

# Efecto del sitio, clon y edad sobre el crecimiento y la calidad de madera en sauces de corta rotación

S. Monteoliva<sup>1\*</sup> y R. M. Marlats<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Cátedra de Xilotecología. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.  
Universidad Nacional de La Plata. Avda. 60 y 199. CC.31 (1900) La Plata. Argentina

<sup>2</sup> Cátedra de Silvicultura. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.  
Universidad Nacional de La Plata. Avda. 60 y 119. CC.31 (1900) La Plata Argentina

---

## Resumen

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del sitio, clon y la edad, sobre el incremento corriente anual, longitud de fibras y densidad de la madera en 5 clones de sauces (*S. babylonica* var *sacramento* «americano»; híbridos de *S. babylonica* x *S. alba* «A 250-33» y «A 131-25» y *S. matsudana* x *S. alba* «A 13-44» y «NZ 26992»). Los sitios fueron: *Delta Medio* (DM) del Río Paraná Entre Ríos y *Continental* (C) Buenos Aires, Argentina. Sobre árboles de 13 años, se midieron: altura total, diámetro, anillos de crecimiento, longitud de fibras y densidad en 3 edades. Se calcularon los incrementos corrientes anuales medios en área basal, y la longitud y densidad ponderadas por área. La interacción sitio × clon × edad resultó significativa. Los incrementos corrientes son diferentes, dependiendo del sitio y el clon, según la edad que se analice. Tomando como indicador de calidad de madera a la longitud de fibras y densidad ponderadas, los valores máximos de dichas variables dependen de los patrones de crecimiento de cada clon, del sitio de implantación y de la edad. Para el sauce americano y el híbrido 26992 del sitio DM la mayor cantidad de madera de calidad se obtiene a los 7 años.

**Palabras clave:** sauces, incremento corriente anual, turno, longitud de fibras, densidad de la madera, variables ponderadas.

## Abstract

### Effects of site, clone and age on growth and wood quality of short rotation willow

The aim of the work was to assess the effects of site, clone and age on current annual increment, fibre length and wood density of 5 willow clones (*S. babylonica* var *sacramento* «american»; hybrids of *S. babylonica* x *S. alba* «A 250-33» y «A 131-25» y *S. matsudana* x *S. alba* «A 13-44» y «NZ 26992»). Sites chosen were: *Delta Medio* (DM) del Río Paraná, Entre Ríos and *Continental* (C) Buenos Aires, Argentina. 13 years old trees were sampled and measurements of total height, diameter, growth rings, fibre length, wood density taken at 3 positions (ages) in each sample. Basal areas of current annual increments and weighted length and density were calculated. It was found that clone × site × age interaction was significant. The annual increments were found to be dependent on the site, the clone and the age under analysis. Weighted fibre length and wood density were found to be good estimates of wood quality, so the maximum fibre and density value depends both on clone growth patterns, implantation site and age. For American willow and hybrid 26992 of DM, the production of wood quality attained a maximum at 7 years old.

**Key words:** willows, current annual increment, final cut, fibre length, wood density, weighted variables.

---

## Introducción

Tradicionalmente los programas de mejoramiento genético forestal han tratado de incrementar el volumen de madera a través de la selección por altura y diámetro. Con el incremento de la proporción de planta-

ciones de turnos cortos, manejadas intensivamente, destinadas a productos manufacturados definidos, la calidad de madera ha comenzado a tenerse en cuenta. Los mejoradores han comprendido que cantidad y calidad de madera no pueden tratarse como factores independientes y en consecuencia la calidad del leño debe integrar parte del programa de mejoramiento cuando la madera, en cuanto a su aptitud de uso, es el objetivo del producto final obtenido (Zhang *et al.*, 1995).

---

\* Autor para la correspondencia: [ofpink@netverk.com.ar](mailto:ofpink@netverk.com.ar)  
Recibido: 06-10-05; Aceptado: 04-12-06.

La variación de las propiedades de la madera dentro del árbol a lo largo del radio y desde la base al ápice está asociada a la formación de madera juvenil, habiendo sido más estudiada en coníferas que en latifoliadas. En general las propiedades de la zona juvenil están caracterizadas por rápidos cambios desde la médula hacia el exterior, estabilizándose a medida que se acercan a la zona madura. Este proceso morfofisiológico tiene influencia en la producción de pulpa y papel, pues, por tener menores densidad y longitud de fibras que la madera madura, el leño juvenil produce pulpas de inferior calidad y rendimiento (Barnett y Jeronimidis, 2003).

En Argentina, las plantaciones de sauces con destino a la industria papelera son aprovechadas con turnos cortos (8 a 12 años), lo cual involucra una alta proporción de madera juvenil en su oferta de materia prima (Bonavia y Piussan, 1987). Estudiando los cambios producidos en las propiedades del leño con la edad y los patrones de crecimiento de cada especie o clon, en diferentes condiciones de sitio, puede seleccionarse mejores tiempos de cosecha de madera, para determinados caracteres que inciden en la calidad del producto final (DeBell *et al.*, 1998; Barnett y Jeronimidis, 2003).

Diferentes autores han reportado informes sobre curvas de crecimiento, alturas y diámetros para Salicáceas, la mayoría de los trabajos establecen esta relación a través de correlaciones entre variables de crecimiento y propiedades de la madera (Garau *et al.*, 1983; Baraño *et al.*, 1983; Cerrillo *et al.*, 1992; DeBell *et al.*, 1998; Koubaa *et al.*, 1998). Estos reportes expresan que como consecuencia de diferencias en los crecimientos, la madera producida difiere en su calidad, no obstante, la información referida resulta escasa y contradictoria.

