



Evaluación xilológica de familias mejoradas de sauces con destino industrial maderero

Cerrillo, Teresa¹; Rocío Iribarren²; Ana Clara Cobas^{2,3}; Silvia Monteoliva^{2,3,4}

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA Delta del Paraná, Campana, Argentina;

²Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. CC 31 (1900) La Plata, Argentina; ³INFIVE-CONICET, Argentina; ⁴smonteoliva@yahoo.com.ar

Cerrillo, Teresa; Rocío Iribarren; Ana Clara Cobas; Silvia Monteoliva (2016) Evaluación xilológica de familias mejoradas de sauces con destino industrial maderero. Rev. Fac. Agron. Vol 115 (1): 99-106

El objetivo del trabajo fue la evaluación a edad temprana de la anatomía y densidad de la madera y su relación con el crecimiento en diámetro en 18 familias de sauces, con vistas a seleccionar clones aptos para la producción de madera para usos sólidos y papel. Se cruzaron progenitores de ocho especies de sauces (*Salix alba*, *S. amygdaloides*, *S. babylonica*, *S. matsudana*, *S. humboldtiana*, *S. jessoensis*, *S. viminalis* y *S. nigra*), obteniéndose individuos correspondientes a 18 familias. Se seleccionaron 365 individuos dentro de las familias sobre los cuales se evaluaron las propiedades de la madera a los 3 años de edad. La familia resultó una fuente significativa de variación tanto para el crecimiento como para las propiedades de la madera. El crecimiento en diámetro presentó correlación positiva con la densidad de la madera ($r= 0,47$) y con el diámetro de vasos ($r= 0,73$) y negativa con la frecuencia de vasos ($r= -0,59$). La longitud de fibras no se correlacionó significativamente con ninguna variable medida. Por lo tanto es posible, hallar combinaciones de buen diámetro, con alta densidad y altos valores de longitud de fibras. Se destacaron los cruzamientos donde intervienen como progenitor femenino *S. amygdaloides* y *S. matsudana*, ya que demostraron las mejores combinaciones de propiedades para diferentes destinos industriales como son: buen crecimiento en diámetro (mayores a 5cm), con altas densidades de la madera (mayores a $0,400 \text{ g/cm}^3$) y mayores longitudes de fibras (superiores a $700 \mu\text{m}$). Se aconseja la propagación de ciertas familias promisorias para aserrado y para papel.

Palabras clave: *Salix*, progenies, clones, crecimiento, anatomía de madera.

Cerrillo, Teresa; Rocío Iribarren; Ana Clara Cobas; Silvia Monteoliva (2016) Xylem evaluation of improved willow families for timber industrial use. Rev. Fac. Agron. Vol 115 (1): 99-106

The objective of this study was to evaluate the anatomy and wood density at early age and its relation to the growth in diameter. 18 willow's families were evaluated to select clones suitable for the production of solid wood and paper applications. Parents of eight species of willows were crossed (*Salix alba*, *S. amygdaloides*, *S. babylonica*, *S. matsudana*, *S. humboldtiana*, *S. jessoensis*, *S. viminalis* and *S. nigra*) and individuals for 18 families were taken. 365 genotypes were selected and their wood properties at the age of 3 years were evaluated. The family was a significant source of variation for both growth and for the properties of wood. Diameter growth was positively correlated with wood density ($r= 0.47$) and vessel diameter ($r= 0.73$) but it was negatively correlated with the frequency of vessels ($r= -0.59$). The fiber length was not significantly correlated with any measured variable. Therefore, it is possible to select clones with great diameter, high density and high fiber length. Crosses which involved *S. amygdaloides* and *S. matsudana* as female parent stood out, as they showed the best combination of properties for different industrial destinations such as: good growth in diameter (greater than 5 cm), with high wood densities (greater to $0,400 \text{ g/cm}^3$) and high fiber lengths (over $700 \mu\text{m}$). Certain promising families are recommended for sawing and paper industry.

Key words: *Salix*, progenies, clones, growth, wood anatomy

Recibido: 28/12/2015

Aceptado: 24/05/2016

Disponible on line: 01/07/2016

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

INTRODUCCIÓN

En Argentina la mayoría de las plantaciones de sauce (*Salix* spp) están establecidas en el Delta del Paraná (provincias de Buenos Aires y Entre Ríos), donde se dan excelentes condiciones ecológicas y edáficas para la implantación y desarrollo comercial del género. El sauce es de importancia central para la producción forestal de la región, constituyendo una fortaleza para el desarrollo territorial. Desde el punto de vista de las aplicaciones, el sauce posee aptitud para producción de madera, bioenergía, control de la erosión y fitorremediación. Actualmente, alrededor del 90% de la madera de sauce producido en el país se usa para fabricar papel y tableros de partículas. Sin embargo es también aplicable para “usos sólidos” (aserrado y debobinado en la primera transformación, y muebles), notándose en los últimos años un mayor interés en este sentido. De las 83.370 ha de Salicáceas implantadas en toda la región, el 82,5% corresponden a sauces (Borodowski, 2006), pero a la vez es significativa la falta de una masa crítica de calidad para aplicaciones sólidas. Esto enfatiza la necesidad de mejorar las plantaciones y, con tal fin, de contar con materiales selectos, sobre la base de volumen y calidad de la madera. En este sentido, el INTA desarrolla desde 2003 un programa de mejoramiento, principalmente enfocado al Delta, con el objetivo de obtener genotipos adaptados a la región. La estrategia considera la ampliación de la base genética, especialmente mediante cruzamientos inter e intraespecíficos y la selección clonal (Cerrillo, 2009). Como resultado de esta ampliación de la variabilidad genética se lograron en el programa más de 3000 genotipos entre los años 2008 y 2013. Parte de éstos, son los individuos objeto del presente trabajo.

