

Mejoramiento genético del álamo

CORTIZO, S.^{1,2}.

1. EEA Delta del Paraná – INTA.
2. Cátedra de Genética, Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.
scortizo@correo.inta.gov.ar

Resumen

El desarrollo forestal de una región depende en gran medida de la producción de material mejorado que asegure la adaptabilidad, productividad y sostenibilidad del recurso forestal. En este esquema, tanto la selección de especies y clones adaptados a los requerimientos actuales, como la disponibilidad de variabilidad genética para afrontar los nuevos desafíos tienen una importancia fundamental. La mayor parte de los programas de mejoramiento de álamo utilizan principalmente dos estrategias: los cruzamientos interespecíficos y la selección clonal. Solo algunos programas han incorporado como rutina algunas herramientas de biología molecular relacionadas principalmente con el uso de marcadores moleculares. Asimismo se han desarrollado álamos transgénicos que incorporaron principalmente genes de resistencia a insectos y se cumplimentó la secuenciación del genoma.

Palabras claves: Mejoramiento genético, *Populus*, selección, hibridación, biotecnología.

El desarrollo forestal de una región depende en gran medida de la producción de material mejorado que asegure la adaptabilidad, productividad y sostenibilidad del recurso forestal.

En este esquema, tanto la selección de especies y clones adaptados a los requerimientos actuales, como la disponibilidad de variabilidad genética para afrontar los nuevos desafíos tienen una importancia fundamental (Marcó, 2005).

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.

A diferencia de los cultivos agrícolas, en donde el proceso de mejora o domesticación comenzó hace aproximadamente 10.000 años, los programas de mejoramiento de álamo se encuentran en sus primeras etapas de desarrollo.

El proceso de domesticación consiste en desviar el consumo de energía en sistemas que presentan ventajas adaptativas para la supervivencia en rodales naturales, hacia la producción de madera en sistemas estrictamente controlados (Bradshaw and Strauss, 2001).

Árboles con una arquitectura de copa que le permitan capturar la luz de forma más eficiente, que concentren la producción de fotosintatos en el tallo, que presenten menor cantidad de ramas, mayor largo de entrenudos, mejor aptitud y comportamiento en los procesos de transformación de la madera para fines específicos, entre otras características, mejorarán la calidad y cantidad del producto final.

La mayor parte de los programas de mejoramiento de álamo que se conducen en distintas partes del mundo utilizan principalmente dos estrategias: los cruzamientos interespecíficos (Ej. *Populus deltoides* x *Populus nigra*) y la selección clonal (Bisoffi and Gullberg, 1996).

Para poder llevar a cabo estas tareas se necesita disponer de poblaciones con amplia variabilidad genética, la cual se manifiesta a través de diferencias entre los individuos que la componen.

Estas poblaciones pueden obtenerse mediante recolecciones en donde se desarrolla naturalmente el cultivo o mediante introducciones desde otros programas de mejora o de bancos de germoplasma. Para el caso particular del álamo, no se dispone de material en bancos de germoplasma debido a la imposibilidad de conservación de las semillas, pero existen numerosas colecciones vivas en distintos Institutos, Jardines Botánicos e Universidades alrededor del mundo de las cuales puede obtenerse material.

La Argentina no cuenta con álamos nativos, de modo que debe valerse de la introducción de materiales exóticos (Cortizo, *et al.* 2005). De las distintas especies que crecen naturalmente alrededor del mundo, *P. deltoides* es la más importante en todos los programas de mejoramiento desarrollados a nivel mundial debido principalmente a la amplia diversidad genética existente en su área de distribución natural (Steenackers, 2000).

En nuestro país se han introducido a nuestro país cuatro: *P. deltoides*, *P. nigra*, *P. alba* y *P. trichocarpa*. De éstas, solamente las dos primeras son las que se encuentran ampliamente distribuidas en nuestras plantaciones comerciales.

