



*POPULUS SPP*  
ESTABILIDAD Y GANANCIA GENÉTICA SOBRE LA ALTURA  
MEDIA DOMINANTE EN TRES AMBIENTES DE LA  
PAMPA ONDULADA, ARGENTINA

*POPULUS SPP*  
STABILITY AND GENETIC GAIN ON DOMINANT AVERAGE HEIGHT  
IN THREE ENVIRONMENTS OF THE UNDULATING PAMPA, ARGENTINA

Raúl M. Marlats <sup>1,2</sup>  
Gabriela E. Senisterra <sup>1</sup>  
Jorge W. Lanfranco <sup>1</sup>

Jorge L. Marquina <sup>1</sup>  
Mabel E. Vazquez <sup>1</sup>

**Originales**  
Recepción: 04/06/2003  
Aceptación: 14/10/2003

**RESUMEN**

El objetivo de este trabajo fue evaluar la altura media dominante (AMD) y su estabilidad en 15 clones de álamos de 5 años de edad, implantados en tres ambientes diferentes de la pampa ondulada, Argentina. Los sitios fueron: Teodelina (Sitios 1 y 2), Santa Fe (34° 12' LS; 61° 43' W; 90 msnm) y Alberti (Sitio 3), Buenos Aires (34° 50' LS; 60° 30' W; 55 msnm) y se caracterizaron en base a variables de clima y suelo. Se realizaron los análisis de la varianza del conjunto de clones entre sitios y entre los clones por sitio. La comparación de AMD se realizó aplicando el test de Tukey. Se analizó la interacción clon-sitio. Se construyó un criterio de elección basado en parámetros genéticos de estabilidad sobre el carácter (AMD), estimándose la ganancia genética al seleccionar los mejores clones. Se realizaron los cálculos de heredabilidad en sentido amplio. Los posicionamientos en AMD fueron significativos entre clones por sitio y entre sitios. La interacción clon sitio fue significativa. Los valores de AMD y los de ecovalencia permitieron seleccionar genomas con mayor amplitud de adaptación y consecuentemente conciliar la producción con la plasticidad dentro de la disimilitud de los sitios evaluados.

**SUMMARY**

The aim of this work was to assess dominant average height (DAH) and stability in 15 samples of five-year-old poplar clones, implanted in three different environments of the undulating pampa, Argentina. The selected sites were: Teodelina (site 1 and 2), Santa Fe (34° 12' LS; 61° 43' W' 90 masl) and Alberti (site 3), Buenos Aires (34° 50' LS; 60° 30 ' W; 55 masl). These sites were characterised according to climatic and soil variables. An analysis of the variation of clone groups was carried out among sites and; among the clones themselves per site. DAH comparison was made applying Tukey tests. Interaction clone-site was also analysed. A selection criterion was established according to genetic parameters of DAH character stability, estimating genetic gain by selecting the best clones. Heritability calculations were made in a broad sense. DAH positionings were significant among clones per site and among sites. The interaction clone/site was significant as well. DAH and ecovalence values made possible the selection of those genomes with higher range of adaptability and therefore production and plasticity could be brought together despite the dissimilarity of the assessed sites.

1 Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. CC 31. 1900 La Plata. Argentina.  
2 Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires. Av. Antártida Argentina y 526. 1900 La Plata. Argentina.

**Palabras clave**

*Populus spp* • altura media dominante • interacción clon sitio • estabilidad • ganancia genética

**Key words**

*Populus spp* • dominant average height • interaction clone-site • stability • genetic gain

**INTRODUCCIÓN**

Desde hace años el cultivo de las salicáceas ocupa un lugar importante en la silvicultura argentina, siendo las zonas de regadío y el delta del Paraná los lugares con mayor superficie plantada. Dada la existencia de zonas ecológicamente favorables y la potencialidad de los mercados es posible ampliar estas superficies a otras zonas -por ejemplo, la pampa ondulada- donde podría constituir una producción alternativa o complementaria de las existentes (5).

La oferta de genomas para la región está restringida a la intuición, al conocimiento empírico y al resultado de algunos ensayos: todo ello constituye una base de estrecha proyección y se justifica una investigación que genere conocimientos sobre los niveles de adaptación del material existente, a introducir o creación de clones destinados a esas nuevas áreas. La comparación de los niveles de productividad de los árboles para diferentes sitios puede establecerse a través de variables dasométricas fehacientemente relacionadas con su clase de aptitud y valor económico (1, 2, 4, 6). Cuando se evalúa material genético en planes de mejoramiento la tarea se complica porque los caracteres vinculados con la producción se heredan cuantitativamente y son muy influenciados por el ambiente. Es necesario entonces conocer las diferencias genéticas de las variedades y sus respuestas en diversos sitios. Una forma de disminuir los efectos de la interacción es creando o seleccionando genotipos estables para ambientes diversos (3, 7, 8).