De todas las especies de *Salix* cultivadas en el Delta del Río Paraná, el sauce americano (*Salix babylonica* var *sacramenta*) siempre se ha destacado por su largo de fibra, su alta densidad y buena resistencia de las pulpas quimimécnicas (Monteoliva et al., 2007; 2008). Algunas especies y/o clones introducidos han sido estudiados con respecto a las propiedades de la madera deseables para lograr la difusión de otros clones con buena aptitud para la industria papelera (Monteoliva et al., 2005b; 2007; 2008; Monteoliva & Marlats, 2007). Para algunos clones de sauces se han calculado heredabilidades de la densidad de la madera y longitud de fibras hallándose altos valores para estas dos características (Monteoliva et al., 2005a). En este sentido, es posible que la elección de buenos progenitores en los cruzamientos generados en los programas de mejoramiento, derive en progenies con propiedades de la madera mejoradas para distintos destinos industriales (Cerrillo & Ortiz, 2009).

Dentro de las propiedades de la madera, la densidad está relacionada positivamente con el rendimiento en pulpa y con las resistencias mecánicas en la madera sólida (Panshin & de Zeeuw, 1980; Barnett & Jeronimidis, 2003). La densidad integra otras características anatómicas como son el espesor de pared de las fibras y la cantidad y tamaño de los vasos, por lo tanto puede tomarse a la densidad como una propiedad predictora de ciertos atributos anatómicos. Asimismo, estos parámetros anatómicos “per se”

también influyen en la calidad del producto final (Barnett & Jeronimidis, 2003). Por ejemplo, un mayor diámetro de vasos, permite una buena penetración de los licores de impregnación (sea para pulpado o para preservación). La mayor longitud de fibras está relacionada con mejores resistencia en los papeles (Repetti, 1990; Monteoliva et al., 2005b; 2008).

Cualquier factor que cambie el patrón de crecimiento de un árbol puede afectar las propiedades de la madera y consecuentemente la calidad del producto final industrial (Barnett & Jeronimidis, 2003). Diferentes autores han reportado sobre la relación entre variables de crecimiento y propiedades de la madera en Salicáceas (Barañao et al., 1983; De-Bell et al., 1998; Koubaa et al., 1998; Monteoliva & Marlats, 2007). Estos reportes expresan que como consecuencia de diferencias en los crecimientos, la madera producida difiere en su calidad en términos de densidad o longitud de fibras, no obstante, la información referida resulta escasa y contradictoria.

El objetivo del trabajo fue la evaluación de la anatomía y densidad de la madera y su relación con el crecimiento en diámetro en familias de sauces (*Salix*) producto de la etapa inicial de selección del programa de mejoramiento de sauces en Argentina, con vistas a seleccionar clones mejorados aptos para la producción de madera de calidad para usos sólidos (aserrado) y papel para diarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen del material genético analizado

En el marco del programa de mejoramiento genético de sauce del INTA, en los años 2008 y 2009 se logró una ampliación de la base genética, a través de cruzamientos controlados y germoplasma obtenido por polinización abierta. Sobre ese material original, en 2011 y 2012 se efectuó una primera selección (“screening”) sobre un total de 2500 individuos producto de semilla, correspondientes a 18 familias en las que se cruzaron individuos de las especies: *Salix alba* L., *S. amygdaloides* Anderss., *S. babylonica* L., *S. matsudana* Koidtz, *S. humboldtiana* Willd., *S. jessoensis* Seemen., *S. viminalis* L. y *S. nigra* Marsh. Once de las 18 familias fueron obtenidas mediante hibridaciones controladas en invernadero; las otras 7, se originaron por polinización abierta de madres destacadas por sus características forestales (crecimiento, sanidad y forma). En la tabla 1 se indican las diferentes combinaciones con los orígenes y procedencias de cada progenitor.

La elección de los progenitores fue realizada sobre la base de las características de vigor y características de la madera (densidad y longitud de fibra).

Sobre la base de la variable crecimiento en altura, previo rechazo de todos los individuos que presentaban canchales en sus fustes, se efectuó un “screening” seleccionándose 365 individuos (potenciales clones) que se establecieron en un banco clonal a campo, a razón de 5 estacas por clon. A los 3 años se realizó el muestreo destructivo de un ejemplar de cada clon potencial (n=365) en el banco clonal.

Tabla 1. Material genético evaluado: origen de cada familia. *CC: cruzamiento controlado, PA: polinización abierta, x?: cruzamiento con padre desconocido.

