

# PROGRAMA DE MEJORAMIENTO DE ÁLAMO DEL INTA. SELECCIÓN DE GENOTIPOS EN POBLACIONES OBTENIDAS MEDIANTE CRUZAMIENTOS CONTROLADOS

Silvia Cortizo<sup>(1)</sup> y María Silvana Monteverde<sup>(2)</sup>

1 E.E.A. Delta del Paraná INTA. Cátedra de Genética FAUBA. [scortizo@correo.inta.gob.ar](mailto:scortizo@correo.inta.gob.ar)

2. Programa de Domesticación y Mejoramiento de Especies Forestales Nativas e Introducidas para Usos de Alto Valor (PROMEF). BIRF 7520-AR. SAGyP. Subprograma: Salicáceas y otras latifoliadas. Cátedra de Genética y Mejoramiento Vegetal FCA-UCU.  
[smonteverde@correo.inta.gob.ar](mailto:smonteverde@correo.inta.gob.ar)

## Resumen

En la década del 1960, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), inició un programa de mejoramiento de álamo con el objetivo de seleccionar genotipos superiores, basándose en la calidad integral del árbol para mejorar el rendimiento industrial de la madera.

Al no contar con poblaciones nativas para establecer las bases del programa, se introdujeron clones mejorados de *Populus deltoides* y *P. xcanadensis*, principalmente de Italia y Estados Unidos. Como así también semillas de árboles de *P. deltoides*, que presentaron buen comportamiento dentro del área de distribución natural, en zonas ecológicamente similares a las del Delta del Paraná. Esta estrategia permitió seleccionar genotipos adaptados a las necesidades de productores e industrias tales como 'Catfish 2', 'Carabelas INTA' y otros en proceso de difusión.

Recientemente se inició un programa de cruzamientos controlados utilizando genotipos de buena adaptación, rendimiento y/o sanidad que permitió la obtención de 9150 nuevos genotipos entre 2006 y 2012 que se encuentran instalados en bancos de progenie en la E.E.A. Delta del Paraná. En la selección de los genotipos para las sucesivas etapas del programa se aplicó el método de niveles independientes de descarte utilizando como criterios de selección la capacidad de propagación agámica, la tolerancia a roya (*Melampsora spp.*) y cancrrosis (*Septoria musiva*), el crecimiento y la forma.

Hasta el momento se seleccionaron y clonaron 280 individuos, generados entre 2006 y 2008, de los cuales 34 han superado los umbrales establecidos y serán incluidos en la red de ensayos comparativos de la presente temporada.

**Palabras claves:** álamo, mejoramiento, bancos de progenie, bancos clonales, selección.

## **Abstract**

In the 1960s, the National Institute of Agricultural Technology (INTA), began a poplar breeding program with the aim of selecting superior genotypes based on the overall quality of the tree to improve industrial performance of the wood.

As there were no native populations to establish the basis of the program, improved clones of *Populus deltoides* and *P. xcanadensis* were introduced, mainly from Italy and the United States. Seeds belonging of trees of *P. deltoides*, which had showed good behavior in areas ecologically similar to the Paraná Delta within the natural range, were also introduced. This strategy allowed the selection of genotypes adapted to the needs of growers and industries such as 'Catfish 2', 'Carabelas INTA' and others in the diffusion process.

Recently a program of controlled crosses using well-adapted, good performance and / or healthy genotypes was initiated. 9150 new genotypes were obtained and installed in progeny banks in the EEA Paraná Delta between 2006 and 2012. The method of independent culling levels was applied to select the better genotypes along the successive stages of the program using as selection criteria agamic propagation capacity, tolerance to rust (*Melampsora spp.*) and canker (*Septoria musiva*), growth and form.

So far, 280 individuals generated between 2006 and 2008 were selected and cloned, 34 of which have exceeded the thresholds and will be included in the network of comparative tests of the season.

