

## PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO DE ÁLAMO ORIENTADO A USOS SÓLIDOS DE ALTO VALOR DESARROLLADO POR EL INTA

### POPLAR BREEDING PROGRAM ORIENTED TO HIGH VALUE SOLID USES DEVELOPED BY INTA

María S. Monteverde <sup>(1)</sup> (P), Silvia Cortizo <sup>(2)</sup>

(1) Licencia en Genética. E.E.A. Delta del Paraná, INTA. Cátedra Genética y Mejoramiento, FCA-UCU. Cátedra Genética, FCyT-UADER. Argentina.

(2) Ingeniera Agrónoma (M. Sc.). E.E.A. Delta del Paraná, INTA. Cátedra de Genética, FA-UBA. Argentina.

Dirección de contacto: monteverde.silvana@inta.gob.ar; (P) Presentador

**Código de identificación: T1-01**

#### Resumen

El Programa de Mejoramiento Genético de Álamo de INTA, con sede en la E.E.A. Delta del Paraná, tiene por objetivo generar clones genéticamente mejorados para usos de alto valor, adaptados a los diferentes territorios y ambientes de cultivo, basándose en el concepto de calidad integral del árbol. Al no ser un género nativo, el Programa se basó en la introducción de semillas de árboles plus de *Populus deltoides* dentro del área de distribución natural en Estados Unidos y de clones seleccionados en Programas de Mejoramiento de Estados Unidos, Australia e Italia para elegir los genotipos mejor adaptados a la región y constituir así la población base de mejora y seleccionar los padres del programa de cruzamientos controlados. La selección clonal se realiza a través de sucesivas etapas, mediante el método de niveles independientes de descarte, para las variables: capacidad de propagación agámica; crecimiento; características del fuste (rectitud; cantidad, inserción y grosor de ramas); tolerancia a estreses bióticos [*Melampsora* spp. (roya) y *Septoria musiva* (cancrosis)] y abióticos (anegamiento o sequía) y características físico-mecánicas de la madera. Para lograr estimaciones precisas de los parámetros genéticos, la elección de clones resulta de una combinación del comportamiento en bancos de progenie y clonales, pruebas de laboratorio, ensayos comparativos y de productividad a campo en sitios del Delta con distinto régimen hídrico. Los clones selectos son inscriptos en el Registro Nacional de Cultivares habilitándolos para la comercialización dentro del país y contribuyendo así al fortalecimiento de la competitividad y sustentabilidad de la cadena foresto-industrial.

**Palabras clave:** mejoramiento genético; *Populus deltoides*; hibridaciones controladas; selección clonal

#### Abstract

*The Poplar Breeding Program of INTA, led by the E.E.A Delta del Paraná, aims at the production of genetically improved clones for high-value uses, adapted to different territories and environments. This program are based on the concept of the overall quality of the tree. As Argentina does not have any native poplar, the base breeding population was established with seeds of *Populus deltoides* collected from the natural distribution area of the specie in the United States, as well as, upon selected clones from Breeding Programs of the United States, Australia and Italy. The individuals best adapted to the region, were incorporated as parental to the controlled hybridizations program. The clonal selection is performed using the independent culling level method through successive stages, according to the following variables: ability for agamic propagation; growth; stem characteristics (straightness; quantity, insertion angle and thickness of the branches), tolerance to biotic [*Melampsora* spp. (rust) and *Septoria musiva* (canker)] and abiotic (floods or droughts) stresses and physical-mechanical characteristics of the wood. In order to achieve precise estimates of the genetic parameters, the selection of clones results from a combination of the behavior in progeny and clonal banks, laboratory tests, comparative and productivity trials in sites with different hydrological regimes of the Paraná river Delta. The selected clones are incorporated in the National Registry of Cultivars, enabling them for the commercialization within the country and, thereby, contributing to the strengthening of the competitiveness and sustainability of the forest industry chain.*

**Keywords:** genetic breeding; *Populus deltoides*; controlled hybridizations; clonal selection

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde antaño los álamos (*Populus spp.*), pertenecientes a la familia de las Salicáceas, han sido de gran utilidad para el medio ambiente, la protección de cuencas y cultivos y la sociedad [1] debido a sus características de rápido crecimiento juvenil, facilidad de propagación vegetativa, buena capacidad de rebrote, adaptabilidad a diferentes sitios, alta plasticidad en respuesta a los cambios ambientales, capacidad de fijación de nitrógeno y de acumular contaminantes, y variados usos industriales de la madera entre otros atributos [2, 3, 4]. Gracias a estas características y principalmente a sus elevadas tasas de crecimiento, se han convertido en la esencia forestal más extensamente cultivada en las latitudes templadas de todo el mundo [5].

