

IMPORTANCIA DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO A NIVEL MUNDIAL

Roberto Ipinza Carmona¹

INTRODUCCIÓN

En la década del 20, se realizaron en silvicultura los primeros esfuerzos tendientes a la selección y mejoramiento de genotipos superiores. El mejoramiento genético en la forma general como lo conocemos en la actualidad sólo se inició en la década del 50 (Namkoong, et al., 1988), con los trabajos Syrach Larsen (1956). Actualmente el mejoramiento genético constituye una parte operacional de todos los programas de manejo intensivo en el mundo y es una extensión, con algunos ajustes, de las técnicas de mejora genética de los cultivos agrícolas. El mejoramiento genético continuará siendo importante en la industria forestal del siglo XXI y los nuevos avances en biotecnología no harán más que complementar las actividades de selección y de mejora genética futura.

El mejoramiento genético será parte fundamental del manejo forestal intensivo en las próximas décadas y, por lo tanto, de la industria de productos forestales. El estado futuro de la industria forestal dependerá a su vez de la situación de la economía y la política global. Por lo tanto el estado futuro del mundo es crítico para saber el impacto de los programas de mejoramiento genético.

POBLACIÓN MUNDIAL

La población mundial aumenta a una tasa de 250.000 personas por día, lo que significa 100 millones de personas cada año. De acuerdo a esto se estima que para el año 2050 la población mundial alcanzará los 10.000 millones de personas. Desde un punto de vista Maltusiano significa que la demanda por productos forestales aumentará en las próximas décadas.

RECURSOS FORESTALES MUNDIALES

Con base en las estadísticas de 1994 del "World Resources Institute" (cuadro 1), la superficie total de bosques naturales es de 3.300 millones de hectáreas, en comparación a la superficie de las plantaciones que alcanza 130 millones de hectáreas, es decir, una fracción muy pequeña (3%). La producción para uso industrial es de 1500 millones de metros cúbicos y la de leña para combustible de 1800 millones de metros cúbicos; esta última equivale aproximadamente al 54% de total producido.

Estas tendencias arrojan dos conclusiones relevantes para los programas de mejora genética. Primero, existe una tasa de natalidad positiva y una tendencia creciente por preferir productos naturales, por lo que se puede afirmar con bastante certeza que existirá demanda futura por maderas; y segundo, que dado que la oferta chilena de madera no llegaría a más de 50 millones de m³ en el

¹ Ingeniero Forestal. Dr. Ingeniero de Montes. Instituto de Silvicultura. Universidad Austral de Chile. Casilla # 567. Valdivia, Chile.
e-mail: ripinza@valdivia.uca.uach.cl

2015 - actualmente es de 30 millones de m³ (INFOR, 1991, 1995) - esta magnitud es marginal respecto al total de madera que se transa en el mundo.

Las tendencias de la oferta y demanda futuras, también son favorables en cuanto a mayores necesidades de madera, la oferta mundial de madera se caracteriza por un estado de declinación. Es así como la producción de trozas a nivel mundial ha disminuido entre los años 1989 - 1993 a una tasa del 0,4% anual (Fao, 1995), debido a un proceso de deforestación en países subdesarrollados para habilitar terrenos para la agricultura y por los incendios (Jaakko Pöyry Group, 1994), pero principalmente en estos últimos años, debido a las regulaciones ambientales que aplican los gobiernos para restringir la corta en bosques nativos (Sedjo y Lyon, 1996). Respecto a la demanda, ésta es creciente en forma natural, pero tiende a crecer más, debido a la creación de nuevos productos (toallas higiénicas, pañales, otros tableros, etc.), a la apertura de nuevos mercados como por ejemplo los países socialistas, y al ingreso al mercado de otros segmentos socioeconómicos postergados.

Los continentes que aportan la mayor producción, a nivel mundial son; Asia con 44,9 %, Europa con 19,4%, Estados Unidos con 18,9%, Sudamérica con 16,3 %, África con 16,24%. y Oceanía con 0,2 %.

Chile aporta 32,4 millones de m³, lo cual representa aproximadamente el 10% de la producción de Latinoamérica.

Según especies, las latifoliadas representan el 60,5 % de la producción de trozas a nivel mundial. Las latifoliadas han aumentado su producción a una tasa anual de 1% entre 1989 - 1993, no así las coníferas que han disminuido a una tasa de 3,8% anual en el mismo período.

Según el uso que se les da a estas trozas, el 55,1% corresponde a leña, participando las latifoliadas en un 81,6% y las coníferas en 10,63%, y el 44,9% restante corresponde a trozas industriales de las cuales el 34,6% corresponde a latifoliadas y el 60,8% a coníferas.

La tendencia de trozas industriales de latifoliadas aumenta a una tasa de crecimiento de 0,2% y para coníferas disminuye a una tasa de 4,2% en los últimos cinco años.

Considerando que las regulaciones ambientales se han concentrado en los bosques nativos, que constituyen las fuente de aprovisionamiento de las maderas valiosas, y la existencia de países que han emprendido importantes programas de forestación (como Brasil), cabe esperar condiciones de demandas insatisfechas en el rubro de las maderas de alto valor que se emplean en chapas decorativas y muebles.

Todo lo anterior es pertinente para inferir la viabilidad comercial de nuevos recursos forestales. Chile y muchos países de América del Sur cuentan con una gran disponibilidad de suelos y bosques aptos para someterlos a mejoramiento vía manejo.