Cruzamientos	Familia	Tipo cruzamiento	Años de: cruzamiento/ 1ºselección	Nº individuos
<i>S.matsudana</i> SI64-012 x <i>S.babylonica</i> SE81-001	08.01	CC*	2008/2011	56
<i>S.matsudana</i> NZ 695 x ?	08.07	PA	2008/2011	10
<i>S. matsudana</i> NZ 695 x <i>S. alba</i> S 6	09.01	CC	2009/2012	59
<i>S. matsudana</i> NZ 695 x <i>S. alba</i> S 7	09.03	CC	2009/2012	1
<i>S. matsudana</i> 64-012 x <i>S. alba</i> 62-008	09.05	CC	2009/2012	1
<i>S. matsudana</i> ROU x <i>S. viminalis</i> Mackoy	09.13	CC	2009/2012	4
(<i>S.matsudana</i> x <i>S.nigra</i>) 98.13.08 x ?	08.09	PA	2008/2011	65
<i>S alba</i> S-59-005 x <i>S.babylonica</i> SE81-001	08.02	CC	2008/2011	4
<i>S.alba</i> S-59-005 x (<i>S.matsudana</i> X <i>S.alba</i>) 97.11.01	08.03	CC	2008/2011	5
<i>S. alba</i> 59-005 x <i>S. alba</i> 61-002	09.06	CC	2009/2012	4
<i>S.amygdaloides</i> CAN 690 x <i>S.alba</i> S1	08.05	CC	2008/2011	75
<i>S.amygdaloides</i> CAN 690 x <i>S.babylonica</i> SE81-001	08.06	CC	2008/2011	3
<i>S. amygdaloides</i> CAN 666 x?	09.08	PA	2009/2012	7
<i>S. amygdaloides</i> CAN 722 x?	09.09	PA	2009/2012	24
<i>S. amygdaloides</i> 924-2 x?	09.11	PA	2009/2012	20
<i>S. amygdaloides</i> CAN 690 x?	09.12	PA	2009/2012	19
<i>S. jessoensis</i> SE 63-016 x (<i>S. matsudana</i> x <i>S. alba</i>)	09.02	CC	2009/2012	2
<i>S. humboldtiana</i> (Formosa) x?	09.07	PA	2009/2012	6

Evaluación de Propiedades de la madera:

La madera de las 18 familias (n=365 individuos distribuidos en las 18 Familias según se detalla en la Tabla 1) fue analizada a los 3 años con el objetivo de sumar elementos para continuar la mejora sobre la base del criterio de calidad de la madera.

Se tomó una muestra destructiva (rodaja) en la base de cada ejemplar, de 5-7 cm de espesor. Sobre esta misma rodaja basal se registraron los diámetros sin corteza. La medición se realizó con regla (en cm) mediante la medición de 2 diámetros opuestos pasando por la médula. Se trabajó con el promedio de las dos mediciones para caracterizar cada clon y con el promedio de los clones para caracterizar cada Familia.

Se determinaron las siguientes variables: densidad básica, morfometría de fibras (longitud y espesor de pared) y de vasos (diámetro y frecuencia).

Las rodajas fueron descortezadas para la determinación de densidad básica. La densidad se determinó por el cociente entre peso seco anhidro y volumen saturado.

La longitud de fibras se midió sobre macerados. Los mismos se realizaron tomando dos astillas del último anillo de crecimiento de cada rodaja (año 3), se colocaron al baño de maría en tubos de ensayo con ácido acético y agua oxigenada en partes iguales (técnica de Franklin) hasta la disociación de los elementos individuales. Se realizaron preparados histológicos transitorios sin teñir con la suspensión de fibras luego de dos lavados sucesivos con agua.

El espesor de pared de fibras, así como también el diámetro y frecuencia de vasos se midieron sobre cortes histológicos transversales teñidos con safranina (1%) sobre probetas cortadas del último anillo de crecimiento (año 3).

Se tomaron imágenes digitales de los preparados con microscopio óptico Olympus CX31 (Japón) asociado a una cámara digital (Infinity, Lumenera, Canadá). Las fibras y vasos se midieron sobre dichas imágenes con el programa ImagePro (Media Cybernetics, USA). Se midieron 100 fibras/vasos por clon, la frecuencia de vasos se estimó mediante el conteo de la cantidad de vasos sobre 5 imágenes y se calculó el número por mm².

Análisis estadísticos

Se realizaron análisis descriptivos de medias, medianas y desvíos comparativos entre especies (Statística v.10). Se testeó si la Familia fue una fuente significativa de variación mediante ANOVA de un factor, según el siguiente modelo:

$$Y_i = m + E_i + e_i$$

Dónde:

Y_i = observación sobre la Familia i
 m = media general del experimento
 E_i = efecto fijo de la Familia i
 e_i = error experimental

Las pruebas de comparación de medias se realizaron con Tukey ($p < 0,05$). Se realizaron correlaciones de Pearson ($p < 0,05$) con el conjunto de datos promedio por familia ($n = 18$) para establecer la relación entre variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento

Los resultados de crecimiento en diámetro medidos en la base a los 3 años indicaron diferencias significativas entre familias ($p < 0,001$). Realizando el contraste de las medias familiares, la familia 09.12, originada por polinización abierta del clon experimental *S. amygdaloides* CAN 690, fue la de mayor diámetro ($7,85 \text{ cm} \pm 1,35$) (Fig.1).