Sin embargo, aún los países que cuentan con álamos nativos en donde pueden realizarse campañas de recolección, se recurre a introducciones desde otros países o regiones, dado que no siempre se encuentra la variabilidad deseada. Así por ejemplo, no se dispone de individuos resistentes a cancrisis en poblaciones de *Populus trichocarpa*, la cual debe ser introducida desde otras especies tales como *P. deltoides*.

Para mejorar las poblaciones base, el método más ampliamente utilizado es el selección recurrente que incluyen fundamentalmente dos etapas:

- La concentración de alelos favorables.
- La recombinación de alelos presentes en distintos individuos.

El éxito de proceso es medido a través de la ganancia genética entre las dos poblaciones y en general está relacionado con la acumulación de efectos aditivos.

Otra estrategia ampliamente utilizada para generar variabilidad son los cruzamientos entre individuos de la misma especie (intraespecíficos) o entre individuos de distintas especies (interespecíficos). Los híbridos interespecíficos del género *Populus* son bastante comunes en la naturaleza y comenzaron a cultivarse en el siglo XVIII. Sin embargo, el primer híbrido desarrollado por el hombre data de comienzos del siglo XX (Henry, 1914).

Los híbridos combinan las características de sus padres de una manera intermedia. Dado que se hereda tanto lo bueno como lo malo, es muy recomendable utilizar los mejores genotipos como padres, por lo cual es crucial la existencia de programas de mejoramiento para las especies puras (Denison y Kietzka, 1992).

Asociado a la técnica de hibridación aparece el concepto de superioridad híbrida, para indicar complementariedad (debida a genes de acción aditiva) cuando el híbrido combina características deseadas de ambos padres y heterosis o vigor híbrido (debida a genes de acción no aditiva), toda vez que el híbrido es superior, generalmente en términos de crecimiento, a la media de los dos padres.

Así por ejemplo en los híbridos interespecíficos de *Populus x canadensis*, combinan características de ambos padres. El parental *Populus deltoides* aporta rápido crecimiento, buena calidad de madera y resistencia a la mayoría de las enfermedades de la hoja y la corteza, mientras que *P. nigra* suministra resistencia a virus y buena habilidad de enraizamiento. Los híbridos interespecíficos de *P. x canadensis* se encuentran bien adaptados a las zonas de regadío, no así a las condiciones del Delta en donde rápidamente manifestaron una caída de rendimiento por la susceptibilidad a enfermedades, especialmente a cancrisis.

Un ejemplo de vigor híbrido lo constituyen los híbridos de *Populus x interamericana*, donde la heterosis observada para la variable crecimiento puede ser explicada por la acción complementaria de alelos dominantes en altura y en diámetro provenientes de *P. trichocarpa* y *P. deltoides* respectivamente (Bradshaw and Stettler, 1995).

Los híbridos tienen un gran potencial como exóticas toda vez que pueden generarse árboles para ambientes específicos o ambientes marginales (sitios de baja productividad con algún elemento de riesgo, Van Wyk *et al.*, 1988), con mayor resistencia a heladas, plagas y enfermedades, o con ciertas propiedades de madera. En la mayoría de los casos la disponibilidad y accesibilidad de material floral y la facilidad con que se propaguen vegetativamente los materiales híbridos, contribuye de gran manera a su utilización operacional.

Otras tecnologías menos utilizadas para generar variabilidad son la introducción de genes mediante ingeniería genética y la mutagénesis.

Una vez obtenida una base genética suficientemente amplia se puede empezar con la selección clonal.

Esta estrategia permite la maximización de los beneficios en el corto plazo y se ve favorecida por la relativa facilidad y precisión de los métodos de evaluación de clones y la

facilidad de propagación vegetativa.

El criterio de selección uniformemente aplicado a todas las especies forestales es el crecimiento, debido a que es la base biológica del retorno económico de las plantaciones. Otras características ampliamente utilizadas son rectitud del fuste, disposición y características de las ramas, resistencia plagas y enfermedades específicas y a condiciones desfavorables del ambiente (sequías, inundaciones, bajas temperaturas, entre otras).