**Objetivo**

- Evaluar el comportamiento de 15 clones de álamos de 5 años de edad implantados en tres ambientes diferentes, se los caracterizará por su estabilidad y se estimará la ganancia genética sobre la altura media dominante al seleccionar los mejores clones.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

Se trabajó en una red de ensayos comparativos de comportamiento de clones, instalados en tres sitios, dos ubicados en Teodelina (Sitios 1 y 2), Santa Fe (34° 12' LS; 61° 43' W; 90 m snm) y el restante, Alberti (Sitio 3), Buenos Aires (34° 50' LS; 60° 30' W; 55 m snm).

Las temperaturas y precipitaciones medias anuales durante el período de estudio se indican en las tablas 1 y 2, y fueron registradas por estaciones automáticas existentes en cada localidad.

**Tabla 1.** Temperaturas y precipitaciones anuales medias registradas en las localidades durante el período de estudio

	Media	Temperaturas °C			Precipitaciones medias anuales(mm)
		Mínima media	Máxima absoluta	Mínima absoluta	
Teodelina	16.2	9.2	41.6	- 4.3	965.8
Alberti	15.8	11.2	40.2	- 5.1	895.5

**Tabla 2.** Distribución de la precipitación mensual media registrada durante el período de prueba

	Precipitaciones mensuales (mm)											
	E	F	M	A	M	Jun	Jul	A	S	O	N	D
Teodelina	133	99	105.5	127.8	81.5	26.3	12.3	10.5	18	132.5	105.2	114.2
Alberti	94.5	108.6	86.1	113.5	104.5	40.5	12.7	26.4	28.4	89.9	73.7	116.7

Los suelos se caracterizaron morfológica y químicamente en cada uno de los sitios de los ensayos. El ensayo denominado Sitio 1 se desarrolló sobre un suelo profundo clasificado como Hapludol típico e inserto en un paisaje de lomadas aplanadas intermedias. Se trata de un suelo de textura franca a franco-arenosa, permeabilidad moderada, escurrimiento lento y buen drenaje. El ensayo del Sitio 2 se realizó sobre un suelo clasificado como Hapludol Típico, ocupando una posición en el paisaje de media loma baja, de textura franca a franco-arenosa, de permeabilidad y escurrimientos moderados, lo que redonda en un drenaje moderado a imperfecto. El ensayo del Sitio 3 se realizó sobre un Argiudol Típico, ubicado en posición de media loma dentro de un relieve normal. Es un suelo de textura franca a franco-arcillo-arenosa, con permeabilidad moderada y escurrimiento lento, lo cual determina que sea considerado bien drenado.

**Tabla 3.** Análisis físico-químicos de los suelos de los ensayos

	Sitio 1			Sitio 2			Sitio 3		
	0-20	20-40	40-56	0-27	27-46	46-+	0-20	20-40	40- +
Profundidad (cm)	0-20	20-40	40-56	0-27	27-46	46-+	0-20	20-40	40- +
pH	6.2	6.2	6.4	6.6	8.1	8.9	6.8	6.6	6.6
C (g kg <sup>-1</sup> )	16			13			13		
MO (g kg <sup>-1</sup> %)	28			22			28		
N(g kg <sup>-1</sup> %)	1.7			1.4			1.5		
C/N	9.4			9.3			8.6		
<b>Extracto de Saturación</b>									
CE (dSm m <sup>-1</sup> )	0.53	0.29	0.25	0.7	0.49		0.49	0.30	0.23
Ca (cmoc L <sup>-1</sup> )	1.8	1.3	1.4	1.5	1.3	1.4	1.7	1.3	1.3
Mg (cmoc L <sup>-1</sup> )	0.5	0.3	0.3	0.4	0.1	0.2	0.5	0.3	0.3
Na (cmoc L <sup>-1</sup> )	1.0	0.2	0.3	2.9	8.6	4.3	0.9	0.6	0.6
K (cmoc L <sup>-1</sup> )	1.6	0.6	0.6	1.6	0.7	1.4	1.5	0.6	0.6
RAS	0.9	0.2	0.3	3.0	10.3	4.8	0.9	0.2	0.3

Los clones integrantes de los ensayos son materiales genéticos producto de cruzamientos intra e interespecíficos de álamos. Sus orígenes parentales y procedencias se indican en la tabla 4.

