

Alternativas de selección de propiedades de la madera y caracteres de crecimiento en ensayos clonales de *Populus* spp.

Options of selection for properties of the wood and characters of growth in Populus spp. clonal trials.

Senisterra, G.¹; M. G. Ducid¹ y J. Marquina¹

Recibido en octubre de 2013; aceptado en agosto de 2014

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue estudiar la variación genética y repetibilidad clonal de propiedades de la madera e indicadores de crecimiento y rendimiento en once clones de *Populus* spp., implantados en dos localidades de la pampa ondulada argentina, para su aplicación a la predicción de ganancias genéticas asociadas a diferentes criterios de selección.

Se trabajó con plantas de clones de 10 años de edad, provenientes de cruzamientos intraespecíficos de *P. deltoides* e interespecíficos de *P. deltoides* x *P. nigra* (*P. x canadensis*).

Los clones influyeron en las propiedades de la madera, crecimiento y rendimiento del material fibroso. Las interacciones sitio x clon influyeron en las longitud de fibras, crecimiento y rendimiento del material fibroso, no así en la densidad.

Las correlaciones fenotípicas entre valores medios de los clones para rasgos de crecimiento y rendimiento fueron significativas.

No se detectó asociación fenotípica ni genotípica entre los rasgos descriptivos de la calidad de la madera, lo que indica, para el mejorador, la alternativa de atender a ambas por separado.

Las tareas futuras de mejoramiento que se emprendan deben analizar los resultados de modo independiente para ambos ambientes.

El control que ejerció el material genético sobre la variación de la densidad de la madera y la longitud de fibras fue intenso y prevaleció sobre la influencia ambiental.

Para los materiales y ambientes estudiados, en los procesos de mejoramiento, atender a densidad de madera, se contraponen a priorizar rasgos de crecimiento y rendimiento.

Palabras clave: Álamos; Repetibilidad clonal; Densidad de la madera; Longitud de fibras; Crecimiento.

ABSTRACT

The objective of the work was to study the genetic variation and clonal repeatability about properties of the wood and indicators of growth and yield in a group of poplar clones from a 10 years old trial located in two sites of "Pampa Ondulada" (Argentina). 11 hybrid poplar clones from intraespecific (*P. deltoides*) e interespecific (*P. deltoides* x *P. x canadensis*) crosses were studied to make predictions of genetic gain associated to different selection approaches.

The clones had a statistically effect in the properties of the wood, growth and yield of the fibrous material. The interactions site x clone had a statistically effect in the longitude of fibers, growth and yield of the fibrous material, but not in the wood density.

The phenotypic correlations among mean values of the clones for features of growth and yield were statistically significant.

Neither phenotypic or genotypic association among the descriptive features of the quality of the wood were detected. The hybrid poplar clonal selection for these two sites must be done site by site

The clonal control on the properties of the wood was hard and stronger than the environmental one

It's necessary to choose between growth and yield or wood density when an hybrid poplar clonal selection is being done with this clones in this sites.

Keywords: Poplars; Clonal repeatability; Wood density; Fiber length; Growth.

¹ Cátedra de Mejoramiento Genético Forestal, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Diagonal 113 N° 469. La Plata (1900), Provincia de Buenos Aires. E-mail: gseniste@agro.unlp.edu.ar

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de álamos (*Populus spp*) ocupa un lugar importante en la silvicultura argentina. El género *Populus* se ubica en el tercer lugar detrás de *Pinus* y *Eucalyptus* en relación a volumen de extracción anual (Dirección de Producción Forestal - Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, 2009), ocupando una superficie de aproximadamente 50.000 ha (Comisión Internacional del Álamo, 2008). La llanura bonaerense conforma uno de los sectores principales donde el taxón es utilizado, encontrándose plantaciones destinadas al abastecimiento de industrias del aserrado, debobinado, celulosa y papel. Estas masas tienen por objeto, además de cubrir una demanda fija, asegurar la provisión de madera en el caso de inconvenientes derivados de las recurrentes inundaciones de la Región aldeaña del Delta, centro habitual de provisión del producto (Marlats *et al.* 2004).

