

Determinación de la altura de muestreo representativa del fuste comercial para la estimación de densidad de la madera y longitud de fibras en dos especies de Salicáceas

Cobas, Ana Clara^{1,3}; Silvia Monteoliva²

¹Laboratorio de Ensayos de Materiales y Estructuras (LEMEJ), Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Bs. As. (UNNOBA), Sarmiento 1169, Junín (6000), Bs. As. CONICET; ²Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, CC 31 (1900) La Plata. INFIVE – CONICET; ³cobasanaclara@yahoo.com.ar

Cobas, Ana Clara; Silvia Monteoliva (2018) Determinación de la altura de muestreo representativa del fuste comercial para la estimación de densidad de la madera y longitud de fibras en dos especies de Salicáceas. Rev. Fac. Agron. Vol 117 (2): 283-299.

El objetivo de este trabajo fue determinar la altura de muestreo óptima para la evaluación de la densidad básica y la longitud de fibra en un clon de sauce y uno de álamo. Para ello se muestrearon cinco árboles de 45 años de *Salix babylonica* var *sacramenta* y cinco árboles de 17 años de *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' implantados en el delta del río Paraná, Argentina. De cada árbol se sacaron 4 rodajas a diferentes alturas del fuste (0,30 m; 1,30 m; 4,80 m y 15,90 m en álamo y 0,30 m; 1,30 m; 2,60 m y 3,90 m en sauce). La estimación de los parámetros densidad básica y longitud de fibra adjudicada al fuste comercial y la altura predictor a fue calculada como promedios ponderados por volumen. Se estudió la relación entre las estimaciones de densidad y longitud de fibra del fuste comercial y los valores en cada una de las alturas muestreadas, mediante el análisis de regresión lineal simple y múltiple. Según los ajustes logrados por los modelos, la altura de muestreo óptima para predecir ambas propiedades del fuste comercial en álamo fue a 1,30 m. En sauce fue la altura 0,30m para fibras. Sin embargo, no se halló ningún modelo significativo para densidad. Los valores a 1,30 m subestiman el valor del fuste comercial en 1-8 % según especie y propiedad. No hay correlación significativa entre el diámetro a la altura de pecho como indicador de crecimiento y la densidad y la longitud de fibra a 1,30 m en ninguna de las especies, al igual que al considerar la propiedad ponderada por fuste comercial.

Palabras clave: densidad; longitud de fibra; variación axial; Salicáceas.

Cobas, Ana Clara; Silvia Monteoliva (2018) Determination of the representative sampling height of the commercial stem for the estimation of density of the wood and length of fibers in two species of Salicaceae. Rev. Fac. Agron. Vol 117 (2): 283-299.

The objective of this work was to determine the optimal sampling height for the evaluation of the basic density and fiber length in a willow and an aspen clone. For this, five 45-year-old trees of *Salix babylonica* var *sacramenta* and five 17-year-old trees of *Populus deltoides* 'Australiano 129 / 60' implanted in the Paraná River delta, Argentina, were sampled. From each tree 4 slices were taken at different heights of the trunk (0.30 m, 1.30 m, 4.80 m and 15.90 m in poplar and 0.30 m, 1.30 m, 2.60 m and 3, 90 m in willow). The estimation of the basic density and fiber length parameters assigned to the commercial shaft and the predicted height were calculated as volume weighted averages. The relationship between fiber density and fiber length estimates of the commercial stem and the values in each of the heights sampled was studied, by simple and multiple linear regression analysis. According to the adjustments achieved by the models, the optimum sampling height to predict both properties of the commercial poplar tree was 1.30 m. In willow it was the height 0,30m for fibers, however no significant model for density was found. The values at 1.30 m underestimate the value of the commercial stem in 1-8% according to species and property. There is no significant correlation between the diameter at breast height as an indicator of growth and the density and fiber length at 1.30 m in any of the species, as well as when considering the property weighted by commercial stem.

Key words: density; fiber length; axial variation; Salicaceae.

