conoce que existe una variación de la morfometría de las traqueidas con la altura del árbol, consideramos que para captar el efecto de la poda sería suficiente la toma de muestras sobre un rollizo podado. Por lo tanto, de cada árbol a la altura de 1,30 m se obtuvo una rodaja, se marcó un listón central de 2 cm de ancho, se tomó uno de los radios (derecho), se separaron los anillos de crecimiento, cada uno fue identificado y posteriormente astillados y disociados para medir longitud de traqueidas y ancho y espesor de pared celular del leño tardío.

Los anillos de crecimiento fueron separados con la ayuda del cúter, el martillo, la lupa y la encaladora. Luego cada muestra fue colocada en tubos de ensayo, rotulado, con los datos de anillo de crecimiento, número del árbol y tratamiento de poda. Se colocaron las muestras en suspensión acuosa a una temperatura de 80°C, por 48 horas, para hidratar las mismas. Luego se realizó el disociado de las fibras empelando la técnica de NUÑEZ y PAVLIK (1999). Finalizado el proceso de disociado, se dividió la muestra en dos partes, una parte de ellas fue utilizada para medir ancho y longitud de traqueidas con el equipo FQA, la otra parte se sometió al proceso de tinción con safranina al 1%, con el objetivo de poder visualizar mejor las paredes celulares de las traqueidas. Se colocaron las muestras en un papel filtro, sobre un embudo, en un vaso de precipitado, sumergiendo la muestra por unos 20-30 min en la solución, repitiéndolo 2-3 veces. Finalmente se la enjuagó con agua hasta que el líquido filtrado sea de un color transparente. Una vez teñidas las muestras, se colocaron en portaobjeto, tapándolas con el respectivo cubre objetos. Las mediciones de pared celular fueron realizadas con un microscopio óptico, acoplada a una cámara con software Motic Image Plus 2.0, siguiendo las recomendaciones de las normas IAWA (International Association of Wood Anatomists), la cual indica realizar un mínimo de 25 mediciones de cada muestra. Es decir que de las 18 rodajas, se tomaron de cada anillo el leño tardío, 25 mediciones, habiendo en cada árbol 15 anillos, 18 árboles*15anillos*25repeticiones= 6750 mediciones en total para espesor de pared.

Para longitud y ancho de traqueidas, se tomaron 1000 mediciones de cada anillo de crecimiento, es decir 18*15*1000 (árboles-anillos-repeticiones= 270.000 mediciones de cada variable).

Los datos fueron analizados con un ANCOVA, mediante modelos lineales generalizado mixtos utilizando el software "InfoStat" versión 2017. Los modelos lineales generalizados mixtos brindan la posibilidad de analizar datos con estructuras de dependencia, desbalances y falta de normalidad.

Se utilizó un nivel de confianza del 95%. Para las variables respuestas: longitud de traqueidas, ancho y espesor de pared, se consideraron los siguientes factores de variación: intensidad de poda, estrato y anillos de crecimientos e interacción entre factores. La comparación de medias se realizaron bajo método DGC (DI RIENZO *et al.*, 2002). Mediante el análisis de modelos lineales generalizados mixtos, se desarrollaron ecuaciones de longitud de traqueidas para cada estrato en función de la edad, se empleó el logaritmo de la edad, para mejorar la precisión del ajuste.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La información que se generó permitió conocer estas características de las traqueidas de la madera, que son importantes tanto para la industria de productos sólidos como para industrias celulósicas, la longitud de las mismas como el espesor de pared celular están íntimamente relacionadas con las propiedades de resistencia de la madera (WINCK, 2015) y por lo tanto con su procesamiento tecnológico.

Efecto de la intensidad de poda sobre la longitud de traqueidas

Los tratamientos de poda no afectaron a la longitud de traqueidas (p-valor=0,1572). Los valores medios fueron de 2833 µm, 2756 µm y 2729 µm para los tratamientos testigo, con 50% y 70% de poda respectivamente (Figura 1). Un comportamiento similar, y sin diferencias estadísticas, fue determinado en la edad cambial (a 3 cm de la corteza) por WINCK *et al.*, (2013). El ordenamiento encontrado por estos autores para la longitud de traqueidas en función del tratamiento de poda fue >50% > 0% >70%.