**Keywords:** poplar, breeding, progeny banks, clonal banks, selection.

## **Antecedentes**

La selección de especies adecuadas y el desarrollo de clones genéticamente mejorados que respondan a los requerimientos actuales, así como la generación de variabilidad genética para afrontar los nuevos desafíos es una herramienta fundamental para lograr un desarrollo forestal sostenible (Zobel y Talbert, 1984; Cortizo, 2011).

Gracias a la mejora genética puede lograrse, entre otras cosas, mayor productividad; mejor calidad del producto; adaptación a áreas marginales de cultivo; reducción del turno de aprovechamiento y de los costos de establecimiento; cosecha y/o procesos industriales (Marcó, 2005; Cortizo, 2006).

La obtención de árboles capaces de capturar y transformar la luz de forma más eficiente, de concentrar la mayor cantidad de fotosintatos producidos en el tallo y de soportar

factores ecológicos adversos con un bajo costo de energía permitirá la obtención de una mayor cantidad de madera. Si estos árboles poseen además buen fuste y arquitectura de copa presentarán mejor aptitud para los procesos de industrialización y permitirán mejorar la calidad y cantidad del producto final.

La domesticación de los álamos comenzó en Europa hacia fines del siglo 18 con la introducción de *P. deltoides* desde Estados Unidos (Schreiner, 1959), pero el primer programa de mejoramiento se inició en 1912 en el Real Jardín Botánico de Kew en Londres, Inglaterra (Henry, 1914). En la actualidad 37 países de América, Asia, Australasia y Europa llevan a cabo programas con muy diferentes enfoques y tecnologías que van desde la hibridación tradicional para la creación de nuevos cultivares hasta las más sofisticadas investigaciones moleculares sobre la estructura del genoma (Stanton, 2009). Desde su creación en 1992, el Registro Internacional de Cultivares de Álamo (Viart, 1992) da cuenta de los logros realizados por dichos programas. Más de 125 genotipos élite se encuentran en uso alrededor del mundo (FAO, 2008) para aplicaciones tan variadas como producción de madera para aserrado, debobinado, celulosa, fibras y/o partículas para la producción de tableros y biomasa con fines energéticos (Zsuffa *et al.*, 1996; Dickmann, 2001; Dillen *et al.*, 2010), conservación y mejora del ambiente, especialmente en la protección de las cuencas y cultivos; en la remediación de aguas y suelos contaminados, y en el balance de dióxido de carbono (Wang *et al.*, 1999; Balatinecz and Kretschmann, 2000; Schultz *et al.*, 2000; Isebrand and Karnosky, 2001; Pilipovic *et al.*, 2006).

En la década del 1960, la Estación Experimental Agropecuaria Delta del Paraná del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), inició un programa de mejoramiento de álamo (*Populus spp.*) con el objetivo de generar clones con alto potencial de crecimiento y buena sanidad, adaptados a las condiciones ecológicas de la región, que cumplieran además con los requerimientos tecnológicos de las industrias de primera y segunda transformación. Para ello se basó en el concepto de calidad integral del árbol y de sus productos a través de la exploración de la variación genética y la selección de los mejores genotipos para mejorar el rendimiento industrial de la madera.

La mayoría de los programas de mejoramiento de álamo que se conducen en distintas partes del mundo utilizan principalmente dos estrategias: cruzamientos intraespecíficos o interespecíficos y selección clonal (Bisoffi, 1990; Bisoffi and Gullberg, 1996; Stanton, 2009). Para iniciar el proceso de mejora es necesario disponer de variabilidad genética, la cual puede obtenerse mediante introducciones desde áreas de origen o colecciones vivas,