Al análisis de crecimiento y sanidad sobre clones del género, realizado, entre otros, por Senisterra *et al.* (2000, 2006, 2011), se ha agregado la aptitud tecnológica de la madera para usos específicos (Monteoliva, 2006) y las relaciones entre caracteres de crecimiento y del leño en diferentes sitios (Monteoliva y Senisterra, 2008). Las diferencias en las características del leño tienen su correlato en las propiedades de la madera, generando importantes efectos tanto en la calidad de pulpas y subproductos papeleros, como en los productos de madera sólida (Zobel y Talbert, 1992).

La densidad de la madera es una de las más importantes propiedades ya que determina la calidad del producto para múltiples usos. Por ello, ha sido la primera en ser considerada en los programas de mejora (Zobel y Talbert, 1992; Zobel y Jett, 1995). Posteriormente, debido a su incidencia en la calidad de algunos productos industrializados, la longitud de las fibras, también fue incorporada como objetivo de selección en los programas de mejora (Zobel y Jett, 1995; Zhang *et al.* 2003).

Resulta importante estudiar la magnitud del control genético de una determinada característica. La estimación de parámetros genéticos en diferentes ambientes es necesaria para predecir la respuesta y los cambios que pueden producir la selección o la incorporación de caracteres adicionales (Yu *et al.* 2001; Zhang *et al.* 2003). El conocimiento de la magnitud de las correlaciones genéticas entre propiedades de la madera y caracteres de crecimiento permite diseñar estrategias de mejoramiento que conduzcan a maximizar las ganancias genéticas conjuntas.

El objetivo del trabajo fue estudiar la variación genética y repetibilidad clonal de propiedades de la madera e indicadores de crecimiento y rendimiento en once clones de *Populus spp.*, implantados en dos localidades de la pampa ondulada argentina, para su aplicación a la predicción de ganancias genéticas asociadas a diferentes criterios de selección.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con 11 clones de *Populus spp.*, seleccionados (según criterios de crecimiento, sanidad y forma) de un grupo de 42, participantes de un ensayo de 10 años de edad, instalado en las localidades de Teodelina, provincia de Santa Fe (34° 12' LS; 61° 43' W; 90 m snm) y Alberti, provincia de Buenos Aires (34° 50' LS; 60° 30' W; 55 m snm).

Los clones corresponden a individuos seleccionados en progenies híbridas originadas por cruzamientos intraespecíficos de *P. deltoides* e interespecíficos de *P. deltoides* x *P. nigra*. Sus orígenes parentales y su procedencia se detallan en la Tabla 1.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones de parcelas de cuatro plantas en hilera. El marco de plantación fue de 2,80 m x 3,50 m, correspondiente a una densidad de 1020 plantas por hectárea.

Tabla 1. Clones evaluados, origen parental y procedencia.

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

Las temperaturas y precipitaciones medias anuales en los sitios durante el período de crecimiento de los ensayos, se indican en la Tabla 2 y fueron registradas por estaciones automáticas (Davis Instruments, modelo Vantage Pro2).

Tabla 2. Temperaturas y precipitaciones anuales medias durante el período de crecimiento de los ensayos por localidad

	Temperaturas °C				Precipitaciones medias anuales(mm)
	Media	Mínima media	Máxima absoluta	Mínima absoluta	
Teodelina	16,2	9,2	41,6	- 4,3	928
Alberti	15,8	11,2	40,2	- 5,1	908

Los suelos en Teodelina son profundos, clasificables como Hapludoles típicos y se insertan en un paisaje de lomadas aplanadas intermedias (Baridón *et al.* 2008). En Alberti los suelos son clasificados como Argiudoles Típicos, y se ubican en posición de media loma dentro de un relieve normal (Baridón *et al.* 2008). Ambos suelos presentan textura franca a franco-arcillo-arenosa, con permeabilidad moderada y escurrimiento lento. Los dos sitios presentan la característica climática de localidad húmeda. En Alberti, la ocurrencia de déficit hídrico se produce en los meses de diciembre y enero, en plena estación de crecimiento. En Teodelina, este déficit se manifiesta en el invierno (Senisterra *et al.* 2000).