Las primeras introducciones destinadas a plantaciones comerciales datan de fines del siglo XIX y se atribuyen a los inmigrantes franceses que cultivaron el álamo “carolino” (*Populus deltoides ssp. angulata cv. carolinense*), originario del Delta del Mississippi de Estados Unidos [6]. Actualmente, nuestro país posee 97.893 ha forestadas con Salicáceas [7], principalmente en el Delta del Paraná y las zonas irrigadas de la Patagonia y Cuyo, lo que las posiciona en el tercer lugar de importancia de bosques implantados (10,3%) luego del pino y el eucalipto [8]. El 42% de esta superficie corresponde a álamo, cuya madera se destina a las industrias del aserrado y debobinado, y en menor medida, a la del triturado y a la celulósica-papelera [9]. La región del Bajo Delta del Río Paraná (conocida como Zona Núcleo Forestal) posee la mayor superficie forestada con Salicáceas del país, con unas 14.508 ha de álamo [8], constituyendo su principal actividad productiva. El desarrollo de las plantaciones comerciales en esta región depende mayormente del suministro de material mejorado que asegure la adaptabilidad, productividad y sostenibilidad de este recurso forestal y en este contexto, tanto la selección de especies y clones adaptados a los requerimientos actuales del mercado forestal, como la disponibilidad de variabilidad genética para afrontar los nuevos desafíos provenientes del cambio climático, de la aparición de otras plagas o razas patógenas y/o generación de nuevos productos derivados de la madera tienen una importancia fundamental [10, 11].

La domesticación del género se inició hace más de 100 años con los trabajos de Henry (1914) en el Real Jardín botánico de Kew en el Reino Unido y de Stout *et al.* (1927) y Stout y Schreiner (1933) en el Jardín Botánico de Nueva York en los Estados Unidos [12]. Estos trabajos sentaron las bases para la creación de los programas de mejoramiento genético que se llevan adelante en diferentes partes del mundo. En Argentina, en la década de 1960, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) inició su propio programa de mejoramiento genético [13] con el objetivo de producir genotipos superiores con alto potencial de crecimiento y buena sanidad, adaptados a las condiciones ecológicas de la región y que cumplan con los requerimientos de las industrias de la madera para usos sólidos basándose en el concepto de calidad integral del árbol. En un principio el programa contaba con dos sedes, una en el Instituto de Recursos Biológicos de Castelar y otra en la E.E.A Delta del Paraná, a cargo de los Ing. Arturo Ragonese y Abelardo Alonzo respectivamente, pero hoy en día solamente se mantiene esta última. En ambos casos se utilizaron principalmente dos estrategias: hibridaciones inter e intra-específicas y selección clonal a través de las sucesivas generaciones de multiplicación vegetativa [14, 15, 16, 12].

Dado que en Argentina no existen especies nativas, los primeros pasos fueron la introducción de materiales mejorados (clones) de *P. deltoides*, *P. nigra* y *P. xcanadensis* pertenecientes a programas de Estados Unidos, Italia, Francia, España y Australia, y de semillas de árboles plus de *P. deltoides* [17, 18, 19], originarios del sudeste del área de distribución natural de la especie en Estados Unidos, la cual se corresponde en latitud con el Delta del Paraná y por lo tanto presenta similitudes ecológicas, especialmente en lo referido al fotoperíodo, factor de suma importancia para la adaptabilidad del material introducido [20, 21]. *P. deltoides* es la especie más importante en todos los programas de mejoramiento por la amplia diversidad genética existente en su área de distribución natural [22]. Es también utilizada como especie pura para áreas inundables [23] como la región del Delta y en

ambientes en donde la cancrrosis limita la utilización de *P. nigra* y los híbridos de *P. xcanadensis* [24].

Para seleccionar los genotipos en condiciones de pasar a través de las sucesivas etapas del programa (bancos de progenie, bancos clonales y ensayos genéticos) se tienen en cuenta los siguientes criterios: capacidad de propagación agámica; crecimiento; tolerancia a factores bióticos [roya (*Melampsora medusae*) y cancrrosis (*Septoria musiva*)] y abióticos, características del fuste (forma; cantidad, grosor y ángulo de inserción de las ramas y tendencia a la bifurcación), y características físicas y mecánicas de la madera. Todas exhiben importantes magnitudes de variación genética y responden bien al tipo de selección empleada. Para hacer más eficiente la selección, las características que presentan mayor heredabilidad se evalúan en las primeras etapas del programa (enfermedades), mientras que aquellas que presentan menor heredabilidad o altos costos de evaluación o son de expresión tardía (características de la madera) se retrasan hasta contar con una menor cantidad de genotipos en evaluación [25]. Una vez seleccionados los clones que serán liberados al mercado, es necesario realizar la caracterización morfológica y fenológica en base a los descriptores aprobados por el Instituto Nacional de Semillas (INASE) para su inscripción en el Registro Nacional de Cultivares (RNC), además de una adecuada multiplicación en vivero y una identificación mediante marcadores moleculares, para garantizar la trazabilidad desde el obtentor hasta su instalación en el campo [26]. Todo este proceso demanda alrededor de 10 a 14 años según el destino que se desee dar a los clones selectos, pues si serán utilizados para aserrado y debobinado debería contarse con madera de corte para poder realizar las pruebas de calidad industrial [27].