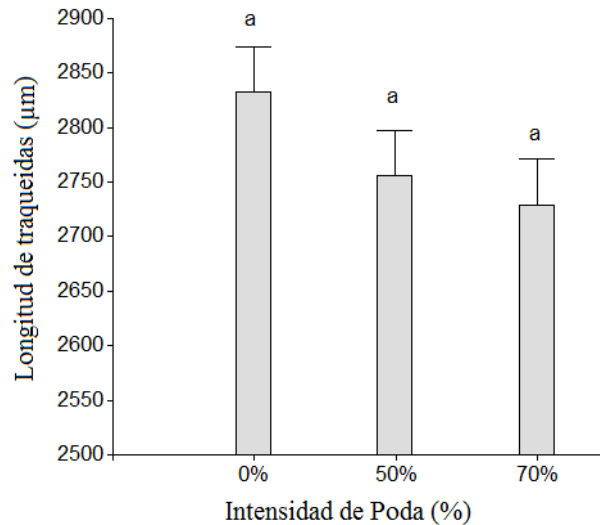


Figura 1: Longitud media de traqueidas para cada intensidad de poda.
 Figure 1: Average length of tracheids for each pruning intensity.

Estos valores favorecen a la toma de decisiones al momento de ejecutar o no poda. En este estudio la poda no estimuló un mayor crecimiento en longitud de traqueidas. Por lo tanto si el destino final de la plantación fuera la industria celulósica, lo más común es que no se realice esta práctica silvícola, sin embargo si la materia prima fuera destinada a usos sólido si bien la poda no mejoro la calidad de las fibras en este sentido, proporciona otros beneficios como ser la obtención de madera libre de nudos para “usos a la vista”, además al realizar la poda en una plantación se facilita el desplazamiento de los operarios y maquinarias, también favorece para la prevención y control de los incendios forestales (FASSOLA *et al.*, 2002).

Efecto del estrato en la longitud de las traqueidas

La longitud de traqueidas varió según la posición social del árbol (estrato). Se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas (p -valor=0,0001) para un nivel de confianza del 95% para los distintos estratos. Los valores medios para longitud de traqueidas fueron de 2550 µm, 2759 µm y 3010 µm para los estratos suprimidos, codominantes y dominantes respectivamente (Figura 2). Un comportamiento similar fue obtenido por WINCK *et al.*, 2013, donde los valores de longitud de traqueidas del estrato dominante fue estadísticamente superior a los estratos codominantes y suprimidos, con valores de 2698 µm, 2333 µm y 2184 µm respectivamente, los mismos fueron determinados en una muestra compuesta (leño temprano y tardío) obtenida a 1,30 metros de altura y a 3 cm de la corteza de madera de *Pinus taeda* de 16 años de edad. También, VIVIAN *et al.*, (2015) estudiando las características tecnológicas da madeira de *Pinus taeda* de 21 años con destino a la industria celulósica, determinaron valores medios 3500 µm. Por otro lado, en especies latifoliadas, encontraron un comportamiento similar al de coníferas. TREVISAN *et al.*, (2013), para *Eucalyptus grandis* determinaron para árboles dominantes mayores valores de longitud de fibras que en árboles medios. Por lo tanto las prácticas que proporcionen el desarrollo de árbol con carácter dominante favorecerá la obtención de fibras más largas, normalmente estos individuos se caracterizan por presentar una superioridad genética.

Relación de los valores medios de longitud de traqueidas a 1,3 m de altura, con respecto a la edad.

Las ecuaciones obtenidas mediante el análisis de regresión, muestran una clara variación del largo desde la médula hacia la corteza de los árboles. Se observan traqueidas más cortas en la médula, lo que corresponde a madera juvenil, aumentando hacia la periferia del tronco, con la presencia de madera madura, resultados similares fueron obtenidos por FABISIAK *et al.*, (2014).