Recibido:

Aceptado:

Disponible on line:

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

INTRODUCCION

Las Salicáceas son ampliamente cultivadas en la Argentina ya que son muy versátiles en cuanto a posibilidad de sitios, poseen clones adaptados a suelos anegados y a condiciones de sequía. Se caracterizan por su rápido crecimiento y factibilidad de su propagación vegetativa (Achinelli, 2006). Según la Dirección Forestal, en el año 2013 se extrajeron 11.758.00 tn de rollizos de los cuales el 6 % corresponde a las Salicáceas. La mayor parte de la producción se destina a la industria celulósico-papelera. El concepto de aptitud papelera involucra una serie de parámetros relacionados con el leño, con la pasta y con el papel, entre ellos, la densidad básica y la longitud de fibra (Villegas & Marlats, 2005). En la fabricación de pulpas celulósicas, la densidad de la madera se asocia con los rendimientos del proceso industrial, el consumo de reactivos, la resistencia del papel y su opacidad (Downes et al., 1997; Villegas & Marlats, 2005). La longitud de fibra favorece el entramado del papel, mejorando las resistencias a la tracción y al rasgado del mismo (Downes et al., 1997).

Ambas variables están influenciadas por la posición dentro del árbol. La variación de las propiedades de la madera entre especies, árboles de una misma especie y dentro del mismo árbol, es una regla más que una excepción. Existen estudios que evidencian diferentes patrones de variación (axial y radial) en Salicáceas, en donde la densidad y la longitud de fibra presentan aumento de sus valores en sentido axial (Novaresi, 1997; Monteoliva et al., 2002, 2006; Villegas & Marlats, 2005; Díaz et al., 2010; Cobas et al., 2013, 2014). Frecuentemente, las muestras de maderas son obtenidas a la altura del pecho (AP= 1,30 m), como representativas para la evaluación del árbol completo. Sin embargo, como ha sido mencionado anteriormente, la existencia de variaciones importantes dentro del fuste para los parámetros analizados hace necesario ubicar un nivel de muestreo adecuado, desde el cual obtener muestras mediante métodos no destructivos, que permitan caracterizar a los árboles en términos de su densidad y longitud de fibra.

En diversos trabajos (Jorge et al., 2000; Igartúa et al., 2003; Monteoliva & Marlats, 2007) se utilizan los promedios simples o ponderados para la estimación de los parámetros adjudicables tanto al árbol completo como a una sección predictora. Busnardo et al. (1987) consideran que las ecuaciones matemáticas que relacionan los valores a una altura dada con el promedio del árbol deben ser restringidas a determinadas condiciones (de especie, clon, sitio, edad).

El objetivo del trabajo fue determinar la altura de muestreo óptima en el fuste para la evaluación de la densidad básica y la longitud de fibra representativa del fuste comercial completo en un clon de sauce y uno de álamo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron 5 árboles de 17 años de una plantación comercial de *Populus deltoides* 'Australiano 129-60' procedentes de la 4° Sección de Islas del Delta del río

Paraná, en la Provincia de Buenos Aires, Argentina (34° 30' S, 59° 00' O) y 5 árboles de 45 años de *Salix babylonica* var. *sacramenta* 'Soveny americano' (sauce americano) procedentes del Establecimiento "Las Animas", Villa Paranacito, Entre Ríos (33° 26' S; 59° 01' O) perteneciente a la empresa Papel Prensa S.A.

Los valores medios de los datos dasométricos obtenidos para álamo fueron de: 29,56 m de altura total (considerando la copa), 24,66 m de altura comercial (desde la base hasta la primera ramificación del fuste) y 37,42 cm de diámetro sin corteza medido a la altura del pecho (DAP s/c). Mientras que, en sauce la altura total fue de 10,96 m, la comercial de 5,86 m y el DAP s/c fue de 31,64 cm.

Sobre los ejemplares seleccionados fueron tomadas las muestras (rodajas) de la siguiente manera:

- *Populus*, se muestreó el fuste a 5 alturas medidas desde el suelo: 0,30 m (base), 1,30 m (AP), 3,90 m, 4,80 m y 15,90 m.

- *Salix*, se muestreó el fuste a 4 alturas: 0,30 m (base), 1,30 m (AP), 2,60 m y 3,90 m.

En la tabla central se marcaron diferentes posiciones radiales de muestreo (probetas), que en el caso de *Populus* coincidió con los anillos de crecimiento (17 probetas por altura). En cambio en *Salix*, debido al escaso espesor de los anillos de crecimiento (2-5 mm), cada posición radial de muestreo se conformó uniendo 5 anillos de crecimiento (9 probetas por altura). Según este criterio se tomaron las probetas para la determinación de la densidad básica y para la elaboración de los preparados histológicos. La densidad básica se determinó en cada probeta radial, según la norma IRAM 9544, como el cociente entre peso seco anhidro (en estufa a 103°C) y el volumen verde (por desplazamiento de fluidos). La longitud de fibras se midió sobre imágenes digitales de disociados (Franklin, 1945) de cada probeta radial, tomadas en el microscopio óptico.

