

Efecto del sitio, el origen y el clon sobre el crecimiento y propiedades de la madera de *Populus*

S. Monteoliva^{1*} y G. Senisterra²

¹ Cátedra de Xilotecología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Av. 60 y 119, CC 31 (1900) La Plata, Argentina, TE: +54-0221-4236616 – Fax: +54-0221-4252346.

² Cátedra de Mejoramiento Genético Forestal, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Av. 60 y 119, CC 31 (1900) La Plata, Argentina, TE: +54-0221-4236616 – Fax: +54-0221-4252346.

Resumen

El objetivo del trabajo fue estudiar el efecto del sitio, el híbrido y el clon, sobre la altura total, DAP, volumen, densidad de la madera, longitud de fibras y rendimiento, de 11 clones de álamos. Se muestrearon ensayos de 10 años en dos sitios de Argentina (MD y EG). Los clones provienen de cruzamientos de *P. deltoides*, de cruzamientos de *P. deltoides* x *P. nigra* (*P. x canadensis* = *P. euramericana*) y *P. deltoides*. El sitio influyó significativamente en el crecimiento y densidad, el híbrido en la altura, densidad y longitud de fibras y los clones en todas las variables. Los árboles del sitio MD resultaron 5% más altos y 2% más densos, pero los ejemplares de EG resultaron con mayor DAP (7%) y volumen (11%). Los híbridos de *P. x deltoides* resultaron 4% más altos y 4% más densos que los *P. x canadensis*. En longitud de fibras los híbridos *P. x canadensis* fueron 3% superiores. Las diferencias entre sitios y entre híbridos no resultaron tan marcadas considerando el conjunto de las propiedades. Los clones tuvieron diferente respuesta en las propiedades independientemente del cruzamiento del que derivan. Se destacaron los clones 610-31 y 564-17 (*P. x deltoides*) y 568-1 y Triplo (*P. x canadensis*).

Palabras clave: variación entre sitios, variación interclonal, variación entre híbridos, densidad, longitud de fibras.

Summary

Site, hybrid crosses and clone effect on growth and wood properties of *Populus*

The objective of this paper was to study site, hybrid cross and clone effects on total height, DBH, volume, wood basic density, fibre length and yield, of eleven poplars clones. 10-year-old hybrid poplar clones were sampled at two sites in Argentina (MD and EG). The material studied consisted of two poplar hybrid crosses *Populus deltoides* x *P. deltoides* and *P. deltoides* x *P. nigra* (*P. x canadensis* = *P. x euramericana*), as well as *P. deltoides*. Sites influenced significantly growth traits and wood density, hybrid influenced tree height, wood density and fibre length and clones influenced all variables. MD trees were 5% higher and 2% denser than EG trees, but EG trees were 7% greater in BDH and 11% more volume than the MD trees. *P. deltoides* and *P. deltoides* intra specific crosses were 4% higher and 4% denser than *P. x canadensis* trees. *P. x canadensis* fibre length was 3% higher than *P. x deltoides*. According to all properties, difference between site and hybrid were not very important. The properties of the clones had different responses regardless of the hybrid crosses. 610-31 and 564-17 clones (*P. x deltoides*) and 568-1 and Triplo (*P. x canadensis*) clones were distinguished.

Key words: variation between sites, interclonal variation, variations among hybrids, wood density, fibre length.

* Corresponding author: smonteoliva@yahoo.com.ar

Received: 19-06-08. Accepted: 29-10-08.

Introducción

Los álamos en la Argentina, representan el tercer cultivo en importancia en el sector forestal después de los pinos y eucaliptos. Estas plantaciones ocupan en la Argentina unas 50.000 hectáreas principalmente distribuidas en las provincias de Buenos Aires, Mendoza y Río Negro. En la región denominada "pampa húmeda" la actividad comenzó a principios del 1900 (Cozzo, 1987) y se fue afianzando hasta alcanzar las 5000 ha de bosques en macizo (Achinelli *et al.*, 2004 citado por Achinelli, 2006). Estas plantaciones "de tierra firme" o "continentales" se sitúan en las localidades de Morse, Vedia y Palantelén (Provincia de Buenos Aires) y Teodelina (Provincia de Santa Fe). La relación con las industrias ha sido determinante en la especialización de los sistemas de cultivos y los clones elegidos, hacia la producción de madera para aserrado y desenrollo en Morse y Vedia, y de madera para triturado en Palantelén y Teodelina (Achinelli, 2006).

En la composición actual de las plantaciones predominan los clones de *Populus deltoides*, seguidos de los clones de *P. x canadensis* (= *P. x euramericana*). Tanto en Palantelén como en Teodelina los clones más importantes son *P. deltoides* 'Delta Gold' (= Stoneville 66), *P. deltoides* 'A 208-68' y *P. x canadensis* 'Conti 12'. En todos los casos se trata de genotipos de probada adaptación, que han completado por lo menos una rotación forestal. La investigación sobre nuevos materiales ha avanzado en los últimos años, a través de la implantación y el seguimiento de distintos ensayos comparativos con nuevos cultivares obtenidos en Europa (Cerrillo, 1997) y en INTA Castelar, Argentina (Ragonese *et al.*, 1987). Entre los clones promisorios en cuanto a crecimiento y resistencia a enfermedades merecen destacarse los *P. deltoides* 'A. 562-47', 'A 564-17', 'A 610-11', 'A 610-12' y 'A 610-31'; y los *P. x canadensis* 'A 568-1'. Las investigaciones sobre estos nuevos materiales están abordando no solo el crecimiento y sanidad (Senisterra *et al.*, 2000 y 2006), sino también su comportamiento fenológico (Gennari *et al.*, 2006) y la aptitud tecnológica de la madera para uso específico en pulpa (Monteoliva, 2006).