por cruzamientos, ingeniería genética o mutagénesis (Bradshaw y Strauss, 2001; Cortizo, 2006; White *et al.*, 2007). Dado que la Argentina no posee álamos nativos fue necesario introducir clones mejorados de *P. deltoides* y *P. xcanadensis*, principalmente desde Australia, Italia y Estados Unidos (Borodowski y Suárez, 2004; Cortizo *et al.*, 2005; Cortizo, 2011). Éstas permitieron brindar una rápida respuesta al sector y conformar una base de árboles fundadores que serían utilizados como padres en un programa de cruzamientos controlados. Se introdujeron además semillas de *P. deltoides* recolectadas de árboles seleccionados dentro del área de distribución natural en zonas ecológicamente similares a las del Delta del Paraná, dando origen a una población con alta variabilidad que permitió la selección local de clones para ser liberados al mercado y la elección de nuevos padres para el programa de cruzamientos. Como producto de estas primeras etapas se seleccionaron genotipos adaptados a las necesidades de productores e industrias tales como 'Catfish 2', 'Carabelas INTA' y otros en proceso de difusión.

El presente trabajo tiene por objetivo presentar los resultados del programa de cruzamientos controlados realizado utilizando como parentales a los genotipos de buena adaptación, rendimiento y/o sanidad seleccionados durante la primera fase del programa.

## **Materiales y métodos**

Para la realización de los cruzamientos se utilizó como guía el protocolo descrito por Stanton y Shuren (2001).

Durante el período de reposo y antes de la antesis (junio-julio) se coleccionaron ramas floríferas de la parte superior de la copa de árboles adultos de los clones de *P. deltoides* 'Australiano 106/60', 'Australiano 129/60', "20-82", "21-82", "89-82", "41-70", "2-82", 'Catfish 2', 'Carabelas INTA', "IC 562/47" (R-9), 'Stoneville 67', "Stoneville 109" y *P. xcanadensis* 'Ragonese 22 INTA' (ex IC 568/1). Previo a la recolección, se evaluó el estado de madurez sexual de los árboles elegidos, pues si bien los álamos de la Sección *Aigeiros* florecen a partir de los 3 o 4 años (Pauley, 1950) si el árbol proviene de semilla y de los 6 años si proviene de estacas, estas yemas pueden ser insuficientes o de calidad no adecuada para la realización de cruzamientos hasta que el árbol tiene entre 10 y 15 años (Schereiner, 1974). El material colectado fue identificado y acondicionado para su transporte hasta el invernáculo de la E.E.A. Delta del Paraná.

Las masculinas se pusieron con agua en baldes de 20 litros debidamente identificados. Durante todo el período se mantuvieron con aireador para la oxigenación del agua y luz artificial (lámparas mezcladoras de 160 W) por 24 horas para acelerar la maduración de

los amentos. Quincenalmente se revisó el material para eliminar ramas en mal estado, se realizó una poda de la sección basal y se renovó el agua (Figura 1).

Las femeninas fueron tratadas con enraizante (ácido indol butírico 0.15% en polvo) y ubicadas en envases provistos de dos cámaras separadas por un disco de plexiglás con orificios de diferentes tamaños. Estos envases poseen una mezcla de tierra turba y perlita en la parte superior en donde se desarrollarán las raíces y un preservante que contiene sacarosa, un bactericida y un agente acidificante con función antifúngica, en la parte inferior que nutrirá a la rama y evitará su desecación hasta la emisión de raíces. Para favorecer el enraizamiento de las varas se elevó la temperatura del suelo a 21-24°C con calentadores eléctricos durante las dos primeras semanas (Figura 1). Los baldes fueron regados periódicamente y fertilizados a razón de 13 gr/balde con un fertilizante de liberación gradual [NPK: 16+8+12(+2+5)]. El preservante fue renovado quincenalmente.



Figura 1: Varas masculinas (izq.) y femeninas (der.) de *P. deltoides* acondicionadas en invernáculo

La recolección de polen se realizó de manera escalonada a medida que maduraron los amentos. El polen fue tamizado con un tamiz de 150 micrones, secado con silica-gel y almacenado en heladera para su utilización durante el año de recolección y en freezer para su utilización a largo plazo.



Figura 2: Ramas femeninas recientemente polinizadas.