Las ecuaciones desarrolladas expresan la relación existente entre la longitud de traqueidas con el logaritmo de la edad para cada estrato. Los coeficientes de los modelos (1) (2) y (3) fueron 2188; 2066 y 1532 µm para los estratos dominantes, codominantes y suprimidos respectivamente.

$$(1) Long_{ED} = 2188 + 458 * \ln(edad)$$

$$(2) Long_{ECD} = 2066 + 378 * \ln(edad)$$

$$(3) Long_{ES} = 1532 + 560 * \ln(edad)$$

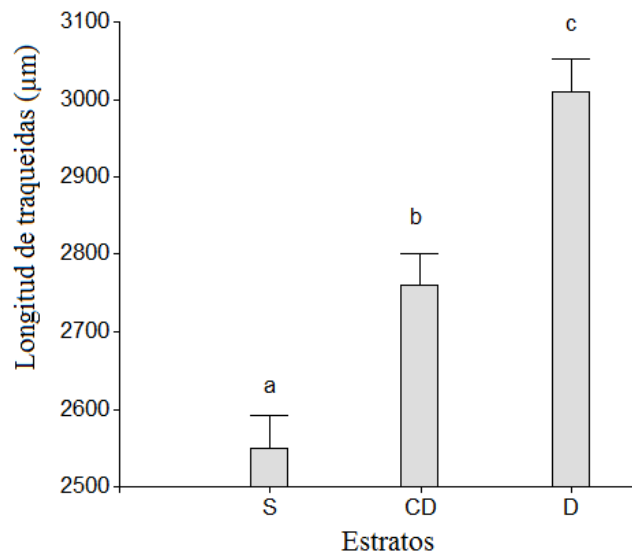


Figura 2: Longitud media de traqueidas para cada estrato.
 Figure 2: Average length of tracheids for each stratum.

Los valores medios encontrados para longitud de traqueidas de los árboles del estrato dominante codominante y suprimidos, en función a los anillos de crecimiento en el sentido radial, son representados en la Figura 3, los cuales indicaron que esta variable aumentó rápidamente en los primeros 6 años, existe un incremento prácticamente lineal, con una desaceleración entre los 7 y 11 años de edad, con un crecimiento aún menor a partir de esa edad, y notándose una mayor diferencia entre los valores de longitud de traqueidas para estrato dominante respecto a los demás estratos. Sin embargo no se alcanzaron valores constantes por lo que se asume que aún no alcanzaron la madurez a los 16 años de edad. Por otro lado se verificó que la longitud de traqueidas de los árboles del estrato dominante fue superior a los del estrato codominante y suprimido durante toda la etapa de crecimiento del árbol (de 1 a 16 años).

En este análisis se puede observar cómo la posición sociológica de los mismos, está estrechamente relacionado a la longitud de las traqueidas, los árboles del estrato dominante presentaron mayores valores de longitud seguido por el estrato codominante y suprimido, independientemente del tratamiento de poda que hayan recibido, ese comportamiento ocurre para cada anillo de crecimiento, acentuándose con la edad, donde los árboles del estrato dominante a los 16 años superan valores de 3400 µm, mientras que los estratos codominantes y suprimidos alcanzan valores de 3000 µm (Figura 3).

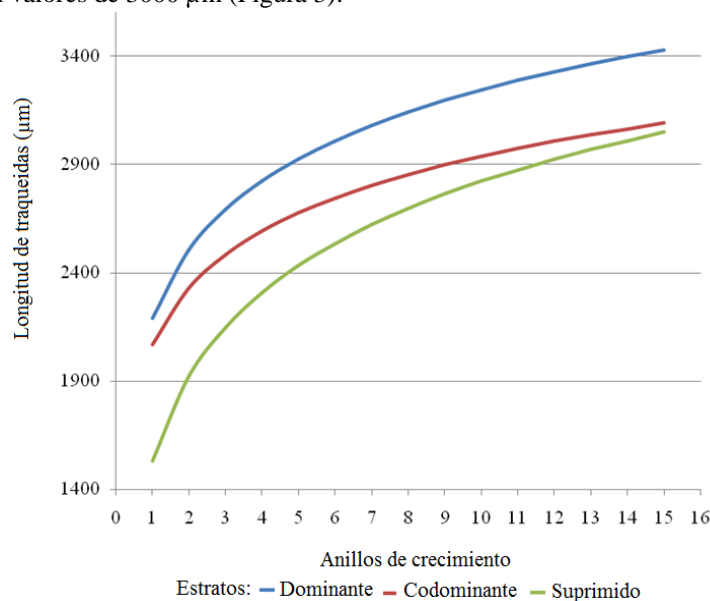


Figura 3: Variación radial de la longitud media de traqueidas por anillo de crecimiento para cada estrato.
 Figure 3: Radial variation of the average length tracheids per ring of growth for each stratum.