Se calculó la densidad y la longitud de fibra de cada altura de muestreo en el fuste como promedio simple de las posiciones radiales. Para el fuste comercial completo se calcularon la densidad básica y la longitud de fibra ponderadas según el volumen de las trozas, con la ecuación (1):

$$X_p = \frac{\sum X_i \times V_i}{\sum V_i} \quad (1)$$

Donde,

X_p : densidad básica ponderada o longitud de fibra ponderada del fuste comercial completo

X_i : densidad o longitud de fibra a la altura i

V_i : volumen a la altura i

Se ajustaron modelos de regresión lineal simple y múltiple, por mínimos cuadrados, para predecir la densidad y la longitud de fibra media del árbol ponderada por volumen, tomando la densidad y la longitud de fibra por cada altura y el diámetro a la altura de pecho sin corteza (DAP) como variables independientes. Se realizó una correlación lineal entre el DAP y la densidad media del árbol ponderada por volumen. Se calculó la sub/sobre estimación de los valores medios de densidad y longitud de fibra sobre el fuste comercial completo en ambas especies,

comparando los valores medios con los valores ponderados obtenidos de las dos propiedades a la altura del pecho.

RESULTADOS

La densidad básica del álamo a las distintas alturas de muestreo varió entre 0,353 g/cm³ y 0,422 g/cm³ (Figura 1), siendo la densidad media de los 5 árboles expresada como promedio simple de las cuatro alturas de muestreo de 0,379 ± 0,004 g/cm³ y la densidad del fuste comercial completo ponderada por volumen de 0,394 ± 0,004 g/cm³.

El sauce presentó una densidad básica con menor variación que los álamos, con valores entre 0,414 g/cm³ y 0,447 g/cm³ al considerar todas las alturas de muestreo, y sin una tendencia uniforme de variación axial (Figura 1). El valor de densidad de los 5 árboles como promedio simple de las alturas de muestreo fue de 0,429 ± 0,004 g/cm³, mientras que la densidad ponderada por fuste comercial tuvo un valor de 0,434 ± 0,005 g/cm³.

Las tendencias axiales para longitud de fibra indican un leve aumento de los valores desde la base hacia los tres metros aproximadamente y luego un descenso de los mismos en la última altura de muestreo en álamo, mientras que en sauce no hay tendencia (Figura 2).

En álamo la longitud de fibras varió entre 1186 µm y 1416 µm al considerar todas las alturas de muestreo. El árbol 3 presentó la menor longitud de fibras en todas sus determinaciones axiales (Figura 2).

El valor de longitud de fibras de los 5 árboles como promedio simple de las alturas de muestreo fue de 1336,30±63 µm, mientras que la longitud de fibras ponderada por fuste comercial tuvo un valor de 1444,90±71 µm.

El sauce presentó fibras con mayores longitudes que los álamos, con valores entre 1301 µm y 1830 µm al considerar todas las alturas de muestreo. El árbol 1 fue el que presentó mayor dispersión de valores entre sus determinaciones axiales (Figura 2). El valor de longitud de fibras de los 5 árboles como promedio simple de las alturas de muestreo fue de 1577,6±30 µm, mientras que la longitud de fibras ponderada por fuste comercial tuvo un valor de 1577,9±30 µm.

Regresiones

Los resultados de las regresiones simples (con la densidad/ longitud de fibras tomadas a cada altura como variable predictora) y múltiples (con la densidad/longitud de fibras tomadas a cada altura + el DAP como variables predictoras) se presentan en la Tabla 1.

Los mejores ajustes en álamo se encontraron a la altura de 1,3 m (AP) para densidad y 15,9 m para longitud de fibra, aunque para esta propiedad, la altura de 1,3 m también presentó un buen ajuste. En sauce, la altura predictora para longitud de fibra se encontró a los 2,6 m; mientras que la densidad no logro un ajuste significativo en ninguno de los análisis aplicados. Sin embargo, el valor más elevado de R² (0,40) se observó en la altura de 1,30 m.

Para ambas especies y propiedades medidas en el presente trabajo no se encontraron regresiones múltiples significativas pese a los valores de R² obtenidos (Tabla 1).

Para la densidad básica, los valores a AP para sauce y álamos subestiman el valor del fuste comercial completo en 1 % y 8 % respectivamente. Mientras que la longitud de fibra a AP subestima al valor del fuste comercial completo en 3 % para los sauces y 6 % para los álamos.