Consecuentemente con el estado de este conocimiento es necesario indagar sobre las características de la madera proveniente de turnos cortos de rotación y su relación con los patrones de crecimiento. De esta forma, se podrían determinar la oferta de madera de calidad a diferentes edades y definir prácticas silvícolas adecuadas o modificaciones de los turnos de corta.

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del sitio, el clon y la edad sobre del incremento corriente anual en área basal individual, la longitud de fibra y la densidad básica de la madera, de 5 clones de sauces.

Hipótesis de trabajo: los patrones de crecimiento de los árboles en plantaciones de turnos cortos (8-12 años), el sitio, el clon y la edad, influyen sobre la cantidad y calidad de la madera producida.

## Material y Métodos

Se trabajó sobre material extraído de 5 clones de *Salix*: *S. babylonica* var *sacramenta* «sauce americano»; y los híbridos intraespecíficos de *S. babylonica* x *S. alba* «A 250-33» y «A 131-25»; *S. matsudana* x *S. alba* «A 13-44» y «NZ 26992», implantados en 2 sitios:

— Sitio 1: Delta Medio del Río Paraná (DM), Villa Paranacito, Entre Ríos (33° 45' y 33° 26' LS; 59° 01' W) sobre Suelos Hidracuents sistematizados, endicado, con inundaciones recurrentes y largos períodos de anegamiento.

— Sitio 2: Continental (C) en Los Hornos, La Plata, Buenos Aires (34° 55' S; 57° 57' W; 15 m snm), sobre un Argiudol típico, fina, illítica, térmica, con fuerte cambio textural generando un Bt a los 49 cm que puede considerarse como un impedimento al drenaje interno, con modificación de la velocidad de infiltración y del crecimiento radicular.

Se realizó un muestreo destructivo de 10 árboles por clon instalados en ensayos de bloques completos al azar de 13 años de edad, con densidad de plantación de 1111 plantas por hectárea (distanciamiento de 3 m x 2 m). Ambos ensayos fueron instalados en el año 1987 y no tuvieron prácticas silvícolas posteriores. Se cortaron rodajas de cada ejemplar a la altura del pecho (DAP, 1,30 m).

Previamente se midieron en campo, en todos los ejemplares del ensayo, la altura total con cinta métrica y el DAP con corteza.

Los anillos de crecimiento se midieron en mm, en dos radios por rodaja con lupa binocular. Con los resultados se calcularon, transformados en área basimétrica individual (cm<sup>2</sup>), los incrementos corrientes anuales medios por clon (ICA) en cada sitio. El ICA en área basal fue recomendado por Levy y McKay (2003) para comparar el vigor de las plantas.

Se midieron radialmente en 3 posiciones la longitud de fibras y la densidad básica de la madera. Los puntos de muestreo fueron los anillos 2, 7 y 12. La medición de fibras se realizó sobre macerados según la técnica de Franklin con microscopio óptico con analizador de imágenes. La densidad se determinó sobre probetas pulidas como el cociente entre peso anhidro y volumen saturado (medido por desplazamiento de fluidos).

La longitud de fibras y la densidad básica se expresaron como promedios simples y como promedios ponderados por área total, para las 3 posiciones radiales, según se expresa en la fórmula.

$$LW_x = l_x \frac{(A_{x+1}^2 - A_x^2)}{A_t^2}$$

donde:

$LW_x$  = longitud de fibras ponderada a la edad  $x$   
( $x = 2, 7$  y  $12$ )

$l_x$  = longitud promedio de fibras a la edad  $x$

$A$  = crecimiento acumulado de los anillos (en mm)  
hasta la edad indicada por  $x$

$x+1$  = 1 año más que la edad  $x$

$x$  = edad a la cual quiere realizarse el cálculo de la  
ponderación

$t$  = edad total de las muestras (13 años)

La densidad ponderada fue calculada por medio de una fórmula similar, en donde la longitud de fibras se reemplaza por densidad básica.

Se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) siguiendo la metodología propuesta por von Ende (1993), utilizando un diseño de medidas repetidas en donde clon y sitio fueron considerados como factores entre sujetos y edad fue considerado como factor intra-sujeto, para aquellas variables que estuvieron me-

didadas en 3 edades o posiciones del individuo (ICA, longitud de fibras y densidad). En cambio, para altura y DAP se utilizó un diseño factorial tomando como fuentes de variación sitio y clon. Se utilizó el test de comparaciones múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## Resultados y Discusión

### Altura total y diámetros

En la Tabla 1 se expresan los valores promedio en altura total y diámetros a la altura de pecho con corteza (DAP c/c) alcanzados por todos los clones en ambos sitios a los 13 años.

Se observó que en el sitio DM los valores fueron superiores en altura total media y DAP medio c/c. Los análisis de la varianza realizados para altura y DAP, demostraron que hay diferencias significativas para la interacción sitio  $\times$  clon (Tablas 2 y 3). Las condiciones del sitio DM fueron claramente superiores para el cultivo de sauces, como puede apreciarse a través de

**Tabla 1.** Altura total (m) y DAP (cm) con corteza, por clon y por sitio. Test de Tukey ( $p < 0,05$ )

Sitio DM			Sitio C		
Clon	Altura	DAP	Clon	Altura	DAP
Americano	16,2 a*	13,12 a	Americano	10,7 a	9,79 a
13-44	18,2 ab	18,65 b	26992	12,6 b	17,69 c
131-25	18,7 bc	21,24 c	250-33	13,0 b	15,56 b
250-33	18,9 c	18,46 b	13-44	13,4 bc	17,14 bc
26992	19,8 c	22,08 c	131-25	14,2 bc	22,76 d