Otro comportamiento importante para destacar, es que los árboles pertenecientes al estrato dominante alcanzaron mayores valores de longitud de traqueidas a edades más jóvenes respecto de los árboles codominantes y suprimidos. En el estrato dominante los árboles alcanzaron una longitud de traqueidas de 3000 μm a los 6 años, mientras que esta longitud para los estratos codominantes y suprimidos este valor se logró a las edades de 11 y 14 años respectivamente.

Efecto de la intensidad de poda sobre el ancho de traqueidas

En este análisis se puede observar que la poda no influyó en los resultados ($p\text{-valor}=0,5336$). No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Los valores para el ancho de pared celular fueron de 38,40 μm , 39,27 μm y 38,53 μm para los tratamientos 0%, 50% y 70% de poda respectivamente (Figura 4), son valores similares encontraron VIVIAN *et al.*, 2015 para esta misma especie, estos autores obtuvieron una valor medio 40,55 μm .

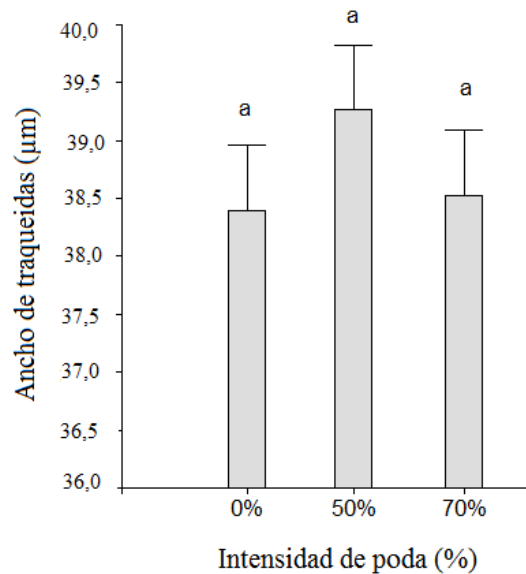


Figura 4: Ancho medio de traqueidas según intensidad de poda.

Figure 4: Average width of tracheids according to pruning intensity.

Efecto del estrato sobre el ancho de traqueidas

El ancho de traqueidas no fue afectada por el estrato del árbol ($p\text{-valor}=0,3027$). Los valores medios fueron de 38,55 μm , 39,42 μm y 38,21 μm para los estratos suprimido, codominante y dominante respectivamente (Figura 5).

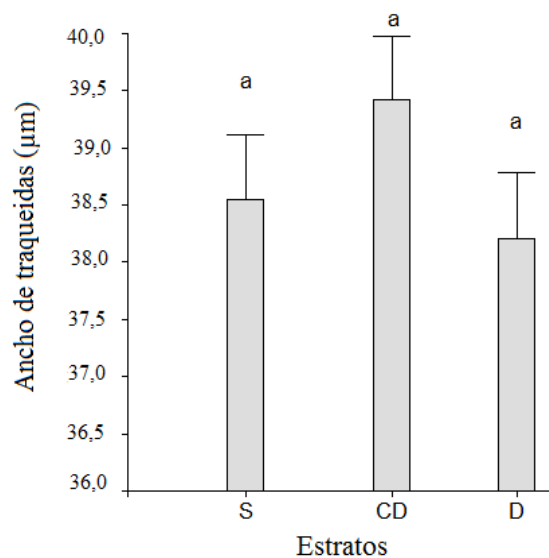


Figura 5: Ancho medio de traqueidas según estrato.

Figure 5: Average width of tracheid's according to stratum

Para el estrato dominante se observa que existe compensación entre el desarrollo en ancho y la longitud de las traqueidas, para esta posición social del árbol se encontró un mayor crecimiento en longitud de traqueidas y un menor valor medio para el ancho.

Los valores medios para este variable son similares a los determinados por NUÑEZ (2008) para coníferas, quien determino variaciones ancho comprendidos entre 0 a 60 μm .

