

Madera juvenil en *Populus deltoides* 'Stoneville 67': análisis de la variación de la densidad en el fuste



Juvenile wood in Populus deltoides 'Stoneville 67': analysis of density variation in the stem

Cobas, Ana Clara; Iurritia, Elisabet; Tortoriello, Miguel

Ana Clara Cobas

cobasanaclara@yahoo.com.ar

Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN) - Consejo Nacional de Comisiones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

Elisabet Iurritia

Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN), Argentina

Miguel Tortoriello

Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN), Argentina

Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias

Universidad Nacional del Litoral, Argentina

ISSN: 2346-9129

ISSN-e: 2346-9129

Periodicidad: Semestral

vol. 21, núm. 2, 12046, 2022

revistafave@fca.unl.edu.ar

Recepción: 02 Febrero 2022

Aprobación: 01 Agosto 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/586/5863684006/>

DOI: <https://doi.org/10.14409/fa.v21i2.12046>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Resumen: El objetivo del presente trabajo fue determinar la edad de transición de madera juvenil a madura a partir del estudio de la variación axial y radial de la densidad y realizar modelos descriptivos de distribución de madera juvenil y madura en el fuste de *Populus deltoides*, clon 'Stoneville 67' de 20 años de edad. La densidad presentó un aumento de sus valores de médula a corteza y desde la base hacia el ápice. La edad de transición se determinó entre los 10-12 años de edad, el volumen de madera juvenil y madura fue del 40 % y 60 % respectivamente. La distribución de la madera juvenil coincidió con el modelo de cilindro central.

Palabras clave: edad de transición, regresión segmentada, modelos de distribución, patrón axial, patrón radial.

Abstract: *The objective of the present work was to determine the age of transition from juvenile to mature wood from the study of the axial and radial variation of density and to carry out descriptive models of distribution of juvenile and mature wood in the stem of Populus deltoides, clone 'Stoneville 67' of 20 years of age. The density presented an increase in its values from the medulla to the cortex and from the base to the apex. The transition age was determined between 10-12 years of age, the volume of juvenile and mature wood was 40% and 60%, respectively. The distribution of juvenile wood coincided with the central cylinder model.*

Keywords: transition age, segmented regression, distribution models, axial pattern, radial pattern.

INTRODUCCIÓN

En Argentina, la producción de salicáceas (*Populus* spp. “álamos”, *Salix* spp. “sauces”) ocupa el tercer lugar de especies forestales implantadas, luego de los eucaliptos y coníferas (Borodowski, 2017).

Las principales zonas de cultivo de las salicáceas son las regiones de Cuyo, Delta del Paraná, provincias de Buenos Aires y Santa Fe y las zonas bajo riego de Mendoza. En las cuales se pueden encontrar 30983 ha de álamo y 68862 ha de sauce (Borodowski, 2017).

En la provincia de Buenos Aires, existen localidades como 25 de Mayo, Junín, Morse y Vedia (entre otras) que tienen plantaciones de álamo denominadas “continentales” (para diferenciarlas de las existentes en el Delta) con muy buenos crecimientos (Achinelli, 2006). Particularmente en Morse, la homogeneidad de los materiales de plantación, debido a su origen clonal y a la uniformidad de las estacas, permite lograr rodales de “Stoneville 67” y “Australiano 129/60” de buena calidad desde los años iniciales (Ferrere y Signorelli, 2017).

El mayor volumen de la producción del álamo se utiliza para abastecer a los aserraderos zonales. El resto es generalmente aplicado a la producción de tableros de partículas, embalajes industriales y pulpas para papel periódico (Borodowski, 2017).

Para producir madera a utilizar en la fabricación de pulpas y papeles, el turno de corta se estima en 10 años y los parámetros de calidad de la madera se centran en la longitud de fibra, densidad y contenido de celulosa y lignina principalmente. Mientras que cuando el objetivo es producir madera aserrable, el turno de corta se extiende hasta los 15-20 años y los parámetros de calidad se centran en la densidad, estabilidad dimensional y propiedades resistentes. Por lo tanto, el destino y uso final de la madera de una plantación va a influir sobre el manejo y turno de corta de la misma (Achinelli, 2006; Borodowski, 2017).