CUADRO 1
RECURSOS FORESTALES MUNDIALES, PRODUCCIÓN MADERERA Y COMERCIO 1990-1993

Región	Area de bosques (x 1000 ha)			Producción de Trozas (x 1000 m ³ .)			Promedio anual de trozas exportadas (x 1000 m ³ .)	Promedio anual de productos forestales comercializados (91 US\$ mil)
	Natural	Plantación	Total	Industrial	Combustible	Total		
Africa	540.669	4.416	545.085	58.931	480.752	539.683	4.216	(2.771)
Japón	13.958	10.200	24.158	33.738	372	34.110	(46.485)	(10.314)
China	101.968	31.831	133.799	94.897	196.149	291.046	(6449)	(3.075)
Asia insular	135.425	6.409	141.834	86.822	190.808	277.630	17.109	5.539
Otros países de Asia	171.864	17.811	189.675	57.863	462.329	520.192	(11.557)	(6.708)
Oceanía	85.720	2.534	88.254	35.392	8.748	44.140	13.521	76
Canadá	245.664	1.500	247.164	165.869	6.834	172.703	(601)	15.091
EUA	194.573	15.000	209.573	397.700	93.300	491.000	26.191	(989)
Centroamérica	115.235	501	115.736	11.068	55.669	66.737	178	(1.385)
Brasil	561.107	4.900	566.007	77.713	191.166	268.879	443	1.225
Otros países de Sudamérica	283.362	2.364	285.726	41.102	47.138	88.240	7.135	298
Países escandinavos	43.846	9.400	53.246	99.408	8.678	108.086	(10.159)	17.240
Otros países de Europa	71.601	15.350	86.951	175.838	42.883	218.721	(2.113)	(25.638)
USSR	746.708	8.250	754.958	197.645	57.557	255.202	11.098	1.846
Total mundial	3.311.903	130.466	3.442.369	1.555.838	1.855.709	3.411.547		

Fuentes: Instituto de Recursos Mundiales (WRI) 1996; Tablas 9.2 & 9.3
Plantaciones de Europa, Japón y Canadá tomadas de Brooks (1993)
Plantaciones de EUA estimadas del Servicio Forestal USDA
El promedio anual de productos comercializados fue tomado de FAO (1995)

Notas al CUADRO 1

El área de bosques es de 1990; Producción de trozas y Comercio, 1991-1993, Valor del Comercio, 1991. Los paréntesis indican que una región es importadora neta por volumen o valor
 Asia insular es Indonesia, Malasia, Filipinas y Singapur
 Oceanía es Australia, Fiji, Nueva Zelanda, Papúa Nueva Guinea y Las Islas Salomón
 La plantación total de Europa estimada en 33 millones de hectáreas se dividió como:
 Rusia = 25%; países escandinavos y resto de Europa son proporcionales al área
 Otros totales de producción de trozas en Europa sumando por países individuales no son iguales al total de Europa cuando se suman Rusia y los países escandinavos. Estos totales son 268.428.000 m³ de producción industrial y 50.672.000 m³ de combustible.
 El total mundial para la producción de trozas no es igual a la suma de las cifras dadas arriba.

MERCADO MUNDIAL

Muchos estudios han examinado la situación de la oferta de madera a nivel mundial y a nivel local en los últimos años. De acuerdo a la intensidad del análisis de la situación maderera, sólo se puede sugerir que ésta será mucho más escasa que lo que ha sido en el pasado (McNutt, 1996). No obstante se debe también considerar las inversiones de las empresas y organizaciones gubernamentales, las que pueden alterar las proyecciones de los modelos utilizados (Cubbage, et al. 1996). Para algunos inversionistas de la industria de productos forestales, esta escasez de madera constituye una oportunidad de mercado.

Japón es el más grande importador de madera industrial no procesada y EE.UU es el mayor exportador. Rusia tiene más de la mitad de todas las especies de fibra larga del mundo, no obstante, su economía, el clima político y la ausencia de infraestructura para la silvicultura y la industria de productos forestales, hacen que se requiera como mínimo 20 años para que Rusia se transforme en uno de los mayores productores de este producto (Kellison, 1997). Esto tendrá un gran impacto en los productores de fibra larga, por lo tanto la diversidad productiva se deberá transformar en algo más que buenas intenciones.

Cubbage et al., (1996) establece que las proyecciones mundiales del eucalipto han sido demasiado optimistas, ya que China que tenía proyectado plantar 4 millones de hectáreas al año 2000, sólo ha concretado un millón de hectáreas, con una calidad muy baja. Tailandia, que también inició un activo programa de eucalipto, exhibe una calidad muy variable. Indonesia tiene más dificultades en obtener plantaciones de eucalipto de calidad debido a que no tiene suelos apropiados. La calidad es crucial para determinar qué países tienen ventajas comparativas en eucalipto y otras especies. A la fecha, sólo América Latina tiene un futuro más promisorio en las plantaciones a gran escala de eucalipto, particularmente por su buena calidad y mejores precios en los mercados mundiales.

Uno de los principales déficit en el abastecimiento de madera está en la producción de latifoliadas de alta calidad. Esto debido a las restricciones impuestas a la cosecha de madera en el Amazonas y a la disminución del abastecimiento en el sudeste asiático y en África Central. Los eucaliptos, que son principalmente usados en la industria de la pulpa, son los actuales candidatos para reemplazar a las latifoliadas de alta calidad y están creciendo en gran escala para la producción de madera sólida. Las especies más productivas de eucalipto tienen una moderada densidad y pueden ser barnizadas para asemejarse a varias especies tropicales. Las rotaciones de eucalipto para madera sólida son actualmente de 12 años en Argentina y Brasil y de 18 años en Chile; mucho menos que los 40 a 80 años necesarios para las especies nativas en los bosques del Amazonas, sudeste asiático o África. La principal desventaja de usar eucalipto para madera sólida es su propensión a las rajaduras y a las manchas después de ser cosechado. Posibles soluciones a este dilema son el mejoramiento genético mediante la intensa selección y la propagación clonal, y tecnologías más sofisticadas de cosecha.

Hagler (1996) establece que a pesar del aumento de las plantaciones se producirá una escasez relativa de madera en algunas regiones del mundo, por lo que dichas regiones tendrán que realizar esfuerzos de autoabastecimiento para poder sobrevivir en los mercados.

La tendencia actual es tener mercados más abiertos con menos restricciones y es probable que esa tendencia continúe. Existen ejemplos, tales como la Unión Europea, el MERCOSUR, el NAFTA entre otros. A medida que se produzca la apertura de los mercados, puede también aumentar la demanda por productos forestales, tanto como pueda subir el estándar de vida, especialmente en los países desarrollados.