En el presente trabajo se presentarán algunos resultados sobre los materiales desarrollados recientemente por el programa a través de cruzamientos controlados.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La colección de padres utilizada para la realización de los cruzamientos controlados se constituyó con clones de *P. deltoides* y *P. xcanadensis* provenientes de los programas de mejoramiento de Estados Unidos, Francia, España, Australia e Italia que presentaron buena adaptación a las condiciones ecológicas del Delta y los generados previamente por nuestro programa a partir de las selecciones por características de crecimiento, sanidad y calidad de madera realizadas en las poblaciones formadas a partir de semillas recolectadas sobre árboles plus de *P. deltoides* en su área de distribución natural en Estados Unidos.

Si bien el programa había realizado hibridaciones con anterioridad [28] este proceso recién logró continuidad a partir del año 2006 con la implementación de un protocolo adaptado del descripto por Stanton y Shuren (2001) [29]. Los clones de *P. deltoides* y *P. xcanadensis* empleados como progenitores en los cruzamientos realizados a partir del año 2006 incluyeron los masculinos: Guayracá INTA, Catfish 2, Carabelas INTA, “IC 562/47” (R-9), Stoneville 67, “Stoneville 109”, Ragonese 22 INTA y Alton; y los femeninos: Australiano 106/60, Australiano 129/60, Ñacurutú INTA, Paycarabí INTA, “89-82”, Hovyú INTA y “Pytá INTA”. (Para un mayor detalle de la metodología ver: Monteverde y Cortizo, 2014) [30].

Los individuos obtenidos de los cruzamientos controlados, luego de la etapa de rustificación en umbráculo, fueron instalados durante el reposo invernal en sus respectivos bancos de progenie, distanciados a 1 x 1 metro. Durante el primer año se evaluó la sobrevivencia y la altura, y posteriormente la sanidad, el crecimiento (altura y DAP) y las características del fuste durante 2-3 años. Los genotipos seleccionados fueron multiplicados agámicamente e implantados en un banco clonal, distanciados a 1 x 1 metro, sobre un *mulching* de plástico negro para favorecer el crecimiento y el control de malezas. Allí se continuaron las evaluaciones de crecimiento, forma y sanidad durante 2 años y se seleccionaron aquellos que superaron los umbrales establecidos por el programa para los diferentes criterios para pasar a la fase siguiente de ensayos comparativos clonales. Además, en esta

etapa de banco clonal, se incluyó una evaluación del prendimiento de las estacas como medición indirecta de su habilidad para la propagación 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% [31].

Los genotipos selectos fueron implantados en sendos ensayos genéticos siguiendo un cuidadoso diseño que permite el análisis estadístico de los datos obtenidos y la generalización de los resultados con alto grado de seguridad. En todos ellos se incluyó al menos un testigo local de amplia difusión y uno o dos clones élite de la fase final del programa a fin de garantizar que los clones selectos superen a los comerciales y a los próximos a inscripción en al menos alguno de los criterios que se utilizaron al definir el ideotipo del programa. Para los ensayos comparativos clonales se aplicó un diseño de parcelas monoárbol (*single tree plot* en fila-columna) con al menos cinco repeticiones por sitio. La utilización de este tipo de diseño permite mejorar el muestreo de la variación ambiental del sitio y reduce el error de varianza [32], lo cual sumado al análisis mediante modelos mixtos posibilita una adecuada precisión para la selección de los mejores genotipos en comparaciones clonales [33].

La mayoría de los ensayos de nuestro programa se encuentran instalados en campos de productores y empresas del sector y son conducidos del mismo modo que sus plantaciones de modo de garantizar que los resultados del desempeño clonal se asemejen a los que se obtendrán en plantaciones operacionales. La siguiente tabla presenta un detalle de los ensayos activos (Tabla 1):

Tabla 1: Detalle de los ensayos instalados a partir de 2013 con los individuos procedentes de cruzamientos controlados del programa.