Conocer los patrones de variación axial y radial y la edad de transición entre madera juvenil y madura en el fuste permitirá aplicar tratamientos silvícolas que favorezcan aumentar el volumen de madera madura en los ejemplares. Esto es importante ya que la madera juvenil se forma en los primeros años de crecimiento del árbol (cambium joven) y presenta menor densidad, elementos fibrosos más cortos y propiedades de resistencia menores en comparación con la madera madura (Forest Products Laboratory, 2010). Asimismo, permitirá delimitar el turno de corta de acuerdo al destino final que tenga esa madera, priorizando las propiedades de calidad requeridas en cada uso final.

El objetivo del presente trabajo fue determinar la edad de transición de madera juvenil a madura a partir del estudio de la variación axial y radial de la densidad y realizar modelos descriptivos de distribución de madera juvenil y madura en el fuste de *Populus deltoides*, clon 'Stoneville 67'.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo

Se estudiaron 5 árboles de una plantación comercial de *Populus deltoides* 'Stoneville 67' procedentes del “Establecimiento Forestal San José” ubicado en Morse, Partido de Junín (34° 45' Lat. Sur, 60° 50' Long. Oeste). El clima es templado húmedo, con temperatura anual promedio de 15,9 °C y precipitaciones promedio de 1014 mm (concentradas de noviembre a marzo). Los suelos son franco arenosos del tipo Hapludol. Las plantaciones del establecimiento están principalmente destinadas a madera para aserrado (85 % de la producción), el resto (15 %) se comercializa para triturado.

Se seleccionaron al azar 5 ejemplares en buenas condiciones fitosanitarias y representativos del rodal, de 20-24 años de edad. A continuación se presentan los datos epidemétricos (Tabla 1).

TABLA 1 / TABLE 1
 Datos epidométricos del material extraído / *Epidometric data of the extracted material*

	AT (m)	AC (m)	DAP CC (cm)	DAP SC (cm)
Árbol 1	34	20	41	39
Árbol 2	30	19	49	46
Árbol 3	34	18	48	45
Árbol 4	34	17	40	37
Árbol 5	33	18	53	50

AT: Altura total | AC: altura comercial (hasta inicio de ramificación en el fuste)

DAP CC: diámetro a la altura del pecho con corteza | DAP SC: diámetro a la altura del pecho sin corteza.

Se cortaron rodajas (5 cm de espesor) a cuatro alturas en el fuste: 0,3 m (AB); 2,1 m (A); 4,2 m (B) y 6,3 m (C) del suelo. Para la selección de las alturas se tuvo en cuenta el trabajo presentado por Cobas y Monteoliva (2018a) donde analizaron la altura de muestreo óptima para la evaluación de la densidad básica y la longitud de fibra en salicáceas. Se tomó una sección transversal central (3 cm ancho) de cada una y se marcaron los anillos de crecimiento (Figura 1). Para la delimitación y medición de los anillos se utilizó una lupa binocular con reglilla (10 x).