Los 6 cruzamientos que tienen como progenitor femenino a *S. amygdaloides* fueron los de mayor crecimiento en diámetro. Si bien no existen diferencias significativas entre los obtenidos por polinización controlada y los que se obtuvieron por polinización abierta, estos últimos pertenecen al grupo con mejor performance en crecimiento. Algunos de los cruzamientos con *S. matsudana* como progenitor femenino, también alcanzaron buenos desempeños para el crecimiento en diámetro, sin diferencias significativas con las familias provenientes de *S. amygdaloides*: entre $4,95 \text{ cm} (\pm 0,67)$ y $6,02 \text{ cm} (\pm 1,1)$ (fam. 09.13 y 08.09). Este destacado comportamiento en lo concerniente al vigor inicial determinó que la mayor parte de los individuos selectos correspondieran a las familias que incluyen esas especies. Cabe destacar que la familia 08.09 obtenida por polinización libre del cruzamiento *Salix matsudana* x *S. nigra* 'LEZAMA INTA CIEF', fue seleccionado por el programa de mejoramiento e inscripto en 2013 en el

Instituto Nacional de Semillas (INASE), ya que posee una destacada performance forestal (Cerrillo, 2014).

Crecimientos menores a 3 cm se observaron en 5 familias, 3 pertenecientes a los cruzamientos de *S. matsudana* (08.01, 08.07 y 09.05) y los otros a *S. alba* (08.02 y 08.03).

La buena respuesta en crecimiento observada para genotipos con origen en estos materiales genéticos o sus combinaciones, guarda correspondencia con las evaluaciones a campo, en ensayos comparativos a distancia de plantación ($4 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ ó $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$), en evaluaciones realizadas a 5 y 7 años (Cerrillo, 2014). Asimismo, esa superioridad en crecimiento está acompañada por buenas características de forma del árbol, sanidad y adaptación al medio.

Propiedades de la Madera

Los análisis de la varianza indicaron que la familia resultó una fuente significativa de variación para todas las variables analizadas ($p < 0,001$).

Los cruzamientos con progenitor femenino *S. alba* y *S. matsudana* presentaron los menores valores de diámetro de vasos (a excepción de la familia 08.09) y los mayores de frecuencia de vasos (a excepción de la familia 09.01) (Fig. 2, panel superior, Tabla 2). El cruzamiento libre de *S. humboldtiana* fue el de mayor diámetro y menor frecuencia de vasos (fam. 09.07). Los clones provenientes de los cruzamientos controlados y libres de *S. amygdaloides* presentaron también vasos grandes y de número variable.

Para la variable espesor de pared de las fibras, se destacaron algunas familias de diferentes cruzamientos. Así tenemos las familias 09.11 y 09.12 derivadas de cruzamientos libres de *S. amygdaloides* y la familia 09.07 de *S. humboldtiana* con valores superiores a $2,5 \mu\text{m}$ (Fig. 2, panel inferior, Tabla 2).

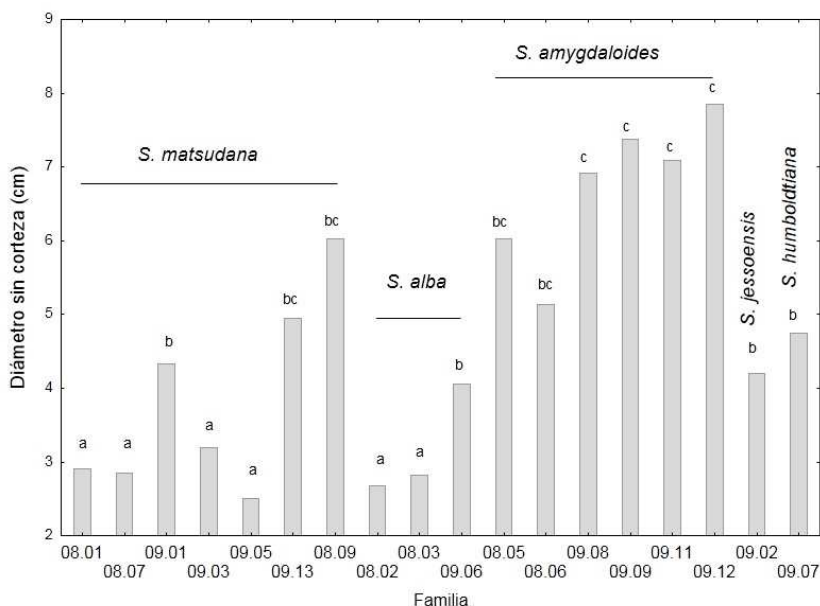


Figura 1. Diámetros sin corteza discriminados por familia. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los grupos. Las familias se presentan ordenadas de acuerdo a la especie del progenitor femenino.