Las letras se leen verticalmente. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 2.** Tabla de ANOVA para altura

Efectos	G de L efectos	CM efectos	G de L error	CM error	F	Valor p
Sitio	1	778,4100	90	1,533444	507,6219	0,00001
Clon	4	29,3150	90	1,533444	19,1171	0,00001
Siti $\times$ clon	4	5,6350	90	1,533444	3,6747	0,0080

**Tabla 3.** Tabla de ANOVA para DAP

Efectos	G de L efectos	CM efectos	G de L error	CM error	F	Valor p
Sitio	1	112,5721	90	1,533444	73,4113	0,00001
Clon	4	313,8268	90	1,533444	204,6549	0,00001
Sitio $\times$ clon	4	26,0588	90	1,533444	16,9937	0,00001

**Tabla 4.** Tabla de ANOVA para ICA

Efectos	G de L efectos	CM efectos	G de L error	CM error	F	Valor p
Sitio	1	1.423,54	90	1,462075	973,644	0,0001
Clon	4	2.679,16	90	1,462075	1.832,437	0,0001
Edad	2	11.240,89	180	6,549684	1.716,249	0,0001
Sitio × clon	4	2.252,78	90	1,462075	1.540,810	0,0001
Sitio × edad	2	2.444,64	180	6,549684	373,246	0,0001
Clon × edad	8	649,04	180	6,549684	99,095	0,0001
Sitio × clon × edad	8	1.381,25	180	6,549684	210,888	0,0001

la altura total media alcanzada por los árboles implantados en ese sitio.

**Incrementos corrientes anuales en área basal (ICA)**

Según la tabla de ANOVA (Tabla 4) el sitio, los clones y la edad fueron fuentes significativas de variación para los ICA, como también sus interacciones.

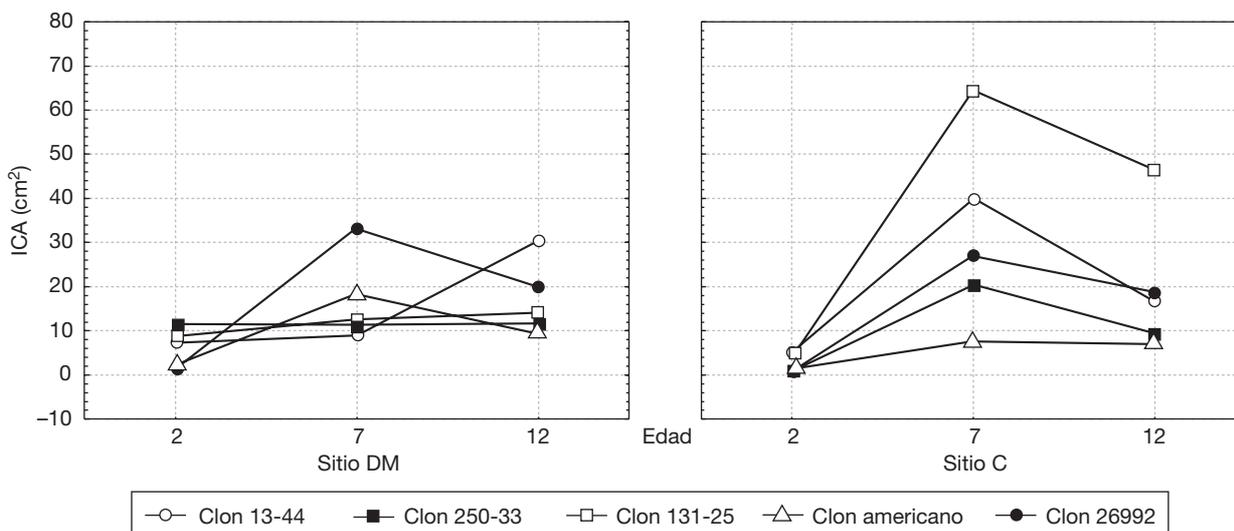
La Figura 1 grafica los incrementos corrientes anuales en área basal, para las 3 edades en estudio (2, 7 y 12 años), discriminados por clon y por sitio.

Puede observarse que los incrementos corrientes son diferentes, dependiendo del sitio y el clon, según la edad que se analice (interacción sitio × clon × edad significativa).

En el sitio DM, a la edad de 2 años, los clones 26992 y americano presentan un ICA significativamente me-

nor que el resto. En cambio, a la edad de 7 años esta tendencia se invierte, siendo el híbrido 26992 el de mayor producción de madera y en segundo término el sauce americano, mientras que los ICAs de los otros 3 clones se mantienen sin diferencias significativas con respecto a la edad anterior. Al llegar a los 12 años, el clon 13-44 es el único que aumenta significativamente su crecimiento en área basal, los clones 250-33 y 131-25 se mantienen sin cambios, mientras que el híbrido 26992 y el sauce americano disminuyen significativamente sus ICAs con respecto a los 7 años.

En el sitio C, los clones presentan ICAs bajos y sin diferencias significativas en la menor edad (2 años), sin embargo a la edad de 7 años todos los clones presentan una producción de madera máxima y significativamente diferente entre sí, siendo el 131-25 y 13-44 los más destacados. A los 12 años, los 5 sauces disminuyen significativamente sus ICAs con respecto a los 7 años.



