

## La biotecnología forestal

Lic. Cintia Acuña  
INTA - CONICET

### El mejoramiento forestal

¿Cuánto tiempo demanda el mejoramiento de árboles forestales? Si se toma en cuenta el ritmo vertiginoso de los avances científicos y tecnológicos en los últimos años, el tiempo que debe esperar un investigador desde la germinación de una semilla hasta que el ejemplar alcance su plenitud de adulto es, sin dudas, mucho tiempo. Los años que impone la genética forestal dependen de la especie que se desee mejorar, pero en general requiere mucho más tiempo que otras plantas en las que, según la especie y el método de cultivo, se puede tener una o más generaciones por ciclo anual. A pesar de sus dificultades, el mejoramiento genético de árboles forestales es un desarrollo que avanza y rinde sus frutos.

Entre las características de interés que se busca mejorar en un árbol comercial se encuentran el crecimiento, la forma del tronco y la calidad de la madera. En definitiva, se busca un aumento de la productividad y de la calidad del producto. Además, estos desarrollos constituyen una alternativa que permitiría disminuir la presión que provoca la permanente extracción de productos derivados de los bosques nativos.



Originalmente el mejoramiento de los árboles se realizaba teniendo en cuenta sólo sus características agronómicas. En la actualidad, y gracias al avance de las técnicas de biología molecular, se incluye también en la evaluación el estudio del ADN de los árboles de interés. El proceso de mejoramiento genético consiste en desarrollar poblaciones de árboles con una o varias características modificadas y su propagación por medio de la clonación o reproducción asexual, o por medio de sus semillas.

Como la mayoría de las características de interés económico están determinadas por el genotipo, la clave del éxito del mejoramiento se basa en el manejo correcto de los recursos genéticos disponibles. Con los árboles seleccionados por sus buenas características, se pueden construir “huertos semilleros”, plantaciones donde se producen y extraen semillas de alta calidad genética que se producen por el cruzamiento de los árboles mejorados.

### La biotecnología en el sector forestal

Las biotecnologías modernas que se utilizan actualmente en el sector forestal pueden clasificarse en tres grandes categorías:

#### ❖ Tecnologías de multiplicación vegetativa

Estas técnicas tienen como objetivo la producción de materiales uniformes a gran escala. El cultivo de tejidos vegetales en condiciones de laboratorio también puede utilizarse para seleccionar características tales como la resistencia a enfermedades y la tolerancia a herbicidas, a metales, a altas concentraciones de sal y a las bajas temperaturas. La micropropagación (propagación clonal por cultivo *in vitro*) ya se utiliza en las especies agrícolas y hortícolas, y existen técnicas para aplicarla a un cierto número de especies forestales. Esta técnica proporciona numerosas ventajas, entre ellas:

- Evita el riesgo de proliferación de patógenos, ya que se realiza en condiciones de esterilidad.
- Permite estudiar diversos procesos fisiológicos.
- Se pueden obtener gran cantidad de individuos en espacios reducidos.
- Permite la obtención de individuos uniformes.
- Facilita el transporte del material.

Si la propagación de árboles con miras al mejoramiento genético se hace a partir de semillas, no es posible saber cómo será ese árbol hasta su estado adulto, ya que los árboles tienen ciclos de vida largos. Es por eso que los investigadores comenzaron a usar nuevas técnicas para propagar árboles que han mostrado tener buenas características: se eligen los ejemplares que mejor representan la

característica deseada, y a partir del cultivo de sus células se obtienen individuos genéticamente idénticos al original (clones). Los clones se logran mediante técnicas de organogénesis (se induce la formación de órganos o tallos) y de embriogénesis somática o asexual (en el cultivo se reproducen todas las fases de desarrollo de un embrión, hasta generar la nueva planta).

Con estas técnicas se pueden obtener árboles con un sello genético característico, genéticamente diferenciados, también llamados "élite".