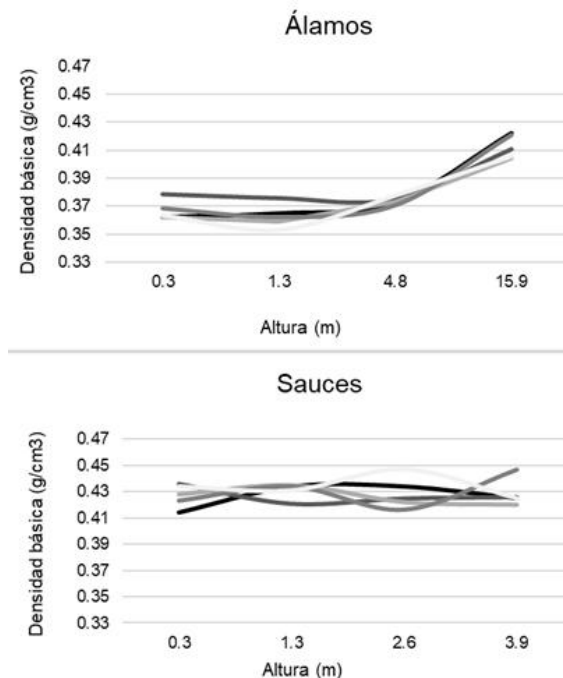


Figura 1. Variación de la densidad de la madera (g/cm³) de álamos y sauces en función de la altura.

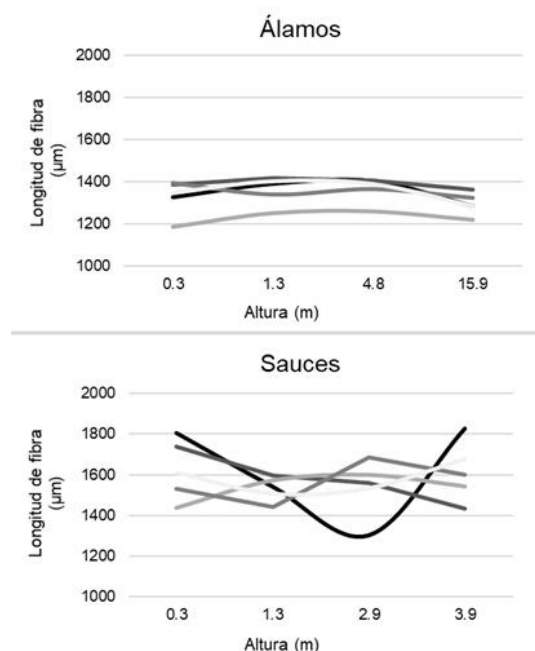


Figura 2. Variación de la longitud de fibra (μm) de álamos y sauces en función de la altura.

Tabla 1. Coeficientes de determinación (R^2) de los modelos de regresión lineal simple y múltiple para ambas especies en las distintas alturas de muestreo y función elegida. * significativo ($p < 0,05$); ns: no significativo ($p > 0,05$).

Especie	Propiedad	Altura (m)	R^2		Función simple
			Simple	Múltiple	
Álamo	Densidad (g/cm^3)	0,3	0,33 ns	0,82 ns	$y = 0,2517 + 0,3806 x$
		1,3	0,91 *	0,87 ns	
		4,8	0,01 ns	0,02 ns	
		15,9	0,51 ns	0,83 ns	
	Long de fibra (μm)	0,3	0,85 *	0,88 ns	$y = 215,1284 + 0,8308 x$
		1,3	0,86 *	0,87 ns	
		4,8	0,84 *	0,90 ns	
		15,9	0,89 *	0,89 ns	
Sauce	Densidad (g/cm^3)	0,3	0,10 ns	0,52 ns	
		1,3	0,40 ns	0,14 ns	
		2,6	0,27 ns	0,33 ns	
		3,9	0,10 ns	0,20 ns	
	Longitud de fibra (μm)	0,3	0,05 ns	0,51 ns	$y = 284,1895 + 0,1816 x$
		1,3	0,10 ns	0,51 ns	
		2,6	0,79 *	0,82 ns	
		3,9	0,57 ns	0,60 ns	

A continuación, se presentan los resultados de la prueba de correlación entre densidad básica y longitud de fibra ponderada para el fuste comercial completo y a 1,30 m vs el diámetro a la altura del pecho (DAP) obtenidos para ambas especies (Tabla 2). Los resultados evidencian que no hay correlación

significativa entre el DAP como indicador de crecimiento y la densidad y la longitud de fibra a 1,30 m tanto en álamo como en sauce. Iguaes resultados se obtuvieron al correlacionar los valores ponderados por fuste comercial completo para las dos propiedades y el DAP en ambas especies.