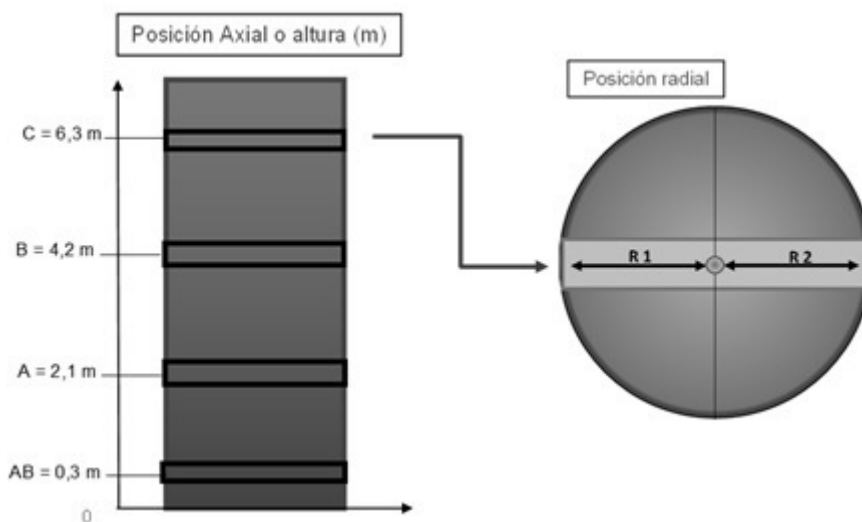


FIGURA 1 / FIGURE 1
 Alturas de muestreo en el fuste. / *Sampling heights in the stem.*

Metodología

- **Ancho de los anillos de crecimiento (mm):** se midieron sobre las tablas centrales lijadas (hasta grano de 120), en 2 radios opuestos bajo lupa binocular 15X, con calibre digital.

- **Densidad básica [g/cm³] (peso /volumen):** Para su determinación se tomaron probetas de 8 cm³ (IRAM 9544, 1985) en cada una de las posiciones de muestreo sobre el radio. Las probetas fueron nombradas de la siguiente manera (Tabla 2):

Fórmula de cálculo:

$$p = \frac{Po}{Vu}$$

Donde:

ρ : densidad, en g/cm³.

Po: peso g

Vv: volumen cm³.

TABLA 2 / TABLE 2
Nomenclatura de las probetas de álamo 'Stoneville 67' /
Nomenclature of the poplar specimens 'Stoneville 67'

Posición	Anillos incluidos
I	1,2,3
II	4,5,6
III	7,8,9
IV	10,11,12
V	13,14,15
VI	16,17,18
VII	19,20,21
VIII	22,23

-**Determinación de la edad de transición de madera juvenil a madura:** sobre el patrón radial de la densidad se utilizó el método de regresión segmentada para determinar el punto de inflexión (edad de transición). El mismo supone que en el patrón radial de la misma (asociado con la edad del anillo de crecimiento) existe un cambio notorio en la pendiente de la línea de regresión, y que la edad en que ocurre este cambio de pendiente representa la edad de transición. El modelo de regresión por segmentos aplicado se presenta en la ecuación 1 y los modelos para las porciones de madera juvenil y madura en las ecuaciones 2 y 3, respectivamente (Cobas, 2013; Cobas et al., 2013; Cobas y Monteoliva, 2018b).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 (x_i - T) x_i^2 + e_i \quad (1)$$

Donde:

Y_i = característica de interés en el i-ésimo anillo de crecimiento

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = coeficientes de regresión

x_i = edad de formación del i -ésimo anillo de crecimiento

T = edad de transición de madera juvenil a madura

x_2 = variable indicadora: $x_2 = 0$ si $x_i < T$ (madera juvenil) o $x_2 = 1$ si $x_i > T$ (madera madura)

e_i = error aleatorio asociado al i -ésimo anillo de crecimiento.

De esta manera cuando $x_2 = 0$ (madera juvenil):

$E(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 x_i$ (2)

y cuando $x_2 = 1$ (madera madura)

$E(Y_i) = \beta_0 - (\beta_2 T) + (\beta_1 +) x_i$ (3)

E : característica de interés en el i -ésimo anillo de crecimiento.