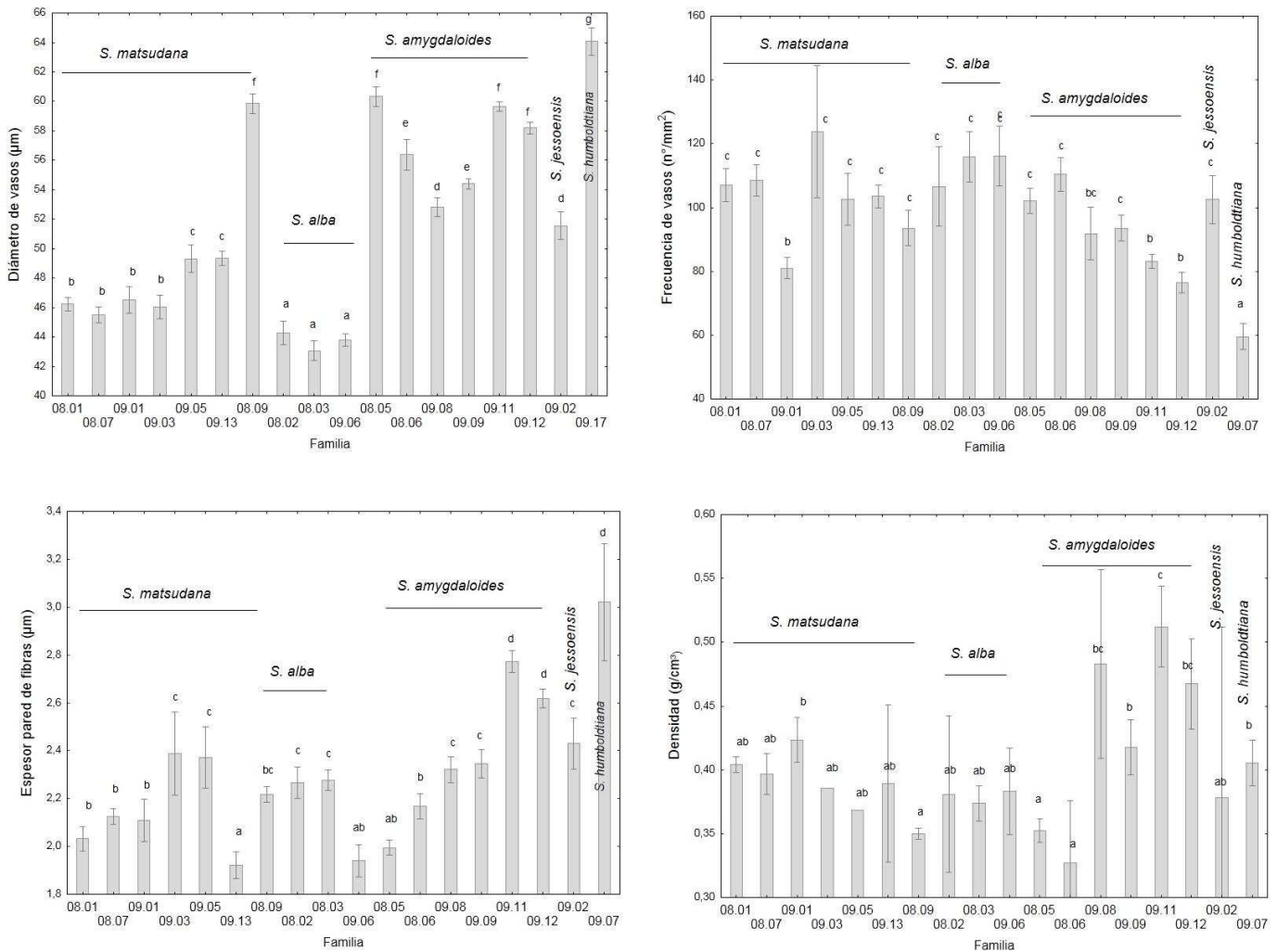


Figura 2. Valores medios (\pm Intervalos de confianza) para diámetro y frecuencia de vasos (panel superior), espesor de pared y densidad básica de la madera (panel inferior). Letras diferentes indican diferencias significativas entre los grupos. Las familias se presentan ordenadas de acuerdo a la especie del progenitor femenino.

La combinación de estas 3 variables anatómicas (diámetro y frecuencia de vasos y espesor de pared de fibras) determina mayoritariamente la densidad de madera resultante (Panshin & De Zeeuw, 1980; Barnett & Jeronimidis, 2003). Así tenemos entonces, que la densidad presentó los mayores valores en las familias con menor frecuencia de vasos y mayor espesor de pared de fibras. La densidad de la madera fue significativamente superior en 3 de los clones de polinización abierta de *S. amygdaloides* (fam. 09.08, 09.11 y 09.12) superando los 0,465 g/cm³. El cruzamiento por *S. humboldtiana* (fam. 09.07) y algunas familias de *S. matsudana* (fam. 08.01, 09.01 y 08.07) también resultaron prometedores ya que presentaron valores de densidad cercanos a 0,400 g/cm³ (Fig. 2, panel inferior, Tabla 2).

La longitud de fibras presentó valores promedio menores (inferiores a 500 µm) en los cruzamiento de *S. jessoensis* (fam. 09.02), *S. humboldtiana* (Fam. 09.07) y *S. matsudana* NZ 695 x *S. alba* S 7 (fam 09.03) (Fig.

3, Tabla 2). Nuevamente los cruzamientos de *S. amygdaloides* mostraron la mayor aptitud, junto con algunas familias de *S. matsudana* (08.01, 08.07, 09.05 y 08.09) y *S. alba* (08.02 y 08.03), con valores entre 730-860 µm.

De acuerdo a las relaciones establecidas entre densidad y caracteres anatómicos con la calidad de los diferentes productos finales mencionados en la introducción (Panshin & de Zeeuw, 1980; Repetti, 1990; Barnett & Jeronimidis, 2003; Monteoliva *et al.*, 2005b; 2008) los resultados obtenidos indican que es promisorio la propagación de material proveniente de los cruzamientos controlados y de polinización abierta de *S. amygdaloides*. Las familias provenientes de este origen han demostrado el buen desempeño de crecimiento en diámetro y caracteres xilológicos que impactan positivamente tanto en el rendimiento pulpable como además en el uso como madera sólida.