Tabla 2. Correlación (r) entre densidad básica y longitud de fibra ponderada para el árbol completo y a 1,3 m y el DAP para álamos y sauces. ($p > 0.05$).

Especie	Propiedad	DAP vs propiedad	DAP vs propiedad
Álamos	Densidad básica	0,28 ns	-0,08 ns
	Longitud de fibra	-0,30 ns	-0,42 ns
Sauce	Densidad básica	0,48 ns	0,09 ns
	Longitud de fibra	-0,66 ns	0,52 ns

DISCUSION

Densidad y longitud de fibras promedio

El valor medio de la densidad básica ponderada por volumen fue de $0,394 \text{ g/cm}^3$ para el álamo australiano de 17 años, mientras que el de sauce americano de 45 años fue de $0,434 \text{ g/cm}^3$. Estos valores ubican a estas especies entre los clones de álamos y sauces de mayor densidad de madera implantados en Argentina. Los registros bibliográficos indican que los valores aquí determinados se encuentran dentro del rango de los informados para estas especies a diferentes edades e implantados en varios sitios de Argentina. Monteoliva y Senisterra (2008) publicaron un rango de variación de $0,327$ a $0,343 \text{ g/cm}^3$ en densidad básica para diferentes híbridos de *Populus x deltoides* de 10 años en dos sitios de las Provincias de Buenos Aires y Santa Fe, Argentina. Es lógico suponer que la menor magnitud de la densidad hallada por dichos autores en estos clones se deba a la menor edad de los árboles muestreados. Diaz et al. (2010) reportaron un valor de densidad media más alto ($0,458 \text{ g/cm}^3$) para la misma especie y sitio que la de nuestro estudio, en árboles de 10 años, pero determinando una densidad normal al 15 % de contenido de humedad, que es mayor en magnitud que la densidad básica por su modo de cálculo. En el caso del sauce americano, Monteoliva et al. (2005) han reportado las densidades más altas para este clon ($0,405$ - $0,437 \text{ g/cm}^3$) en un estudio de 6 clones de sauces de 12 años en dos sitios de implantación en Argentina.

El valor medio de la longitud de fibras ponderada por volumen hallado en el presente trabajo fue de $1444 \mu\text{m}$ para el álamo australiano y de $1577 \mu\text{m}$ para sauce americano. El sauce americano es un clon muy destacado en longitud de fibras como así también en densidad de madera (Monteoliva & Marlats, 2007). La magnitud de la longitud de fibras hallada para el álamo australiano es un poco superior a algunos datos publicados para la especie y para otros clones de *P. x deltoides* en Argentina, pero muestreados a menor edad (10 años) (Senisterra et al., 2005; Monteoliva & Senisterra, 2008).

Modelos de regresión

Densidad de la madera

Los resultados hallados demuestran que, para álamo australiano, la AP es la altura que presenta el mejor ajuste. Sin embargo, en sauce no se halló ningún modelo significativo para esta importante propiedad (Tabla 1). Los valores de densidad a la AP subestiman el valor del fuste comercial completo en 1-8% según la especie. Por lo tanto, se podría considerar la AP como

altura predictor para la densidad representativa del fuste comercial completo sólo en el caso del álamo australiano. La importancia de este modelo radica en la vinculación de una variable de rápida determinación como es la densidad a una única altura posible de determinarse por medios no destructivos. Estos modelos deberán ser validados con un mayor número de árboles, incluyendo además plantaciones de otros sitios de la región del Delta del Paraná.

Resultados similares a los nuestros fueron presentados por Diaz et al. (2010), en su estudio sobre álamo australiano de 10 años de edad, implantados en el Delta Bonaerense, Argentina. En su trabajo, determinaron que existe una correlación entre la densidad tomada a un metro en el fuste (considerada como AP) y la densidad media y media ponderada del árbol para este clon. Beaudoin et al. (1992) encontraron una correlación alta y positiva entre la densidad completa del árbol tomada como promedio de cuatro alturas y la densidad obtenida con muestra extraída con taladro de incrementos al AP, en 10 clones de *Populus x canadensis* implantados en Canadá.