Campo	Año de plantación	Repeticiones	Región	Condición de sitio
Cosentino	2013	5 de 1 planta	Bajo Delta	Dique
Rodríguez	2013	5 de 1 planta	Bajo Delta	Atajarrepuntes
Branvatti&Branvati	2013	7 de 1 planta	Bajo Delta	Dique
López	2013	7 de 1 planta	Bajo Delta	Dique (pajonal virgen)
Castillo	2013	7 de 1 planta	Bajo Delta	Dique
Gómes	2014	19 de 1 planta	Bajo Delta	Dique
Wronski	2015	5 de 1 planta	Delta Frontal	Dique
Janulik	2015	7 de 1 planta	Delta Frontal	Albardón
Rodríguez	2015	5 de 9 plantas	Bajo Delta	Dique
Ottinger	2016	4 de 9 plantas	Delta Frontal	Dique
Mendizábal	2016	5 de 9 plantas	Bajo Delta	Dique
Cosentino	2016	5 de 9 plantas	Bajo Delta	Dique

En estos ensayos se está evaluando la sobrevivencia y la altura al primer año, y las variables cuantitativas [diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura] y las variables cualitativas [tolerancia a roya (*Melampsora medusae*) y cancrisis (*Septoria musiva*) y características del fuste (forma; cantidad, grosor y ángulo de inserción de las ramas y tendencia a la bifurcación)] al segundo año. Las variables sanidad y tendencia a la bifurcación se evalúan como binarias y las de forma del fuste; cantidad, grosor y ángulo de inserción de las ramas como categóricas ordenadas. Las variables cuantitativas se analizan con el software estadístico SAS (versión 9.4) [34] y la comparación de medias se realiza mediante la prueba de Tukey.



Un detalle del progreso del programa puede verse en la siguiente figura (Figura 1):



Figura 1: Etapas del programa de mejoramiento de álamo de INTA. De izq. a der.: Cruzamientos Controlados (CC), Banco de Progenie (BP), Banco Clonal (BC), Ensayos Comparativos (EC), Ensayos de Productividad (EP) y Clon Selecto (CS). Fuente: Lic. María Silvana Monteverde [35].

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Cruzamientos controlados

Entre 2006 y 2016 se han obtenido 10866 individuos procedentes de 19 cruzamientos diferentes (Tabla 2), con lo que se incrementó la variabilidad genética en la población base del Programa. La cantidad de semillas obtenidas por cruzamiento y por año fue muy variable, pero al igual que en otros programas [36], dependió del buen establecimiento de las varas femeninas en el invernáculo. En algunos casos, como el del clon Paycarabí INTA, se perdieron los cruzamientos logrados principalmente por aborto de amentos ya fecundados, lo que se relaciona con la falta de un buen sistema de raíces funcionales capaces de mantener a las varas femeninas durante el largo período de maduración de los mismos (entre 8 a 10 semanas). Asimismo, algunos clones masculinos, como el Ragonese 22 INTA, presentaron altos niveles de esterilidad y otros, como el Alton, abortaron la mayoría de sus amentos antes de la madurez, por lo cual produjeron escasa o nula cantidad de polen. Se encontraron además problemas de incompatibilidad temporal (por ejemplo en el cruzamiento entre Australiano 129/60 x Carabelas INTA) que fueron resueltos al ajustar el programa de conservación de polen a largo plazo.

Tabla 2: Combinaciones de álamos logradas entre 2006 y 2016 con su respectiva progenie.

♀ \ ♂	Guayracá INTA	Catfish 2	Carabelas INTA	Ragonese 22 INTA	IC 562/47	St. 67	St. 109	Alton
Aust. 106/60	956	607	-	84	388	190	-	
Aust. 129/60	1157	-	1292	91	628	-	197	16
Ñacurutú INTA	-	-	117	-	2279	-	70	
89-82	72	-	1289	-	-	-	1305	
Pytá INTA	123	-	5	-	-	-	-	

#### 3.2 Bancos de progenie y clonales

En base a los resultados de las evaluaciones realizadas en los bancos de progenie fueron selectos 453 genotipos sobresalientes de *P. deltoides*, que fueron instalados en sendos bancos clonales entre 2011 y 2015 (Tabla 3).

Tabla 3: Individuos selectos en bancos de progenie.

Año del banco de progenie	Individuos totales	Individuos selectos
2006	2157	219
2008	1300	61
2009	80	39
2011	3816	134

45 genotipos (Tabla 4) de buen comportamiento general fueron selectos en los bancos clonales instalados en 2011 y 2012 para pasar a la siguiente fase de ensayos comparativos. El resto de los bancos clonales se encuentran todavía en período de evaluación.

Tabla 4: Genotipos experimentales selectos en bancos clonales.