**Tabla 4.** Clones probados, sus orígenes parentales y procedencias

Nombre del clon	Origen parental y procedencia
568-1	<i>P. deltoides</i> cv <i>Austr 129/60</i> x <i>P. nigra</i> var <i>Itálica</i> . INTA Castelar 1982. Argentina.
SIA 22/85	<i>P. x euroamericana</i> . España.
Catfish 2	<i>P. deltoides</i> . EE. UU.
Conti 12	<i>P. x euroamericana</i> . Italia
Cappa Bigliona	<i>P. x euroamericana</i> . Italia
Triplo	<i>P. x euroamericana</i> . Italia
2000 Verde	<i>P. x euroamericana</i> . Italia
Lux	<i>P. deltoides</i> . Italia
Stella Ostigliense	<i>P. x euroamericana</i> . Italia
R-89/64 (ex Lena)	<i>P. deltoides</i> . Italia
San Martino	<i>P. x euroamericana</i> . Italia
Boccalari	<i>P. x euroamericana</i> . Italia
Guariento	<i>P. x euroamericana</i> . Italia
Bl. Constanzo	<i>P. x euroamericana</i> . Italia
Eco 28	<i>P. x euroamericana</i> . Italia

En todos los sitios se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con 4 repeticiones, las unidades experimentales fueron de 16 árboles. Se relevaron las alturas totales alcanzadas por cada uno de los clones comparando las alturas medias dominantes (AMD) alcanzadas por cada clon, tomándolas como las alturas pertenecientes al cuartil superior de cada tratamiento.

Se realizaron los análisis de la varianza del conjunto de clones entre sitios y entre los clones por sitio. La comparación de medias se realizó aplicando el test de Tukey. Se analizó la interacción clon-sitio.

Para el cálculo de estabilidad se usó el método de Wricke (1962), para determinar la ecovalencia, que mide la contribución de un genotipo a la interacción genotipo x ambiente del análisis de la varianza y se calcula particionando la suma de cuadrados de la interacción genotipo x ambiente.

Como la selección se realizó basándose en los valores fenotípicos de los clones, el cálculo de la ganancia genética se estimó por medio del diferencial de selección utilizando la fórmula:

$$G = S \times H^2 \text{ (Zobel 1988)}$$

siendo:

G = Ganancia genética

S = Diferencial de selección

H<sup>2</sup> = Heredabilidad en sentido amplio

Modelo utilizado:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + l_j + (tl) + e_{ij}$$

donde:

$Y_{ij}$  = Valor fenotípico medio de la característica Y evaluada en el tratamiento i, en la localidad j

$\mu$  = media general del experimento

$t_i$  = efecto del tratamiento

$l_j$  = efecto del sitio

(tl) = efecto de la interacción del tratamiento por el sitio

$e_{ij}$  = error experimental asociado al tratamiento i en el sitio j

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados de la comparación de la altura media dominante alcanzada por el conjunto de clones en cada sitio se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5.** Test de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) <sup>(\*)</sup> para la totalidad de las AMD entre sitios

Sitios	AMD (m)	<sup>(*)</sup> Grupos homogéneos
1 Teodolina	13.1441	a
2 Teodolina	12.3636	b
3 Alberti	11.6328	c

En los sitios 1 y 2 pertenecientes a Teodolina, el conjunto de clones alcanzó AMD con diferencias significativas a su favor respecto de Alberti (sitio 3).

(\*) Letras iguales agrupan tratamientos sin diferencias significativas.

En la tabla 2 (pág. 11) se observa que las precipitaciones en octubre y noviembre fueron mayores en Teodolina, se igualaron en diciembre y en enero volvieron a ser mayores. Estas diferencias podrían originar mayor disponibilidad de agua en los sitios 1 y 2 con respecto al sitio 3, coincidentes con la demanda de crecimiento estacional. Bratovich et al. (1) quienes trabajaron en sitios similares con clones de álamo, encontraron que la tasa de crecimiento, medida cada 15 días, desde inicio de brotación, disminuyó notablemente hasta adquirir valores mínimos a fines de enero, y relacionaron el fenómeno con los déficit señalados por los balances hídricos realizados durante el curso del experimento. En otras pruebas clonales, comparando sitios y utilizando parámetros de clima y suelo, Marlats et al. (5) hallaron diferencias de crecimiento, asociadas al relieve del terreno y su mayor capacidad de almacenamiento de agua.