Villegas y Marlats (2005), contrariamente a nuestros resultados, llegaron a obtener un modelo de predicción de la densidad para sauce. Estos autores estudiaron la altura predictor en base a la densidad básica de dos clones de sauces (entre ellos sauce americano) de 8-13 años de edad implantados en 2 sitios en Argentina. En el trabajo destacan que la altura predictor está influenciada por la variación axial de la propiedad analizada dependiendo del sitio de implantación, del clon y la edad. Sin embargo, la representatividad de la muestra tomada a la altura del pecho resultó suficientemente significativa como para constituirse en predictor de los valores de densidad del fuste comercial entero.

La ausencia de un modelo de predicción de la densidad para sauce puede deberse al diseño de muestreo interno que se practicó en el presente estudio, con probetas extraídas cada 5 años (ver materiales y métodos). Este tipo de muestreo resultó poco exhaustivo en los primeros años de crecimiento dónde podría impactar la influencia del leño juvenil. Sin embargo, según un estudio previo para estos mismos árboles de sauce americano, el impacto de la madera juvenil en la variación de la densidad no fue significativo (Cobas et al., 2014). La edad de transición entre leño juvenil y maduro fue determinada entre los 10 y 15 años, siendo homogéneos los resultados de la densidad comparada entre estos leños. En este sentido, la variación poco significativa de la densidad dentro del fuste (axial y radial) ya fue reportada para el sauce americano en contraste con otros clones en

edades comprendidas entre 8-13 años (Monteoliva et al., 2002; Villegas & Marlats, 2003; Monteoliva & Marlats, 2007). Teniendo en cuenta estos antecedentes de homogeneidad de los valores de densidad de la madera en sauce americano, se podría inferir que la falta de variación es la que no permite hallar regresiones significativas en los modelos predictivos.

Asimismo, varios autores han trabajado en otras especies de porosidad difusa obteniendo resultados que concuerdan con el presente estudio (Busnardo et al., 1987; Bhat et al., 1990; Igartúa et al., 2003) cuyos resultados se resumen junto a los anteriormente nombrados en la Tabla 3. Para el género *Eucalyptus*, otros autores hallaron mejores predicciones para la densidad media a partir del 25 a 50 % de la altura comercial del árbol (Busnardo et al., 1987; Dean et al., 1990), aunque dichas alturas son poco prácticas para la determinación de la densidad en árboles en pie. También se hallaron diversas referencias para determinaciones a partir de alturas fijas (entre 0,7 y 1,5 m) como posibles puntos de extracción de las muestras (Downes et al., 1997; Raymond & Muneri, 2001). En estos trabajos, como el presente, se priorizó que la "altura predictor" sea de fácil acceso, para evitar un muestreo destructivo en la determinación del valor medio del árbol.

Longitud de fibras

Según nuestros resultados para la predicción de la longitud de fibra como promedio representativo del fuste comercial completo, la determinación de dicha propiedad presenta los mejores ajustes en la AP y a 15,9 m en el caso del álamo y a 2,6 m en el caso del sauce. Los valores a la AP subestiman el valor del fuste comercial completo en 6 % en álamo y los de la 2,6 m en 3 % en sauce.

En la bibliografía se ha publicado que la altura predictiva para la longitud de fibras puede tomarse como la AP, aunque en general existen menos trabajos publicados para esta propiedad. Así, Monteoliva et al. (2006), en su estudio sobre la variación axial y radial de la longitud de fibra en seis clones de *Salix* implantados en 2 sitios en Argentina, hallaron que puede tomarse la medida de longitud de fibras a la altura de 1,30 m como representativa del árbol completo, aunque este trabajo no ajustó modelos de regresión. Resultados similares, fueron presentados para *Eucalyptus globulus* por Igartúa et al. (2003) en Argentina, Jorge et al. (2000) en Portugal y por Downes et al. (1997) en Australia.

Relaciones con el crecimiento

En general las Salicáceas presentan un rápido crecimiento en los sitios de implantación en Argentina (Achinelli, 2006). Por lo tanto, es importante conocer la naturaleza de la relación de dicho crecimiento con la densidad y la longitud de fibra de la madera. Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que no hay una correlación significativa entre densidad básica y longitud de fibra a 1,30m y el DAP para álamos y sauces, al igual que al considerar las propiedades ponderadas por fuste comercial completo. Resultados similares fueron presentados por Senisterra et al. (2005) en un estudio sobre 12 clones de álamos (de *P. deltoides* y *P. x canadensis*) de 9 años, implantados en la provincia de Santa Fe, Argentina, en donde determinaron que no hubo correlación significativa entre DAP y densidad básica (medida a la altura de pecho). Asimismo, se pueden encontrar trabajos publicados para diferentes clones de álamos en Estados Unidos (Marton et al., 1968; Holt & Murphey, 1978) en donde se destaca la independencia de estas variables. Otra tendencia fue registrada por Díaz et al. (2010) para el mismo clon de álamo que nuestro trabajo, ya que publicaron que la correlación entre DAP y densidad media y media ponderada del árbol fueron positivas y significativas en plantaciones comerciales de Argentina, por lo que se espera que a mayor crecimiento la densidad promedio aumente.