El ancho de las traqueidas es un parámetro variable a lo largo de la longitud de la misma, e inclusive en el mismo sitio, puesto que ésta no tiene una sección circular, por ello no es utilizada como valor diagnóstico (MARJA-SISKO, 1994). Sin embargo la relación longitud de fibra/diámetro de fibra, conocida como el coeficiente de afieltramiento, constituye un indicador de la resistencia del papel (HASSANKHANI *et al.*, 2015).

Existen dos maneras de determinar el ancho de las traqueidas en los tejidos de la madera: por medio de cortes transversales hechos con micrótopo y en los disgregados. Las mediciones presentan valores diferentes presentándose los mayores valores de anchos de traqueidas, cuando los mismos son obtenidos a partir de material disgregados, que es el caso de este estudio. Esto se debe a que, por un lado las células en la madera están tensionadas expandiéndose al deslignificarse, y por otro lado en el disgregado los elementos están colapsados, debido a su posición y en alguna medida a la presión que ejerce el cubreobjetos. Para los fines papeleros se recomienda medir los anchos de traqueidas en material disgregado dado que es como se lo va a encontrar en la hoja de papel y de esa manera se pueden comparar con los preparados de pulpa que eventualmente se realicen.

Efecto de la intensidad de poda sobre el espesor de pared

El espesor de pared fue afectado por el tratamiento de poda ($p\text{-valor}=0,0001$), con el tratamiento sin poda se obtuvo un mayor valor medio de espesor de pared celular (9,01 μm). Para los tratamientos con 50% y 70 % de intensidad de poda, los valores fueron de 7,93 μm y 7,25 μm respectivamente (Figura 6). Los valores de espesor de pared celular disminuyeron un 12% y 20% con la aplicación de 50% y 70% de poda respectivamente.

Se puede apreciar como el tratamiento más intenso propicio al desarrollo de traqueidas de paredes delgadas, esto tiene un impacto negativo en el espesor de la pared celular de las traqueidas, cuando se desea utilizar la madera con para usos sólidos, dado que afecta a la densidad y repercute en la resistencia de la misma. Mientras que es una característica favorable cuando el destino de la materia prima es la industria papelera, dado que las traqueidas cortas, flexibles con paredes delgadas se colapsan con facilidad en el proceso industrial y producen papeles de alta calidad con entramado de numerosas uniones, densas capas de fibras, superficies lisas y destaca su flexibilidad y resistencia. Las paredes gruesas otorgan poca fuerza de tensión, poca resistencia de plegado pero alta resistencia al desgarró (PEÑA, 2011). Es decir este “impacto negativo” para los aspectos relacionados a las propiedades mecánicas para usos estructurales, favorece positivamente a uno los productos finales obtenidos de la industria papelera.

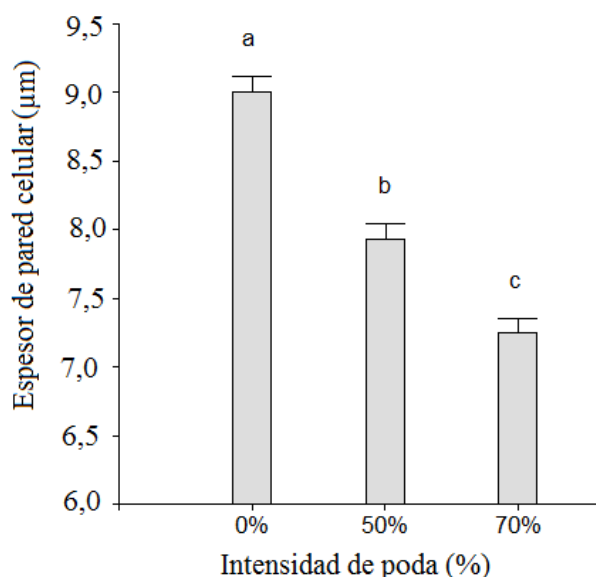


Figura 6: Espesor medio de pared de traqueidas para cada intensidad de poda.

Figure 6: Average wall thickness of tracheids for each pruning intensity.