Tabla 2. Datos suplementarios S1. Medias (\pm DE) por familia para todas las variables medidas en la madera a los 3 años de edad.

Cruzamientos	Familia	Longitud de fibras μm	Espesor pared de fibras μm	Diámetro de Vasos μm	Frecuencia de vasos $\text{N}^{\circ}.\text{mm}^{-2}$	Densidad básica $\text{Kg}.\text{m}^{-3}$
<i>S.matsudana</i> SI64-012 x <i>S.babylonica</i> SE81-001	08.01	836 (107)	2,03 (0,67)	46,2 (6,82)	107 (17)	403 (22)
<i>S.matsudana</i> NZ 695 x ?	08.07	864 (126)	2,13 (0,37)	45,5 (8,15)	108 (16)	397 (22)
<i>S. matsudana</i> NZ 695 x <i>S. alba</i> S 6	09.01	587 (178)	2,11 (0,24)	46,51 (2,45)	81 (9)	424 (56)
<i>S. matsudana</i> NZ 695 x <i>S. alba</i> S 7	09.03	431 (67)	2,39 (0,62)	46,04 (10,06)	116 (17)	386 (10)
<i>S. matsudana</i> 64-012 x <i>S. alba</i> 62-008	09.05	775 (150)	2,37 (0,45)	49,30 (10,76)	96 (6)	368 (12)
<i>S. matsudana</i> ROU x <i>S. viminalis</i> Mackoy	09.13	690 (111)	1,92 (0,41)	49,35 (11,28)	97 (8)	389 (39)
(<i>S.matsudana</i> x <i>S.nigra</i>) 98.13.08 x ?	08.09	850 (122)	2,22 (0,42)	59,8 (11,18)	94 (21)	350 (17)
<i>S alba</i> S-59-005 x <i>S.babylonica</i> SE81-001	08.02	788 (122)	2,27 (0,42)	44,2 (7,21)	107 (22)	381 (38)
<i>S.alba</i> S-59-005 x (<i>S.matsudana</i> x <i>S.alba</i>) 97.11.01	08.03	816 (111)	2,28 (0,38)	43,1 (7,22)	116 (19)	374 (11)
<i>S. alba</i> 59-005 x <i>S. alba</i> 61-002	09.06	658 (149)	1,94 (0,49)	43,8 (10,58)	109 (21)	383 (21)
<i>S.amygdaloides</i> CAN 690 x <i>S.alba</i> S1	08.05	800 (116)	2,00 (0,37)	60,3 (10,37)	102 (13)	347 (17)
<i>S.amygdaloides</i> CAN 690 x <i>S.babylonica</i> SE81-001	08.06	799 (111)	2,17 (0,36)	56,4 (9,19)	110 (10)	327 (19)
<i>S. amygdaloides</i> CAN 666 x?	09.08	761 (160)	2,32 (0,52)	52,81 (18,36)	86 (25)	483 (80)
<i>S. amygdaloides</i> CAN 722 x?	09.09	730 (152)	2,26 (0,52)	54,41 (18,04)	87 (22)	418 (58)
<i>S. amygdaloides</i> 924-2 x?	09.11	745 (159)	2,77 (0,64)	59,65 (18,06)	78 (14)	492 (59)
<i>S. amygdaloides</i> CAN 690 x?	09.12	772 (145)	2,62 (0,61)	58,19 (18,94)	71 (17)	467 (65)
<i>S. jessoensis</i> SE 63-016 x (<i>S.matsudana</i> x <i>S.alba</i>)	09.02	393 (77)	2,43 (0,53)	51,56 (14,99)	96 (11)	378 (15)
<i>S. humboldtiana</i> (Formosa) x?	09.07	481 (124)	2,64 (0,53)	64,07 (20,06)	56 (11)	405 (17)

Relaciones entre variables

Tomando el conjunto de todos los cruzamientos (N=18), las correlaciones a nivel de familias indicaron que el crecimiento en diámetro presentó correlación positiva con la densidad de la madera ($r= 0,47$, $p= 0,05$) y con el diámetro de vasos ($r= 0,73$, $p= 0,001$) y negativa con la frecuencia de vasos ($r= -0,59$, $p= 0,01$). Por lo tanto, es posible seleccionar clones con buen diámetro y relativamente alta densidad.

La densidad de la madera no se correlacionó con el espesor de pared de fibras ($p= 0,07$), sino que lo hizo con la frecuencia de vasos ($r= -0,58$, $p= 0,01$).

La longitud de fibras no se correlacionó significativamente con ninguna variable medida ($p \geq 0,05$). Por lo tanto es posible, hallar combinaciones de buen diámetro, con alta densidad y altos valores de longitud de fibras.

Los patrones generales de variación indican que algunas propiedades como longitud de fibras, espesor de pared y densidad aumentan con la edad (Panshin &

De Zeeuw, 1980; Barnett & Jeronimidis, 2003), y así también lo confirman algunos estudios de sauces en Argentina (Monteoliva et al., 2005b; Monteoliva & Marlats, 2007; Cobas et al., 2014). Mientras que los valores del tamaño y cantidad de vasos se estabilizan a edades más tempranas (Matyas & Prezslén, 1997), siendo a los 4-5 años en el caso de los sauces (Cobas et al., 2014). Por lo tanto es de esperar que a las edades próximas al turno (8-10 años para papel y mayores a 15 años para aserrado y/o debobinado) los valores de las primeras variables aumenten, lo cual es deseable.