N° clon	Denominación	Origen (parentales)
3	11-20	89-82 x Stoneville 109
4	19-9	89-82 x Stoneville 109
5	2-4	89-82 x Stoneville 109
6	3-5	89-82 x Stoneville 109
7	26-28	89-82 x Stoneville 109
8	8-3	89-82 x Stoneville 109
9	4-20	89-82 x Stoneville 109
10	6-123	Australiano 106/60 x Stoneville 67
12	1-129	Australiano 106/60 x IC 562-47 ("R9")
13	6-5	89-82 x Stoneville 109
14	2-140	Australiano 106/60 x IC 562-47 ("R9")
16	3-19	89-82 x Stoneville 109
17	2-126	Australiano 106/60 x IC 562-47 ("R9")
18	3-27	89-82 x Stoneville 109
20	1-120	Australiano 106/60 x IC 562-47 ("R9")
21	6-89	Australiano 106/60 x Stoneville 67
22	19-8	89-82 x Stoneville 109
23	1-5	89-82 x Stoneville 109
24	19-18	89-82 x Stoneville 109
25	17-2	89-82 x Stoneville 109
26	23-28	89-82 x Stoneville 109
27	2-154	Australiano 106/60 x IC 562-47 ("R9")
28	14-15	89-82 x Stoneville 109
29	1-167	Australiano 106/60 x IC 562-47 ("R9")
30	2-138	Australiano 106/60 x IC 562-47 ("R9")
31	1-130	Australiano 106/60 x IC 562-47 ("R9")
32	1-124	Australiano 106/60 x IC 562-47 ("R9")
33	4-4	89-82 x Stoneville 109

### 3.3 Ensayos comparativos

Se presentan los resultados de diámetro al segundo año obtenidos de la evaluación de la red de ensayos comparativos clonales del año 2013, la cual consta con 28 de los genotipos selectos, 4 testigos comerciales y dos clones introducidos en 4 campos de productores de la Zona Núcleo Forestal del

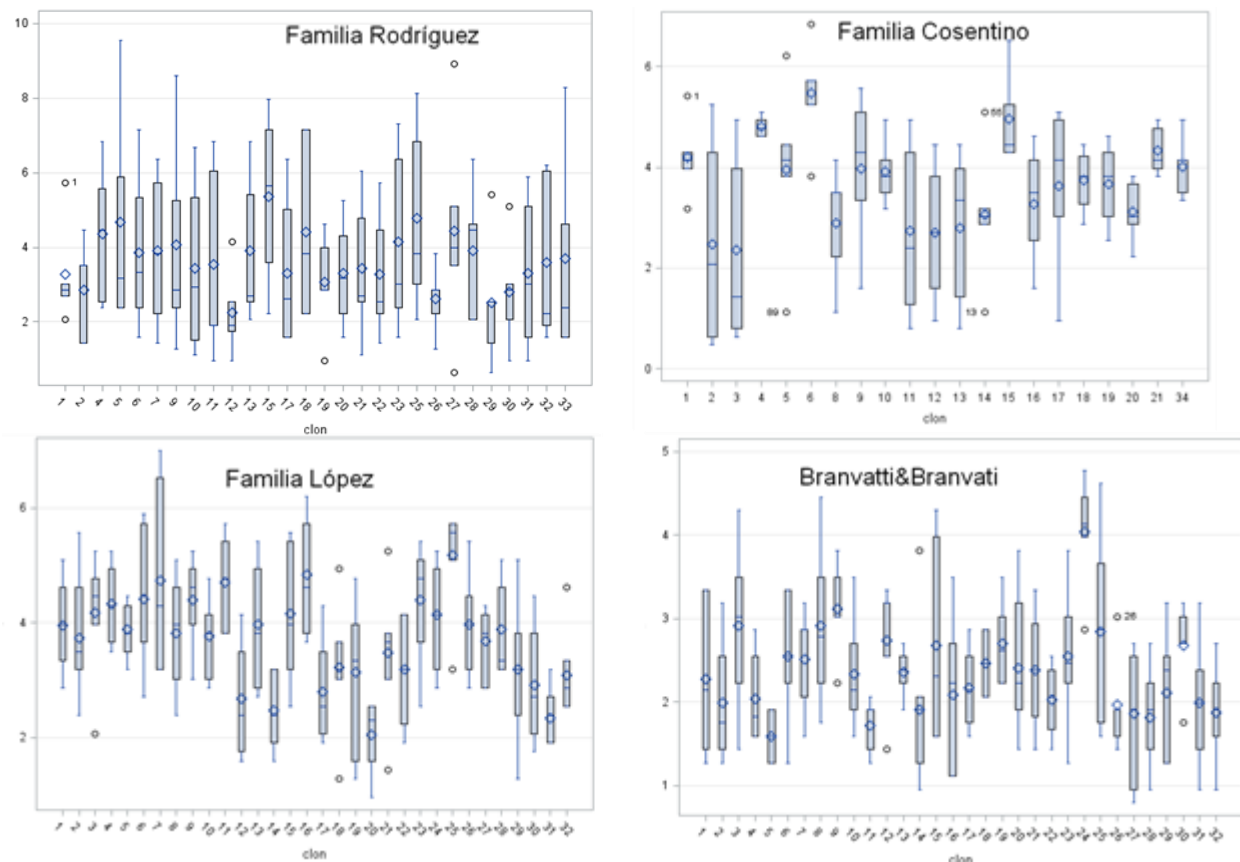
Delta del Paraná o Bajo Delta (Más detalles de la red en [37, 38]). De la misma, se instalaron 3 nuevas unidades, 1 en el año 2014 también la Zona Núcleo y 2 en 2015 en el Delta Frontal. El número de clones de la red de ensayos establecida se encuentra dentro de los límites recomendados para reducir 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 [39].