Los amentos femeninos inmaduros fueron aislados para evitar contaminaciones (Figura 2) y examinados periódicamente para determinar el momento en que se encontraban receptivos (estigma de color verde claro y extendido más allá del perianto y/o inflorescencias libres de escamas) para llevar a cabo el esquema de cruzamientos previsto.

La polinización se realizó al menos 2 veces al día durante el período receptivo, con un pincel de cerda fina. Una vez que el aumento del tamaño de las cápsulas se hizo notorio se retiró el aislamiento. Las ramas femeninas fueron podadas en varias oportunidades durante el ciclo para regular el número de amentos por rama y generar una buena relación

fuente-destino para el llenado de los granos. La cosecha de las cápsulas se realizó de manera escalonada a medida que comenzaban a abrirse. Las semillas recolectadas se limpiaron de los filamentos de algodón utilizados en la dispersión natural y se pusieron en placas de Petri con agua durante 24 horas para su germinación. Las plántulas obtenidas se sembraron superficialmente en bandejas de plástico con tierra y una capa superficial de arena, que fueron introducidas sobre una bandeja de mayor tamaño con agua de forma de mantener una buena hidratación del sustrato (Figura 3).



Figura 3: Amentos maduros (izq.), semillas germinadas (centro) y plántulas repicadas a bandejas (der.).

Cuando las plántulas tenían de 2 a 3 hojas verdaderas expandidas se repicaron a macetas de 12 cm de diámetro con tierra para siembra y repique. Las plántulas que no dieron hojas verdaderas fueron eliminadas en esta etapa.

Al finalizar el período estival las plantas que se desarrollaron satisfactoriamente en macetas fueron traspasadas a un umbráculo para su rustificación (Figura 4) y luego trasplantadas a campo durante el período de reposo,



Figura 4: Plantas en etapa de rustificación.

distanciadas a 1 x 1 metro constituyendo los bancos de progenie en donde fueron evaluadas por un período de 2 a 4 años según el caso.

Las plantas que superaron esta etapa fueron clonadas e instaladas en bancos clonales para su evaluación y multiplicación utilizando un mulching de plástico negro para favorecer el crecimiento y el control de malezas. En ambos casos el suelo se roturó con dos pasadas de rastra de discos, dos con rotovacter y finalmente se terminó con una pasada de rastra de dientes.

Las estrategias de evaluación y selección en álamo difieren de las utilizadas en la mayoría de las especies de árboles y otros cultivos, debido a la cantidad de semillas que pueden ser generadas y a la facilidad de propagación agámica de la progenie (Riemenschneider *et al.*, 2001). El número de genotipos se reduce secuencialmente a través de las distintas etapas de evaluación en concordancia con los incrementos del número de replicaciones, el espacio, los lugares de prueba, y la edad de rotación (Cooper, 1976).

Dado el amplio rango de usos de la madera, la selección de los genotipos superiores se centró también en una amplia gama de criterios definidos en base a cuestiones biológicas y logísticas, los cuales fueron aplicados en las sucesivas etapas del programa. Este método conocido como “de niveles independientes de descarte” se aplicó por primera vez a principios de la década del 40 (Hazel y Lush, 1942) y es ampliamente utilizado por los mejoradores de álamo (Cortizo, 2005; Cortizo, 2011; Stanton, 2009; Stanton *et al.*, 2010; Zamudio *et al.*, 2012).

Los criterios utilizados fueron: facilidad de propagación agámica, tolerancia a factores bióticos [*Melampsora spp.* (roya) y *Septoria musiva* (cancrosis)], crecimiento (altura y diámetro) y forma del fuste (rectitud, cilíndricidad, largo de entrenudos, tamaño y disposición de ramas). Ambos bancos de progenie sufrieron importantes períodos de

anegamiento y por lo tanto aun cuando no había sido previsto se pudo evaluar la sobrevivencia de las plantas bajo este tipo de estrés. Para el caso del banco de progenies 2006 se evaluó además la densidad básica de la madera. Las plantas incluidas en el banco 2006 fueron evaluadas al tercer y cuarto año de su instalación a campo mientras que las del 2008 fueron evaluadas al primer y segundo año.