Es conocida la influencia del sitio y los genotipos en los parámetros de crecimiento, pero es menos conocida su influencia en la calidad de la madera (Barnet y Jeronimidis, 2003). Para el género *Populus* existen numerosos trabajos, nacionales e internacionales, que estudian la variación intraclonal e interclonal de la densidad de la madera y la longitud de fibras (Yanchuk *et al.*, 1984;

Bonavía de Guth, 1989; Ivkovich, 1996; Matyas y Peszlen, 1997; Peszlen, 1998; Koubaa *et al.*, 1998; Yu *et al.*, 2001; Sensiterra *et al.*, 2005) aunque muchos de estos trabajos se realizan en un solo sitio o determinan solo una propiedad de la madera, además que no involucran la comparación entre híbridos.

En Argentina, para las variables de crecimiento, Marlats *et al.* (2002 y 2004) estudiaron la influencia del sitio y del genotipo sobre la altura en ensayos comparativos de clones de álamos en tres sitios de la Pampa ondulada. Senisterra *et al.* (2006) muestran diferencias en los resultados dasométricos de acuerdo al sitio y clon analizado para 16 clones de álamo de 3 años implantados en dos sitios de las mismas localidades que nuestro estudio.

En Canadá, Pliura *et al.* (2005 y 2007) analizaron los parámetros de crecimiento, rendimiento en fibras y densidad, según varios sitios de implantación para clones de 9 años provenientes de *P. deltoides* y de cruzamientos híbridos de *P. x canadensis*, *P. x deltoides* y *P. x tremuloides*. Zhang *et al.* (2003) observan diferencias en 21 clones de *P. deltoides* y 5 híbridos interespecíficos, en dos sitios, para variables de crecimiento, densidad y longitud de fibras. Estos dos trabajos son los únicos que analizan el cruzamiento híbrido involucrado.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto del sitio, el origen (híbrido) y el clon, en variables de crecimiento (altura total, DAP y volumen aparente), en la madera (densidad básica, longitud de fibras) y en el rendimiento de material fibroso, en 11 clones de *Populus* implantados en dos sitios de la pampa húmeda en la Argentina.

Materiales y métodos

Se trabajó en ensayos instalados en dos sitios, ubicados en Teodelina (EG), provincia de Santa Fe (34° 12' LS; 61° 43' W; 90 m snm) y en Alberti (MD), provincia de Buenos Aires (34° 50' LS; 60° 30' W; 55 m snm), Argentina.

Los clones, de 10 años de edad, provienen de cruzamientos intraespecíficos de *P. deltoides* e interespecíficos de *P. deltoides* x *P. nigra* (*P. x canadensis* = *P. x euramericana*). Sus orígenes parentales y su procedencia se detallan en la tabla 1.

Los suelos del sitio EG son profundos clasificados como Hapludol típico e insertos en un paisaje de lomas aplanadas intermedias. En el sitio MD los suelos

Tabla 1. Especies, origen parental y procedencias de los clones

Especie Origen/Híbrido	Nombre del clon	Origen parental y procedencias de los clones
<i>Populus deltoides</i>	'Delta Gold'	“Stoneville 66”. Selección de <i>P. deltoides</i> . EEUU
<i>Populus x deltoides</i> (<i>P. deltoides x P. deltoides</i>)	'A 610-11'	<i>P. deltoides</i> 'Austr. 129/60' x <i>P. deltoides</i> 'USA Stoneville 107'.
	'A 610-31'	Producido en INTA Castelar, Argentina, 1982.
	'A 564-17'	<i>P. deltoides</i> 'USA- Stoneville 81' x <i>P. deltoides</i> 'USA- Stoneville 107'.
<i>Populus x canadensis</i> (<i>P. deltoides x P. nigra</i>)	'A-568-1'	<i>P. deltoides</i> 'Austr 129/60' x <i>P. nigra</i> var Itálica. Producido en INTA Castelar, Argentina, 1982.
	'SIA 22/85'	<i>P. x canadensis</i> . España.
	'I-Conti 12'	<i>P. x canadensis</i> . Italia.
<i>Populus x nigra</i>	'I-Cappa Bigliona'	<i>P. x canadensis</i> . Italia
	'I-Triplo'	<i>P. x canadensis</i> . Italia
	'I-2000 Verde'	<i>P. x canadensis</i> . Italia
	'I- Bl. Constanzo'	<i>P. x canadensis</i> . Italia

son clasificados como Argiudol Típico, ubicados en posición de media loma dentro de un relieve normal. Ambos suelos presentan textura franca a franco-arcillo-arenosa, con permeabilidad moderada y escurrimiento lento, lo cual determina que sean considerados bien drenados. El clima de ambos sitios presenta niveles de temperaturas similares, con T medias de 16.2°C para EG y de 15.8°C para MD con mínimas y máximas rondando entre los 9.21°C y 41.6°C. Las precipitaciones medias anuales son de 928 mm para EG y de 908 mm para MD. Estas condiciones de suelo y clima determinan calidades de sitio buenas a muy buenas para los álamos, pues significan en general suelos profundos, fértiles y sin problemas de drenaje (Lanfranco *et al.*, 1999).

Los clones evaluados formaban parte de ensayos de comportamiento clonal establecidos en el año 1995 por el CIEF (Centro de Investigaciones y Estudios Forestales, Argentina). El ensayo de Alberti (MD) estaba conformado por 42 clones y el de Teodelina (EG) por 29 clones. El diseño fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones de cuatro plantas en hilera. La distancia de plantación fue de 2,80 m x 3,50 m lo que conformaba una densidad de plantación de 1020 plantas por hectárea.