**Figura 1.** Incremento corriente anual en área basal en las 3 edades de estudio.

**Tabla 5.** ICA (cm<sup>2</sup>) por sitio, por clon y por edad. Test de Tukey (p < 0,05)

Clon	Sitio DM			Sitio C		
	2 años	7 años	12 años	2 años	7 años	12 años
13-44	7,91 bA	9,87 aA	30,55 cB	5,01 bA	40,09 dC	17,22 bB
250-33	11,01 bA	11,06 aA	11,56 aA	1,13 aA	30,39 bC	9,00 aB
131-25	9,08 bA	12,54 aA	13,97 aA	0,88 aA	64,73 eC	46,16 cB
26992	1,45 aA	33 cC	20,20 bB	0,67 aA	27,16 cC	19,79 bB
Americano	1,31 aA	18,75 bC	9,48 aB	0,68 aA	8,05 aB	7,13 aB

Las letras minúsculas se leen verticalmente y las mayúsculas horizontalmente. Letras distintas indican diferencias significativas (p < 0,05).

### Longitud de fibras

El ANOVA indicó que hubo diferencias significativas entre las longitudes medias medidas para las interacciones entre las fuentes de variación entre sujetos (sitio y clon) y las intra-sujetos (edad) (Tabla 6).

En la Tabla 7 se presentan los valores de las mediciones de longitud de fibras realizadas en 3 posiciones radiales correspondientes a las edades de 2, 7 y 12 años.

Los clones americano, 250-33 y 131-25 superaron el mm de longitud en ambos sitios. El 26992 es el clon menos destacado. El americano presentó claras ventajas desde la edad inicial frente a los otros clones.

Para todos los clones en ambos sitios, la longitud de fibras aumentó en forma significativa desde la médula a la corteza. Para los clones del sitio DM las diferencias significativas se establecieron entre las edades 2 y 7-12, en cambio en el sitio C las diferencias fueron heterogéneas según el clon (Tabla 7, Fig. 2).

### Influencia del crecimiento sobre la longitud de fibras

La Figura 3 grafica la longitud de fibras ponderada por área para esos mismos años. Los valores de longi-

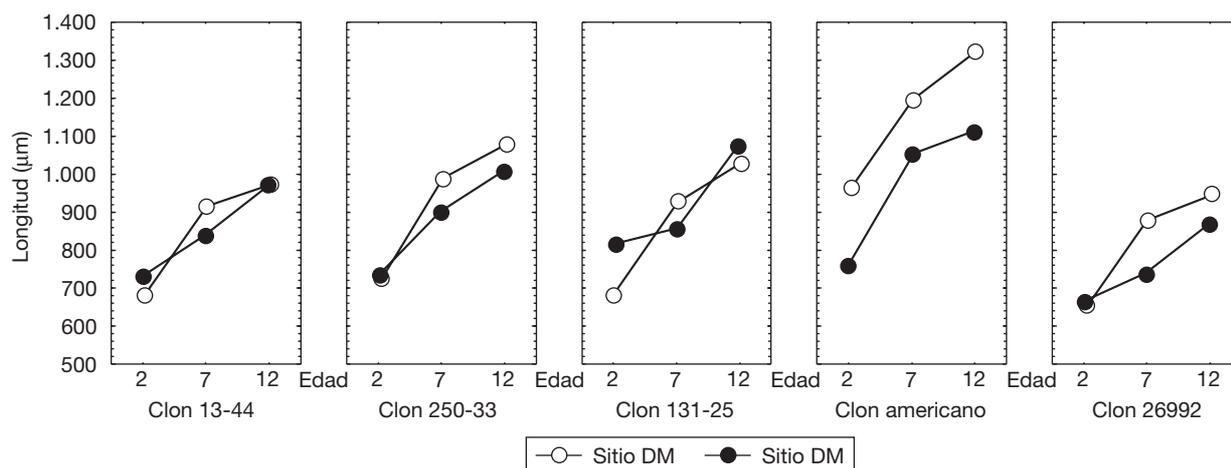
**Tabla 6.** Tabla de ANOVA para longitud de fibras

Efectos	G de L efectos	CM efectos	G de L error	CM error	F	Valor p
Sitio	1	246.568,	90	1.788,293	137,879	0,00001
Clon	4	631.939,	90	1.788,293	353,376	0,00001
Edad	2	2.251.950	180	1.351,769	1.665,929	0,00001
Sitio × clon	4	101.311,	90	1.788,293	56,652	0,00001
Sitio × edad	2	66.865,	180	1.351,769	49,465	0,00001
Clon × edad	8	17.680,	180	1.351,769	13,079	0,00001
Sitio × clon × edad	8	14.569,	180	1.351,769	10,778	0,00001

**Tabla 7.** Longitud de fibras (µm) por sitio, por clon y por edad. Test de Tukey (p < 0,05)

Clon	Sitio DM			Sitio C		
	2 años	7 años	12 años	2 años	7 años	12 años
13-44	685,9 aA	917,0 abB	967,9 aB	726,4 aA	842,4 bB	966,7 abC
250-33	728,8 aA	997,8 bB	1.083,9 bB	735,5 abA	911,6 bB	1.010,5 bB
131-25	679,6 aA	930,7 abB	1.029,1 aB	818,5 bA	854,4 bA	1.071,7 bcB
26992	665,7 aA	877,9 aB	946,1 aB	665,3 aA	735,4 aA	868,5 aB
Americano	960,1 bA	1.194,9 cB	1.322,2 cC	758,8 abA	1.053,0 cB	1.111,2 cB

Las letras minúsculas se leen verticalmente y las mayúsculas horizontalmente. Letras distintas indican diferencias significativas (p < 0,05).