## Resultados y discusión

La dehiscencia de las cápsulas se produjo desde mediados de octubre hasta diciembre de cada año. Se obtuvieron un total de 9150 nuevos genotipos entre 2006 y 2012 (Tabla 1).

Tabla 1: Detalle de la progenie obtenida mediante cruzamientos controlados entre 2006 y 2012.

	2-82	Catfish 2	Carabelas INTA	Ragonese 22 INTA	R9 (562/47)	St. 67	St. 109
A106/60	956	658	-----	85	388	190	-----
A129/60	-----	-----	-----	91	628		197
20-82	-----	-----	117	-----	2270	-----	70
89-82	72	-----	1289	---	---		1300
41-70	-----	546	-----	-----	-----	293	-----

La cantidad de semillas obtenidas fue muy variable a través de los años y al igual que en otros programas (Stanton y Villar, 1996) dependió fundamentalmente del buen establecimiento de las varas femeninas en invernáculo. El aborto de amentos ya fecundados fue la principal causa de pérdida y estuvo relacionado a la falta de un buen sistema de raíces funcionales capaces de mantener a las varas durante el largo período de maduración de los mismos (entre 8 a 10 semanas). El desarrollo del sistema radicular se ve limitado por la edad de las varas.

Del total de individuos logrados ya han sido evaluados 2160 provenientes de los cruzamientos 'Australiano 106/60' x "R 9", 'Australiano 106/60' x 'Stoneville 67', "41-70" x 'Stoneville 67', 'Australiano 106/60' x 'Ragonese 22 INTA', "41/70" x 'Catfish 2' y 'Australiano 106/60' x 'Catfish 2', instalados en el banco de progenies 2006, y 1300 individuos provenientes del cruzamiento "89-82" x 'Stoneville 109', instalados en el banco de progenies 2008. La progenie restante se encuentra instalada en sus respectivos bancos pero no han alcanzado aún el tamaño adecuado para realizar la selección.

En el banco de progenies 2006 se perdieron 464 individuos debido a fallas de implantación y de frecuentes episodios de anegamiento. Entre los genotipos restantes 219 individuos correspondientes a 5 de las 6 combinaciones incluidas fueron seleccionados al

cuarto año de su instalación a campo. Estos genotipos presentaron buenos incrementos anuales en diámetro, media a alta tolerancia a roya y cancrrosis, buena capacidad de rebrote de las cepa y valores medio a altos de densidad básica de la madera (Tabla 2). No se seleccionó ningún individuo de la familia “41/70” x ‘Catfish 2’ por los altos niveles de roya presentados.

Tabla 2: Valores de incrementos anuales en diámetro y densidad básica de la madera correspondientes a las progenies obtenidas y los genotipos selectos en las distintas familias del banco de progenies 2006.

Cruzamiento	N° de progenies	Fallas	IMA <sub>dap</sub> (cm)	N° de Selectos	IMA <sub>dap</sub> (cm)		Densidad básica (kg/m <sup>3</sup> )	
					Media	Rango	Media	Rango
A 106/60 x R 9	388	61	1,9	83	2,5	1,5 - 3,6	366,47	331,8 - 395,07
A 106/60 x St. 67	190	48	2,2	46	2,6	1,5 - 3,8	359,37	325,38 - 435,77
41-70 x St.67	293	100	1,9	37	2,7	1,7 - 4,4	337,41	306,22 - 363,80
A 106/60 x R-22	85	45	2,3	6	3,4	2,4 - 4,1	320,86	316,82 - 324,91
A 106/60 x Catfish 2	658	210	1,8	47	2,3	1,3 - 3,7	347,38	319,80- 377,02
<b>Total</b>	1614	464	2,2	219	2,7	1,3 - 4,4	355,69	306,22 - 435,77