Para cada clon en estudio y cada sitio, se seleccionaron al azar 5 árboles con buen estado sanitario y sin posición de borde de plantación. A cada uno de ellos se le practicaron determinaciones de densidad básica (expresada en kg/dm³) y longitud de fibra (expresada en µm), a partir de dos rodajas (una para cada determinación) a la altura del pecho (1,30 m).

La densidad básica 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 se obtuvieron muestras localizadas sobre el radio norte, correspondiente a tres posiciones radiales (interna, media y externa) y se promediaron los valores obtenidos. Se midieron 50 fibras por posición sobre material disociado, según la técnica de maceración de Franklin (1945), con un microscopio Olympus con analizador de imágenes.

A cada árbol apeado se le midió la altura total con cinta métrica (precisión 1 cm) y el perímetro a 1,30 m de altura con cinta métrica (precisión 1 mm). Se calcularon el DAP y el volumen cilíndrico aparente (área de sección correspondiente al DAP x altura total).

Se calculó el rendimiento de material fibroso multiplicando la densidad básica por el volumen aparente como valores promedio de cada árbol (Zhang *et al.* 2003).

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados con el programa Genes, para ambos sitios en conjunto, por medio del análisis de la varianza, de acuerdo con el siguiente modelo lineal, dónde todos los términos fueron considerados al azar excepto los sitios:

$$Y_{ijl} = \mu + C_i + S_j + C_i S_j + e_{ijl}$$

Donde:

Y_{ijl} es la observación sobre el rameto l , en el clon i , en el sitio j ; μ es la media general del experimento; C_i es el efecto del clon i ; S_j es el efecto del sitio j ; $C_i S_j$ es el efecto de la interacción del clon i , en el sitio j ; e_{ijl} es el error aleatorio.

Las comparaciones múltiples de valores medios por carácter, clon y sitio se realizaron por Test de Tukey al 5% de probabilidad de error.

A partir del análisis de la varianza se determinaron los componentes de variación fenotípica y genotípica. Para el cálculo de la repetibilidad clonal se utilizó la siguiente expresión:

$$R^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_f^2} = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{gs}^2 + \sigma_e^2}$$

Donde:

R^2 es la repetibilidad clonal; σ_g^2 es la varianza genética; σ_f^2 es la varianza fenotípica; σ_{gs}^2 es la varianza de la interacción de los genotipos en los ambientes y σ_e^2 es la varianza del error.

La correlación genética entre rasgos fue estimada a partir de la siguiente fórmula (Becker, 1992):

$$r_{A(x,y)} = \frac{\sigma^2 c_{(x,y)}}{\sqrt{\sigma^2 c_{(x)} \sigma^2 c_{(y)}}}$$

Donde:

r_A es la correlación genética entre rasgos x e y ; $\sigma^2 c_{(x,y)}$ es la covarianza estimada entre x e y ; $\sigma^2 c_{(x)}$ y $\sigma^2 c_{(y)}$ son los componentes de la varianza estimados para los rasgos x e y respectivamente.

La correlación genética entre sitios, entre los rasgos x e y fue estimada según la fórmula:

$$r_{B(x,y)} = \frac{r_{p(x1,y2)}}{R_{C(x1)}R_{C(y2)}}$$

Donde:

$r_{p(x1,y2)}$ es el coeficiente de correlación fenotípica entre la media de los clones estimada entre x medida en el sitio 1 e y medida en el sitio 2; $R_{C(x1)}$ y $R_{C(y2)}$ son las raíces cuadradas de las repetibilidades clonales medias estimadas para los rasgos x e y en los sitios 1 y 2 respectivamente (Burdon, 1977).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores medios (para los 11 clones en conjunto) correspondientes a propiedades de la madera resultaron similares en ambas localidades; la densidad fue ligeramente superior en Alberti y la longitud de fibra lo fue en Teodelina (Tabla 3).