Las actividades de micropropagación se están desarrollando en al menos 64 países en todo el mundo, aunque los mayores desarrollos se concentran en Asia, Europa y Norteamérica. Estas actividades incluyen a más de 80 géneros de especies forestales, entre las que se encuentran: *Pinus*, *Picea*, *Eucalyptus*, *Acacia*, *Quercus*, *Tectona*, *Populus* y *Larix*.

#### ❖ **Biotechnologías basadas en marcadores moleculares**

Los marcadores moleculares son fragmentos de ADN que pueden corresponder o no a un gen, y pueden usarse en la biotecnología forestal con los siguientes fines:

- **Identificación genética de árboles.** Los marcadores moleculares son capaces de detectar diferencias entre individuos a nivel de sus ADN, proporcionando el perfil genético preciso de cada organismo estudiado ("DNA fingerprint" o huella dactilar del ADN). En un programa de mejoramiento, esta huella permite diferenciar a los árboles y determinar si hay errores dentro de los cultivos de campo que serían difíciles de reconocer visualmente. Estos errores son frecuentes y pueden tener serias consecuencias económicas.
- **Medir la diversidad genética dentro de las poblaciones.** La aplicación de marcadores moleculares sobre individuos de una misma población permite analizar cuán distintos son a nivel de sus ADN, aún cuando no se detecten diferencias fenotípicas, estimando así la riqueza y variabilidad genética de las especies.
- **Localizar genes que determinan características cuantitativas.** Es posible localizar genes que determinan características económicamente importantes, como la tasa de crecimiento, la adaptabilidad, la forma del tronco y la calidad de la madera (densidad y cantidad de lignina), entre otras. Una vez conocidos esos genes, se pueden seleccionar a aquellos árboles que tengan los alelos deseados, sin necesidad de esperar años hasta que el árbol sea adulto. Este procedimiento se denomina *Selección Asistida por Marcadores (MAS)* y permite elegir, en las primeras etapas del crecimiento, a aquellos árboles que tendrán buenas características de adultos, permitiendo al productor ahorrar tiempo y trabajo.
- **Otras aplicaciones.** Los marcadores moleculares pueden, además, proporcionar información sobre los patrones migratorios (hacia dónde y en qué medida se dispersa el polen o las semillas), los sistemas de reproducción (si hay autofecundación y reproducción cruzada), y la paternidad y grado de parentesco entre árboles, por lo que constituyen instrumentos útiles para la formulación y seguimiento de programas de conservación de árboles forestales.

#### ❖ **Modificación genética de especies forestales (árboles transgénicos)**

Así como se les puede introducir nuevos genes a la soja o al maíz para que sean tolerantes a herbicidas o resistentes a insectos, a las especies forestales se les pueden incorporar genes que mejoren su crecimiento y la calidad de su madera. Las nuevas características otorgadas a los árboles transgénicos les permiten resistir a los virus e insectos, tolerar a herbicidas y contener menos lignina (el menor contenido de este polímero en la madera permite su mejor remoción en el proceso de fabricación de papel).

Según un informe de la FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), presentado en 2004, se están desarrollando investigaciones con árboles transgénicos en todos los continentes (Figura 1), y por lo menos en 35 países. En 16 de estos países ya se realizan experimentos a campo, mientras que en los restantes la experimentación se restringe a los laboratorios o invernaderos. Hasta la fecha, solamente China ha divulgado el establecimiento de plantaciones aprobadas para su comercialización de álamos genéticamente modificados, que ocupan algo menos de 500 has.