A cada árbol apeado se le midió la altura total (m) y el diámetro a 1,30 metros (DAP, cm). El volumen cilíndrico (m³) aparente se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación: Volumen= Área Basal individual x Altura total del árbol.

Para la determinación de la densidad básica y longitud de fibra de la madera se seleccionaron 5 árboles por clon por sitio sin condición de borde, con el leño en buen estado sanitario. Se extrajeron, por árbol, dos rodajas a la altura del pecho (1,30 m), una se utilizó para evaluar la densidad y la otra para longitud de fibras.

La densidad básica (kg/m³) se determinó según la norma TAPPI 258-om-94 (Technical Association of the Pulp and Paper Industry), calculándose por el cociente entre peso seco de la muestra y el volumen saturado de la misma en las rodajas enteras, previo descortezado.

Para la caracterización de longitud de fibras (mm), se obtuvieron muestras correspondientes a tres posiciones radiales (interna, media y externa) y se promediaron los valores obtenidos. Se midieron 50 fibras por posición con un microscopio Olympus con analizador de imágenes, sobre material disociado con ácido acético y agua oxigenada en partes iguales.

El cálculo rendimiento de material fibroso (kg) se realizó multiplicando la densidad básica por el volumen aparente como valores promedio de cada árbol (Zhang y Morgenstern, 1995, citado por Zhang *et al.*, 2003).

Análisis estadístico

A los valores medios de las variables en estudio se les realizó el análisis de la varianza entre sitios, entre híbri-

dos y entre clones, tomando un modelo donde todos sus factores son considerados como efectos fijos. Se complementaron los análisis con pruebas estadísticas de comparación de medias (Tukey $p < 0,05$).

Los modelos utilizados fueron los siguientes:

$$Y_{ijl} = m + C_i + S_j + C_i S_j + e_{ijl}$$

$$Y_{jkl} = m + H_k + S_j + H_k S_j + e_{jkl}$$

Donde:

Y_{ijl} = observación sobre el ramet l , en el clon i , en el sitio j

Y_{jkl} = observación sobre el ramet l , del híbrido k en el sitio j

m = media general del experimento

C_i = efecto del clon i

H_k = efecto del híbrido k

S_j = efecto del sitio j

$C_i S_j$ = efecto de la interacción en el clon i , en el sitio j

$H_k S_j$ = efecto de la interacción entre el híbrido k en el sitio j

e_{ijl} = error experimental asociado a la parcela que contiene al clon i en el sitio j

e_{jkl} = error experimental asociado a la parcela que contiene al híbrido k en el sitio j

Resultados

Variación entre sitios e híbridos

Las alturas medias de los diferentes clones implantados en el sitio MD resultaron 5% más altos, sin embargo, los ejemplares del sitio EG resultaron con mayor DAP (7%) y volumen (11%). La densidad de la madera promedio de los árboles del sitio MD (327,2 kg/m³) resultó 2% más alta que el promedio de los

árboles del sitio EG (321,1 kg/m³) (Tabla 2). No hubo diferencias entre sitios para longitud de fibras y rendimiento.

La tabla 3 presenta el ANOVA para sitio e híbrido. El sitio fue una fuente significativa de variación para las variables de crecimiento (altura, DAP y volumen) y densidad de la madera. En cambio, los árboles del sitio MD no presentaron diferencias en las variables de longitud de fibras y rendimiento de fibras con los árboles del sitio EG.

La tabla 3 muestra que los híbridos fueron fuente significativa de variación sólo para altura, densidad, longitud de fibras. La interacción sitio x híbrido no resultó significativa para ninguna variable.

Los árboles de *P. x deltooides* (22,9 m) resultaron 4% más altos que los árboles de los cruzamientos *P. x canadensis* (22,0 m). Asimismo, presentaron mayor densidad básica en la madera (4%), mientras que en longitud de fibras la tendencia se invierte, siendo los híbridos *P. x canadensis* 3% superiores (0,98 mm) que los *P. x deltooides* (0,95 mm) (tabla 4).

Los resultados hallados tienen un valor limitado al caso particular de los clones estudiados. Por lo tanto, las generalizaciones a todos los híbridos de *Populus* no pueden realizarse, dejando en claro que los resultados de este trabajo son válidos solo para estos cruzamientos.

Variación entre clones

La tabla 5 de ANOVA demuestra que el clon resultó una fuente significativa de variación para todas las propiedades, como así también la interacción clon x sitio excepto para densidad. Dependiendo del sitio los clones tuvieron diferente respuesta en las propiedades, inde-

Tabla 2. Valores medios, máximos y mínimos y coeficiente de variación (CV%) para el crecimiento y las propiedades de la madera en ambos sitios

	Sitio MD			Sitio EG		
	Media	Min-Max	CV	Media	Min-Max	CV
Altura (m)	22,9 b*	20,0-25,5	5	21,9 a	18,0-25,0	8
DAP (cm)	22,91 a	15,60-29,00	14	24,66 b	15,40-33,60	17
Volumen (m ³)	0,97 a	0,42-1,55	29	1,09 b	0,34-2,13	37
Densidad de la madera (kg/m ³)	327,2 b	297,0-359,0	5	320,8 a	290,0-352,0	5
Longitud de fibras (mm)	0,97 a	0,86-1,11	6	0,97 a	0,85-1,21	7
Rendimiento de fibras (kg)	316,3 a	133,8-521,9	29	349,9 a	113,7-667,2	37