En los últimos años una mayor demanda de calidad de la materia prima por parte de las industrias (Cortizo *et al.*, 2004), han obligado a los mejoradores a introducir en sus programas criterios de selección de calidad de madera. Este tipo de selección suele resultar dificultosa pues los criterios a utilizar dependen del objetivo de producción. Por ejemplo, si la madera es destinada a la producción de pulpa la blancura, el tamaño de las fibras y bajos contenidos de lignina son altamente apreciados, pero si la madera será destinada a usos sólidos la estabilidad dimensional, el colapso, etc. resultan más importantes. Sin embargo, la densidad básica de la madera es utilizada como criterio universal de selección, pues es un buen indicador de calidad independientemente del destino de la producción y fue la primera en ser incorporada (Pryor and Willing, 1983; Zobel, 1992; Malan *et al.*, 1996). Más recientemente, algunos programas han incorporado otros atributos de gran importancia como tensiones de crecimiento, estabilidad dimensional, colapso, entre otras (Cortizo *et al.* 2004).

Dada la gran variabilidad de criterios que deben ser tenidos en cuenta a la hora de realizar la selección, se han generado distintos métodos. Entre los más empleados se pueden citar:

- Selección masal: la selección de los árboles se basa solamente en su fenotipo (aparición externa). Resulta efectiva cuando se seleccionan caracteres de alta heredabilidad como la forma, la resistencia a enfermedades y la densidad de la madera.

- Test de progenies: la selección de los árboles se basa en la performance de sus progenies. Es un método muy preciso de selección usado frecuentemente para raleo genéticamente huertos semilleros clonales.

- Selección familiar + intra familiar: se seleccionan primero las mejores familias y luego los mejores árboles dentro de ellas. Es un método efectivo en caracteres de baja heredabilidad como el volumen, usado frecuentemente en programas avanzados de mejoramiento genético.

Existen además otros métodos para la selección de varios caracteres simultáneos. Entre los más usados pueden mencionarse:

- Selección por mínimos independientes: en la cual se establecen valores mínimos para cada carácter de interés. Es muy usado en programas de mejoramiento.

- Índice de selección: es una forma de seleccionar características múltiples, combinando información de todas ellas en un solo índice.

Los índices de selección en general son los más eficientes, aunque suele ser difícil establecer el peso que se le debe asignar a cada una de las variables consideradas.

En la práctica los mejoradores utilizan una mezcla de estrategias definidas en base a criterios biológicos y logísticos. Así por ejemplo, es posible seleccionar adecuadamente individuos resistentes a enfermedades en etapas tempranas, retrasando la selección por velocidad de crecimiento, forma y características de la madera.

La existencia de alta correlación genética entre edades juvenil-adulta ha alentado a los investigadores a generar métodos no destructivos, rápidos y efectivos que posibilitan la selección temprana de caracteres, tales como ciertos atributos de la madera (Greaves *et al.*, 1995; Turner, 2001; Atwood *et al.*, 2002; Bailleres *et al.*, 2002; Gwaze *et al.*, 2002).

En álamos la posibilidad de producir grandes cantidades de individuos y capturar la variación genética total (efectos aditivos y no aditivos) mediante clonación, hace necesario aplicar un sistema multietapa a través de las generaciones de multiplicación vegetativa. (Riemenschneider *et al.*, 2001).

Primero se evalúan los individuos producidos por polinización abierta o controlada durante dos o tres años, sobre la base del crecimiento y la resistencia a factores abióticos negativos. Los individuos seleccionados son clonados y evaluados en estaqueros, considerando como criterios principales la resistencia a plagas y enfermedades, la capacidad de producir raíces adventicias, las características de las guías (ramificación, rectitud, etc) y el vigor inicial.