**Figura 2.** Longitud de fibras ( $\mu\text{m}$ ) por clon y por sitio en las 3 edades de muestreo.

tud ponderada representan la oferta de madera, con determinada calidad de fibras para esa edad, en este caso longitud de fibras en relación al total obtenido a los 12 años. Si se analiza la evolución de la longitud ponderada, se observa que en la edad de 7 años, la mayoría de los clones presentó la oferta de producción de fibras de mayor longitud, resultado más notorio en el sitio C. Esto se debe a que el mayor incremento en área basal se produce en la edad 7. En el sitio DM, la longitud de fibras de los clones 250-33 y 131-25 es baja y sin diferencias radiales en las 3 edades. En cambio, el 13-44 es el único clon que elevó significativamente su oferta de madera de mejor longitud a los 12 años.

El sauce americano es el que alcanzó los máximos valores de longitud de fibras ponderadas en ambos sitios a los 7 años, ya que el crecimiento corriente mayor de este clon se produjo a esta edad, y que además

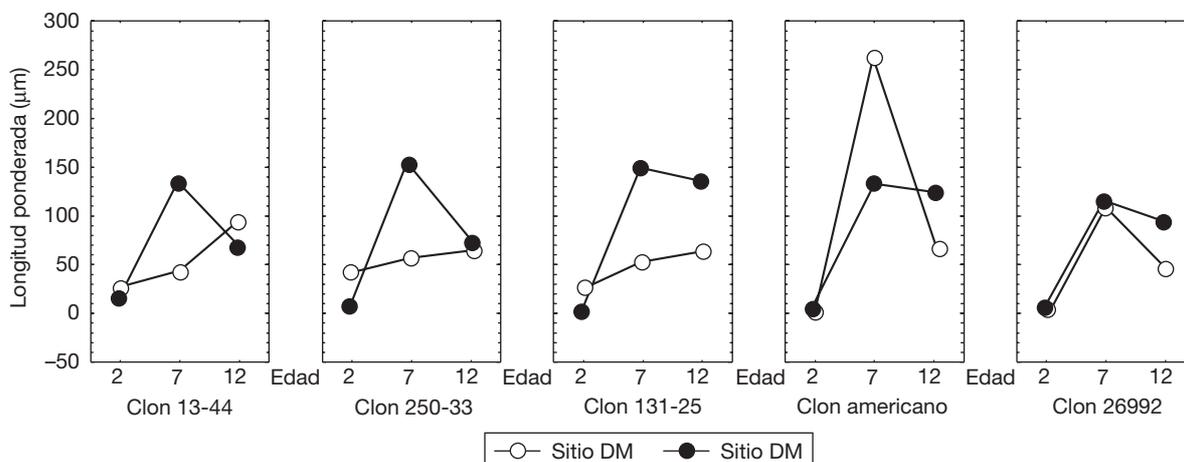
presentaron desde el inicio (edad 2) la longitud de fibras más elevada, comparado con los otros clones.

Cabe destacar que el clon 26992, pese a ser el híbrido de menor longitud de fibras, su óptimo crecimiento en área basal en edades intermedias (7 años) permite que la longitud de fibras ponderada supere, para el caso del sitio DM, a los clones 13-44, 250-33 y 131-25.

### Densidad básica de la madera

El ANOVA indicó que hubo diferencias significativas entre las densidades medias medidas para las interacciones entre las 3 fuentes de variación (Tabla 8).

En la Tabla 9 se presentan los valores de densidades medias por clon, determinados en las edades de 2, 7 y 12 años, para ambos sitios.



**Figura 3.** Longitud fibra ponderada ( $\mu\text{m}$ ) por clon y por sitio en las 3 edades de muestreo.

**Tabla 8.** Tabla de ANOVA para densidad de la madera

Efectos	G de L efectos	CM efectos	G de L error	CM error	F	Valor p
Sitio	1	3.360,05	90	106,6637	31,5014	0,00001
Clon	4	54.303,77	90	106,6637	509,1120	0,00001
Edad	2	1.974,36	180	66,3126	29,7735	0,00001
Sitio × clon	4	2.138,29	90	106,6637	20,0470	0,00001
Sitio × edad	2	1.154,57	180	66,3126	17,4111	0,00001
Clon × edad	8	710,33	180	66,3126	10,7118	0,00001
Sitio × clon × edad	8	562,41	180	66,3126	8,4811	0,00001

**Tabla 9.** Densidad básica (kg/cm<sup>3</sup>) por sitio, por clon y por edad. Test de Tukey (p < 0,05)

Clon	Sitio DM			Sitio C		
	2 años	7 años	12 años	2 años	7 años	12 años
13-44	420 bA	419 cA	438 cA	457 cA	450 dA	445 cA
250-33	385 abA	392 bA	388 bA	404 abB	381 bA	396 bAB
131-25	370 aA	376 abA	366 aA	385 aA	375 bA	380 abA
26992	368 aA	364 aA	370 abA	367 aA	348 aA	371 aA
Americano	410 bA	407 bcA	435 cB	411 bA	418 cA	430 cA