-Volumen de madera juvenil y madura en el fuste: para calcular el volumen de madera juvenil y madera madura dentro del fuste, se utilizaron los datos de las mediciones del ancho de anillo (mm). Una vez definida la edad de transición entre ambos tipos de leño, se sumaron los anillos anteriores a la edad estimada para constituir el diámetro de madera juvenil. Este procedimiento se realizó a los 0,3 m y a los 6,3 m, obteniendo así el diámetro mayor y menor de madera juvenil en el fuste. Posteriormente se calculó el volumen de MJ utilizando la fórmula de Smalian (Barrios et al., 2016)

$$v = \left(\frac{\left(\frac{\pi}{4} x DM^2 \right) + \left(\frac{\pi}{4} x Dm^2 \right)}{2} x L \right) (1)$$

Donde:

- V : Volumen de la troza (m^3)

- DM : Diámetro mayor de la troza (m)

- Dm : Diámetro menor de la troza (m)

- L : Longitud de la troza (m)

- π : Constante (3,1416)

Para el volumen de madera madura primero se calculó con la fórmula 1 el volumen de madera total en el fuste y luego se restó el de madera juvenil (fórmula 2).

$VMM = VMF - VMJ$ (2)

Donde:

- VMM : volumen de madera Madura (m^3)

- VMF : volumen de madera en el fuste (m^3)

- VMJ : volumen de madera juvenil (m^3)

Una vez obtenidos los volúmenes de cada tipo de leño (MM y MJ) se calculó el porcentaje que representaban en el fuste a los 20 años para una altura de 6,3 m.

Análisis estadísticos

-Patrones de variación: se realizó un análisis estadístico de la varianza y prueba de diferencias mínimas significativas, para los valores medios de densidad básica a las 4 alturas muestreadas, utilizando el programa InfoStat 2020.

-Determinación de la edad de transición: Se aplicó el método de regresión segmentada a las variables medidas mediante el programa Statistica v7.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad

La densidad básica de la madera mostró un patrón general de incremento de sus valores con la edad (Figura 2). Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3.

TABLA 3 / TABLE 3
Valores de densidad promedio por altura. / *Average density values by height.*

Posición radial	Densidad básica (en g/cm ³) según alturas de muestreo				
	AB (0,3 m)	A (2,1 m)	B (4,2 m)	C (6,3 m)	Promedio 4 alturas
I	0,4350 a	0,4581 bc	0,4327 b	0,4484 c	0,4435 a
II	0,4448 a	0,4343 b	0,4458 b	0,4569 c	0,4454 a
III	0,4578 a	0,4644 bc	0,4541 b	0,4467 c	0,4557 ab
IV	0,5048 a	0,4518 bc	0,4462 b	0,4596 c	0,4656 ab
V	0,5164 a	0,4487 bc	0,4506 b	0,4465 c	0,4656 ab
VI	0,4955 a	0,4399 bc	0,4578 b	0,4740 c	0,4668 ab
VII	0,4761 a	0,4796 c	0,5392 c		0,4983 bc
VIII	0,5206 a				0,5206 c
Promedio	0,4814 A	0,4538 A	0,4609 A	0,4554 A	

*Las letras minúsculas se leen verticalmente, las letras mayúsculas horizontalmente. Letras distintas indican diferencias significativas (Test de Tukey $p < 0,05$).