El porcentaje de fallas resultó variable entre clones y sitios, lo cual nos da una idea de la capacidad de implantación de los clones pero también de cómo las condiciones del sitio (altura del terreno) y del manejo (agua, control de malezas y hormigas, presencia de ganado y animales silvestres) afectan esta variable.

En general, los clones evaluados presentaron una excelente sanidad, salvo los clones 12, 14, 20, 30 y 32 que manifestaron altos niveles de roya. Dado que la incidencia de la roya depende de las condiciones ambientales y que podrían surgir nuevas razas patogénicas se continuará con las evaluaciones hasta el final del ciclo productivo. Ninguno de los clones evaluados presentó síntomas de cancrrosis a la fecha. En cuanto a las características del fuste, se destacaron 10 individuos de fuste recto y de ramas finas a medianas con ángulos de inserción mayores a 45°.

Para la variable diámetro se detectó la existencia de interacción clon-sitio en el análisis global de la red ( $F=1,71$ ;  $P=0,0004$ ) y diferencias clonales dentro de cada sitio [Rodríguez ( $F=1,61$ ;  $P=0,0447$ ); Cosentino ( $F=2,34$ ;  $P=0,0041$ ), López ( $F=4,51$ ;  $P=<0,0001$ ) y Branvatti&Branvatti ( $F=2,19$ ;  $P=0,0011$ ) (Figura 2).

Figura 2: Valores medios y desvíos de la variable diámetro para los 28 clones en los distintos sitios.



Luego se ajustó un modelo estadístico para modelar el efecto de la interacción y como resultado de esto, solo los clones 6 y 25 fueron significativamente ( $P<0,05$ ) superiores al testigo Australiano 129/60 (clon 19), que es el clon más plantado actualmente en la región. Otros clones, como el 23, 24,

4 y 9, tuvieron un crecimiento menor ( $P < 0,10$ ) pero mostraron buenas características fenotípicas; y el resto de los clones evaluados presentaron un comportamiento similar.

Si bien se tienen resultados muy preliminares de crecimiento, dado que recién se considerarán consistentes a partir del quinto año de evaluación, 10 de estos clones (4, 5, 6, 7, 9, 16, 18, 23, 25 y 28) presentaron un buen balance para todas las variables consideradas y fueron instalados en 2015 en un ensayo comparativo clonal utilizando un diseño de bloques al azar con parcelas de 9 plantas, y en tres ensayos en 2016, a fin de corroborar con un mayor número de individuos el comportamiento presentado en la red. Asimismo, vale la pena resaltar que si bien estos materiales presentan un comportamiento promisorio para culminar la fase de selección los ensayos deberán alcanzar la edad de corte para poder extraer las muestras para la evaluación de las características físicas y mecánicas y las pruebas preliminares de calidad industrial de acuerdo a los estándares solicitados por las empresas del sector. De este modo caracterizar su calidad industrial y así liberarlos al mercado.

#### 4. CONCLUSIÓN

Los resultados presentados en este trabajo reflejan que el programa de mejoramiento genético de INTA está avanzando de acuerdo con las características de todo proceso de mejora: continuo, acumulativo, competitivo y dinámico [40]. A través de los ciclos anuales de hibridación controlada se ha logrado incrementar la variabilidad genética de la población base y dar continuidad al proceso de selección multietapa (pues se tienen genotipos promisorios en evaluación en todas las fases). Esto permitirá seguir obteniendo clones que no solo mejoren y diversifiquen la actual oferta del mercado que además de crecimiento y sanidad posean una excelente aptitud de la madera de usos sólidos de alto valor probada a través de los estándares de la industria. Esto es clave para producir ganancias efectivas en cada ciclo y continuar con el mejoramiento de modo sostenible.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Sr. Sergio Rossi, auxiliar técnico de la E.E.A. Delta del Paraná-INTA, por el compromiso en las tareas de campo. Al Sr. José Luis Cosentino y a los integrantes del Grupo de Consulta Mutua del Río Carabelas por el apoyo al Programa, permitiendo la realización de ensayos en sus establecimientos y por el esmerado cuidado de los mismos. A la Lic. Nora Abbiati de la Cátedra de Biometría de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Lomas de Zamora, por la ayuda con los análisis estadísticos.