En cuanto a las diferencias entre los sitios 1 y 2, la restricción en las condiciones de drenaje, en oportunidad de inundaciones recurrentes, el aumento del pH en profundidad debido al aumento del tenor de sodio, con la consecuente escasa profundidad efectiva y una menor provisión de materia orgánica y nitrógeno podrían ser condiciones responsables de las diferencias en AMD registradas. Estas conjeturas se refuerzan con la clasificación predictiva por capacidad de uso aplicada a *Populus sp.* para la zona por Lanfranco y Marlats (4) de muy alta capacidad productiva para el sitio 1, sin restricciones y de moderada capacidad productiva para el denominado sitio 2.

Según Cubero y Flores (3), cuando se evalúa el comportamiento de una serie de genotipos en diferentes ambientes, el primer paso es comprobar la significancia de la interacción genotipo - ambiente. Cuando la interacción es significativa se estudia la naturaleza de tal interacción antes de efectuar inferencias sobre los genotipos y los ambientes.

**Tabla 6.** Análisis de la varianza para las AMD (m) de los clones en los 3 sitios.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	P valor
Clones	14	15.21	3.39	0.0028
Sitio	2	32.51	16.98	0.0000
Clones x Sitio	28	4.48	2.33	0.00069
Error	135	1.92		

Todos los efectos, incluida la interacción clon x sitio, fueron significativos.

En cuanto al comportamiento de cada clon por sitio, en la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 7.** Test de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) (\*) para AMD clonales según sitios

Clones	Sitio 1		Sitio 2		Sitio 3	
	AMD (m)	*Grupos homogéneos	AMD (m)	*Grupos Homogéneos	AMD (m)	*Grupos homogéneos
Triplo	15.05	a	14.03	a	13.36	a
568-1	14.55	a	13.32	a	13.17	ab
Cappa Bigliona	14.28	a	13.75	ab	12.82	abc
2000 Verde	14.23	a	13.66	ab	12.46	abcd
Bl Constanzo	14.00	a	13.56	ab	12.29	abcde
Guariento	13.38	a	13.31	ab	12.28	abcde
Lux	13.14	a	13.26	ab	11.97	abcde
R 89/64	12.90	a	13.24	ab	11.79	abcde
SIA 22/85	12.66	a	13.22	ab	11.71	bcde
Conti 12	12.56	a	12.06	abc	11.42	cde
Boccalari	12.51	a	11.42	abc	11.09	def
Cattfish 2	12.27	a	10.6	bc	10.79	ef
San Martino	12.13	a	9.48	c	10.78	ef
Stella Ostiglense	11.64	a	9.48	c	9.96	fg
Eco 28	11.59	a	9.16	c	8.6	g

(\*) Letras iguales agrupan tratamientos sin diferencias significativas.

Los posicionamientos en AMD pueden vincularse con la potencialidad productiva y por lo tanto utilizar las alturas como indicador de calidad de sitio (6). Esta inferencia fue corroborada por Bratovich et al. (2) en la validación de la valoración de modelos de simulación flujo-existencias para abastecer con maderas de clones de álamo a la industria papelera local.

Los datos dasométricos analizados marcaron estimativamente una tendencia que puede ser aceptada, debido principalmente a la edad de los experimentos (5 años), tiempo suficiente, según Bratovich et al. (1) para conformar un pronóstico sólido del comportamiento al turno (10-12 años); sin embargo, los mismos autores sostienen que no pueden excluirse cambios en los posicionamientos absolutos, ya que falta todavía entre el 50 al 60 % del lapso para alcanzar el momento del aprovechamiento.

En los actuales valores se observa un comportamiento asociado a la interacción de los clones con los distintos sitios. Una forma de reducir los efectos de la interacción es creando o seleccionando genotipos estables para ambientes diversos. Los programas de mejoramiento clonal de árboles presentan la ventaja de poder capturar los efectos genéticos aditivos y no aditivos, asociados a la estabilidad. Los clones además proveen medios más sensibles para detectar interacciones genético - ambientales y evaluar la estabilidad genotípica (7).