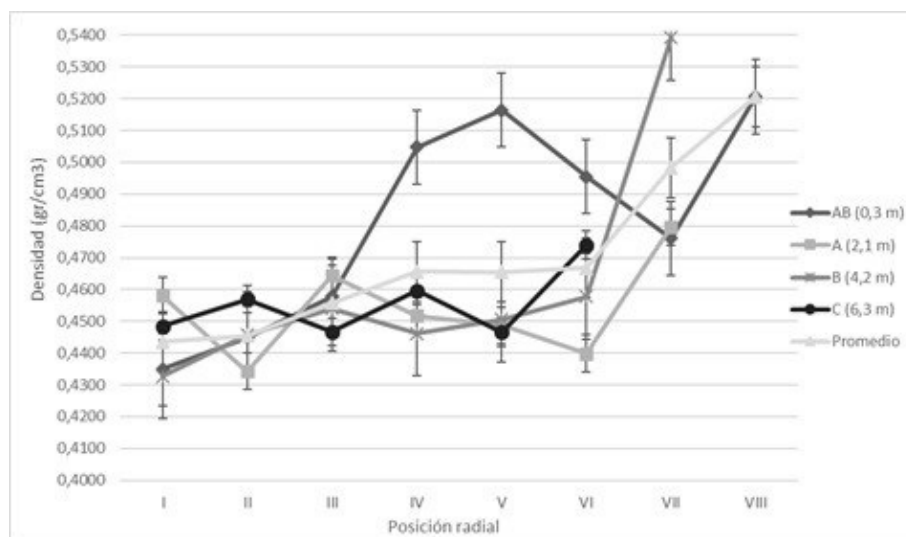


FIGURA 2 / FIGURE 2

Variación axial y radial de la densidad en álamo 'Stoneville 67'. /
Axial and radial variation of density in 'Stoneville 67' poplar.

Para la especie estudiada *Populus deltoides* 'Stoneville 67', el comportamiento radial de la densidad básica coincide con el tipo I de variación presentado por Panshin y De Zeeuw (1980) de leve aumento de médula a corteza. Se observó un patrón general que consistió en la diferenciación de dos grupos de valores: el primer grupo constituido por las posiciones I y II, en la cual la densidad básica se mantiene en un promedio de 0,44 a 0,45 gr/cm. y el segundo grupo, que abarca las posiciones VII y VIII en el cual la densidad básica mantiene un promedio de sus valores entre 0,50 y 0,52 g/cm³. Algunos autores encontraron el mismo patrón de variación radial de la densidad en *Populus*. Por ejemplo, Monteoliva y Senisterra (2008) para árboles de 10 años de edad encontraron un patrón de aumento de la densidad hacia la corteza con fluctuaciones en las primeras edades años. Igual resultado presentó Cobas (2013) en su trabajo sobre ejemplares de 17 años de edad. Por el contrario, Bonavia de Guth (1991); Matyas y Peszlen (1997) y Peszlen (1998) encontraron una disminución de los valores en los primeros anillos y luego un aumento de los valores de densidad.

Analizando el patrón axial, se observó que a medida que aumenta la altura de muestreo los valores no presentan diferencias significativas entre sí con medias entre 0,46 y 0,48 g/cm., siendo constantes sus valores desde la base hacia el ápice. Sin embargo, Cobas (2013) en su trabajo sobre álamos de 17 años de edad, observó que a medida que aumenta la altura de muestreo se incrementan los valores de densidad coincidiendo con lo presentado por Monteoliva et al. (2002); Senisterra et al. (2005); Perea et al. (2006); y Díaz, et al. (2010). Sin embargo, en el trabajo de Díaz et al. (2010) no se encontraron diferencias significativas entre las primeras alturas muestreadas hasta los 2,2 m sobre el nivel del suelo, concluyendo que la primera troza comercial (2,2 m) del clon 'Australiano 129/60' puede considerarse de densidad homogénea en su longitud.

Determinación de la edad de transición entre madera juvenil y madura

De acuerdo a lo indicado en la Tabla 4, la densidad básica presentó el menor ajuste ($R.:0,90$) a los 4,2 metros.

TABLA 4 / TABLE 4

Densidad: edad de transición entre madera juvenil y madura, en madera de álamo según alturas de muestreo, ecuación de ajuste y valor de R^2 . / *Density: transition age between juvenile and mature wood, in poplar wood according to sampling heights, adjustment equation and R^2 value.*

Alturas de muestreo	Edad de transición	Punto de quiebre		Modelo	R ²
AB (0,3 m)	09 - 12 años	0,4866	*	$y = 0,434731 + 0,007187x$	0,96
			**	$y = 0,495996 + 0,002809x$	
A (2,1 m)	10 - 12 años	0,4538	*	$y = 0,435760 + 0,001853x$	0,94
			**	$y = 0,454063 + 0,003625x$	
B (4,2 m)	10 - 12 años	0,4478	*	$y = 0,432445 + 0,003891x$	0,90
			**	$y = 0,450355 + 0,000815x$	
C (6,3 m)	10 - 12 años	0,4566	*	$y = 0,453116 - 0,0011262x$	0,95
			**	$y = 0,442741 + 0,004553x$	
*Ecuación de ajuste del segmento anterior a la edad de transición juvenil-madura					
**Ecuación de ajuste del segmento posterior a la edad de transición juvenil - madura					