* Las letras se leen horizontalmente y comparan las medias entre sitios para cada variable. Letras iguales no difieren significativamente ($p < 0,05$). Test Tukey

Tabla 3. Tabla de ANOVA para las variables de crecimiento y propiedades de la madera

Variable	Efectos	G de L	SC	F	valor p
Altura	Sitio (S)	1	24,23024	10,550	0,0015
	Híbrido (H)	1	23,4036	10,187	0,0018
	S x H	1	0,76319	0,3322	0,5655
	Error	106	2,29722		
DAP	Sitio (S)	1	94,71	6,861	0,010
	Híbrido (H)	1	1,21	0,087	0,768
	S x H	1	10,77	0,781	0,378
	Error	106	13,80		
Volumen	Sitio (S)	1	0,488226	4,0014	0,048
	Híbrido (H)	1	0,009049	0,0741	0,785
	S x H	1	0,05849	0,479	0,490
	Error	106	0,122013		
Densidad de la madera	Sitio (S)	1	1040	4,93	0,0284
	Híbrido (H)	1	4004	18,99	0,0000
	S x H	1	0,000	0	0,9957
	Error	106	0,000211		
Longitud de fibras	Sitio (S)	1	252	0,06	0,809
	Híbrido (H)	1	24542	5,98	0,016
	S x H	1	2648	0,65	0,423
	Error	106	4102		
Rendimiento de fibras	Sitio (S)	1	37158	2,90	0,091
	Híbrido (H)	1	11747	0,9187	0,339
	S x H	1	7176	0,5611	0,445
	Error	106	12787		

pendientemente del cruzamiento del que derivan (*deltooides* o *x canadensis*) (tabla 6).

Los clones 564-17, 610-31 dentro de los *P. x deltooides* y Delta Gold (tabla 6) y los clones SIA 22/85, Cappa Bigliona y Triplo de los *P. x canadensis* (tabla 7)

son los que, dependiendo del sitio, presentan la mayor altura. El clon Conti 12 presentó bajo crecimiento en ambos sitios. El Delta Gold y SIA 22/85 son los únicos clones que presentaron una altura significativamente menor en el sitio EG.

Tabla 4. Valores medios, máximos y mínimos y coeficiente de variación (CV%) de los híbridos para el crecimiento y las propiedades de la madera en ambos sitios

	<i>P. deltooides</i> y <i>Px deltooides</i>			<i>P. x canadensis</i>		
	Media	Min-Max	CV	Media	Min-Max	CV
Altura (m)	22,9 b*	18,0 - 25,5	7	22,0 a	18,0 - 25,0	5
DAP (cm)	23,65 a	15,65 - 30,00	15	23,86 a	15,45 - 33,60	16
Volumen (m ³)	1,04 a	0,42 - 1,64	32	1,02 a	0,34 - 2,13	35
Densidad de la madera (kg/m ³)	332,0 b	311,6 - 353,8	3	319,5 a	290,0 - 359,3	5
Longitud de fibras (mm)	0,95 a	0,87 - 1,04	4	0,98 b	0,85 - 1,21	7
Rendimiento de fibras (Kg)	346,8 a	139,2 - 557,2	33	325,3 a	113,7 - 667,2	35

* Las letras se leen horizontalmente y comparan las medias entre híbridos para cada variable. Letras iguales no difieren significativamente ($p < 0,05$). Test Tukey

Tabla 5. Tabla de ANOVA para las variables de crecimiento y propiedades de la madera

Variable	Efectos	G de L	SC	F	valor p
Altura	Sitio (S)	1	28,77273	20,11	0,0000
	Clon (C)	10	7,61239	5,3205	0,0000
	S x C	10	6,56423	4,5879	0,0000
	Error	88	1,43075		
DAP	Sitio (S)	1	84,35881	11,318	0,0011
	Clon (C)	10	57,59936	7,7278	0,0000
	S x C	10	24,33204	3,264	0,0012
	Error	88	7,4535		
Volumen	Sitio (S)	1	0,432577	7,121	0,0090
	Clon (C)	10	0,510705	8,4066	0,0000
	S x C	10	0,254787	4,194	0,0000
	Error	88	0,06075		
Densidad de fibras	Sitio (S)	1	1124,797	15,1	0,0001
	Clon (C)	10	1835,465	24,6	0,0000
	S x C	10	142,822	1,914	0,0535
	Error	88	74,6122		
Rendimiento de fibras	Sitio (S)	1	966,72	0,92	0,3392
	Clon (C)	10	28116,06	26,856	0,0000
	S x C	10	8871,75	8,474	0,0000
	Error	88	1046,9		
	Sitio (S)	1	31098,65	4,731	0,0323
	Clon (C)	10	51645,92	7,856	0,0000
	S x C	10	27936,86	4,249	0,0000
	Error	88	6573,72		

La respuesta en DAP de los diferentes genotipos es diferente según el sitio que se analice (interacción sitio x clon). Los DAP de los clones 610-31 y Triplo del sitio EG se destacan frente a los otros clones. El clon 610-11 del sitio MD presentó el menor DAP (17,83 cm) (tablas 6 y 7).

Los clones de mayor densidad fueron el SIA 22/85 del sitio MD y el 610-31 de ambos sitios (tablas 6 y 7). El Cappa Bigliona presentó el menor valor de densidad en los dos sitios.

El clon Cappa Bigliona presentó los menores valores de longitud de fibras en ambos sitios. El Triplo es el único clon que superó el mm en ambos sitios. Dentro de los *P. x canadensis* en MD dos clones superaron también este límite el clon 568-1 y el 2000 Verde y entre los *P. x deltoides* el 610-11 (tablas 6 y 7).