Ambos tipos de resultados (ausencia de correlación o positiva) son promisorios ante la decisión de incorporar alguna práctica silvicultural que tienda a aumentar la tasa de crecimiento (fertilización, irrigación, raleo), porque no perjudicaría la densidad de la madera producida.

CONCLUSIONES

En álamo australiano, y bajo el esquema de muestreo alcanzado por este trabajo, la altura óptima en el tronco para la determinación de la densidad y la longitud de fibra representativa del fuste comercial completo se encuentra a 1,30 m del suelo (AP). Para sauce americano, la altura óptima en el fuste para la determinación de la longitud de fibra representativa del fuste comercial completo se encuentra a 2,6 m del suelo, sin embargo, no se halló un modelo significativo para densidad de la madera.

Tabla 3. Modelos predictivos de la densidad media del árbol (y) basados en la determinación a la altura del pecho (AP=x). Tabla basada en la presentada por Díaz et al, 2010.

Autor	Género/ Especie	Edad	Ecuación	R ²
Beaudoin et al., 1992	<i>Populus</i> sp	9	y= 52,76 + 0,86x	R ² =0,93
	<i>Populus deltoides</i>	10	y= 57,2 + 0,966x	R ² =0,65
	<i>Salix spp</i>	8-13	y= 135,4 +0,695x	R ² =0,80
Busnardo et al., 1987	<i>Eucalyptus grandis</i>	6-7	y=0,208+ 0,526x	R ² =0,53
Bhat et al., 1990	<i>E. grandis</i>	5	y=0,1482+ 0,8054 x	R ² =0,90
Igartúa et al., 2003	<i>E. globulus</i>	35	y=0,1173+ 0,750x	R ² =0,80
Cobas y Monteoliva	<i>Populus australiano</i> 129/60	17	y = 0,2517+ 0,3806 x	R ² =0,91

Los valores determinados a la altura del pecho subestiman el valor del fuste comercial completo en 1-8% para la densidad básica y en 3-5 % para la longitud de fibra según la especie. No hubo correlación significativa entre DAP y densidad básica y longitud de fibra en ambas especies, lo cual alienta a la selección de clones/sitios de gran crecimiento en diámetro sin desmedro de la densidad o longitud de fibras obtenido. Es necesario realizar otras determinaciones de densidad de este genotipo en otros sitios de implantación y a otras edades. Asimismo, sería necesario realizar la validación del modelo con valores provenientes de otros árboles de este clon, con igual edad y condiciones de crecimiento. El uso de las ecuaciones presentadas debe restringirse a las mismas condiciones planteadas en este estudio, ya que la utilización indiscriminada de este tipo de modelos puede introducir errores en las estimaciones que comprometan decisiones posteriores.

Agradecimientos

A el Sr. M. Gómez y Papel Prensa SA. por permitir el muestreo de las plantaciones y subsidiar el estudio.