Si tomamos como propiedad la densidad, la edad de transición entre madera juvenil y madura se ubica entre los 10 y 12 años. La edad de 10 años fue la de mayor frecuencia en las alturas analizadas, por lo cual se consideró como la zona de transición entre madera juvenil y madura para los clones de *Populus deltoides* 'Stoneville 67' evaluados y poder calcular el volumen de madera juvenil en su fuste.

Cobas et al. (2013), en su estudio sobre clones de *Populus deltoides* 'Australiano 129-60' de 17 años de edad determinó que la edad de transición entre madera juvenil y madura teniendo en cuenta esta propiedad, dependiendo de la altura, se ubica entre los 7 y 9 años.

Volumen de madera juvenil y madura en el fuste

Según los resultados obtenidos, el volumen por árbol de madera juvenil sería del 40 % y el de madera madura de 60% para los ejemplares estudiados de 20 años de edad (Figura 2). Si consideramos que para la industria papelera en Argentina los turnos de corta utilizados son entre los 10 y 12 años, la proporción de madera juvenil en el fuste podría considerarse del 75 % del volumen comercial según la tendencia que marca este estudio.

En el caso de *Populus deltoides* 'Australiano 129-60' para los árboles de 17 años, el cilindro central juvenil representó el 52% del volumen total cosechado (Cobas, 2013)

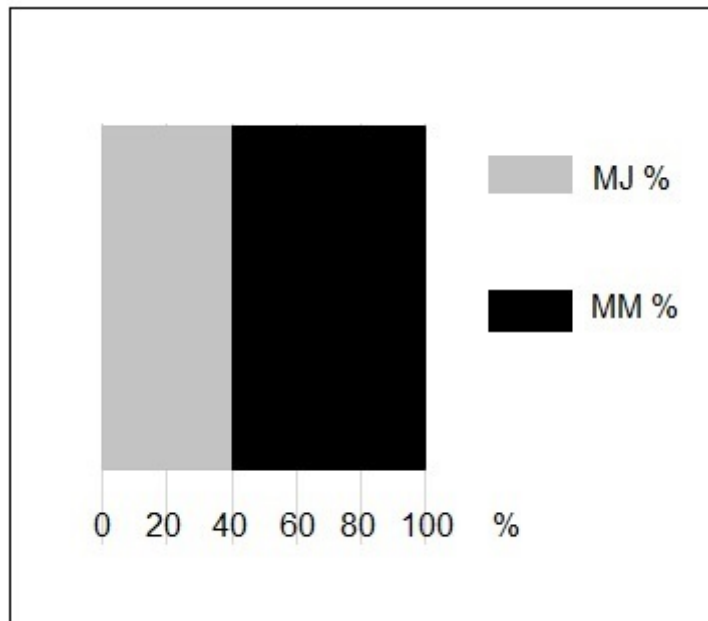


FIGURA 3 / FIGURE 3
Porcentaje por árbol de madera juvenil y madura en álamo de 20 años de edad. / *Percentage per tree of juvenile and mature wood in 20-year-old poplar.*

Modelo de distribución de madera juvenil y madura

Los patrones de variación axial y radial de la densidad básica permitieron generar una figura más detallada del modelo de distribución de cilindro central (Figura 4).