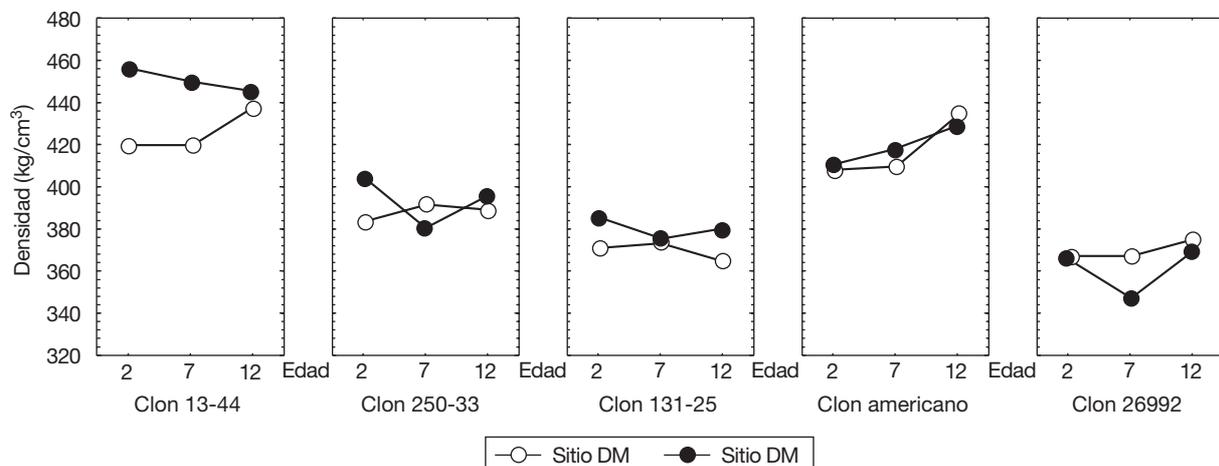
Las letras minúsculas se leen verticalmente y las mayúsculas horizontalmente. Letras distintas indican diferencias significativas (p < 0,05).

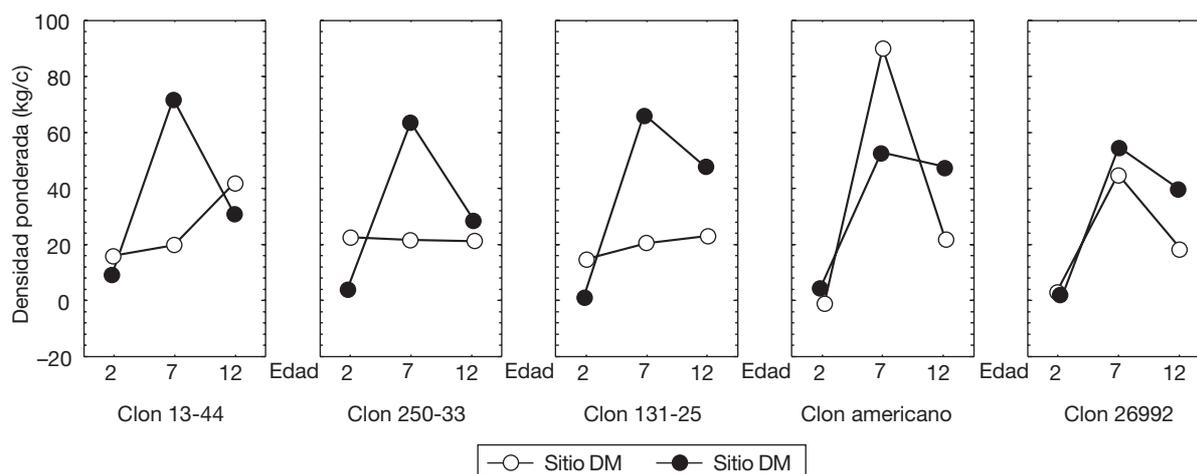
Se aprecia que la tendencia no es homogénea, aunque en muchos casos, las diferencias no son estadísticamente significativas (Tabla 9, Fig. 4).

Para el sauce americano DM, la densidad básica aumentó en forma significativa desde la médula (año 2) a la corteza (año 12). En cambio, en los otros clones se mantuvo sin diferencias significativas en todas las posiciones radiales o presentó un descenso en la posición intermedia (250-33 C).

#### *Influencia del crecimiento sobre la densidad básica*

La Figura 5 presenta la densidad básica ponderada por área. Analizando la evolución que presentó la densidad ponderada se observó que, en forma similar a lo ocurrido con la longitud de fibras, la mayoría de los clones generaron la mayor densidad de madera a la edad de 7 años, efecto más notorio en el sitio C.

**Figura 4.** Densidad básica (kg/cm<sup>3</sup>) por clon y por sitio en las 3 edades de muestreo.



**Figura 5.** Densidad básica ponderada ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ) por clon y por sitio en las 3 edades de muestreo.

Para el sitio DM, el sauce americano y el híbrido 26992 presentaron esta tendencia bien marcada, el híbrido 13-44 elevó significativamente su densidad hasta la edad 12, mientras que los híbridos 250-33 y 131-25 mantuvieron los valores sin diferencias significativas en las 3 posiciones radiales.

El sauce americano es el que alcanzó valores más elevados de densidad ponderada en ambos sitios para la edad de 7 años (Fig. 5), ya que la culminación de los crecimientos corrientes de este clon se producen a esta edad, y que además posee desde el inicio (edad 2) una alta densidad en relación a los otros clones (Fig. 4). El clon 26992 presenta diferencias mínimas entre los sitios, debido a sus ICAs similares en ambos sitios con producción máxima de madera a los 7 años (Fig. 5). En cambio, el híbrido 13-44 del DM, por sus bajos crecimientos, no se destaca en densidad ponderada (Fig. 5) siendo que para la variable densidad sin ponderar (Fig. 4) es el clon que presenta los valores máximos.

## Discusión

### Alturas totales y diámetros

Cerrillo *et al.*, (1992) publicaron los resultados de las mediciones de altura y DAP sobre los árboles del sitio DM de este mismo trabajo a la edad de 5 años. El ordenamiento de los clones de mayores a menores valores coincide con los resultados hallados en nuestras mediciones a la edad de 13 años. Esta correspondencia pone de manifiesto la importante correlación ju-

venil adulto que presentan estas variables, carácter muy importante para la selección temprana de clones dominantes.