Los clones seleccionados son instalados en ensayos comparativos de crecimiento con testigos locales, utilizándose diseños apropiados a cada sitio, con varias repeticiones y parcelas de 4 a 9 plantas. En estos ensayos además de las características antes mencionadas,

se incluyen parámetros sobre calidad de madera. Aquellos que presentan buen comportamiento son testeados nuevamente en ensayos de productividad, donde se utilizan parcelas de mayor tamaño instaladas en distintos sitios. A través de los ensayos de productividad a campo, además de la evaluación del rendimiento de madera aprovechable, se realizan estudios para caracterizar calidad industrial de los rollizos obtenidos.

Una vez seleccionados los clones que serán destinados a la instalación de plantaciones comerciales es necesario caracterizarlos e inscribirlos en el registro de variedades del país en donde se desarrolla el programa y/o en el Registro Internacional de Clones de la Comisión Internacional del Álamo.

La identificación clonal de Salicáceas se basa en el uso de las características morfológicas y fenológicas establecidas por UPOV (*Union for the Protection of New Varieties of Plants*).

Además de las estrategias descritas anteriormente que son utilizadas en todos los programas de mejoramiento, en la última década a nivel internacional se observa un incremento en la investigación en biotecnología forestal y sus aplicaciones. Hay estudios de estimación de biodiversidad, taxonomía, mapeo, identificación, etc.

Dentro de estas aplicaciones los marcadores han sido particularmente útiles como fingerprint tanto a nivel científico como comercial, aunque su utilización a nivel productivo no ha sido ampliamente citada. Los programas de mejoramiento más avanzados han incorporado a los marcadores moleculares para facilitar el proceso de selección de genes específicos (en general los relacionados a la resistencia a roya, el crecimiento, la duración del período vegetativo, etc). La aplicación de esta metodología fue posible gracias a la generación de mapas genéticos de las características de interés como los desarrollados en Estados Unidos y Francia. En un principio los marcadores moleculares y bioquímicos más usados fueron las isoenzimas y los RAPDs y posteriormente se incorporaron los microsatélites y AFLPs.

Asimismo, el álamo fue el primer árbol en ser modificado genéticamente en 1986 y se dispone hoy día de plantaciones a escala comercial en China de dos clones de álamo, resistentes a insectos que atacan la hoja, obtenidos por transformación.

Hoy en día se dispone de la secuencia de su genoma, la cual fue dilucidada por el Departamento de Energía de los Estados.

Hasta el momento las técnicas generadas por la biología molecular, salvo los marcadores moleculares, han sido más ampliamente utilizadas en investigación básica que en los programas de mejoramiento.

A fin de continuar avanzando en sus respectivos programas los mejoradores deberán:

- desarrollar nuevos protocolos de muestreo y métodos no destructivos que puedan ser utilizados a gran escala a efectos de explorar y evaluar la diversidad genética de las actuales poblaciones de mejoramiento,
- incrementar la utilización de las herramientas generadas recientemente por la biotecnología para entender y manipular la información genética en los programas de mejoramiento.

En este sentido, la utilización de marcadores moleculares permitirá caracterizar y cuantificar la diversidad genética en poblaciones forestales, detectar las fuentes de variación entre y dentro de orígenes, razas y familias e identificar a los genes involucrados en las características de interés (QTLs, genes candidatos).

Asimismo, la disponibilidad de mapas de ligamiento y de programas de secuenciación del genoma de las principales especies forestales de interés junto a estudios comparativos entre especies, están permitiendo entender el funcionamiento de características complejas tales como crecimiento, resistencia a enfermedades y plagas, tolerancia a frío, sequía, etc.

Los genes una vez caracterizados podrán ser manipulados y las ganancias genéticas logradas a través de su incorporación a genotipos de alto valor, perpetuadas mediante propagación vegetativa.