Tabla 3. Valores medios de propiedades de la madera e indicadores de crecimiento y rendimiento en los dos sitios

	Alberti		Teodelina	
	Media	CV(%)	Media	CV(%)
Densidad (kg/m ³)	327	2,56	321	2,85
Longitud (μ)	967,6	3,03	973,5	3,55
Altura (m)	22,9	4,39	21,88	6,47
DAP (m)	0,23	10,56	0,25	11,67
Volumen (m ³)	0,967	22,31	1,092	24,56
Rendimiento (kg)	0,316	22,32	0,350	25,52

Los valores medios de crecimiento y rendimiento resultaron levemente superiores en Teodelina. Los CV estuvieron representados por valores normales a bajos: inferiores a 10% en altura y 12% en DAP, y cercanos al 3% en densidad y longitud de fibra.

A pesar que ambos sitios presentan los períodos de déficit hídrico en diferentes momentos del año, ambos son considerados aptos para el cultivo de álamos y han sido caracterizados como de similares índices de sitio y rendimientos (Achinelli, 2006), a lo que puede agregarse que generan, en términos generales, maderas de similares aptitudes tecnológicas.

Se detectaron diferencias altamente significativas entre clones y la interacción genotipo-ambiente también resultó significativa (salvo para el carácter densidad). Los clones influyeron en las propiedades de la madera, crecimiento y rendimiento del material fibroso (Tabla 4). Las interacciones sitio x clon influyeron en las longitud de fibras, crecimiento y rendimiento del material fibroso, no así en la densidad.

A través del análisis de la varianza realizado, no se detectaron diferencias significativas entre los dos sitios considerados en el trabajo (Tablas 3 y 4). La participación del error como componente de la varianza fue mayor para los indicadores de crecimiento y rendimiento (rondando el 50%), sugiriendo la existencia de otros factores en la determinación de los mismos (probablemente micrositos), no contemplados por el ensayo.

Tabla 4. Resultados del análisis de la varianza, componentes de la varianza y repetibilidad clonal (R^2) para caracteres de la madera e indicadores de crecimiento

	Fuente de Variación	G.L	CM	F	p- valor	Componentes de varianza (%)	R^2
Densidad	Sitios	1	0,00112	7,87	0,018		0,65
	Clones	10	0,00184	12,85	0,0001	60,18	
	Sitios x clon	10	0,000143	1,94	0,049	11,82	
	Error	88	0,000073			28	
Longitud	Sitios	1	966,7	0,11	0,999		0,42
	Clones	10	28116,1	3,17	0,0001	44,72	
	Sitios x clon	10	8871,7	8,47	0,0001	31,83	
	Error	88	1046,9			23,45	
Altura	Sitios	1	28,772	1,73	0,0627		0,30
	Clones	10	7,612	1,25	0,0001	3	
	Sitios x clon	10	6,564	4,27	0,0001	47	
	Error	88	1,4307			50	
DAP	Sitios	1	0,0084	3,02	0,092		0,40
	Clones	10	0,0058	1,05	0,0001	18,92	
	Sitios x clon	10	0,0024	5,71	0,001	30,39	
	Error	88	0,00074			50,70	
Volumen	Sitios	1	0,432	1,69	0,222		0,42
	Clones	10	0,511	2,00	0,0001	18,91	
	Sitios x clon	10	0,255	4,19	0,0001	33,16	
	Error	88	0,061			47,92	
Rendimiento	Sitios	1	0,031	1,11	0,316		0,41
	Clones	10	0,0516	1,849	0,0001	17,68	
	Sitios x clon	10	0,0279	4,24	0,0001	32,69	
	Error	88	0,00657			49,63	