En rendimiento en fibras se destacan los clones 610-31 y el Triplo del sitio EG, esto se debe a que las magnitudes de sus volúmenes fueron las mejores. Los clones 564-17 y 568-1 presentaron muy buen rendimiento en ambos sitios, en cambio el 2000 Verde presentó los

menores rendimientos en los dos sitios de implantación (tablas 6 y 7).

Algunos clones presentaron, en determinadas propiedades, valores que resultaron superiores a la media del cruzamiento que les dio origen (según tabla 4). Se destacaron, en este sentido, los clones 610-31 y 564-17 entre los *P. x deltoides* por sus altos valores de crecimiento (Altura, DAP y Volumen) y rendimientos. Las propiedades de la madera de estos clones resultaron dispares siendo el clon 610-31 de muy buena densidad en ambos sitios y valores de longitud de fibras apenas por encima de la media del cruzamiento híbrido, en el sitio MD y sin diferencias significativas con el sitio EG (test de Tukey). El clon 564-17 resultó de baja densidad básica en ambos sitios y de longitud de fibras muy similares a la media en el sitio EG y sin diferencias significativas con el sitio MD. Dentro de los híbridos *P. x canadensis* se destacaron los clones 568-1 y Triplo por sus muy buenos crecimientos en diámetros y rendimientos de material fibroso en ambos sitios. El clon 568-1 presentó bajos crecimientos en altura y longitud de

Tabla 6. Valores medios por clon y por sitio de las variables de crecimiento y propiedades de la madera en los cruzamientos *P. deltoides* y *P. x deltoides*

	Sitios	Clones (<i>P. x deltoides</i>)			Clon <i>P. deltoides</i>
		564-17	610-11	610-31	Delta Gold
Altura (m)	MD	<u>23.3 aA*</u>	21,9 aA	<u>24.0 aA</u>	<u>24.4 aB</u>
	EG	<u>23.2 aA</u>	22.6 aA	<u>23.2 aA</u>	21,30 aA
DAP (cm)	MD	<u>24.90bA</u>	17.83aA	<u>22.30abA</u>	<u>24.40bA</u>
	EG	<u>26.75abA</u>	23,03abA	<u>28.24bA</u>	21,73aA
Volumen (m ³)	MD	<u>1.14bA</u>	0.56aA	0,95abA	<u>1.15bA</u>
	EG	<u>1.32abA</u>	0,96abA	<u>1.46bA</u>	0,80aA
Densidad de la madera (kg/m ³)	MD	328,7aA	327.9aA	<u>343.6aA</u>	<u>340.7aA</u>
	EG	318,6aA	326,3abA	<u>341.8bA</u>	328,6abA
Longitud de fibras (mm)	MD	0.90aA	<u>1.02cA</u>	<u>0.97abcA</u>	0,93abA
	EG	<u>0.97aA</u>	<u>0.96aA</u>	0.92aA	0,94aA
Rendimiento (kg)	MD	<u>376.2bA</u>	183,0aA	325,3abA	<u>392.6bA</u>
	EG	<u>419.9abA</u>	315,2abA	<u>497.9bA</u>	264,1aA

* Las letras minúsculas se leen horizontalmente y las mayúsculas verticalmente (comparan las medias de un clon entre sitios, dentro de cada variable). Letras iguales no difieren significativamente ($p < 0,05$), Test Tukey. Los valores subrayados marcan las magnitudes superiores a la media del cruzamiento que les dio origen según tabla 4.

fibras en el sitio EG, mientras que en el sitio MD estas propiedades resultaron superiores a la media del cruzamiento híbrido (aunque según el test de medias estas diferencias entre sitios no resultaron significativas). La

densidad que presentó su madera fue muy destacada en ambos sitios. En cambio, el clon Triplo presentó baja densidad de la madera en ambos sitios, pero excelentes crecimientos en altura y longitud de fibras.

Tabla 7. Valores medios por clon y por sitio de las variables de crecimiento y propiedades de la madera en los cruzamientos *P. x canadensis*

	Sitios	Clones (<i>P. x canadensis</i>)						
		568-1	SIA 22/85	Conti 12	Cappa Bigliona	Triplo	2000 Verde	Bl. Constanzo
Altura (m)	MD	<u>22.9aA*</u>	<u>23.1aB</u>	21.5aA	<u>23.5aA</u>	<u>22.5aA</u>	<u>22.4aA</u>	<u>22.4aA</u>
	EG	21,0abA	19.3aA	21.3bA	<u>22.5bA</u>	<u>23.5bA</u>	19.7aA	<u>22.9bA</u>
DAP (cm)	MD	<u>26.18aA</u>	21.31aA	22.57aA	<u>24.64aA</u>	<u>24.65aA</u>	21.57aA	21.62aA
	EG	<u>25.14abA</u>	20.89abA	<u>25.14abA</u>	<u>25.88bcA</u>	<u>30.59cA</u>	19.30aA	<u>24.59abA</u>
Volumen (m ³)	MD	<u>1.24aA</u>	0.83aA	0.88aA	<u>1.12aA</u>	0.82aA	0.82aA	0.85aA
	EG	<u>1.07abA</u>	0.70abA	<u>1.07abA</u>	<u>1.20bcA</u>	<u>1.74cB</u>	0.59aA	<u>1.09abA</u>
Densidad de la madera (kg/m ³)	MD	<u>336.0bA</u>	<u>345.9bcA</u>	<u>321.5abA</u>	305.3aA	312.5aA	<u>325.5abA</u>	312.1aA
	EG	<u>332.3bA</u>	<u>330.9bA</u>	305.4aA	300.5abA	314,5aA	<u>332.4bA</u>	298aA
Longitud de fibras (mm)	MD	<u>1.03bcA</u>	0.92aA	0.94aA	0.89aA	<u>1.03cA</u>	<u>1.06cA</u>	0.95abA
	EG	0.96abA	0.97abA	0.97abA	0.92aA	<u>1.16cB</u>	<u>0.99bA</u>	0.95abA
Rendimiento (kg)	MD	<u>416.1aA</u>	287.6aA	280.7aA	<u>343.1aA</u>	<u>345.3aA</u>	266.2aA	263.0aA
	EG	<u>360.2abA</u>	232.5aA	<u>328.5aA</u>	<u>360.0abA</u>	<u>547.7bB</u>	196.9aA	<u>326.2aA</u>