Bibliografía

- Atwood, A.; White, T. L. and Huber, D. A. 2002. Genetic parameters and gains for growth and wood properties in Florida source loblolly pine in the southern United State. *Can. J. For. Res.* 32: 1025-1038
- Bailleres, H.; Davrieux, F. and Ham-Pichavant, F. 2002. Near infrared analysis as a tool rapid screening of some major wood characteristics in a Eucalyptus breeding program. *Ann. For. Sci.* 59: 479-490

- Bisoffi, S., and Gullberg, U. 1996. Poplar breeding and selection strategies. In biology of *Populus* and its implications for management and conservation. Part I. Chapter 6. Edited by R.F. Stettler, H.D. Bradshaw, Jr., P.E. Heilman, and T.M. Hinckley. NRC Research Press, National Research Council of Canada. Ottawa, Ontario. Canada: 139-158.
- Bradshaw, H.D., Jr., and Stettler, R.F. 1995. Molecular genetics of growth and development in *Populus*. 4. Mapping QTLs with large effects on growth, form, and phenology in a forest tree. *Genetics*, 139: 963-973.
- Bradshaw, H.D., Jr., and Strauss, S.H. 2001. Breeding strategies for the 21st Century: domestication of poplar. In *Poplar Culture in North America*. Part B, Chapter 14. Edited by D.I. Dickmann, J.G. Isebrands, J.E. Eckenwalder, and J. Richardson. NRC Research Press, National Research Council of Canada. Ottawa, Ontario. Canada: 383-394.
- 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. III Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. AFOA. ID 156 (ISSN 1669-6783): 10 pp.
- Cortizo, S.; Mema, V. y Pathauer, P. 2004. Evaluación de clones de álamo en el Delta del Paraná. Actas de las 11as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado. Misiones. Facultad de Ciencias Forestales. UNAM. E.E.A. Montecarlo. INTA. (ISSN 1668-5385): 5 pp.
- Denison, N.P. and J. E. Kietzka. 1992. The use and importance of hybrid intensive forestry in South Africa. IUFRO Conference: Resolving Tropical Forest resource Concerns Through Tree Improvement, Gene Conservation and Domestication of New Species. Cartagena and Cali, Colombia, 348-358.
- Greaves, B.L.; Borralho, N.M.G. and Raymond, C.A. 1995. Use of Pilodyn for indirect Selection of basic density in *Eucalyptus nitens*. CRCTHF-IUFRO Conference, Hobart, Australia 19-24 February: 106-109.
- Gwaze, D.P.; Harding, K.J.; Purnell, R.C. and Briggwater, F.E. 2002. Optimum selection age for wood density in loblolly pine. *Can. J. For. Res.* 32: 1393-1399.
- Malan, F.S., Retief, R.J. and Dyer, S.T. 1996. Improvement of South African Timber Resource: Concerns and Proposed Strategies. *South African Forestry Journal* 175: 61-65.
- Marcó, M. 2005. Conceptos generales del mejoramiento genético forestal y su aplicación a los bosques cultivados de Argentina. Mejores Arboles 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: 9-17.
- Pryor, L.D. and R.R. Willing. 1983. Growing and breeding poplars. Canberra Publishing and Printing Co. Raymond, C. A. and Apiolaza, L. A. 2004. Incorporating wood quality and deployment traits in *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*. In: *Plantation Forest Biotechnology for the 21st Century*. Editors: Christian Walter and Mike Carson. ISBN: 81-7736-228-3.: 87-89
- Riemenschneider, R.E.; Stanton, B.J., Vallée, G. and Périnet, P. 2001. Poplar breeding strategies. Ed: Dickmann, D.I., Isebrand, J.G., Eckenwalde, J.E. and Richardson, J. *Poplar culture in North America*. NRC Research Press, National Research Council of Canada. Ottawa, Ontario. Canada: 43-76.
- Steenackers, V. (2000). 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*
- Turner, P. 2001. Strategic and tactical options for managing the quality and value of eucalypt plantation resource. IUFRO Conference "Developing the Eucalypt of the future". Actas en CD: 17 p.
- Van Wyk, G., A.P.G. Schonau and P.P. Schon. 1988. Growth potential and adaptability of young eucalypt hybrids in South Africa. Proceedings "Breeding Tropical Trees" IUFRO, Pataya, Thailand. P.348-358.
- Zobel, B. 1992. Silvicultural effects on wood properties. IPEF International. Piracicaba, S.P. Brazil. 2: 31-38.