Para los caracteres de crecimiento existen numerosas referencias relacionadas con la interacción de los genotipos con el ambiente. Noh *et al.* (1994) hallaron significativa la interacción de clones de *P. davidiana* con 4 sitios de ensayo en Corea. Marlats *et al.* (2004) determinaron en tres sitios de la pampa húmeda argentina, interacciones significativas para el crecimiento en altura de 15 clones de *Populus* de 5 años de edad. Senisterra *et al.* (2006) no encontraron interacción significativa en un grupo de clones de tres años de edad provenientes de cruzamientos inter e intraespecíficos de *Populus deltoides* y *P. nigra* en dos sitios. Para la densidad de la madera, Zhang *et al.* (2003) reportaron interacciones significativas entre clones de *Populus* de 3 años de edad y dos sitios de implantación. Resultados similares fueron reportados por Peszlen (1998) para tres clones de la misma especie creciendo en dos sitios distintos en Hungría y por Bonavia de Guth (1985) quien evaluó diez clones de *Populus deltoides* en el Delta del Paraná, Argentina.

Las estimaciones de repetibilidad (Tabla 4) resultaron de magnitudes diferentes según el carácter analizado. En los rasgos de crecimiento y rendimiento las repetibilidades fueron más bajas (especialmente para la altura), asociándose con la manifestación de los efectos de interacción genotipo ambiente. La densidad de la madera presentó el valor más alto, como resultado de su mayor estabilidad entre los sitios.

Numerosos estudios han mostrado una moderada a fuerte repetibilidad para densidad de la madera (Zobel y Jett 1995). Yanchuck *et al.* (1984) estimaron valores de 0,35 para la densidad y 0,43 para la longitud de fibras en poblaciones de *Populus tremuloides*. Peszlen (1998) estimó valores de 0,65 en tres clones de *Populus* plantados en Hungría, para la densidad básica de la madera. Yu *et al.* (2001) determinaron una repetibilidad de 0,78 en híbridos de *P. tremula* x *P. tremuloides* en Finlandia y Suecia. Noh *et al.* (1994) determinaron un valor de 0,88 para el crecimiento en altura de clones de *Populus davidiana* en ensayos instalados en 4 sitios en Corea

del Sur. Marlats *et al.* (2004) determinaron una repetibilidad de 0,70 en 15 clones híbridos de *Populus* spp. de 5 años de edad creciendo en 3 sitios de la pampa húmeda argentina. Los valores detectados de repetibilidad muestran la posibilidad de utilizar cruzamientos y posterior selección como estrategia de mejora.

Entre sitios difirió la conformación de grupos homogéneos y la posición de clones en orden jerárquico según el carácter considerado (Tabla 5).

Tabla 5. Test de Tukey por sitio para los caracteres evaluados (Probabilidad de 5%)

Clon	Grupos homogéneos para cada sitio y carácter											
	T	Alb	T	Alb	T	Alb	T	Alb	T	Alb	T	Alb
	Densidad		Longitud		Altura		DAP		Volumen		Rendimiento	
'SIA 22/85'	a	a	bc	cd	C	Abc	Cd	ab	de	a	cd	a
'I-Triplo'	ab	ef	a	a	A	Abc	A	a	a	ab	a	abc
'I-Conti 12'	bcd	def	bc	cd	Abc	C	abcd	ab	bcde	a	bcd	ab
'I-Cappa Bigl.'	cd	f	c	d	Ab	Abc	Abc	a	abcd	ab	abcd	abc
'I-2000 Verde'	cd	cde	b	a	Bc	Abc	D	ab	e	a	d	ab
'I- BI Const'	ab	ef	bc	cd	A	Abc	abcd	ab	bcde	ab	bcd	abc
'Delta Gold'	d	abc	bc	cd	Abc	A	Cd	a	cde	ab	cd	bc
'A 610-31'	ab	ab	c	bc	A	Ab	Ab	ab	ab	a	ab	ab
'A 610-11'	ab	bcde	bc	ab	Ab	Bc	Bcd	b	bcde	ab	bcd	abc
'A 568-1'	ab	abcd	bc	ab	Abc	Abc	abcd	a	bcde	b	abcd	c
'A 564-17'	bc	abcde	bc	d	A	Abc	Abc	a	abc	a	abc	ab