Las diferencias estadísticamente significativas en el espesor de pared celular entre tratamientos de intensidad de poda, estaría indicando una variación en la densidad de la madera, dado que la proporción de pared

celular influye en el valor de esta propiedad y por lo tanto en su resistencia. Sin embargo FASSOLA *et al.*, (2011) con muestras de estos mismos ejemplares realizaron estudios de velocidad del sonido en árboles en pie y en trozas y de la densidad básica a la altura de 1,30m, y la densidad básica media para el árbol completo y no detectaron diferencias estadísticas para ninguna de estas dos variables.

Efecto del estrato sobre el espesor de la pared

Como se observa en la Figura 7, los diferentes estratos presentaron valores similares en el espesor de pared celular, sin exhibir diferencias estadísticamente significativas (p -valor=0,5729). Se puede notar que el espesor de pared celular marca una tendencia a disminuir con el tamaño del árbol, aunque la merma es menor al 2%. Se registraron valores de 8,17 μm , 8,07 μm y 7,97 μm para los estratos suprimidos, codominantes y dominantes respectivamente. Estos valores son superiores a los determinados VIVIAN *et al.*, 2015, estos autores registraron valores medios de espesor de pared celular de 6,41 μm para *Pinus taeda* de 21 años de edad.

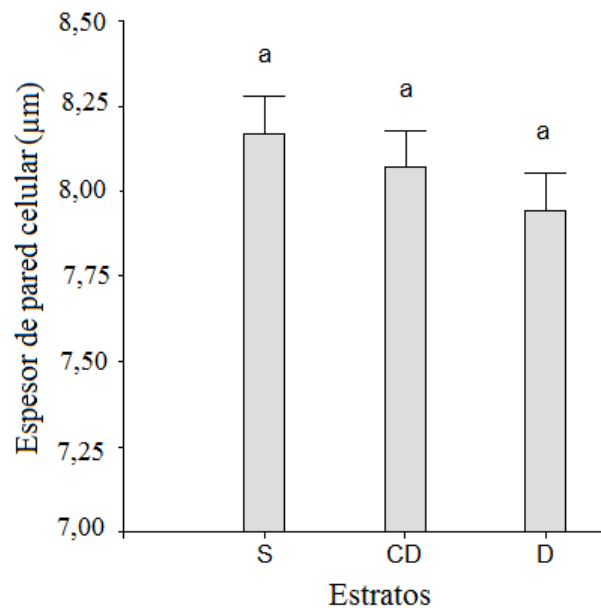


Figura 7: Espesor medio de pared de las traqueidas para cada estrato.
Figure 7: Average wall thickness of the tracheid's for each stratum.

Dependiendo el destino final del árbol, sería interesante el aprovechamiento de estos individuos de mayor tamaño, ya que el aprovechamiento industrial sería beneficiado por el mayor rendimiento en el aserrado, por otro lado, estos ejemplares alcanzaron también mayores longitudes de traqueidas, lo cual es beneficio tanto cuando se utiliza la madera para usos sólidos, como así también para sector papelerero, además se verificó que como la disminución en el espesor de pared no fue significativa, no afectarían a las propiedades mecánicas de la madera, lo cual beneficioso también para el sector maderero, esto además se comprobó a través del estudio de la densidad básica media a la altura de 1,30 metros, como así también para la densidad media del árbol completo (FASSOLA, *et al.* 2011).

De las variables estudiadas, la longitud de traqueidas y el espesor de pared que sufrieron variaciones con el estrato del árbol y con la intensidad de poda respectivamente, son las que influyen en otras propiedades de la madera como la densidad y módulo de elasticidad. LASSERRE *et al.*, (2009) en un estudio de la influencia del espaciamiento inicial sobre las propiedades de la madera de *Pinus radiata*, indico la fuerte relación entre estas propiedades anatómicas con las propiedades físicas y mecánicas, indicaron también que Los valores de ancho de pared celular es prácticamente constante en el sentido radial, con la edad del árbol. Estos autores encontraron una relación inversa entre la longitud de traqueidas y ángulo microfibrilar y sostienen que ambas repercuten sobre las propiedades tecnológicas de la madera. Además indicaron que existe una fuerte correlación positiva entre longitud de fibra y conductividad específica, opinan que con mayores longitudes de fibras se reducen la cantidad de veces que el agua debe pasar a través de las puntuaciones. Indicando una importante función fisiológica de la planta y dada la alta relación encontrada entre la longitud de la fibra y la esbeltez del tallo (relación diámetro/altura), recomiendan manejar estas condiciones para poder garantizar la adaptación y un flujo de agua adecuado, aunque invitan a realizar una investigación más profunda para confirmar esta explicación mecanicista.