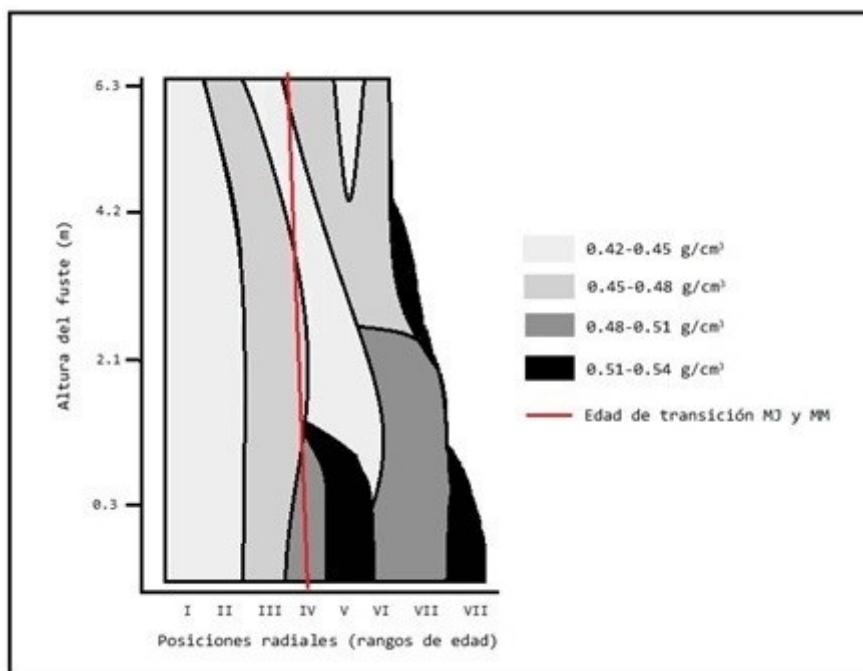


FIGURA 4 / FIGURE 4

Modelo de distribución de madera juvenil y madura obtenido para la variable densidad (g/cm^3) en álamo 'Stoneville 67'. / *Distribution model of juvenile and mature wood obtained for the density variable (g/cm^3) in 'Stoneville 67' poplar.*

Debido a la heterogeneidad que presenta el género latifoliadas, encontramos resultados contradictorios y modelos parciales para algunos géneros entre ellos *Eucalyptus* sp., que no responden necesariamente al modelo de cilindro central (Panshin y de Zeeuw, 1980; Zobel y Talbert, 1988; Yang et al., 1994)

El modelo descriptivo de distribución de madera juvenil y madura encontrado para el álamo 'Stoneville 67' sería similar a lo reportado para coníferas, formando un cilindro central de este tipo de madera. Asimismo, los resultados son coincidentes por los presentados por Cobas (2013) para *Populus deltoides* 'Australiano 129-60' de 17 años de edad.

CONCLUSIONES

El álamo 'Stoneville 67' presentó un patrón de variación radial y axial de la densidad que consta del aumento de sus valores de médula a corteza y de la base al ápice respectivamente. Asimismo, las variaciones axiales dentro del fuste fueron menores a las encontradas en sentido radial coincidiendo con lo reportado en la bibliografía. Se evidencia que los patrones de variación (axial y radial) son en parte dependientes de la especie (también son influidos por el sitio y los manejos silvícolas) debido a los distintos comportamientos reportados dentro de un mismo género.

La edad estimada de transición entre madera juvenil y madura, para las muestras de álamo de 20/24 años de edad estudiadas se encontró entre los 10 y 12 años. Según los turnos de corta utilizados en la industria papelera argentina (10-12 años), la madera juvenil en el fuste podría considerarse del 75 % del volumen comercial. Mientras que, para madera para aserrado, con turnos de corta de 20 años, el volumen por árbol correspondiente a cada tipo de madera sería de 40% madera juvenil y 60% madera madura.

Los resultados indican que el modelo de madera juvenil y madura hallado para álamo “Stoneville 67”, se asemeja al modelo de cilindro central aplicado para coníferas, considerando un cilindro juvenil, pero de menor diámetro en el ápice.