T: Teodelina; Alb: Alberti

Esta diferencia se acentuó para los caracteres longitud de fibras, crecimiento y rendimiento del material fibroso (Tabla 5). La densidad resultó el carácter más regular en cuanto a orden jerárquico y conformación de grupos homogéneos. Las prácticas de evaluación y selección de clones han de ser realizadas por separado para ambos sitios.

Las correlaciones fenotípicas entre valores medios de los clones para rasgos de crecimiento y rendimiento fueron significativas, evidenciando la existencia de situaciones ambientales que influyen de modo semejante en los caracteres involucrados para los genotipos en estudio, y la posibilidad de mejorar atendiendo simultáneamente a todos ellos (Tabla 6).

Tabla 6. Correlaciones genéticas y fenotípicas entre propiedades de la madera, rasgos de crecimiento y rendimiento.
(Debajo de la diagonal, correlaciones genotípicas y por arriba de la diagonal, correlaciones fenotípicas con su probabilidad entre paréntesis) para ambos sitios.

	Densi- dad	Longitud	Altura	DAP	Volumen	Rendi- miento
Densidad		0,0056(0,84)	-0,12(0,89)	-0,27(0,17)	-0,25(0,264)	0,042(0,67)
Longitud	0,061		-0,21(0,49)	0,12(0,318)	0,15(0,22)	0,14 (0,272)
Altura	-0,42	0,006		0,65(0,0001)	0,73(0,0001)	0,73(0,0001)
DAP	-0,4	0,074	0,503		0,98(0,0001)	0,96(0,0001)
Volumen	-0,42	0,058	0,631	0,99		0,98(0,0001)
Rendimiento	-0,062	0,158	0,769	0,964	0,976	

No se detectó asociación fenotípica ni genotípica entre los rasgos descriptivos de la calidad de la madera. El efecto de clones, ambientes e interacción entre ambos generó características desasociadas entre si, lo que indica la alternativa para el mejorador de atender a ambas por separado.

A nivel genético, la correlación entre densidad y altura, DAP y volumen, resultó claramente negativa (entre -0,40 y -0,42) indicando que la selección de clones por mayor velocidad de crecimiento se traducirá en menor densidad de la madera. Existen numerosos estudios que presentan diferentes valores en cuanto a la correlación de caracteres. Resultados similares a los presentados en este trabajo fueron hallados por Zhang *et al.* (2003) en un estudio en Canadá con 21 clones de álamos de 3 años de edad. Beaudoin *et al.* (1992) hallaron correlaciones negativas entre densidad de la madera y tasa de crecimiento en clones de *Populus tomentosa* con un valor de -0,49. Olson *et al.* (1985) determinaron una correlación de -0,69 entre densidad y crecimiento en clones de *Populus deltoides*. Estos valores indican la dificultad para seleccionar en forma simultánea, debiéndose realizar de modo sucesivo. Senisterra *et al.* (2005) determinaron valores de -0,22 para altura y 0,09 para DAP en diferentes clones de *Populus* de 9 años de edad. Ivkovich (1996) halló correlaciones fenotípicas significativas entre longitud de fibras y tasa de crecimiento en *Populus balsamifera*. Yu *et al.* (2001) encontraron en híbridos de álamos correlaciones positivas entre longitud de fibras y rasgos de crecimiento.

La densidad básica sería el único rasgo estable entre sitios, vista la correlación tipo B mayor a 0,80 (Tabla 7).