Selección de las mejores familias

Las mejores características de la madera para una selección temprana son: densidad de madera relativamente alta (superiores a $0,400 \text{ g/cm}^3$), fibras largas (superiores a $800 \mu\text{m}$) y de buen espesor de pared ($2,20 \mu\text{m}$), vasos de diámetros pequeños (hasta $45 \mu\text{m}$) y numerosos (superiores a 100 vasos/mm^2).

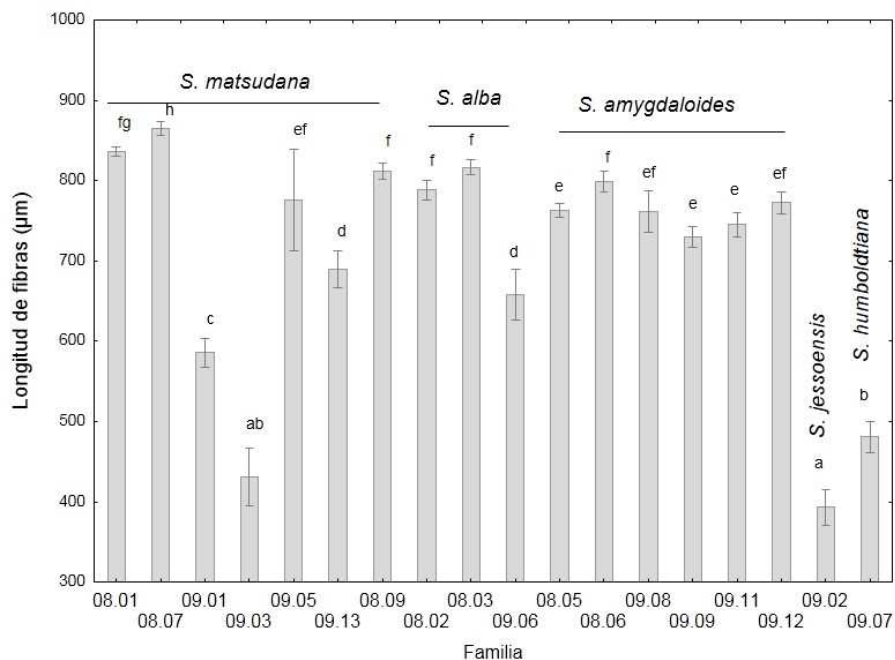


Figura 3. Longitud de fibras promedio (\pm Intervalos de confianza) discriminada por Familia. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los grupos. Las familias se presentan ordenadas de acuerdo a la especie del progenitor femenino.

Estos valores de referencia son indicados como valores umbrales mínimos para obtener una buena calidad de pulpa quimimecánica a partir de clones de sauces (Repetti, 1990; Monteoliva et al., 2005b). Para los destinos de madera sólida (aserrado o madera redonda) no hay referencias nacionales que permitan analizar las mejores combinaciones de propiedades en la materia prima a mejorar. Sin embargo la densidad de la madera es un muy buen indicador de calidad frente a estas aplicaciones ya que está positivamente correlacionado con las resistencias (Panishin & De Zeeuw, 1980; Barnett & Jeronimidis, 2003). Los diferentes clones de sauces actualmente en cultivo en el Delta brindan madera con densidades entre 0,350-0,400 g/cm³ (Monteoliva et al., 2002). Obtener nuevos clones con densidades cercanas a 0,400 g/cm³ a edades tempranas, asegura que esta propiedad resulte elevada en la edad de turno, que para el caso de madera con destino a aserrado será mayor que la destinada a pulpa.

Algunas de las familias que tienen como progenitor femenino a *S. amygdaloides* y a *S. matsudana*, demostraron las mejores combinaciones de propiedades para diferentes destinos industriales como son: buen crecimiento en diámetro (mayores a 5cm), con altas densidades de la madera (mayores a 0,400 g/cm³) y mayores longitudes de fibras (superiores a 700 µm). Para ambas especies se vuelve a demostrar la importancia de esta combinación parental (Cerrillo et al., 2012; Monteoliva & Cerrillo, 2013).

Vaschetto & Grande (2005), en la evaluación de calidad de pulpas quimimecánicas para papel de diario sobre 16 clones mejorados, demostraron la supremacía del genotipo *S. matsudana* frente a otras combinaciones.

Se seleccionaron en esa oportunidad 9 clones, 5 de los cuales fueron cruzamientos x *S. matsudana*, que presentaron aptitud papelera similar o superior al sauce americano usado como testigo, en términos de índice de rasgado, tracción y coeficiente de dispersión.

CONCLUSIONES

En concordancia con resultados hallados en las correlaciones, es posible hallar genotipos con combinaciones de propiedades deseables para diferentes destinos industriales como buen crecimiento en diámetro (mayores a 5cm), alta densidad (superiores a 0,400 g/cm³) y fibras largas (superiores a 700 µm). Se destacaron los cruzamientos donde intervienen como progenitor femenino *S. amygdaloides* y *S. matsudana*. En este sentido, se aconseja la selección de las Familias 09.08, 09.11 y 09.12 (*S. amygdaloides*) fundamentalmente para aserrado y las Familias 08.01, 08.07, 09.05 (*S. matsudana*), además de las fam. 09.08, 09.11 y 09.12 (*S. amygdaloides*) en una primera selección para papel de diario.