REFERENCIAS

- Achinelli, F.** 2006. Silvicultura de álamos y sauces en la pampa húmeda. Jornadas de Salicáceas, Buenos Aires, Argentina. Disertación en actas (cd). pp.21-36.
- Beaudoin, M.; Hernandez, R.; Koubaa, A. & Poliquin J.** 1992. Interclonal, intraclonal and within-tree variation in wood density of poplar hybrid clones. *Wood Fiber sci.*, v.24, n.2, pp.147-153.
- Bhat, K. & Dhamodaran, T.**1990. Wood density and fiber length of *Eucalyptus grandis* grown in Kerala, India. *Wood and Fiber sci.*, v.22, pp.54-61.
- Busnardo, A.; Gonzaga, J.; Foelkel, C. & Menochelli, S.** 1987. Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para produção de celulose. iv. altura ideal da amostragem para avaliação da densidade para árvores de *e. grandis*. In: Congresso anual da ABCP, semana do papel São Paulo. Anais pp20.
- Cobas, A.; Area, M. & Monteoliva, S.** 2013. Transición de madera juvenil a madura en un clon de *Populus deltoides* implantados en la provincia de Buenos Aires. *Maderas Ciencia y Tecnología*, v.15, n.2, pp.223-234.
- Cobas, A.; Area, M. & Monteoliva, S.** 2014. Patrones de variación de las propiedades de la madera y determinación de la edad de transición entre madera juvenil y madura en *Salix babylonica* var. *sacramenta*. *Maderas Ciencia y Tecnología*, v.16, n.3, pp.343-354.
- Dean, G.; French, J. & Tibbits, N.** 1990. Variation in pulp and papermaking characteristics in a field trial of *Eucalyptus globulus*. in: Annual general conference APPITA, Rotorua, New Zeland, pp 44.
- Diaz, G.; Monteoliva, S.; Alvarez, J. & Fernandez, E.** 2010. *Populus deltoides* clon 'australiano 129-60': variación axial de la densidad y desarrollo de un modelo predictivo de la densidad del árbol completo. *Bosque*, v.31, n.1, pp.65-72.
- Downes, G.; Hudson, I.; Raymond, C.; Dean, J.; Michell, A.; Schaimleck, L.; Evans, R. & Muneri, A.** 1997. Sampling eucalypts for wood and fibre properties. Australia: CSIRO publishing.
- Franklin, G.L.** 1945. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. *Nature*, vol.155, pp.51.
- Holt, D. & Murphey, W.** 1978. Properties of hybrid poplar juvenile wood affected by silvicultural treatments. *Wood Science*, v.10, n.4, pp.198-203.
- Igartúa, D.; Monteoliva, S.; Monterrubianesi, M. & Villegas, M.S.** 2003. Sampling at breast height (bh) level of basic density and fibre length for *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* as prediction for parameters valid for the whole tree. *IAWA journal*, v.24, n.2, pp.173-18.
- Jorge, F.; Quilhó, T. & Pereira, H.** 2000. Variability of fibre length in wood and bark in *Eucalyptus globulus*. *IAWA journal*, v.21, pp.41-48.
- Marton, R.; Stairs, G. & Schreiner, E.** 1968. Influence of growth rate and clonal effects on wood anatomy and pulping properties of hybrid poplars. *TAPPI*, v.51, n.5, pp.230-235.
- Monteoliva, S.; Senisterra, G.; Marquina, J.; Marlats, R. & Villegas, S.** 2002. Estudio de la variación de la densidad básica en siete clones de *Salix*. *Revista Facultad Agronomía, La Plata*, v.105, n.1, pp.29-34.
- Monteoliva, S.; Senisterra, G. & Marlats, R.** 2005. Variation of wood density and fibre length in six willow clones (*Salix spp.*). *IAWA journal*, v.26, n.2, pp.197-202.
- Monteoliva, S.; Senisterra, G.; Marquina, J. & Marlats, R.** 2006. Variación axial y radial de la longitud de fibras en seis clones de *Salix*. *Revista Facultad Agronomía, La Plata*, v.106, n.1, pp.13-19.
- Monteoliva, S. & Marlats, R.** 2007. Efecto del sitio, clon y edad sobre el crecimiento y la calidad de madera en sauces de corta rotación. *Revista investigación agraria, sistema y recursos forestales*, v.16, n.1, pp.15-24.
- Monteoliva, S. & Senisterra, G.** 2008. Efecto del sitio, el origen y el clon sobre el crecimiento y propiedades de la madera de *populus*. *Revista de investigación agraria, sistema y recursos forestales*, v.17, n.3, p.261-270.
- Novaresi, M.; Delorenzi, F.; De rosa, G.; Cervantes, P. & Rozas, C.** 1997. Aptitud de salicáceas para la industria del papel. CICEIPA, Informe técnico n° 018-2927, pp. 19.
- Raymond, C. & Muneri, A.** 2001. Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties. *Wood sci. tech.*, v.35, pp.27-39.
- Senisterra, G.; Ducid, G. & Marlats, R.** 2005. Variación de la densidad básica de la madera en clones del género *populus*. *Anales 3 Congreso forestal argentino y latinoamericano*, Corrientes, Argentina.
- Villegas, S. & Marlats R.** 2003. Densidad de la madera: variación axial y radial en dos clones de *Salix* sp. *Anales X Jornadas técnicas forestales ambientales FCF-INTA*. El Dorado, Misiones, Argentina.
- Villegas, S. & Marlats R.** 2005. Altura de extracción de la muestra para la evaluación de densidad básica y blancura en madera de *Salix sp.* *Bosques*, v.26, n.3, pp.121-132.