Tabla 7. Coeficientes de correlación genética entre sitios para las propiedades de la madera y los rasgos de crecimiento

Rasgos	Correlación genética
Densidad básica de la madera (kg/m ³)	0,90
Longitud de las fibras (u)	0,59
Altura (m)	0,27
Dap (m)	0,50
Volumen (m ³)	0,43
Rendimiento en fibras (Kg)	0,34

Distintos autores encontraron correlaciones genéticas entre sitios similares a las halladas en el presente estudio. Zhang *et al.* (2003) y Pliura *et al.* (2005) hallaron correlaciones entre sitios más altas en las propiedades de la madera que en los rasgos de crecimiento. Yu *et al.* (2001) presentaron resultados similares en ensayos de álamos en dos sitios en Suecia. Esto concuerda con lo expresado por Zobel y Jett (1995) sobre el comportamiento más estable de los genotipos para las propiedades de la madera en diferentes sitios. El coeficiente de correlación genético entre sitios es un parámetro genético que posee especial interés en el mejoramiento genético forestal por implicar que el rendimiento relativo de los clones difiere cuando éstos crecen en ambientes diferentes; la evaluación de los procesos de selección para los sitios estudiados debe ser realizada por separado.

Los resultados de las Tablas 4 y 7 muestran que, a excepción de la densidad de la madera, los demás caracteres evidenciaron coeficientes de correlación genética entre sitios bajos a muy bajos (entre 0,27 y 0,59) indicando que el comportamiento relativo de los clones para esos caracteres fue diferente sitio-sitio. Por lo tanto, estimar la respuesta esperada considerando a los dos sitios en conjunto no sería lo más aconsejable. Es imprescindible estimar las respuestas en cada sitio en particular. Sumado a ello, dado que para la estimación de ΔG_y se utiliza la correlación genética entre caracteres, la raíz cuadrada de la repetibilidad y el desvío estándar de cada carácter x es posible que en cada sitio se obtengan ganancias genéticas disímiles.

4. CONCLUSIONES

Las tareas futuras de mejoramiento que se emprendan deben analizar los resultados de modo independiente para ambos ambientes.

El control que ejerció el material genético sobre la variación de la densidad de la madera y la longitud de fibras fue intenso y prevaleció sobre la influencia ambiental.

Las propiedades de la madera aparecieron más estables que los caracteres de crecimiento, presentando un mayor control genético.

Para los materiales y ambientes estudiados, en los procesos de mejoramiento, atender a la densidad de la madera, se contrapone a priorizar rasgos de crecimiento y rendimiento.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achinelli, F. G. 2006. “Silvicultura de álamos y sauces en la Pampa húmeda”. I Jornadas de Salicáceas. Buenos Aires, Argentina. Disertación en Actas (CD) 21-36.
- Baridón, E.; M. Palenzona, R. Marlats; G. Senisterra y G. Millán. 2008. “*Populus* spp., respuestas clonales de crecimiento en suelos argiúdoles y Haplúdoles, de la Provincia de Buenos Aires, Argentina”. Revista Ciencia e Investigación Agraria 35(3): 287-292.
- Beaudoin, M.; R. E. Hernandez; A. Koubaa and J. Poliquin 1992. “Interclonal, intraclonal and within-tree variation in wood density of poplar hybrid clones”. Wood and Fiber Sci. 24(2): 147-153.
- Becker, W.A. 1992. “Manual of quantitative genetics”. Academic Enterprises, Pullman, WA. 189 p.
- Bonavía de Guth, E. 1985. “Evaluación de calidad del leño con fines papeleros en clones de *Populus* introducidos y obtenidos en Argentina”. Primeras Jornadas de Recursos Forestales, Diversidad Genética, Ambiente y Desarrollo. Octubre 1986.
- Burdon, R. 1977. “Genetic correlation as concept for studying genotype-environment in forest tree breeding”. Silvae Genetic. 26: 168-175.
- Comisión Internacional del Álamo. 2008. 23ª Reunion, Beijing, China, 27-30 de octubre de 2008, 27–30.
- Cruz, C.D. 2013 “Genes: A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetic”. v 2013.5.1 [en línea]. Universidade Federal de Viçosa, MG. Brasil. [Fecha de consulta: 2013] Disponible en: <http://www.ufv.br/dbg/genes/Genes_EUA.htm>
- Dirección de Producción Forestal - MAGyP. 2009. “Sector Forestal Año 2008”. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Subsecretaría de Agricultura. Dirección de Producción Forestal. Buenos Aires. Argentina. 38 p.
- Franklin, G. L. 1945. “Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood”. Nature 155: 3924-3951.
- Ivkovich, M. 1996. “Genetic variation of wood properties in Balsam Poplar (*Populus balsamifera* L.)”. Silvae Genetica 45 (2-3):119-124.
- Marlats, R.; G. Senisterra; J. Lanfranco; J. Marquina y M. Vázquez. 2004. “*Populus* spp.: Estabilidad y ganancia genética sobre la altura media dominante en tres ambientes de la pampa ondulada, Argentina”. Rev. F.C.A.U.N. Cuyo 36 (1): 9-16.
- 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. Trabajo completo en Actas (CD).