CONCLUSIONES

La intensidad de poda no afectó estadísticamente a la longitud de traqueidas, pero mostró una tendencia a disminuir con la intensidad de poda. Los mayores valores se alcanzaron en el tratamiento sin poda, por lo cual se rechaza la hipótesis planteada, de que la poda no influye sobre la longitud de traqueidas a 1,3 m de altura en *Pinus taeda* de 16 años de edad, de la región del NE de la Argentina.

Por otro lado, se destaca la importancia de la posición sociológica del árbol, indistintamente del tratamiento de poda recibido, los árboles del estrato dominante presentaron mayores valores de longitudes, seguidos de los codominantes y suprimidos.

Con respecto a la variación del ancho de las traqueidas, se puede decir que ni la poda, ni el estrato tuvieron influencias estadísticamente significativas en desarrollo de esta variable.

El espesor de pared celular de las traqueidas fue afectado por el tratamiento de poda, no así por el estrato del árbol. El tratamiento de poda más intenso, con 70% remoción de copa verde, fue el más adecuado desde el punto de vista de la industria celulósica, dado que favoreció la obtención de traqueidas con paredes celulares delgadas, y el que menos favorece a la utilización de la madera en productos estructurales.

En el tratamiento testigo se obtuvieron valores más elevados para el espesor de pared celular, por lo cual se acepta la hipótesis de que la poda afecta a esta variable anatómica.

Para este estudio la intensidad de poda provocó una variación significativa solamente en el espesor de pared celular, el valor para esta variable disminuye con la intensidad de poda.

El estrato del árbol ocasionó variaciones significativas solamente en la longitud de traqueidas, estas aumentan con el tamaño del árbol.

La longitud de traqueidas y espesor de pared variaron considerablemente desde la médula a la corteza, mientras que el ancho de traqueidas se mantuvo constante en el perfil radial.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al ingeniero Ernesto Héctor Crechi de la Estación Experimental Montecarlo y al ingeniero Raúl Pezutti de la Empresa Bosques del Plata S.A, quienes instalaron oportunamente el ensayo de poda y raleo. Además de permitir realizar la extracción de los árboles para realizar los estudios de calidad de madera.

REFERENCIAS

DI RIENZO, J.A.; GUZMÁN, A.W.; CASANOVES, F. A Multiple Comparisons Method based on the Distribution of the Root Node Distance of a Binary Tree. **Journal of Agricultural, Biological, and Environment Statistics**, v.7, n.2, p.1-14, 2002.

DONALDSON L. Microfibril angle: measurement, variation and relationships – a review. **IAWA J.** 29(4): 345-386. 2008.

FABISIAK E., ČUNDERLIK I., MOLÍŃSKI W. Ultrastructure and ultrasound wave propagation velocity in spruce (*Picea abies* L.) resonance wood. **Ann. WULS – SGGW Forestry and Wood Technol.** 71: 170-176. 2010.

FABISIAK, E.; MOLÍŃSKI, W.; KÚDELA, J.; MANIA, P. A study on the dependence between tracheid lengths and microfibril angle in resonant wood of spruce (*Picea abies* L.). **Ann. WULS – SGGW. Forestry and Wood Technology.** N° 77, 2012: 222-226, 2012.

FABISIAK, E.; MANIA, P.; KÚDELA, J. Variation in tracheid lengths in resonance wood of spruce (*Picea abies* L.). **Ann. WULS – SGGW. Forestry and Wood Technology** N° 86: 104-108. 2014.

FASSOLA, H. E.; VIDELA, D.; WINCK, R. A.; PEZZUTTI, R. Effect of pruning of *Pinus taeda* on longitudinal ultrasound speed of standing trees and logs in plantations of North Eastern Argentina. Congreso WOOD NDT. **17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium.** Sopron Hungary. p. 113-120, 2011.

FASSOLA, H.; MOSCOVICH, F.; FERRERE, P.; RODRÍGUEZ, F. Evolución de las principales variables de árboles de *Pinus taeda* L. sometidos a diferentes tratamientos silviculturales en el nordeste de la provincia de Corrientes, Argentina. **Ciência Florestal**, v.12, n.2, p. 51-60, 2002.