#### REFERENCIAS

- [1] Isebrands, J.G.; Richardson, J. Introduction. In: Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment. Isebrands, J.G.; Richardson, J. (Eds.). FAO. (2014) 1-7.
- [2] Dickmann, D.I. An overview of the genus Populus: Dickmann, D.I.; Isebrand, J.G.; Eckenwalde, J.E.; Richardson, J. (Eds.) In: Poplar culture in North America. NRC Research Press. National Research Council of Canada. Ottawa. Canada. (2001). 1-42.
- [3] Isebrands, J.G.; Karnosky, D.F. Environmental benefits of poplar culture. In: Poplar Culture in North America. Dickmann, D.I.; Isebrands, J.G.; Eckenwalder, J.E.; Richardson, J. (Eds.). NRC Research Press, Ottawa, Canada. (2001). 207–218.
- [4] Pilipovic, A.; Orlovic, S.; Nikolic, N.; Galic, Z. 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. 6 pp. (2006).
- [5] Dillen, S.Y.; Rood, S.B.; Ceulemans, R. Growth and Physiology. Jansson, S. et al. (Eds.) In: Genetics and Genomics of Populus: Plant Genetics and Genomics: Crops and Models 8. Springer Science. (2010). 39-63.



- [6] Borodowski E.D.; Suárez, R.O. El cultivo de álamos y sauces: su historia en el Delta del Paraná. SAGPyA Forestal 32. (2004). 5-13.
- [7] Alcobé, F.; García, D.; Bonomo, I.; Peirano, S.; Norverto, C.; Corinaldesi, L.; Brandan, S.; Von Haeften, C.; Irigoín, N.; Marcovecchio, J.; Di Marco, E.; Benitez, R.; Clemente, N.; Gaute, M.; Yorio M. Argentina: Plantaciones forestales y gestión sostenible. Proyecto Forestal GEF 090118, UCAR, DPF-MAGyP. (2015). 15 pp.
- [8] Borodowski E.D.; Signorelli, A.; Battistella, A. Salicáceas en el Delta del Paraná: situación actual y perspectivas. Jornadas de Salicáceas - 4to Congreso Internacional de las Salicáceas en Argentina. La Plata. ISSN 1850-3543. (2014). 13 pp.
- [9] Castro, G. Usos actuales y posibilidades futuras de la madera de álamo. Jornadas de Salicáceas. Buenos Aires. (2006). 80-88.
- [10] Marcó, M. Conceptos generales de mejoramiento genético forestal y su aplicación a los bosques cultivados de Argentina. En: Mejores árboles para más forestadores. Ed. Norverto, C. (2005). 1-16.
- [11] White, T.; Adams, T.; Neale, D. Tree improvement. In: Forest genetics. CABI Publishing. (2007). 682 pp.
- [12] Stanton, B.J.; Serapiglia, M.J.; Smart, L.B. The Domestication and Conservation of Populus and Salix Genetic. In: Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment. Isebrands, J.G.; Richardson, J. Ed. FAO. (2014). 124-99.
- [13] Ragonese, A.E. Fitotecnia de salicáceas en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Castelar (INTA). Revista de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria 41(6). (1987). 5-30.
- [14] Riemenschneider, D.E.; Stanton, B.J.; Vallée, G.; Périnet, P. Poplar breeding strategies. In: Poplar culture in North America. Dickmann, D.I.; Isebrand, J.G.; Eckenwalde, J.E.; Richardson, J. (Eds.). NRC Research Press, Ottawa. Canada. (2001). 43-76.
- [15] Hazel, L.N.; Lush, J.L. The efficiency of three-methods of selection. Journal of Heredity 33. (1942). 393-399.
- [16] Bisoffi S; Gullberg U. Poplar breeding and selection strategies. In: Biology of Populus and its implications for management and conservation. Ed: Stettler RF, Bradshaw HD Jr., Heilman PE, Hinckley TM. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada. (1996). 139-158.
- [17] Alonzo, A. Estado actual del mejoramiento de Salicáceas en la Argentina. Actas del Simposio sobre Silvicultura y Mejoramiento genético de especies forestales. Buenos Aires. CIEF. Tomo I. (1987). 157-171.
- [18] Piussan, C. Mejorar para competir. Campo y tecnología. INTA. Año IV, N° 19. (1995). 56-58.
- [19] Ragonese, A.E. Fitotecnia de Salicáceas en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. INTA. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Tomo XLVII N° 2. (1993). 35 pp.
- [20] Sancho, R.; Alonzo, A.; Fernández, A. Informe preliminar sobre nuevos clones de álamo obtenidos en el Delta del Paraná. IDIA. Suplemento Forestal N° 8. INTA. (1975). 95-101.
- [21] Cortizo, S. Subprograma Álamos para el Delta del Paraná. 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. Ed. Norverto. C. (2005). 137-160.
- [22] Steenackers, V. Poplars and willows in the 21st century. What can research do to meet the needs of society? Proceedings of the 21th Session of the International Poplar Commission. Poplar and Willow Culture: Meeting the Needs of Society and Environment. (2000).
- [23] Bisoffi, S. Recent developments of poplar breeding in Italy. Proceedings of recent developments in poplar selection and propagation techniques. IUFRO. (1989). 1-28.
- [24] Cortizo, S. Mejoramiento genético del álamo, una ciencia en apoyo a la producción forestal sostenible. Tercer Congreso Internacional de las Salicáceas en Argentina. Neuquén. Argentina. (2011). 14 pp.
- [25] Cortizo, S. Mejoramiento genético del álamo. Jornadas de Salicáceas. Buenos Aires. (2006). 102-106.
- [26] Cortizo, S.C. Viveros forestales: un elemento clave en la transferencia de clones de Salicáceas desde el obtentor al sector productivo. Actas del Congreso Nacional de Viveros Cítricos, Forestales y Ornamentales-INASE. Posadas, Misiones. (2015).
- [27] Cortizo, S.; Cerrillo, T.; Thomas, E.; Monteverde, S. Subprograma Salicáceas (*Salix* y *Populus*). En Libro: Domesticación y Mejoramiento de Especies Forestales. Martín A. Marcó et al. Componente Plantaciones Forestales Sustentables del Proyecto de Manejo Sustentable de Recursos Naturales BIRF 7520. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Agroindustria. Unidad para el Cambio Rural (UCAR) (2016).