En el banco de progenies 2008 se perdieron 616 individuos debido a fallas de implantación, especialmente relacionadas a manchones con mayores niveles de salinidad y a las condiciones de anegamiento por un período de cuatro semanas ocurridas en el mes de diciembre posterior al trasplante. Luego se perdieron 84 plantas más por distintas causas. Entre los 511 individuos sobrevivientes se seleccionaron un total de 61 individuos, al segundo año de su instalación a campo, que presentaron buenos incrementos en altura y diámetro, alta tolerancia a roya y a cancrrosis, y un fuste adecuado para usos sólidos (Tabla 3).

Tabla 3: Incrementos anuales medios, para las variables altura y diámetro a la altura de pecho, correspondientes a las progenies obtenidas y a los genotipos selectos en el banco de progenies 2008.

Cruzamiento	N° de progenies	Fallas	IMA <sub>dap</sub> (cm)	IMA <sub>H</sub> (m)	N° de Selectos	IMA <sub>dap</sub> (cm)		IMA <sub>H</sub> (m)	
						Media	Rango	Media	Rango
A 106/60 x R 9	1300	789	3,12	2,12	61	3,63	1,92 - 5,57	3,18	2,29 - 3,95

Las diferencias en crecimiento observadas entre los bancos de progenie podrían deberse tanto a las condiciones de cultivo como a las combinaciones de padres. Sin embargo, es

importante destacar que el banco de progenies 2006 presentó frecuentes episodios de anegamiento, por obras realizadas con posterioridad que limitaron el drenaje del agua de lluvia, perjudicando así su desarrollo. Por lo tanto las condiciones de cultivo fueron tenidas en cuenta a la hora de evaluar los crecimientos.

Los 280 genotipos seleccionados en los bancos de progenie fueron nuevamente evaluados en bancos clonales teniendo en cuenta, además de los criterios aplicados en los bancos de progenie, la capacidad de multiplicación agámica, dado que este atributo tiene mayor impacto en el rendimiento que la productividad en volumen del fuste individual cuando las tasas caen por debajo del 90% (Chambers y Borralho, 1997).

En esta nueva evaluación 34 clones superaron los umbrales establecidos y serán incluidos en la red de ensayos comparativos de la presente temporada (Figura 5).

El número de clones disponibles para la nueva red de ensayos se encuentra dentro de los límites recomendados para reducir al mínimo el riesgo de fallas debido a condiciones ambientales atípicas y la evolución de la virulencia de patógenos de la mayoría de los programas clonales (Libby, 1982). Por otro lado la cantidad de material disponible por clon permitirá la utilización de diseños fila columna (Gezan *et al.*, 2006), lo cual sumado al análisis mediante modelos mixtos permite una adecuada precisión para la selección de los mejores genotipos en comparaciones clonales (Zamudio *et al.*, 2008).



Figura 5: Clon proveniente del cruzamiento entre “89-82” x “Stoneville 109” seleccionado en el bancos clonal 2012