* Las letras minúsculas se leen horizontalmente y las mayúsculas verticalmente (comparan las medias de un clon entre sitios, dentro de cada variable). Letras iguales no difieren significativamente ($p < 0,05$), Test Tukey. Los valores subrayados marcan las magnitudes superiores a la media del cruzamiento que les dio origen según tabla 4.

Discusión

Variación entre sitios

Los resultados hallados en este trabajo reflejan las tendencias halladas en las referencias bibliográficas para el género *Populus*, que indican que el efecto sitio resulta significativo dependiendo de los híbridos/clones y las propiedades analizadas.

Los dos sitios analizados no presentan grandes diferencias entre sí desde el punto de vista climático general, ambos son considerados aptos para el cultivo de álamos. Así lo demuestran los índices de sitio y rendimiento de maderas publicados para la región, en donde el rango de alturas índice (con base de 10 años) varía entre 16.6 m y 29.4 m (Achinelli, 2006). Las diferencias de alturas índices según los micrositos, tienen relación con el contenido de nitrógeno total, de arena y de materia orgánica del suelo (Acciaresi y Marlats, 1988), o con restricciones en las condiciones de drenaje y disponibilidad de agua durante el ciclo de crecimiento (Marlats et al., 2002; Baridón et al., 2004; Marquina y Marlats, 2005).

En Argentina son pocos los estudios que analizan el efecto sitio en la evaluación de caracteres de crecimiento y de madera para los diferentes híbridos de álamos implantados en el país. Senisterra et al. (2006) demuestran diferencias significativas en altura y DAP, para 16 clones de 3 años provenientes de cruzamientos entre *P. x deltoides* y de cruzamientos *P. x canadensis*, en los mismos dos sitios que el presente trabajo, pero en un ensayo implantado en otro período cronológico. Estos autores, sin embargo, analizan la situación de cada clon y no la del conjunto de clones pertenecientes a un cruzamiento específico (híbridos). Marlats et al. (2004) encuentran diferencias significativas en altura media dominante para tres sitios de la pampa ondulada (situados en los mismos campos que el presente estudio) para 15 clones de 5 años de *P. x deltoides* y *P. x canadensis*.

En Canadá, Pliura et al. (2005) muestran diferencias significativas en los parámetros de crecimiento, en rendimiento en fibras y en densidad según dos sitios de implantación para 12 clones de 9 años provenientes de *P. deltoides* y de 3 cruzamientos híbridos de *P. x canadensis*. Pliura et al. (2007), en forma similar, demuestran diferencias entre cuatro sitios del sudeste de Quebec para crecimiento, rendimiento en fibras y densidad de la madera en clones de *P. deltoides* y varios cruzamientos híbridos de *P. deltoides* (entre otros). Zhang et al. (2003) observan diferencias en 21 clones de *P. deltoides* y 5 híbridos interespecíficos, en dos sitios de Canadá, para variables de crecimiento, densidad y longitud de fibras.

Variación entre híbridos

Otros autores hallaron resultados similares a los nuestros demostrando que el híbrido influye solo en algunas propiedades de la madera.

Pliura et al. (2005) encuentran que los híbridos tuvieron un significativo efecto en todas las variables de crecimiento medidas (altura, DAP, volumen), en rendimiento en fibras y en densidad de la madera. Contrariamente con nuestros resultados, estos autores hallaron que los *P. deltoides* resultaron los de peor crecimiento y productividad frente a los demás híbridos estudiados. Sin embargo, fueron los que presentaron la mayor densidad de la madera (359.2 kg/cm³), como en nuestro caso. La interacción no significativa sitio x híbrido presentada por los autores coincide con nuestros resultados, demostrando que a nivel de híbrido no se presentan adaptaciones específicas.

En Europa, para dos sitios en Suecia, Yu et al. (2001) analizando 18 clones de híbridos de *P. tremula* x *P. tremuloides* de 13-14 años demuestran que el sitio fue una fuente significativa de variación para DAP y Altura y no significativa para longitud de fibras. Mientras que en dos sitios de Hungría, no encontraron diferencias significativas para densidad en tres clones de *Populus tremuloides* (Peszlen, 1998), y si lo hicieron para otros 3 clones de *P. x canadensis* en densidad de la madera y no en longitud de fibras (Matyas y Peszlen, 1997).

Variación entre clones

Los clones fueron una fuente significativa de variación para todas las variables medidas. Así lo destacan también otros autores para diferentes clones de *Populus*.

Si consideramos la altura como indicador de la calidad de sitio, encontramos que los rangos de alturas medias hallados en este trabajo coinciden con los rangos publicados para estos sitios de la pampa húmeda en Argentina (Achinelli, 2006). Las diferencias halladas entre los clones estarían indicando la presencia de micrositos en relación con la disponibilidad de agua en el período de crecimiento (Marquina y Marlats, 2005).