Las diferencias halladas en los sitios y los clones para las variables altura y diámetro, permiten establecer que las condiciones de sitio afectan fuertemente la producción de madera. Las características del sitio DM son más favorables para el cultivo de sauces, con diferentes respuestas según el clon considerado.

### Incrementos corrientes anuales

La bibliografía registrada para sauces sobre mediciones de incrementos corrientes es escasa. Se agrega además que, en la existente, no coinciden los tipos de sitios y los distanciamientos de las plantaciones, con lo cual se hace difícil el análisis y evaluación comparativos.

Garau *et al.* (1983) estudiaron los incrementos anuales hasta los 10 años de edad de los híbridos intraespecíficos de *Salix babyonica* x *S. alba* A 131-25 y A 131-27, implantados en dos situaciones edáficas diferentes en la provincia de Buenos Aires, hallando para los dos clones y ambos sitios, que los crecimientos en diámetro fueron mayores en los primeros 4 años, con picos máximos que fluctuaron entre el año 2 y 5, descendiendo a partir del quinto año hasta estabilizarse a los 8 años.

Barañaño *et al.* (1983) realizaron un estudio comparativo del sauce híbrido A 131-25 y *Populus* x *canadensis* Conti 12, a los 10 años implantados en Luján, Buenos Aires. Para todos los árboles evaluados, los in-

crementos corrientes anuales mostraron un crecimiento inicial ascendente hasta el 3.º, 4.º año y luego un descenso hasta el 7º-8º.

Los registros de ICAAb para las edades 2, 7 y 12 años presentadas en estos dos estudios concuerdan con los hallados en el sitio DM del presente trabajo para estos clones. Cabe destacar que las situaciones edáficas planteadas en estos trabajos no son similares a los sitios DM y C. De todos modos, y en concordancia con nuestros resultados, estos trabajos demuestran que, dependiendo de los sitios, las edades de producción máxima de madera cambian para el mismo clon.

Asimismo, son coincidentes los resultados hallados por Bonavía y Piussan (1987) para *Salix nigra* de 14 años implantados en el Delta del Paraná, sobre terrenos tipo bañados endicados. Los patrones de crecimiento de esta especie siguieron la tendencia general de los sauces en el DM, según los autores los incrementos anuales máximos se registraron en los años 3 y 4, para descender hacia los años 6 y 7 y luego estabilizarse.

### Longitud de fibras

La evolución radial de la longitud de fibras de aumento de magnitud desde edades menores a mayores coincide con los resultados hallados por otros autores (Bonavía y Ragonese, 1980; Yanchuk *et al.*, 1984; Deka *et al.*, 1994), como así también las diferencias encontradas para diferentes sitios de implantación (Bonavía y Piussan, 1987). Analizando la longitud ponderada se observa que la tendencia general de aumento de longitud hacia edades mayores se modifica en la mayoría de los clones, haciéndose más importante la longitud lograda a los 7 años. Este tipo de análisis cambia, fundamentalmente, la oferta de madera a diferentes edades obteniéndose, además, diferentes respuestas en los clones y sitios.

Pocas son las referencias en las que se demuestra la influencia del crecimiento sobre las propiedades del leño. Así, DeBell *et al.* (1998) estudiaron anualmente la longitud de fibras en híbridos de *Populus* de 7 años y las tasas de crecimiento de los árboles medidos como ancho de anillo, incremento anual en área basal y circunferencia. Estos autores concluyeron que la oferta de madera de determinada longitud de fibras está influenciada por el patrón de crecimiento, ya que en los árboles de crecimiento más rápido, la acumulación de área basal se produce en los anillos más viejos (ma-

yor edad) y de mayor longitud de fibras. En nuestro estudio, sin diferenciar las velocidades de crecimiento de los árboles estudiados, los resultados coinciden con las conclusiones del trabajo mencionado. En nuestro caso, las diferentes tendencias de crecimiento determinadas para los distintos clones y sitios, podrían asimilarse con las velocidades de crecimiento alta, media y baja que presentan estos autores.

Koubaa *et al.* (1998) estudiando 10 clones de *Populus x canadensis*, establecieron que la correlación entre ancho de anillo de crecimiento y longitud de fibras varía según la edad considerada, siendo los primeros años no significativa, y negativa a partir del año 6 ( $r = -0,42$ ). Estos resultados ponen en evidencia que la relación entre velocidad de crecimiento y longitud de fibras depende de la edad que se considere. Estos autores no informan los anchos de los anillos de crecimiento y tampoco consideran la tasa de crecimiento de los árboles como incrementos corrientes anuales, por lo tanto no se puede asociar diferentes patrones de crecimiento con la producción de madera de determinada longitud de fibras a una edad.

### Densidad

El ordenamiento de los clones determinado por las densidades medias fue coincidente con el ranking de clones reportado por Cerrillo *et al.*, 1992 (*op. cit.*) a los 5 años para los árboles del sitio DM. Esto justifica, de alguna manera, las diferencias no significativas halladas en las distintas edades de medición. Otros autores reportan también variaciones radiales poco importantes para esta variable en *Salix* (Villegas y Marlats, 2003).

Asimismo, Bonavía y Piussan (1987) determinaron fluctuaciones radiales de la densidad en *Salix nigra* de 14 años analizados anualmente, aunque los autores no mencionan la significancia estadística. Estos resultados son concordantes con los diferentes patrones radiales hallados en nuestro estudio.