## Bibliografía

- Balatinecz JJ and Kretschmann DE. 2001. Properties and utilization of poplar wood. In: Poplar culture in North America. Part A. Chapter 9. Ed: Dickmann DI, Isebrand JG, Eckenwalde JE, Richardson J. NCR Research Press, National research Council of Canada, Ottawa, Ontario Canada: 277-291.
- Bisoffi S. 1990. The development of a breeding strategy for poplars. Trab. Ad Hoc Committee for Poplar and Willow breeding. Meeting of International Poplar Commission. 19-23 March, Buenos Aires, Argentina.
- Bisoffi S and Gullberg U. 1996. Poplar breeding and selection strategies. Ed: Stettler RF, Bradshaw HD Jr., Heilman PE, Hinckley TM. Biology of *Populus* and its implications for management and conservation. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada: 139-158.
- Borodowski ED y Suárez RO. 2004. El cultivo de álamos y sauces: su historia en el Delta del Paraná. SAGPyA Forestal Argentina. Ministerio de Economía y Producción. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. SAGPyA. Buenos Aires. AR. N° 32: 5-13.
- Bradshaw HD and Strauss S. 2001. Breeding strategies for the 21<sup>st</sup> Century: domestication of poplar. In: Poplar culture in North America. Part B. Chapter 14. Ed: Dickmann DI, Isebrand JG, Eckenwalde JE, Richardson J. NCR Research Press, National research Council of Canada, Ottawa, Ontario Canada: 383-394.
- Chambers PGS and Borralho NMG. 1997. Importance of survival in short-rotation tree breeding programs. Can J For Res 27: 911–917.
- Cooper DT. 1976 Cottonwood breeding strategies for the future. Proceedings, Symposium on Eastern Cottonwood and Related Species: 151–155.
- Cortizo S. 2005. Álamos en el Delta. Capítulo III. En: Mejores árboles para más forestadores. El programa de producción de Material de propagación Mejorado y el Mejoramiento Genético en el Proyecto Forestal de Desarrollo. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca, y Alimentos: 137-160. [www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/biblos/protapa.pdf](http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/biblos/protapa.pdf)
- Cortizo S. 2006. Mejoramiento genético del álamo. Jornadas de Salicáceas 2006: 102-106.
- Cortizo S. 2011. Mejoramiento genético del álamo, una ciencia en apoyo a la producción forestal sostenible. Tercer Congreso Internacional de las Salicáceas en Argentina. Neuquén. Argentina: 14 pp. [http://64.76.123.202/new/0-0/forestacion/salicaceas/jornadas%20salicaceas%202011/Actas/Trabajos\\_completos\\_Formato%20pdf/CORTIZO\\_D.pdf](http://64.76.123.202/new/0-0/forestacion/salicaceas/jornadas%20salicaceas%202011/Actas/Trabajos_completos_Formato%20pdf/CORTIZO_D.pdf)
- Cortizo S, Borodowski E, Mema V y Suárez R. 2005. Crecimiento de cinco clones de álamo en el Delta del Paraná. I. Ensayo comparativo clonal. Actas del III Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. AFOA. ID 156: 10 pp.

- Dickmann DI. 2001. An overview of the genus *Populus*. Part A. Chapter 1. Ed: Dickmann DI, Isebrand JG, Eckenwalde JE, Richardson J. Poplar culture in North America. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada: 1-42.
- Dillen SY, Rood SB and Ceulemans R. 2010. Growth and Physiology. Ed: Jansson S et al. Genetics and Genomics of *Populus*: Plant Genetics and Genomics: Crops and Models 8. Springer Science: 39-63.
- <http://www.fao.org/forestry/10720-0e35704feecf003b18624d9e69301dac.pdf>
- Gezan SA, White TL and Huber DA. 2006. Achieving higher heritabilities through improved design and analysis of clonal trials. *Can J For Res* 36: 2148–2156.
- Hazel LN and Lush, JL. 1942. The efficiency of three methods of selection. *Journal of Heredity* 33: 393-399.
- Isebrands JG and Karnosky DF. 2001. Environmental benefits of poplar culture. In: *Poplar Culture in North America*. Ed: Dickmann DI, Isebrand JG, Eckenwalde JE, Richardson J. Poplar culture in North America. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada: 207–218.
- Libby, WJ. 1982. What is a safe number of clones per plantation? Ed: Heybroek HM, Stephan BR, von Weissenberg K. Resistance to diseases and pests in forest trees. Proceedings of the Third International Workshop on the Genetics of Host-Parasite Interactions in Forestry. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen. Netherlands: 342-360.
- Marcó M. 2005. Conceptos generales del mejoramiento genético forestal y su aplicación a los bosques cultivados de la Argentina. En: *Mejores árboles para más forestadores. El programa de producción de Material de propagación Mejorado y el Mejoramiento Genético en el Proyecto Forestal de Desarrollo*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca, y Alimentos: 9-18. [www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/biblos/protapa.pdf](http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/biblos/protapa.pdf)
- Pilipovic A, Orlovic S, Nikolic N and Galic Z. 2006. Investigating potential of some poplar (*Populus* sp.) clones for phytoremediation of nitrates through biomass production. *Environmental Applications of Poplar and Willow Working Party*: 18-20 May 2006. Northern Ireland.
- Riemenschneider DE, Stanton BJ, Vallée G and Périnet P. 2001. Poplar breeding strategies. Ed: Dickmann DI, Isebrand JG, Eckenwalde JE, Richardson J. *Poplar culture in North America*. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada: 43-76.
- Schreiner EJ. 1959. Production of poplar timber in Europe and its significance and application in the United States. United States Department of Agriculture Forest Service Agriculture Handbook N° 150: 124pp.
- Schreiner EJ. 1974. *Populus* L. Poplar. En: *Seeds of Woody Plants in the United States*. Technical coordinator: Schopmeyer CS. US dep. Agric. Agricultural Handbook: 645-655.