AMERICA del SUR

Para muchos países en los trópicos y subtropicos, las industrias agrícolas, incluyendo las forestales, pueden competir exitosamente con Estados Unidos en los mercados mundiales. Tierras disponibles y productivas, a menudo con mano de obra barata, pueden desarrollar una importante industria forestal que expanda el Producto Geográfico Bruto de un país. El crecimiento demográfico y económico en estas regiones incrementará la demanda interna de madera, y de este modo el incremento en la producción de las nuevas fábricas o la expansión de las ya existentes encontrará la forma de dirigirse a los rentables mercados de exportación. Como un ejemplo, la expansión de las industrias argentinas y brasileñas, y la construcción de varias nuevas industrias en Indonesia han demostrado la importancia así como la fortaleza del sector forestal en el desarrollo de los países.

Las empresas forestales en Argentina, Chile, Brasil, China, Indonesia, Nueva Zelanda, Sudáfrica y Venezuela tiene programas intensivos de plantación, los que se extenderán en el futuro adquiriendo más terrenos locales o desarrollándose en países vecinos. Además, existe un creciente interés por plantaciones forestales en muchos países que históricamente no han realizado inversiones significativas en este campo. Por ejemplo, las agencias gubernamentales en Chile, Colombia, México y Uruguay están ofreciendo incentivos financieros al sector privado para alentar el desarrollo de plantaciones forestales en sus países.

Las empresas y organizaciones involucradas en las plantaciones forestales en el trópico y subtropico poseen una ventaja significativa, ya que muchas de las especies exóticas que crecen en sus tierras lo hacen 2 ó 3 veces más rápido que las plantaciones en Estados Unidos (cuadro 2). Altas tasas de crecimiento combinadas con programas silviculturales y de mejora intensiva, han conducido a que estas organizaciones sean líderes en plantaciones forestales.

CUADRO 2
RESUMEN DE LAS PLANTACIONES INDUSTRIALES EN ALGUNOS PAÍSES (Fuente: Dvorak y Hodge, 1998)

Pais	Tipo de plantación ¹	Superficie plantada (millones de ha)	Tasa de crecimiento (m ³ /ha/año)	Edad de rotación ²
Argentina	pino	0.34	20	20-25
	Latifoliadas	0.40	17	10-14
Australia	Pino	0.96	16	25-30
	Latifoliadas	0.14	18	10
Brasil	Pino	1.10	25	20-25
	Latifoliadas	3.20	30	6-8
Chile	Pino	1.40	22	18-25
	Latifoliadas	0.25	25	7-9
Colombia	Pino	0.10	15-30	12-14
	Latifoliadas	0.04	10-30	6-15
Indonesia	Pino	1.00	12	20-25
	Latifoliadas	1.50	10-30	8-40
Nueva Zelandia	Pino	1.33	22	25-35
	Latifoliadas			
Sudáfrica	Pino	0.67	16	25-30
	Latifoliadas	0.64	21	7-20
Estados Unidos	Pino	11.20	8-10	20-30
	Latifoliadas	0.20	12	12-20
Venezuela	Pino	0.50	9	15
	Latifoliadas			

¹ Los valores de latifoliadas pueden incluir promedios para varios géneros. Por ejemplo en Indonesia, **Acacia mangium** crece aproximadamente 30 m³/ha/año y es cosechada a los 8 años. **Tectona grandis** crece aproximadamente 5 a 8 m³/ha/año y puede ser cosechada a los 40 años.

² Las edades de rotación con grandes diferencias en los años como las latifoliadas de Sudáfrica (7-20) sugieren que Eucalyptus para pulpa puede ser cortado a los 7 años y Eucalyptus para madera sólida puede ser cosechado a los 20 años.

Aunque la adquisición internacional de tierras o empresas es común en países desarrollados, en la última década se han producido varias adquisiciones internacionales por industrias forestales en países en vías de desarrollo en varias regiones del mundo. Por ejemplo, la industria forestal de Sudáfrica compró empresas o participaciones en empresas de Brasil, Estados Unidos y Europa y planea desarrollar plantaciones en Mozambique. Empresas chilenas han adquirido recientemente dos compañías forestales en Argentina en áreas subtropicales y planean expandirse en la región. Esencialmente, estas adquisiciones son intentos de tener un mejor control local de los abastecimientos de madera y además mejorar la competitividad.

ASPECTOS AMBIENTALES

Existe a nivel mundial la tendencia hacia la protección ambiental y es probable que continúe y se transforme en un importante factor económico y político. Los efectos serán positivos ya que se tenderá hacia un compromiso con la industria forestal para alcanzar el desarrollo sustentable. Como ejemplo de compromiso entre los ambientalistas y la industria forestal cabe mencionar a Australia y Nueva Zelanda. Más recientemente los esfuerzos en la Eco-Certificación emprendida como una estrategia ambiental europea (Kiekens, 1997). Los bosques de latifoliadas de América Latina y los de coníferas de Siberia cubren áreas que son muy sensibles desde el punto de vista ambiental, ellas se pueden degradar rápidamente mediante cosechas destructivas, lo que pondría en peligro su contribución al almacenamiento de carbono y al balance del oxígeno (Cubbage et al., 1996). Los grupos ambientalistas en el mundo están ejerciendo una gran presión para proteger esos bosques

naturales, y es probable que tengan éxito o al menos limiten la cosecha de los bosques en el hemisferio sur, tal como sucede hoy (1998) con el proyecto Trillium de manufactura de madera de **Nothofagus pumilio** (lenga) en Chile.

La industria del papel y la celulosa puede ser forzada a desembolsar una gran cantidad de dinero para reducir las emisiones tóxicas de sus industrias. La industria de productos forestales del sudeste de EE.UU desembolsa más de mil millones de dólares lo que significa aproximadamente el 20% de todos el capital que esta disponible para la inversión. Esto implica que están aumentando los costos de esos productos forestales y disminuyendo las utilidades, por lo que los inversionistas buscarán nuevas áreas para colocar su dinero. Es interesante hacer notar las inversiones que está haciendo la empresa estadounidense Boise Cascade para darle mayor valor agregado a la industria del bosque nativo en Chile.