- Monteoliva, S. y G. Senisterra. 2008. "Efecto del sitio, el origen y el clon sobre el crecimiento y propiedades de la madera de *Populus*". Revista Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 17 (3): 261-270.
- Noh, E., S. Lee y J. Hyun. 1994. "Broad sense heritability and genetic gain estimation for height of *Populus davidiana* Dode". International Poplar Commission. Working Party on Poplar and Willow Breeding. Sapanca (Turkey), FAO, Rome (Italy). Forestry Dept. 13p.
- Olson, J., C. Jourdain y R. Rousseau. 1985. "Selection for cellulose content, specific gravity and volume in young *Populus deltoides* clones". Can. J. For. Res. 15: 393-396.
- Peszlen, I. 1998. "Variation in specific gravity and mechanical properties of poplar clones". Drevársky Výskum 43 (2): 1-17.
- Pliura, A.; Q. Yu; S. Zhang; J. Mackay; P. Perinet y J. Bousquet. 2005. "Variation in wood density and shrinkage and their relationship to growth of selected young poplar hybrid crosses". Forest Science 51 (5): 472-482.
- Senisterra, G.; R. Marlats; M. Vázquez; J. Lanfranco y J. Marquina. 2000. "Comportamiento de clones de álamo (*Populus* spp.) implantados en dos sitios de la pampa húmeda". Yvyrareta 10: 66-73.
- Senisterra, G.; M. Ducid y J. Marquina. 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. Trabajo completo en Actas (CD), 7p.
- Senisterra, G.; M. Ducid; F. Gaspari y M. Delgado. 2011. "Evaluación de clones de *Populus* spp., a los dos años de edad, en dos micrositos de la región pampeana, Argentina". Revista Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo. Vol. 43 (2): 133-144.
- Yanchuk, A.; B. Dancik y M. Micko. 1984. "Variation and heritability of wood density and fibre length of trembling aspen in Alberta, Canadá". Silvae Genetica 33 (1):11-16.
- Yu, Q.; P. Pulkkinen; M. Rautio; M. Haapanen; R. Alen; L. Stener; E. Beuker y P. Tigerstedt. 2001. "Genetic control of wood physicochemical properties, growth, and phenology in Hybrid aspen clones". Can. J. For. Res. 31: 1348-1356.
- Zhang, S., Q. Yu; G. Chauret y A. Koubaa. 2003. "Selection for both growth and wood properties in hybrid poplar clones". For. Sci. 49 (6): 901-908.
- Zobel, B. y J. Jett. 1995. "Genetic of wood production". Springer-Verlag, Berlín. 337p.
- Zobel, B y J. Talbert, 1992. "Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales". Limusa, México. 545 p.