- Schultz RC, Colletti JP, Isenhardt TM, Marquez CO, Simpkins WW and Ball CJ. 2000. Riparian forest buffer practices. In: North American Agroforestry: an Integrated Science and Practice. Ed: Garrett HE, Rietveld WJ, Fisher RF. Am. Soc. Agron., Madison, WI, pp 189–281.
- Stanton BJ. 2009. The domestication and conservation of *Populus* genetic resources. In: Poplars and willows in the world. International Poplar Commission Working Papers (FAO), N°: IPC/9-4a: 92 pp.
- Stanton BJ and Villar M 1996 Controlled reproduction of *Populus*. Ed: Stettler RF, Bradshaw HD Jr., Heilman PE, Hinckley TM. Biology of *Populus* and its implications for management and conservation. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada: 113-138.
- Stanton BJ and Shuren R. 2001. Controlled breeding procedures: a manual of method and techniques for breeding eastern cottonwood: 1-31.
- Stanton BJ, Neale DB and Li S. 2010. *Populus* Breeding: From the Classical to the Genomic Approach. S. Jansson et al. (eds.), Genetics and Genomics of Populus, Plant Genetics and Genomics: Crops and Models 8: 309-348. DOI 10.1007/978-1-4419-1541-2\_14
- Viert M. 1992. International Register of *Populus* Cultivars. In A. Proceedings 19<sup>th</sup> Session of the International Poplar Commission, Zaragoza, 22-25 June, 1992. Ed: Padró A: 49-105.
- Wang X., Newman LA, Gordon MP and Strand SE. 1999. Biodegradation of carbon tetrachloride by poplar trees: results from cell culture and field experiments. In: Phytoremediation and Innovative Strategies for Specialized Remedial Applications. Ed.: Leeson A, Allenman BC. Battelle Press, Columbus, OH, pp 133–138.
- Zamudio F, Wolfinger R, Stanton B and Guerra F. 2008. The use of linear mixed model theory for the genetic analysis of repeated measures from clonal tests of forest trees. I. A focus on spatially repeated data. Tree Genet Genomes 4:299–313.
- Zamudio F, Yañez M, Baettig R, Guerra F and Espinosa C. 2012. Review of the research conducted by the Poplar Technology Center in Chile: 1999-2011. The Forestry Chronicle 88 (2):154-164.
- Zobel B and Talbert J. 1984. Applied forest tree improvement. Ed: John Wiley & Sons. NY. 505 pp.
- Zsuffa L, Giordano E, Pryor LD and Stettler RF. 1996. Trends in poplar culture: some global and regional perspectives. Ed: Stettler RF, Bradshaw HD Jr., Heilman PE, Hinckley TM. In: Biology of *Populus* and its implications for management and conservation. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada: 515-539.
- White T, Adams T and Neale D. 2007. Tree improvement. In: Forest genetics. CABI Publishing. 682 pp