El uso de fibra reciclada y fibra de otras plantas aumentará en algunas situaciones específicas. Sin embargo, la fibra de los árboles continuará siendo la principal materia prima para la fabricación de pulpa. No se debe olvidar que la industria del reciclado es muy contaminante.

En el futuro se continuará reconociendo la importancia de los bosques como un recurso natural renovable. Estos requieren para su crecimiento un bajo aporte de productos químicos, mucho menos comparado con la agricultura. Las plantaciones continuarán siendo usadas para restaurar suelos degradados, aportando hábitat para la vida silvestre, mejorando la calidad del agua y reduciendo el CO₂ atmosférico.

Existen presiones hacia los países tropicales y subtropicales, ya que la rapidez de crecimiento y la calidad de sus maderas hacen que estos países continúen creciendo como abastecedoras de fibra y productos forestales. Las presiones ambientales en los países desarrollados, están favoreciendo a los países en vías de desarrollo, con especies de altas tasas de crecimiento y un bajo costo de la mano de obra. Esta tendencia probablemente aumentará en el futuro.

Existen presiones medioambientales para evitar la sustitución de bosques nativos, de forma tal que las plantaciones comerciales de especie de rápido crecimiento se realicen en terrenos de antiguos fundos o fincas, terrenos degradados por la agricultura, terrenos con desechos y quemados por la agricultura o terrenos utilizados previamente por plantaciones. También existe una presión para desarrollar el bosque nativo en forma de plantación, es probable que esto suceda con especies muy específicas y de alto valor económico. Incluso a una pequeña escala se podría reemplazar a los pinos y eucaliptos. Las plantaciones de latifoliadas que son manejadas para obtener madera sólida como la teca (**Tectonia grandis**), paulonia (**Paulownia tomentosa**), nogal negro (**Juglans nigra**) y ceiba (**Bombacopsis quinata**) son especies de gran valor económico cuando son manejadas a crecimiento lento, vale decir formado cuatro anillos anuales por pulgada radial (Kellison, 1997). A ellas se debe sumar el raulí (**Nothofagus alpina**), roble (**Nothofagus obliqua**), lenga (**Nothofagus pumilio**) y el coigüe (**Nothofagus dombeyi**) en el hemisferio sur, especies que además están adquiriendo importancia en Escocia y Gales. También es destacable el potencial del **Cordia alliodora** y **Tabebuia rosea** en Colombia.

Cubbage, et al., (1996), sugiere un nuevo escenario para la industria de la madera, en el cual ésta se trasladará desde la extracción en bosques naturales hacia una oferta de madera proveniente de plantaciones manejadas intensivamente.

OPTIMIZACIÓN ECONÓMICA

Las empresas forestales siempre han sido productoras de bajo costo, lo que se acentuará en el futuro si quieren competir con éxito en el mercado. Las empresas que logren producir productos forestales con precios competitivos de mercado serán empresas exitosas. Las empresas forestales propietarias de tierras requerirán cada vez optimizar la productividad por hectárea, ya que el número de hectáreas disponibles para plantación se verá limitado, como también la madera disponible de bosques nativos. Esto conllevará a que las empresas propietarias de tierras apliquen un manejo cada vez más intensivo de tal forma de maximizar los productos de alta calidad en muy pocas hectáreas.

La calidad de la madera será un factor crucial, por esto se requiere un mejoramiento de la tecnología forestal, que incluya la genética, el manejo, y la selección de sitios. La tecnología de plantación que se está implementando hoy, considera: mejoramiento de las fuentes de semillas, programas de mejora genética, selección de sitios, calidad de la plantación, control de la competencia, técnicas de manejo. Incluso el trabajar con dos especies, una especie intolerante y otra tolerante a la sombra, implica que se pueden combinar ambas para obtener una mayor productividad por hectárea con material mejorado genéticamente.

La tecnologías silviculturales deben ser implementadas para asegurar la viabilidad de las empresas individuales y su competitividad en los mercados globales.

La disponibilidad de latifoliadas en el sur de Estados Unidos está mucho más restringida de lo que se creía hace pocos años atrás. La escasez, especialmente durante períodos de inclemencia climática, ha producido incrementos en los precios de entre dos y tres veces su valor inicial a mediados de la década pasada. Entre las causas de esta escasez están el aumento en su uso y las preocupaciones ambientales. Una solución parcial a la escasez incluye una combinación de varios factores: 1) manejar las tierras con latifoliadas para una producción maderera óptima, 2) transportar el recurso desde áreas con buen abastecimiento y limitados mercados hasta las plantas industriales, 3) establecer plantaciones de latifoliadas sobre los mejores sitios que se encuentren dentro del área de trabajo de las plantas de celulosa, 4) sustituir la fibra de pino por fibra de latifoliadas en una pequeña escala y 5) importar madera o pulpa desde el extranjero.

CRISIS ASIÁTICA EN EL MERCADO FORESTAL

Como se señaló con anterioridad, en el año 1997 el mercado asiático participaba en un 44,9% en el valor total de las exportaciones sectoriales. Debido a esto la caída de los mercados asiáticos ha sido de importancia en Chile traduciéndose en la pérdida de numerosas fuentes laborales en el ámbito profesional y obrero. De acuerdo al economista Robert E. Scott (<http://www.epinet.org/asiapr.html>) la crisis asiática destruirá 1,1 millones de puestos de trabajo, en EE.UU.

Los resultados de los últimos dos años, indican que las empresas chilenas han perdido en forma importante sus ventajas comparativas y es necesario entrar en una fase de reajuste productivo para enfrentar las nuevas condiciones del mercado internacional. Especialmente importantes son las pequeñas y medianas empresas las que deberán focalizarse en nichos de alto valor agregado para competir. El aumento de la productividad a todo nivel es una de las recomendaciones que para Chile se ve más factible (International Monetary Fund, 1998).