Esta información es de suma utilidad dentro de los programas de mejoramiento genético de Salicáceas para la selección temprana de nuevos genotipos conociendo la tendencia de variación de las diferentes propiedades. Sirviendo a su vez, para ayudar a determinar el turno de corta según la propiedad que se quiera optimizar y el destino final de la madera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achinelli F. G. 2006. Silvicultura de álamos y sauces en la Pampa húmeda. Disertación. Actas Jornadas de Salicáceas 2006.
- Barrios, R.; Martínez, S.; Vázquez Rabanales, E.; Juárez, W. 2016. Determinación del coeficiente y calidad de aserrío del género *Pinus* en la región sierra sur, Oaxaca, México. Colombia. forestal. vol.19 no.1.
- Borodowski, E. 2017. Situación actual del cultivo y uso de las Salicáceas en Argentina. In V Congreso Internacional de Salicáceas.
- Ferrere, P.; Signorelli, A. 2017. Ajuste de ecuaciones de crecimiento de *Populus deltoides* en el Partido de Junín, Buenos Aires, Argentina. Jornadas de Salicáceas 2017. V Congreso Internacional de Salicáceas, Talca, República de Chile. Trabajos Técnicos Nro. ISSN 1850-3543.
- Forest Products Laboratory. 2010. Wood handbook - Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory: 508 p.
- Cobas, A. C. 2013. Madera Juvenil en sauces y álamos. Editorial Publicia. ISBN 978-3-639-55299-7, 200 p.
- Cobas, A. C.; Area, M. C.; Monteoliva, S. 2013. Transición de madera juvenil a madura en un clon de *Populus deltoides* implantado en Buenos Aires Argentina. Maderas. Ciencia y Tecnología 15(2): 223-234.
- Cobas, A. C.; Monteoliva, S. 2018 a. 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. *Revista de la Facultad de Agronomía*, La Plata Vol 117 (2): 283-299 p.
- Cobas, A. C.; Monteoliva, S. 2018 b. Modelos descriptivos de distribución de madera juvenil y madura en *Robinia pseudoacacia*. Maderas. Ciencia y Tecnología 20 (2):287-296.
- IRAM 9544. 1985. Método para la determinación de la densidad aparente. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 10 p.
- Panshin, A.; de Zeeuw, C. 1980. Textbook of wood Technology. McGraw-Hill Book Company: 722 p.
- 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* 17 (3): 261-270.
- Mátyás, C.; Peszlen, I. 1997. Effect of age on selected wood quality traits of poplar clones. *Silvae Genetica* 46 (2-3): 64-72.
- Bonavía de Guth, E. 1991. Variación radial de la densidad y morfología celular en *Populus*. Congreso Atipca Trab. Téc: 491- 509.
- Peszlen, I. 1998. Influence of age on selected anatomical properties of populus clones. *IAWA Journal* 3: 311-321.
- Monteoliva, S., Senisterra, G., Marquina, J., Marlats, R.; Villegas S. 2002. Estudio de la variación de la densidad básica de la madera de ocho clones de sauce (*Salix spp.*). *Rev FCAYF La Plata* 105 (1): 29-34.
- Senisterra, G.; Ducid, M. G.; Marlats, R. 2005. Variación de la densidad básica de la madera en clones del género *Populus*. Actas del 3º Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Corrientes, Argentina.
- Perea, D.; Marquina, J.; Senisterra, G.; Ducid, G. 2006. Variación de la densidad de la madera intra e inter clonal de *Populus* como parámetro indicador de la calidad del leño. Beca Experiencia Laboral, Fac. Cs. Agrarias y Forestales, UNLP. Informe interno.

- Díaz, G.; Monteoliva, S.; Álvarez, J.; Fernández Tschieder, E. 2010. *Populus deltoides*, 'Australiano 129/60': variación axial de la densidad y desarrollo de un modelo predictivo de la densidad del árbol completo. *Bosque* 31 (1): 65-72.
- Zobel, B.; Talbert, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Buenos Aires, Argentina. Limusa. 545 p.
- Yang, K.; Benson, C. 1997. Formation, distribution and its criteria for determining the juvenile-mature wood transition zone. En: Timber management toward wood quality and end-product value. Canada. IX-7.