No se registró ningún trabajo que establezca la relación entre patrones de crecimiento y densidad de la madera a diferentes edades para *Salix* o *Populus*. Del mismo modo que para la longitud de fibras ponderada, el análisis de la densidad ponderada por el área cambia las tendencias de oferta de madera de calidad. Así, por ejemplo, el sauce americano, cuya densidad no varía radialmente, al analizar la densidad ponderada presenta un valor 6 veces mayor a los 7 años en el

sitio DM, que a las otras edades. En otros clones también se obtienen resultados que determinan diferencias de densidad en edades intermedias a la de corte (12 años) como el 250-33 y 13-44 en el sitio C y el 26992 en ambos sitios.

Coincidiendo con Barnett y Jeronimidis (2003), los cambios de las propiedades de la zona juvenil están caracterizados por fluctuaciones desde la médula hacia el exterior, y deben ser atendidos ponderadamente por su influencia en la calidad y rendimiento de la producción de pulpa y papel, además de considerárselos en la fijación del momento de cosecha.

## Conclusiones

Tomando como indicador de calidad de madera a la longitud de fibras y densidad básica ponderadas, los valores máximos de dichas variables dependen de los patrones de crecimiento (ICA) de cada clon, del sitio de implantación y de la edad.

Para algunos clones la mayor oferta de madera de calidad se obtiene a los 7 años, por lo tanto podrían acortarse los turnos si se requiere volumen de madera con buena densidad y calidad de fibras optimizando los tiempos en ese sentido.

Para el sitio DM el sauce americano es el único que presenta estas características y en segundo lugar el híbrido 26992.

Para el sitio C todos los clones se comportaron de una manera más uniforme, aunque las condiciones del sitio C son claramente inferiores para el cultivo de sauces considerando la altura total media alcanzada por los árboles implantados en ese sitio.

## Agradecimientos

A Papel Prensa SA por facilitarnos el muestreo de sus plantaciones y su apoyo económico. Al Ing. Gabriel Ciocchini por la toma de datos de alturas y DAP a campo. Al Dr. Marcelo Arturi por sus aportes en la metodología estadística.

## Referencias bibliográficas

BARAÑAO J.J., GARAU A.M., y AYARZA R.E., 1983. Crecimiento comparado entre *Salix babylonica* x *Salix alba*

- cv 131-25 y *Populus x euroamericana* cv Conti 12 en el Partido de Luján-Provincia de Buenos Aires. V Congreso Forestal Argentino, La Pampa, Trabajos Técnicos, Tomo I, pp. 1109-1115.
- BARNETT J.R., y JERONIMIDIS G. (eds), 2003. Wood quality and its biological basis. Blackwell Publishing and CRC Press. 226 pp.
- BONAVÍA DE GUTH E., y PIUSSAN C.M., 1987. Variación de las características del leño del individuo en *Salix nigra* cultivado en el Delta del Paraná. Simposio sobre Silvicultura y Mejoramiento Genético de especies Forestales. CIEF, Actas, Tomo IV, pp. 219-235.
- BONAVÍA DE GUTH E., y RAGONESE A., 1980. Evaluación de las características del leño en relación a la calidad del papel de algunos híbridos de sauces obtenidos en Castelar (INTA). IDIA septiembre-octubre 1980. pp. 25-30.
- CERRILLO T., BUNSE G., y SPARNOCHIA L., 1992. Productividad de nuevos clones de sauces en el Delta Argentino. 19 Sesión de la Comisión Internacional del Álamo, Zaragoza, España. pp. 515-529.
- DEBELL J.D., GARTNER B.L., y DEBELL D.S., 1998. Fiber length in young hybrid *Populus* stems grown at extremely different rates. Can J For Res 28, 603-608.
- DEKA G.C., WONG B.M., y ROY D.N., 1994. Variation of specific gravity, fibre length and cell wall thickness in young *Salix* clones. Journal of Wood Chemistry and Technology 14(1), 147-158.
- GARAU A.M., BARAÑAO J.J., y AYARZA R.E., 1983. Crecimiento de dos clones del género *Salix* en suelos arcillosos del Partido de Luján-Provincia de Buenos Aires. V Congreso Forestal Argentino, La Pampa., Trabajos Técnicos, Tomo I, pp. 1116-1121.
- KOUBAA A., HERNÁNDEZ R.E., BEAUDOIN M., y POLIQUIN J., 1998. Interclonal, intraclonal, and within tree variation in fiber length of poplar hybrid clones. Wood and Fiber Science 3 (1), 40-47.
- LEVY P.E., y MCKAY H.M., 2003. Assessing tree seedling vitality tests using sensitivity analysis of a process-based growth model. Forest Ecology and Management 183(1), 77-93.
- VILLEGAS M.S., y MARLATS R.M., 2003. Densidad de la madera: variación axial y radial en dos clones de *Salix* sp. X Jornadas Técnicas Forestales Ambientales FCF-INTA. Eldorado, Misiones, 25 a 26 de setiembre de 2003. (Actas en CD).
- VON ENDE C.N., 1993. Repeated measures analysis: growth and other time-dependent measures (Chap 6). In: Scheiner S.M., Gurevitch, J., eds. Design and analysis of ecological experiments. Chapman & Hall (1993), 445 pp.
- YANCKUK A.D., DANKIK B.P., y MICKO M.M., 1984. Variation and heredability of wood density and fibre length of trembling aspen in Alberta, Canada. Silvae Genetica 33(1), 11-16.
- ZHANG S.Y., y MORGENSTERN E.K., 1995. Genetic variation and inheritance of wood density in black spruce (*Picea mariana*) and its relationship with growth: implications for tree breeding. Wood Science and Technology 30, 63-75.