La influencia de los mercados asiáticos ha afectado no tan sólo a Chile, sino que también a otros exportadores de productos forestales. Por esto, será necesario generar estrategias competitivas que entreguen al mercado nuevos productos de mayor valor agregado. De ahí la importancia de fomentar la producción de maderas de mejor calidad, naturales y de mayores precios. Al respecto el Ministro

Forestal de Nueva Zelanda, John Fallon, en una conferencia en el Instituto Forestal de Nueva Zelanda (FRI) dijo:

"...the Asian economic crisis may be the best thing to happen to the local industry" (<http://www.nzforestry.co.nz/generated/news/24451.html>), ya que permitiría diversificar la producción basado en la inversión de un mayor valor agregado.

EL MEJORAMIENTO FORESTAL EN EL SIGLO XXI

Aspectos generales

La mejora genética clásica que incluye selección, cruzamientos y pruebas genéticas continuará siendo en el futuro una parte integral de los programas de manejo forestal intensivo. A medida que se maximice el rendimiento por hectárea, el valor del mejoramiento genético en el futuro se tornará cada vez más importante. Esto se debe a que el costo de desarrollar genotipos mejorados puede ser prorrateado a toda la plantación; en cambio los costos de otras prácticas silviculturales tales como la fertilización, son divididos en cada hectárea tratada. Entonces la mejora genética continuará siendo una inversión atractiva cuando es realizada en forma apropiada. El mejoramiento genético clásico se enriquecerá con las nuevas tecnologías, nuevas especies e híbridos.

Aspectos específicos

Las Cooperativas de Mejoramiento genético han jugado un importante papel en los esfuerzos de mejoramiento en muchos países, y continuará siendo así en las próximas décadas. Las Cooperativas pueden mantener una gran población base y alcanzar ganancias sustanciales. De esta forma los costos fijos se prorratean entre los miembros. Para muchas organizaciones esta opción puede ser la única factible si se pretende trabajar en mejora genética forestal, no obstante, muchas de ellas deberán optimizar sus estructuras y objetivos, y abrirse a nuevas ideas para sobrevivir en un mundo cada vez más competitivo.

En EE.UU., el costo marginal de desarrollar un programa de mejoramiento genético para aquellas organizaciones que plantan al menos 5.000 hectáreas por año, es de aproximadamente US\$ 16 por hectárea de plantación establecida. Esto es cierto para semilla producida en un huerto semillero de polinización abierta y plantas plantadas en un sistemas de bloques familiares. El beneficio en dólares actuales por hectárea es más de \$600, dependiendo del nivel del mejoramiento genético utilizado. Para los propietarios de tierras que reforestan una limitada superficie, no se justifica el desarrollo de su propio programa de mejora. Sin embargo, todos los estados sureños y muchas industrias producen plantas genéticamente mejoradas para la venta al público. Cuando se compran plantas que han crecido a partir de semillas de huertos semilleros desarrollados con el mejor material disponible, los US\$16 por hectárea son parte del costo de las semillas.

Los componentes básicos de todos los programas de mejora genética son los mismos, pero no existe una estrategia genérica que se aplique a todas las especies. La variación entre especies, los vectores de polen, el tamaño de la semilla y su biología, edad de reproducción, aptitud para la propagación vegetativa, susceptibilidad a plagas y enfermedades, edad de rotación, hacen que estos componentes combinados produzcan muchas opciones que el mejorador deberá considerar. Estas distintas alternativas conducen a diferentes programas alrededor del mundo, a diversas estrategias de mejora y también a distintas técnicas de masificación operacional de la mejora genética.

Las estrategias pueden diferir en organizaciones y/o empresas de un mismo país que incluso trabajen con la misma especie. Estas pueden tener diferentes restricciones financieras y logísticas, y pueden tener distintos tamaños y estar localizadas en tipos de sitios diferentes. En suma los productos objetivos y la tecnología de aserrío puede diferir. Estas diferencias tienen para una

organización un gran impacto en la elección de la estrategia óptima, en el diseño de las pruebas genéticas y en la forma de propagar el material mejorado.

A medida que el mercado forestal mundial se torne más competitivo, las ventajas económicas marginales de una estrategia específica serán cada vez más importantes para una organización específica. A medida que un programa de mejoramiento se mueve hacia generaciones avanzadas, aumenta la cantidad de datos de los genotipos individuales, aumentan los parientes y se van produciendo diferentes clases de datos: de ensayos de campo tradicionales, datos de estudios en invernaderos, de resistencia a plagas y enfermedades, de resistencia al frío, de calidad de la madera: densidad, longitud de fibra, rendimiento pulpable, y posiblemente información sobre marcadores moleculares asociados a característica de importancia económica.

La colecta de esos datos es y continuará siendo uno de los componentes más caros de un programa de mejora genética, por lo tanto es extremadamente importante un análisis apropiado para maximizar las ganancias genéticas. Las técnicas de índices de selección, BLP (el mejor predictor lineal), BLUP (el mejor predictor lineal insesgado) se tornarán en herramientas de uso común en los próximos años. A esto hay que agregar una tecnología emergente como lo es el Gibbs Sampling, que ha sido utilizada con éxito en el mejoramiento genético forestal. La fortaleza de estas técnicas es poder combinar distintos datos, de muchas pruebas genéticas y muchos parientes en una simple predicción del valor genético y económico de un genotipo. La utilidad de las técnicas de los índices de selección, BLP, BLUP y Gibbs Sampling depende de la buena estimación de los parámetros genéticos, que describen qué rasgos están controlados genéticamente. La gran fortaleza del Gibbs Sampling es que permite obtener la distribución de frecuencia del parámetro estimado, la heredabilidad por ejemplo. Cuando se analizan varios rasgos, es bueno tener estimaciones de los ponderadores económicos, es decir como crece el valor medido en pesos de las ganancias genéticas de un rasgo en relación a las ganancias genéticas de otro. Ambos parámetros, genéticos y económicos, son difíciles de estimar, pero tradicionalmente se ha realizado una mayor investigación en los parámetros genéticos que en los ponderadores económicos, siendo este un tema para los próximos años.