Agradecimientos

A la Técnica Agr. Stella Ortiz por la colaboración en la obtención de los cruzamientos controlados y la selección; al personal de campo de la EEA Delta del Paraná del INTA, por el trabajo a campo en la instalación y selección de los materiales y a Papel Prensa SA por el aporte de datos meteorológicos del área, por su apoyo para las evaluaciones de madera y al desarrollo integral del Programa de Mejoramiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Baraño, J.J., A.M. Garau & R.E. Ayarza.** 1983. Crecimiento comparado entre *Salix babylonica* x *Salix alba* cv 131-25 y *Populus x euroamericana* cv Conti 12 en el Partido de Luján-Prov. de Bs. As. En: Actas del V Congreso Forestal Argentino, La Pampa, Argentina. pp. 1109-1115.
- Barnett, J. R. & G. Jeronimidis.** 2003. Wood quality and its biological basis. CRC Press, London. 226pp.
- Borodowski, E.** 2006. Álamos y sauces en el Delta del Paraná: situación del sector y silvicultura. En: Actas de las I Jornadas Argentinas de Salicáceas, Buenos Aires, Argentina. pp.61-70.
- Cerrillo, T.** 2009. Panorama de los sauces en Argentina: avances en el mejoramiento genético y en la identificación. En: Actas de las II Jornadas Argentinas de Salicáceas. Mendoza, Argentina. 11pp.
- Cerrillo, T.** 2014. Selección de seis nuevos clones de sauce (*Salix* spp) para el Delta del Paraná. En: Actas del IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina, La Plata, Argentina. 12pp.
- Cerrillo, T & S. Ortiz.** 2009. Mejoramiento genético del sauce. Resultados de ensayos comparativos a edad temprana. En: Actas del XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, Argentina. 10pp.
- Cerrillo T., J. Grande, J. Vaschetto, R. Bratovich, G. Mujica, J. García Conde & S. Monteoliva.** 2012. Wood evaluation of willows for paper industry and sawing. In proceedings 24TH Session of International Poplar Commission (IPC), Dehradun, India. Pp 342.
- Cobas, A.C., M.C. Area & S. Monteoliva.** 2014. Patrones de variación de la densidad de la madera y morfometría celular de *Salix babylonica var sacramenta* para la determinación de la edad de transición entre madera juvenil y madura. Maderas. Ciencia y Tecnología 16 (3): 343-354.
- DeBell, J.D., B.L. Gartner & D.S. DeBell.** 1998. Fiber length in young hybrid *Populus* stems grown at extremely different rates. Can. J. For. Res. 28: 603-608.
- Koubaa, A., R.E. Hernández, M. Beaudoin & J. Poliquin.** 1998. Interclonal, intraclonal, and within tree variation in fiber length of poplar hybrid clones. Wood and Fiber Science 30 (1): 40-47.
- Matyás, C., I. Peszlen.** 1997. Effect of age on selected wood quality traits of poplar clones. Silvae Genetica 46 (2-3): 64-72.
- Monteoliva, S. & T. Cerrillo.** 2013. Densidad y anatomía de la madera en familias mejoradas de sauces en Argentina. Revista Arvore 37 (6): 1183-1191.
- Monteoliva, S. & R. Marlats.** 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 16 (1): 15-24.
- Monteoliva, S., G. Senisterra, J. Marquina, R. Marlats & MS Villegas.** 2002. Estudio de la variación de la densidad básica en siete clones de *Salix*. Revista Facultad Agronomía La Plata 105 (1): 29-34.
- Monteoliva, S., G. Senisterra & R. Marlats.** 2005a. Variation of wood density and fibre length in six willow clones (*Salix* spp.). IAWA Journal 26 (1): 197-202.
- Monteoliva, S., G. Senisterra, M.G. Ducid, P. Rivas & R. Marlats.** 2005b. Selección de clones de sauces por propiedades tecnológicas para la industria papelera. Congreso AFOA, Corrientes, Argentina. pp.105-115.
- Monteoliva, S., M.C. Area & F. Felissia.** 2007. CMP pulps of willows for newsprint. Part 1: Pulp evaluation. Cellulose Chem. Technol., 41 (4-6): 263-272.
- Monteoliva, S., M.C. Area & F. Felissia.** 2008. CMP pulps of willows for newsprint. Part 2: relationships between wood characteristics and pulp properties. Cellulose Chem. Technol. 42 (1-3): 45-59.
- Panshin, A. & C. de Zeeuw.** 1980. Textbook of wood technology. McGraw-Hill Book Company. London. 722pp.
- Repetti, R.** 1990. Relación entre las características de la madera y las propiedades del papel. En: Actas del Seminario sobre calidad de la madera en la producción forestal. Buenos Aires, Argentina. pp.11-30.
- Vaschetto, J. & J. Grande.** 2005. Evaluación de pulpas de sauces experimentales obtenidos por mejoramiento genético. Informe interno, Laboratorio Central de Papel Prensa, Buenos Aires. 15pp.