Marlats et al. (2004) demuestran también la interacción clon x sitio para la altura media dominante de 15 clones de álamo de 5 años implantados en tres sitios similares a los de nuestro estudio. Los diferentes genotipos respondieron de forma diferencial en altura de acuerdo al sitio de implantación.

La respuesta diferencial de los clones a los períodos de déficit hídrico que presentaron los sitios en el período

do 1995-2005 (déficit estival en MD e invernal en EG), podría explicar, de alguna manera, la altura alcanzada por cada genotipo (Marlats *et al.*, 2000; Baridón *et al.*, 2004). Esta misma conjetura nos brinda Senisterra *et al.* (2006) al analizar la altura diferencial alcanzada por 16 clones de 3 años en los mismos sitios que nuestro estudio pero en años posteriores. La disminución de las precipitaciones durante la estación de crecimiento (estival) de los álamos, en el período 2003-2005, ha sido documentada por otros autores para uno de los sitios en estudio (Skorupski y Vivas, 2006).

Senisterra *et al.* (2005) analizaron la densidad básica de 16 clones de 10 años en la localidad de Teodelina (EG), encontrando diferencias significativas de densidad de acuerdo al clon.

Los antecedentes en otros países indican resultados variados, algunos autores encuentran diferencias significativas en longitud de fibras y densidad de la madera para 15 clones de *P. tremuloides* de 36 años y 10 clones de *P. x canadensis*, ambos en Canadá (Yanchuk *et al.*, 1984; Koubaa *et al.*, 1998). Otros, en cambio, no encontraron diferencias significativas para densidad en tres clones de *Populus tremuloides* creciendo en dos sitios en Hungría (Peszlen, 1998). En el mismo país, Matyas y Peszlen (1997) estudiaron 3 clones de 10 años de *P. x canadensis* encuentran diferencias significativas para los clones en densidad y no así en la longitud de fibras. En Suecia, Yu *et al.* (2001) estudiaron 18 clones de híbridos de *P. tremula x P. tremuloides* de 13-14 años y hallaron que los clones fueron una fuente significativa de variación para altura total y longitud de fibras, pero no para DAP. En Quebec, Pliura *et al.* (2005) encuentran que la densidad varía entre los 12 clones estudiados y la respuesta de los mismos es diferente según el sitio, pero para las variables de crecimiento la interacción clon x sitio no fue significativa. En cambio, Zhang *et al.* (2003) publicaron que la interacción clon x sitio fue significativa para la altura, DAP, densidad de la madera y rendimiento en fibras en 21 clones de *Populus* híbridos implantados en dos sitios también de Canadá. Pliura *et al.* (2007) reportó interacción clon x sitio significativa solo para DAP y densidad y no así para altura y rendimiento en fibras, estudiando 19 clones en cuatro sitios de Canadá.

Conclusiones

Los análisis de la varianza indicaron que el sitio influyó en las variables de crecimiento y en la densidad

de la madera, el híbrido en la altura, densidad y longitud de fibras y los clones en todas las variables en estudio, como así también la interacción clon x sitio (excepto para densidad de la madera).

Las alturas medias de los diferentes clones implantados en el sitio MD resultaron 5% más altos, sin embargo, los ejemplares del sitio EG resultaron con mayor DAP (7%) y volumen (11%). La densidad de la madera promedio de los árboles del sitio MD (327.2 kg/m³) resultó 2% más alta que el promedio de los árboles del sitio EG (321.1 kg/m³).

Las diferencias entre sitios no resultaron tan marcadas considerando el conjunto de las propiedades.

Los árboles de *P. x deltoides* (22.9 m) resultaron 4% más altos que los árboles de los cruzamientos *P. x canadensis* (22.0 m). Asimismo, presentaron mayor densidad básica en la madera (4%), mientras que en longitud de fibras la tendencia se invirtió, siendo los híbridos *P. x canadensis* 3% superiores (0.98 mm) a los *P. x deltoides* (0.95 mm).

Las diferencias entre híbridos no fueron muy marcadas para el conjunto de propiedades, demostrando que a nivel de híbrido no se presentaron adaptaciones específicas.

Existió una gran variación en crecimiento, densidad, longitud y rendimiento en fibras entre los clones de los álamos híbridos estudiados. Dependiendo del sitio, los clones tuvieron diferente respuesta en las propiedades independientemente del cruzamiento del que derivan (intra o interespecífico).

Se destacaron los clones 610-31 y 564-17 entre los *P. x deltoides* y los clones 568-1 y Triplo dentro de los híbridos *P. x canadensis*, por presentar magnitudes superiores a los valores promedio para el cruzamiento híbrido que derivan, en casi todas sus variables y, en general, en ambos sitios.

Bibliografía

- ACCIARESI G., MARLATS R., 1988. Modelo funcional de microsítio basado en índices edáficos para masas coetáneas de *Populus x deltoides* cv Harvard. VI Congreso Forestal Argentino. Actas T.II, pp. 385-388.
- ACHINELLI F.G., 2006. Silvicultura de álamos y sauces en la Pampa húmeda. I Jornadas de Salicáceas. Buenos Aires, Argentina, junio 2006. Disertación en Actas (CD), pp. 21-36.
- BARIDÓN E., PELLEGRINI, A., CATAN V., ACHINELLI F., 2004. Efectos del agua edáfica sobre los primeros años de implantación en clones de *Populus* spp.: tres situaciones de microrrelieve en hapludoles típicos. X Reunión Argen-