La población de producción es un grupo de árboles que genera propágulos para plantaciones comerciales. Tradicionalmente, las poblaciones de producción han sido huertos semilleros que producen semilla de polinización abierta. A medida que la tecnología de la polinización y de la propagación vegetativa avanza, se hacen más atractivas desde el punto de vista económico otras alternativas de poblaciones de producción, tales como plántulas de hermanos completos, es decir de padre y madre conocida, estacas enraizadas y cultivo de tejidos. El uso de algunos propágulos de hermanos completos puede originar varias ventajas respecto a semilla de polinización abierta o de medios hermanos:

- Eliminación del polen contaminante: Una importante fracción de semilla de polinización abierta en Chile se origina por polen de árboles no mejorados, localizados fuera del huerto, esto reduce las ganancias genéticas.
- Mayor intensidad de selección: Los huertos semilleros de polinización abierta requieren un número relativamente grande de progenitores para asegurar la exogamia. Al utilizar propágulos de hermanos completos, se requieren muy pocos progenitores, por lo tanto la intensidad de selección aumenta y por ende las ganancias genéticas.
- Flexibilidad en la utilización: Si existe interacción genotipo ambiente, se pueden desarrollar grupos específicos haciendo cruzamientos de hermanos completos en lugar de diseñar huertos completamente separados.
- La varianza de la aptitud combinatoria específica: Los huertos semilleros de polinización abierta no utilizan la varianza de la aptitud combinatoria específica, por lo que a través de cruzamientos controlados se puede capturar una ganancia adicional, sin embargo, su

captura requiere algunas pruebas de progenie adicionales para probar el potencial de las cruzas de hermanos completos.

El siguiente modelo de aprovechamiento de **Pinus radiata** es aplicable a otras coníferas no sólo en Chile, sino también en **Pinus taeda** en Argentina. En un principio las empresas forestales realizaban plantaciones comerciales a partir de semilla de **Pinus radiata** sin mejoramiento genético, luego con la creación de un programa cooperativo en Chile, se comenzó a utilizar semilla de áreas productoras de semilla o rodales semilleros y de árboles semilleros, ambas con un mejor nivel de ganancias genética de alrededor de 5%. El progreso continuo de los programas pronto permitió la cosecha de semilla de los huertos semilleros clonales de polinización abierta, aumentando en promedio las ganancias genéticas en volumen en un 12%, sin depuración. En la actualidad las empresas plantan bloques de las mejores familias de polinización abierta de esos huertos depurados, con niveles de ganancia en volumen que fluctúa entre un 20% a 35%. Si bien es cierto que la variabilidad dentro de los bloques se ha reducido un poco, sigue existiendo una tremenda variabilidad dentro de estas familias de medios hermanos, conteniendo 3/4 de la varianza aditiva y toda la variación de dominancia. Últimamente las empresas están haciendo un enorme esfuerzo para plantar bloques de familias de hermanos completos, es decir semilla originada de cruzamientos controlados de padre y madre conocida. Por ende las ganancias genéticas continuarán incrementándose (>30% en promedio en volumen) y si bien es cierto que la variabilidad dentro de los bloques se reducirá otro poco, la variabilidad entre los bloques aumentará ligeramente. En promedio, dentro de las familias de hermanos completos permanecerá 1/2 de la varianza aditiva y 3/4 de la varianza por dominancia. Tanto en las plantaciones familiares de medios hermanos o de hermanos completos se está utilizando la propagación vegetativa a través de "cutting" o estacas para replicar el mejor material genético disponible. Pero el proceso de optimización de las ganancias genéticas no termina ahí, nuevos modelos conceptuales están surgiendo. Entre ellos destaca el "Modelo Propiedades de la Madera y el Valor del Producto Final" y el de "Silvicultura Clonal". Ambos modelos complementarios requieren de herramientas biotecnológicas para su desarrollo y restricciones de diversidad genética.

En la misma especie también existen las tecnologías que permiten generar gran cantidad de semillas de hermanos completos a través de polinización líquida. Esto se logra mediante el manejo intensivo de huertos de baja altura. Es probable que esta tecnología se desarrolle en otras especies en el futuro. La propagación vegetativa a partir de un pequeño número de semillas de hermanos completos será cada vez más común. El cultivo de tejidos probablemente ofrecerá las mismas ventajas que las estaquillas enraizadas, pero quizás será difícil hacerla económica y operacionalmente factible, salvo en los genotipos de mayor valor. En las próximas décadas la propagación vegetativa se hará accesible a muchas otras especies, aunque también aumentarán los riesgos. La silvicultura clonal de un genotipo ofrece un gran potencial de ganancias genéticas ya que permite capturar toda la varianza genética no aditiva, y además se incrementan los beneficios económicos al aumentar la homogeneidad. Aunque la silvicultura clonal ofrece el potencial de obtener ganancias genéticas adicionales, también aumentan los riesgos. A medida que la silvicultura clonal se torne una realidad, las plantaciones de un genotipo se plantarán en un gran bloque, y quizás 10-15 clones específicos serán plantados en pequeños bloques en mosaico, donde cada clon ocupará algunas hectáreas. La probabilidad de que se produzcan ataques de enfermedades y plagas forestales será mayor que en una plantación con mayor diversidad genética. La interacción genotipo ambiente también será mayor en clones específicos de lo que es con material de semilla de medios hermanos o hermanos completos.

Las estrategias de mejoramiento genético tenderán a cambiar cuando se identifiquen genotipos específicos dentro de las mejores familias para la producción masal. Se requerirá una mayor cantidad y calidad de las pruebas de campo para medir la interacción genotipo ambiente, y asegurar niveles aceptables de adaptabilidad de clones específicos. Las pruebas clonales deberán tener un gran número de clones candidatos para la producción comercial. Los programas de mejoramiento genéticos se volverán cada vez más importantes para la industria de productos forestales. La ventaja económica marginal y las ganancias genéticas promoverán programas de mejoramiento más

sofisticados. En grandes programas de plantaciones con ganancias pequeñas se puede justificar con facilidad un aumento en los costos por propágulos. El mejorador tenderá a incluir mejoras en las pruebas de campo, en la utilización de genotipos específicos en sitios también específicos y el uso de poblaciones de producción clonales o de hermanos completos.