Wricke (8) propuso que cuando el número de ambientes es reducido, como en el caso del presente trabajo, se puede utilizar como parámetro de estabilidad la ecovalencia: la estima como una forma de medir la estabilidad agronómica que es la que considera estable a un genotipo cuando su rendimiento está en el nivel de productividad determinado por un ambiente concreto. Un bajo valor de ecovalencia indica un genotipo estable. A continuación en la tabla 8, se expresan los valores alcanzados por cada uno de los clones.

**Tabla 8.** Valores de ecovalencia para AMD de los clones en estudio

Clon	AMD (m)	Ecovalencia
2000 Verde	13.51	0.8
BI Constanzo	13.25	1.12
Catfish 2	11.49	1.6
Cappa Bigliona	13.4	2.16
Eco 28	9.89	3.2
Triplo	13.34	3.8
568-1	13.72	4.98
Lux	11.21	5.3
Conti 12	12.50	5.6
R 89/64	12.42	7.1
San Martino	12.56	14.1
Stella Ostigliense	12.12	19.5
SIA 22/85	13.10	19.7
Boccalari	10.99	21
Guariento	11.41	25.93

Los clones 2000 Verde y BI Constanzo fueron los que a través de sus bajos valores de ecovalencia mostraron la mayor estabilidad. A su vez, integraron los grupos de homogeneidad del primer rango del test de comparación de medias de Tukey que aparecen en la tabla 7 (pág. 14). Al aplicar un criterio de selección que contuviese productividad y estabilidad estos clones fueron rescatados como los más convenientes para los sitios de ensayo.

Estos 2 clones representaron el 13 % del total de los mismos. El diferencial de selección fue de 1.15 m, que afectado por un valor de heredabilidad de 0.70 m, generó una ganancia en AMD de 0.80 m para los registros actuales, equivalente a un aumento del 6.5 % sobre la media poblacional. La proyección de los sitios de prueba permitiría utilizar estos resultados para ampliar considerablemente el área de cultivo con los clones seleccionados. Según Marlats et al. (5) la pampa ondulada resulta geopolíticamente un escenario posible para tal efecto.

## **CONCLUSIONES**

La ecovalencia como parámetro genético de estabilidad puede acompañar la selección de caracteres vinculados a la producción. Los valores de AMD y los de ecovalencia permitieron rescatar los clones *Populus* x euroamericana 2000 Verde y BI Constanzo como los más apropiados para implantar en los sitios considerados. La aplicación de los parámetros de estabilidad permitieron seleccionar genomas con mayor amplitud de adaptación y consecuentemente conciliar la producción con la plasticidad dentro de la disimilitud de los sitios evaluados.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Bratovich, R. A.; Marlats, R. M y Mikelaite, H. 1996. Relación juvenil-adulto de crecimientos en alturas, diámetros y volúmenes de clones provenientes de cruzamientos controlados inter e intraespecíficos de *Populus* sp. L. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UN de La Plata. La Plata, Argentina, 101(1): 7-13.
2. Bratovich, R. A.; ARCE, J. E. y Marlats, R. M. 2000. Analysis of flow-stock relationship through simulation by means of a forest optimization model. International Forest Congress of International Union Forest Research Organization (IUFRO) Malasia. Published in IUFRO News Vol 28, Issue 4, Supplement Scientific Programme:119- 120.
3. Cubero, J. y Flores, F. 1994. Métodos estadísticos para el estudio de la estabilidad varietal en ensayos agrícolas. Monografías. Junta de Andalucía. España. 125 pp.
4. Lanfranco, J. W. y Marlats, R. M. 1993. Definición de la calidad de sitio forestal. Aplicación de índices edáficos a nivel de semidetalle. Actas del Congreso Nacional de Ciencias del Suelo. Mendoza. Argentina: 124-129.
5. Marlats, R. M.; Vazquez, M. E.; Senisterra, G. E.; Lanfranco, J. W. y 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.
6. Thrower, J. y Goudie, J. 1992. Development of Height-age and Site index Functions for Even-aged Interior Douglas-Fir in British Columbia. Research Note N° 109. B.C. Ministry of Forests. Forest Science Research Branch. 22 pp.
7. St. Clair, J. B. y Kleinschmit, J. 1986. Genotype-Environment Interaction and Stability in Ten-Year Height Growth of Norway Spruce Clones (*Picea abies* Karst.). *Silvae Genetica* 35: 177-186.
8. Wricke, G. 1962. Über eine methode zur erfassung der ökologischen sterubreite in feldversuchen. *Z. Pflanzenzüchtg* 47: 92-96.
9. Zobel, B. y Talbert, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Editorial Limusa. México. 545 pp.