- tina y LV Latinoamericana de Agrometeorología. Mar del Plata, Argentina.
- BARNET J.R., JERONIMIDIS G., 2003. Wood Quality and its biological basis. CRC Press, 226pp.
- BONAVÍA DE GUTH E., 1989. Evaluación con fines papeleiros de diez clones de álamos en ensayos del INTA-Delta del Paraná. 25° Congreso Técnico de Celulosa y Papel. ATIPCA, 265-277.
- CERRILLO T., 1997. Mejoramiento de álamos y sauces. II Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Comisión Bosque Cultivado, pp.29-38.
- COZZO D., 1987. La investigación forestal en la Argentina. Ed. Orientación Gráfica. Buenos Aires, 190 pp.
- GENNARI A., PRADA E., ACHINELLI F., 2006. Patrones de crecimiento juvenil en altura en clones de *Populus deltoides* Marsh. y *Populus x canadensis* Monch (= *P. x euroamericana*). I Jornadas de Salicáceas. Buenos Aires, Argentina, junio 2006, 8pp.
- IVKOVICH M., 1996. Genetic variation of wood properties in Balsam Poplar (*Populus balsamifera* L.). *Silvae Genetica* 45. 2-3, 119-124.
- KOUBAA A., HERNÁNDEZ R. E., BEAUDOIN M., POLIQUIN J., 1998. Interclonal, intraclonal, and within tree variation in fiber length of poplar hybrid clones. *Wood and Fiber Science* 30 (1), 40-47.
- LANFRANCO J.W., CARRIZO R., GELATTI P., 1999. Clasificación para evaluar la capacidad de uso de los suelos. XIV Congreso Latinoamericano de las Ciencias del Suelo. Pucón. Chile, p.220.
- MARLATS R.M., VAZQUEZ M.E., SENISTERRA G.E., LANFRANCO J.W., MARQUINA J.L., 2002. *Populus* spp.: incidencia de factores edáficos de sitio sobre el crecimiento en altura. XVIII Congreso Argentino de Ciencias del Suelo. Puerto Madryn, Chubut, Argentina., 58-59.
- MARLATS R.M., SENISTERRA G.E., LANFRANCO J.W., MARQUINA J.L., VAZQUEZ M.E., 2004. *Populus* spp.: Estabilidad y ganancia genética sobre la altura media dominante en tres ambientes de la pampa ondulada. Argentina. *Rev. FCA UNCuyo*. Tomo XXXVI N°1, 9-16.
- MARQUINA J.L., MARLATS R., 2005. *Populus x euroamericana* "Conti 12" variación de la altura dominante por efecto del micrositio en hapludoles enticos de la pampa ondulada (Buenos Aires. Argentina). 3° Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Corrientes, Argentina, 8pp.
- MATYAS C., PESZLEN I., 1997. Effect of age on selected wood quality traits of Poplars clones. *Silvae Genetica* 46 (2-3), 64-72.
- MONTEOLIVA S., 2006. Uso de regresiones múltiples para la predicción de las propiedades de las pulpas CMP de salicáceas. I Jornadas Argentinas de Salicáceas. Buenos Aires, Argentina, junio 2006, 8pp.
- PESZLEN I., 1998. Variation in specific gravity and mechanical properties of poplar clones. *Drevársky Výskum* 43 (2), 1-17.
- PLIURA A., YU Q., ZHANG S.Y., MACKAY J., PERINET P., BOUSQUET J., 2005. Variation in wood density and shrinkage and their relationship to growth of selected young poplar hybrid crosses. *Forest Science* 51 (5), 472-482.
- PLIURA A., ZHANG S.Y., MACKAY J., BOUSQUET J., 2007. Genotypic variation in wood density and growth traits of poplar hybrids at four clonal trials. *Forest. Ecol. Manage.* 238, 92-106.
- RAGONESE A.E., RIAL ALBERTI F., CIOCCINI R.G., GARCÍA A., 1987. Fitotecnia de Salicáceas en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Castelar (INTA). Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. XVI (6), 5-30.
- SENISTERRA G., MARLATS R., VAZQUEZ M.E., LANFRANCO J.W., MARQUINA J.L., 2000. Comportamiento de clones de álamo (*Populus* spp.) implantados en dos sitios de la pampa húmeda. *Yvyrareta* 10, 66-73.
- SENISTERRA G., DUCID M.G., MARLATS R., 2005. Variación de la densidad básica de la madera en clones del género *Populus*. 3° Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Corrientes, Argentina, 8pp.
- SENISTERRA G., DUCID M.G., y MARQUINA J.L., 2006. *Populus* spp.: Resultados dasométricos de respuestas clonales a los 3 años de edad en 2 sitios de la pampa ondulada. Argentina. I Jornadas de Salicáceas. Buenos Aires, Argentina, junio 2006, 7pp.
- SKORUPSKI E., VIVAS P., 2006. Técnicas y equipos desarrollados para asegurar la implantación de álamo en años de escasa precipitación – Establecimiento El Gazapo. Teodelina. Santa Fe. I Jornadas de Salicáceas. Buenos Aires, Argentina, junio 2006, 8pp.
- YANCHUK A.D., DANCİK B.P., MICKO M.M., 1984. Variation and heritability of wood density and fibre length of trembling aspen in Alberta. Canadá. *Silvae Genetica* 33 (1), 11-16.
- YU Q., PULKKINEN P., RAUTIO M., HAAPANEN M., ALÉN R., STENER L.G., BEUKER E., TIGERSTEDT P.M.A., 2001. Genetic control of wood physicochemical properties. growth. and phenology in hybrid aspen clones. *Can. J. For. Res.* 31, 1348-1356.
- ZHANG S.Y., YU Q., CHAURET G., KOUBAA A., 2003. Selection for both growth and wood properties in hybrid poplar clones. *Forest Science* 49 (6), 901-908.