Aplicaciones de la biotecnología forestal

Una considerable inversión en biotecnología ha sido realizada por la comunidad científica forestal, además de la puesta en marcha de investigaciones tendientes a evaluar el incremento en la eficiencia de los programas de mejora forestal tradicionales, de la propagación masiva de las cruzas sobresalientes y de la propagación vegetativa. La investigación en biotecnología implica investigación a nivel de ciencias básicas y genética molecular y podría revolucionar el mejoramiento genético en los próximos años.

La biotecnología ha tenido un gran impacto en los cultivos agronómicos, tales como la inserción de genes de resistencia al frío en el tomate y recientemente en el eucalipto. La dificultad de la biotecnología forestal radica en que los árboles son organismos de gran tamaño y su genoma es muy heterocigótico. Por otro lado no resulta fácil aplicar las técnicas moleculares a las plantas leñosas. Existen varias técnicas biotecnológicas que pueden ser útiles a los programas de mejora genética forestal, tales como: mapeo de genes, selección asistida por marcadores moleculares e ingeniería genética. Estas técnicas biotecnológicas permiten aumentar nuestro conocimiento básico de la genética forestal, permitiendo lograr algunas mejoras genéticas adicionales que pueden ser difíciles de alcanzar con las técnicas tradicionales. Las técnicas biotecnológicas no reemplazarán a los programas clásicos de mejora genética, más bien serán complementarios. La investigación biotecnológica es cara y tiene más riesgos que el mejoramiento genético clásico. La biotecnología forestal es considerada investigación básica versus la investigación aplicada de la mejora genética, por lo que es probable que se promueva el cofinanciamiento privado y estatal, cuando realmente se justifique para un país.

Desarrollo de híbridos para mejorar la productividad

Debido a las limitaciones territoriales, las plantaciones forestales en el trópico y subtropico están siendo extendidas a áreas más secas y algunas veces áreas más frías. Estas condiciones climáticas han creado la necesidad de híbridos para llenar ese nicho. Por ejemplo, **Eucalyptus grandis** es una excelente especie para pulpa, que ha sido cruzada con **E. camaldulensis** y **E. dunii**, esta última tiene resistencia al frío y **E. urophylla**, un eucalipto tropical con mayor resistencia que **E. grandis** a enfermedades. El resultado es una progenie híbrida que crece bien y mejor adaptada a los climas secos o fríos, además de ser más resistente a las enfermedades que sus padres. El híbrido entre **E. globulus** y **E. nitens** tiene características intermedias, la pulpa es de mejor calidad que la de **E. nitens** y más resistente al frío que **E. globulus**. Una vez producidos y probados, estos híbridos, pueden ser propagados vegetativamente y multiplicados en extensas áreas. El desarrollo de híbridos con rasgos de adaptabilidad puede hacer a las plantaciones comerciales económicamente atractivas en suelos que alguna vez no fueron aptos para la silvicultura.

También los híbridos de pino en el trópico y subtropico serán importantes en la próxima década. Ya ha sido logrado un exitoso híbrido en Australia entre **P. elliotti** y **P. caribaea** var **hondurensis**, que crece más rápido y mejor en suelos pantanosos que sus padres. Esta cruce puede tener gran utilidad en las áreas subtropicales de Argentina, Brasil, China y Sudáfrica. Otra cruce que puede ser interesante es **P. radiata** y **P. greggii**, tal como ha sido indicado por autores australianos. Las barreras para los cruzamientos son menores en los pinos mexicanos en comparación con los pinos de climas templados, y por lo tanto aumenta la oportunidad de producir híbridos.

Propagación vegetativa

Los mayores avances en el incremento del abastecimiento de madera en una superficie dada de terreno han sido la utilización de adecuados tratamientos silvícolas y programas de mejora genética en el trópico y subtropico. Los rendimientos se han incrementado tres veces por unidad de área. En el pasado, mucha de la tecnología usada provenía de Estados Unidos, sin embargo, en la última década, más y más técnicas se han desarrollado localmente. En el caso específico del **Pinus radiata**, el proveedor tecnológico por excelencia es Nueva Zelanda, en especial en la difusión de numerosas tecnologías para propagar vegetativamente a esta importante conífera.