- 422 p. Versiones en castellano: ISBN 978-987-1873-40-1 (versión impresa) e ISBN 978-987-1873-42-5 (versión electrónica). Versión en inglés: ISBN 978-987-1873-52-4.
- [28] Alonzo A. Informe Año 1987: Programa Árboles Forestales-INTA. (1988).
- [29] Stanton B.J. & Shuren R. Controlled breeding procedures: a manual of method and techniques for breeding eastern cottonwood. (2001). 1-31.
- [30] Monteverde, S.; Cortizo, S. Hibridaciones intra e interespecíficas: avances en la obtención de variabilidad genética del Programa de Mejoramiento de Álamo de INTA. En: VI Reunión GEMFO. López, J.A.; Cortizo, S. (ed.) - 1a ed. – CABA. Ediciones INTA (2014). 32-36.
- [31] Chambers, P.G.S.; Borralho, N.M.G. Importance of survival in short-rotation tree breeding programs. *Can J For Res* 27. (1997). 911–917.
- [32] Gezan SA, White TL and Huber DA. Achieving higher heritabilities through improved design and analysis of clonal trials. *Can J For Res* 36. (2006). 2148–2156.
- [33] Zamudio F, Wolfinger R, Stanton B and Guerra F. 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. (2008). 299–313.
- [34] SAS. Versión 9.4. SAS for Windows. SAS Institute, Cary, North Caroline, USA. (2014).
- [35] Cerrillo, Teresa; Álvarez, Javier A.; Álvarez, Jorge L.; Battistella, Agustín; Braccini, Celina; Casaubón, Edgardo; Ceballos, Darío; Cortizo, Silvia; Fernández Tschieder, Ezequiel; Fernández, Patricia; Faustino, Laura; Fracassi, Natalia; García Cortés, Manuel; González, Adrián; Grieco, Leda; Hemming,; Landi, Lucas; Mema, Vanesa; Monteverde, Silvana; Mujica, Gerardo; Olemberg, Demián. La forestación de salicáceas como aporte al desarrollo sustentable del Delta del Paraná. *Actas XXIX Jornadas Forestales de Entre Ríos. EEA-INTA Concordia, Entre Ríos.* (2015). 14 pp.
- [36] Stanton, B.J.; Villar, M. Controlled reproduction of Populus. In: *Biology of Populus and its implications for management and conservation.* Stettler, Bradshaw Jr., Heilman, Hinckley (Eds.). NRC Research Press, Ottawa, Canada. (1996). 113-138.
- [37] Monteverde, M.S.; Cortizo, S.; Abbiati, N. Resultados de la red 2013 de ensayos comparativos clonales del Programa de Mejoramiento de Álamo de INTA. *Trabajos técnicos de la VII Reunión GeMFO, San Miguel de Tucumán, Tucumán.* Compilado por Juan Adolfo López; Luis Fernando Fornes. 1a ed. - Bella Vista: Juan Adolfo López. Archivo Digital: ISBN 978-987-42-1792-9. (2016).
- [38] Monteverde, M.S.; Cortizo, S.; Abbiati, N. Poplar Breeding Program in Argentina: 2013 comparative clonal trial network status. *Abstracts of Submitted Papers. 25th Session of the International Poplar Commission, jointly hosted by FAO and the German Federal Ministry of Food and Agriculture, Berlin, Germany* FAO, Rome. (2016).
- [39] Libby, WJ. 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. (1982). 342-360.
- [40] Favret, Edwald. El mejoramiento genético del trigo en la Argentina. Informe de la 1era. Reunión: *Mejoradores y Patólogos de trigo en los países de la zona sur.* Editores: Caballero D.,H.; Tavella, C.M.; Gatti de De León, I. La Estanzuela, Colonia, Uruguay. CIAAB; IICA; OEA. (1979). 93-103.