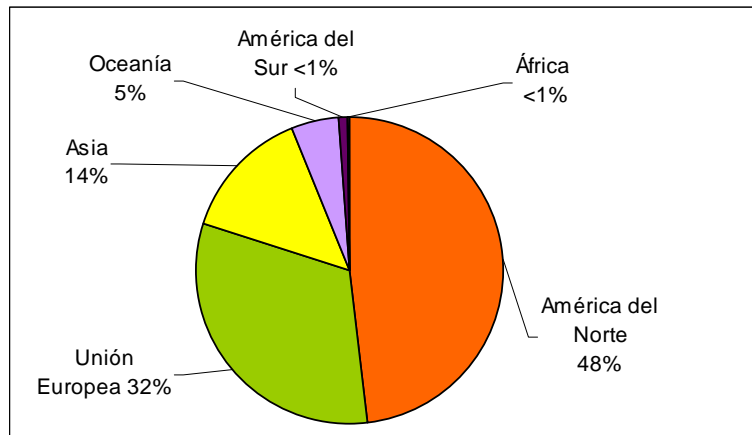


Figura 1: Participación de los continentes en actividades de Investigación en modificación genética de árboles forestales. Tomado del [informe de FAO, 2004](#).

Las investigaciones mencionadas se realizan en 29 géneros de árboles. El primer árbol transgénico desarrollado en 1986 fue del género *Populus* (álamo) y es el más utilizado en este tipo de investigaciones (47% de los árboles transgénicos desarrollados pertenecen a este género), debido a la facilidad con que se pueden transformar genéticamente y propagar vegetativamente. Los otros géneros estudiados son principalmente los *Pinus* (19%), *Eucalyptus* (7%), *Liquidambar* (5%) y *Picea* (5%).

Aproximadamente la mitad de las actividades de modificación genética en árboles se relacionan con métodos de estabilidad genética y expresión genética, genómica funcional y cultivo de tejidos. Del resto de las actividades, las más dominantes son la tolerancia a herbicidas, resistencia a insectos, contenido de lignina, y fertilidad (Figura 2).

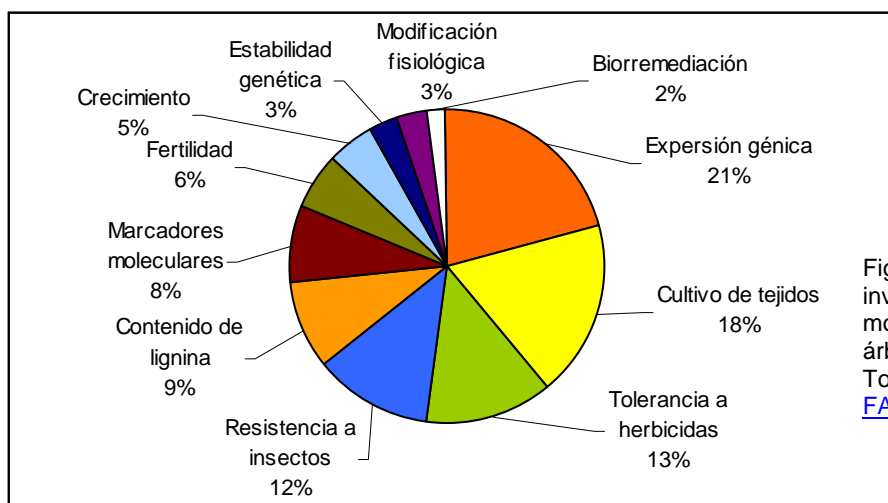


Figura 2: Objetivos de las investigaciones en modificación genética de árboles forestales. Tomado del [informe de FAO, 2004](#).

Ya se han incorporado a los árboles varias características mediante modificación genética, entre las que cabe destacar:

- Resistencia al herbicida glifosato.
- Resistencia a insectos, por introducción de genes de toxinas de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, y que confieren resistencia al ataque de insectos lepidópteros, coleópteros y dípteros.
- Modificación de la cantidad y calidad de lignina: La lignina es un polímero complejo que forma parte de la pared celular vegetal, y junto con la celulosa forman la madera. Los cambios en la composición química de la lignina pueden hacerla más fácilmente extraíble. Esta característica resulta ventajosa, debido a la disminución del empleo de agentes químicos utilizados por la industria papelera para la remoción de la lignina, y en su mayoría contaminantes del medio ambiente. El silenciamiento de alguno de los genes que codifican para las enzimas de la ruta metabólica de la lignina, en plantas transgénicas de *Populus* (álamo), mostró una reducción de la cantidad de lignina, aumento del porcentaje de celulosa en las paredes celulares y rápido crecimiento en condiciones de invernáculo, todas características apreciadas a la hora de obtener pulpa para la fabricación de papel.
- Modificación de la floración: Se desarrollaron árboles transgénicos estériles para prevenir la posible dispersión del polen. Este estudio se realizó en álamo, silenciando la actividad de genes involucrados en la floración.

- Otras características. Se desarrollaron también árboles con resistencia a enfermedades, otros que se utilizan para la biorremediación de contaminantes altamente tóxicos; árboles con mayor eficiencia en la asimilación de nitrógeno; y árboles modificados para la síntesis de las hormonas giberelinas.

El proceso de mejoramiento es dinámico, ya que responde a cambios permanentes que aparecen en las plantaciones, como la aparición de nuevas plagas, enfermedades, cambios climáticos y demandas por desarrollo de nuevos productos del sector forestal. Entre los beneficios potenciales se pueden mencionar: la reducción de los costos al reducir el tiempo de corte de los árboles (debido al mayor crecimiento de los mismos), el mayor aprovechamiento industrial (debido a la mejor forma de los árboles), y el incremento de la productividad (debido a la mejor calidad de la madera obtenida). Pero la biotecnología moderna va más allá, ya que los próximos pasos en materia de árboles transgénicos se dirigen al mejoramiento de muchas características más, como la resistencia a virus y hongos, a las heladas o al frío, a la sequía, a la salinidad, calidad de fibra, capacidad de captura de CO<sub>2</sub>, menor contenido de lignina, producción de celulosa, rápido crecimiento, producción de compuestos de interés farmacológico y fitorremediación.



El éxito de los programas de mejoramiento forestal durante los últimos 50 años indica que hay posibilidades de intensificar la productividad y los rendimientos de forma sostenible utilizando el mejoramiento convencional de los árboles forestales. En este sentido, el uso de árboles genéticamente modificados podría resultar ventajoso en un futuro. Por ahora, la obtención de árboles transgénicos para mejorar características de interés, como la tasa de crecimiento, la adaptabilidad, y la calidad del tronco y de la madera, no es una tarea sencilla.

sticas dependen de un gran número de genes, no se los conocen a todos, y aún son escasos los conocimientos disponibles sobre cómo interactúan entre sí. Sin embargo, la única manera de conservar los bosques nativos es acelerando el crecimiento de las especies cultivadas, para tener montes más productivos. Y eso se logrará incorporando a los programas de mejoramiento genético las nuevas herramientas biotecnológicas. El desafío está en marcha.

#### Fuentes consultadas:

“Mejoramiento y Genética Forestal”. 2003. Equipo Forestal, Estación Experimental INTA Balcarce.

[http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/forest/forest\\_genetica.htm](http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/forest/forest_genetica.htm)

Informe de la FAO, 2004: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/ae574e/ae574e00.pdf>.

Informe de la FAO, 2005. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/y5574s/y5574s05.pdf>

Red de biotecnología forestal, <http://www.rebiofor.org/content.php?content.12>

El futuro de la industria forestal...hoy.

[http://www.bioplanet.net/magazine/bio\\_enefeb\\_2000/bio\\_2000\\_enefeb\\_reportaje.htm](http://www.bioplanet.net/magazine/bio_enefeb_2000/bio_2000_enefeb_reportaje.htm)

“Explora la biotecnología”, <http://www.explora.cl/otros/metro/metrobio/forestal.html>

Página de la FAO sobre silvicultura y biotecnología en el sector forestal.

<http://www.fao.org/biotech/sector5.asp?lang=es>