HASSANKHANI, M. BEHZAD KORD, B.; POURPASHA, M.M. Empirical statistical model for predicting wood properties of *Paulownia fortunei*. Part 1: physical and biometrical properties. **Maderas. Ciencia y Tecnología** 17(4): 919- 930, 2015.

- KAMALA, F.; MISSANJO, E. Radial and Among-Family Variations of Tracheid Length and the Relationships with Bending Properties in *Pinus patula*. **International Journal of Research in Agriculture and Forestry**. Volume 4, Issue 11, PP 9-13. 2017.
- KÖHL, M.; MAGNUSSEN, S.; MARCHETTI, M. Sampling Methods; Remote Sensing and GIS". Multiresource Forest Inventory. Ed. Springer. Berlin. **Heidelberg. Serie Tropical Forestry**. p. 17-69, 2006.
- LASSERRE, J.P.; MASON, E.G.; WATT, M.S. Influence of initial planting spacing and genotype on microfibril angle, wood density, fibre properties and modulus of elasticity in *Pinus radiata* D. Don corewood. **Forest Ecology and Management**, 258:1924–1931. 2009.
- MAGyP de Desarrollo Foresto Industrial. 2017.
- MARJA-SISKO, I. **Fiber atlas. Identification of papermaking fibers**. T. E. Timell. New York. Pp.15-20, 1994.
- MOLIŃSKI, W., FABISIAK, E., MARCINKOWSKA, A. Investigations on the relationships between the length of tracheids and the microfibril angle in the tangential walls of pine (*Pinus sylvestris* L.) wood tracheids. **Proc. 4rd International of Wood with Various Forms of Energy**. Sept. 9-11, Zvolen,: 1-8. 2008.
- NUÑEZ, C. E. Pulpa y papel I 4ª parte. **Anatomía de la Madera-Macro**. p. 20-44, 2008.
- NUÑEZ, C. E.; PAVLIK, C. A. Disgregado de tejidos leñosos por el método clorito- ácido acético-carbonato. Evaluación del daño producido a las fibras. **Madera Ciencia y Tecnológica**. V.2, n.2, p.33-37, 1999.
- OLADI, R. POURTAHMASI, K. PARSAPAJOUH, D. Verifying the Preston equation between the average of tracheid length and microfibril angle in *Cupressus arizoniica* compression and oposite wood. **Iranian Journal of Wood and Paper Industries**, Vol. 8, No. 3, Autumn 2017.
- PEÑA-ALONSO, J. R. **Manual de histología vegetal**. Paraninfo. Madrid. p. 240-241, 2011.
- ROCHA, H. L. S.; PAES, J. B.; MINÁ, A. J. S.; OLIVEIRA, E. Caracterização físico mecânica da madeira de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) visando seu emprego na indústria moveleira. **Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 2, p. 262-267, 2015.
- TREVISAN, R.; SOUZA, J.T. DE; DENARDI, L.; HASELEIN, C.R.; SANTINI, E.J.. “Efeito do desbaste no comprimento das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden”. **Ciência Florestal**, Santa Maria. 23(2): 461-4. 2013.
- VIVIAN, M.A.; SIMKUNAS SEGURA, T.E.; BONFATTI JÚNIOR, E.A.; SARTO, C.; SCHMIDT, F.; GOMES DA SILVA JÚNIOR, F. GABOV, K.; FARDIM, P. Qualidade das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para a produção de polpa celulósica kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 183-191. 2015.
- WINCK, R. A.; FASSOLA, H. E.; AREA, M. C.; PEZZUTTI, R. Relación entre la poda y la longitud de traqueidas en madera de *Pinus taeda*. **13er Congreso Internacional en Ciencia y Tecnología de Metalurgia y Materiales**. Simposio internacional de materiales lignocelulósicos, Misiones, Argentina. 2013.
- WINCK, R. A.; FASSOLA, H. E.; AREA, M.C. Efecto del raleo sobre las propiedades anatómicas de la madera de *Pinus taeda*. **Madera Ciencia y Tecnología**. v.17, n.8, p. 391-406, 2015.