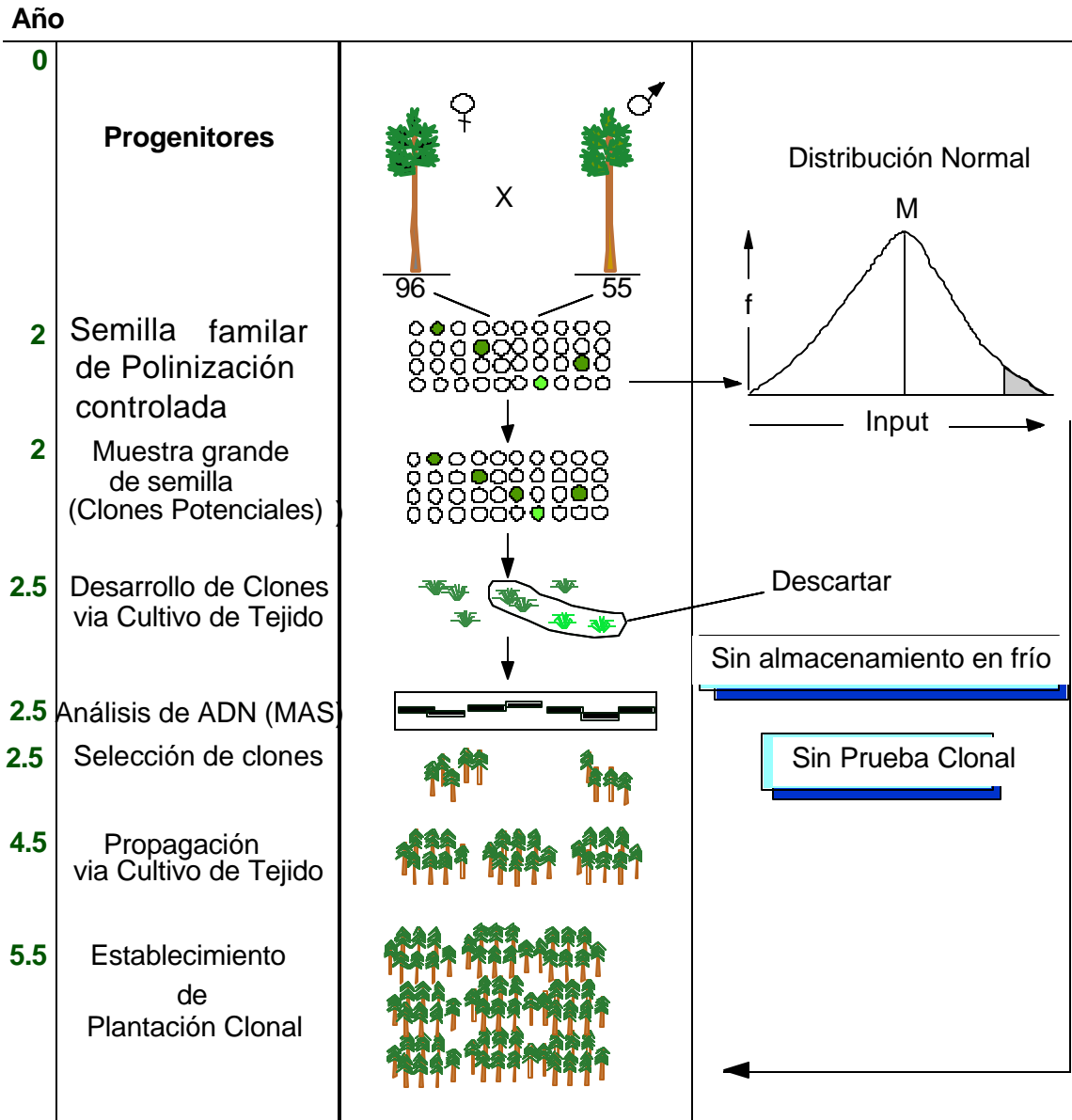
Las organizaciones más avanzadas utilizan herbicidas para el control de la maleza, seguidos de un régimen de fertilización detallado; utilizan sofisticados Sistemas de Información Geográfica y prueban intensivamente cada clon antes de plantarlo operacionalmente, evalúan las diferencias en la calidad de la madera por clon, tienen huertos semilleros de generación avanzada, etcétera. Los programas de propagación vegetativa (por ejemplo, estacas enraizadas, micropropagación o embriogénesis somática) están incrementándose en forma importante, favoreciendo una rápida y eficiente multiplicación de los mejores genotipos (familias o clones) para establecerlos en plantaciones comerciales.

Aquellas organizaciones que experimentan con programas clonales de eucalipto parecen ser las más preparadas para intentar desarrollar programas de propagación vegetativa para pino. Las organizaciones chilenas han recientemente adquirido programas forestales en Argentina de **Pinus taeda** y probablemente uno de sus primeros pasos será aplicar en Argentina la tecnología desarrollada para propagar **Pinus radiata** en Chile.

La propagación vegetativa de tejido fisiológicamente maduro y, en algunas especies el tejido de un año de edad, tiende a ser difícil y cuando se obtiene éxito la planta resultante puede exhibir importantes cambios. Se han explorado tres métodos para la masificación de las ganancias genéticas: estacas enraizadas, organogénesis y embriogénesis somática.

El enraizamiento de estacas es un método muy común, se presume que se va popularizar cada día más, no obstante los procedimientos de enraizamiento han avanzado a un ritmo lento en las últimas décadas. La organogénesis involucra la inducción separada de raíces y brotes a partir de callos no organizados o de yemas preformadas o inducidas. Aunque se ha desarrollado para muchas especies, en términos de masificación operacional a gran escala no se utiliza en más de 5 especies forestales. La embriogénesis somática es un proceso de formación de embriones somáticos a partir de yemas y ápices radiculares, esos embriones germinan y dan origen a una planta. A diferencia de la organogénesis, la embriogénesis somática produce plantas que se desarrollan en forma bipolar, como los embriones cigóticos naturales. El uso de la embriogénesis somática se encontraba en una escala preoperativa en 1996 en **Pinus radiata** en Nueva Zelanda.

A continuación se indica el procedimiento alternativo para la silvicultura clonal de **Pinus radiata**, asistida mediante marcadores moleculares, observe que no considera pruebas clonales.



Tiempo ganado 4 - 5 años

FIGURA 1
SILVICULTURA CLONAL ASISTIDA MEDIANTE MARCADORES MOLECULARES.

Mapeo de genes

El mapeo de genes es la localización física de los genes o los marcadores asociados con genes que afectan a rasgos importantes. El mapeo de genes puede ayudar a entender los mecanismos fisiológicos básicos de los árboles forestales. Además, la identificación del número de genes que controlan características importantes aportará el conocimiento básico necesario para hacer selección asistida mediante marcadores moleculares e ingeniería genética.

Un sustancial progreso ya ha sido realizado en la descripción de los procesos de control genético de los rasgos de importancia económica. Ya han sido cartografiada algunas regiones del ADN del **Pinus taeda** y ha sido identificado un gen que controla la resistencia a la roya fusiforme (Wilcox, 1995). Se han realizado trabajos tendientes a encontrar otros genes resistentes y a determinar la frecuencia de estos genes en las poblaciones de mejora.

Selección asistida

Muchos rasgos de interés forestal son controlados por varios genes o loci. La selección asistida por marcadores involucra el uso de la tecnología de mapeo genético para asociar genes marcados a QTLs (Quantitative Trait Loci), es decir, a genes que afectan a características importantes. El potencial de la selección asistida por marcadores moleculares radica en el aumento de la eficiencia en la selección dentro de las familias. Probablemente la selección asistida no será útil en la selección entre familias superiores genéticamente, por lo que los ensayos de progenie replicados continuarán siendo requeridos para los programas de mejora de las próximas décadas. Seguramente la selección asistida por marcadores moleculares permitirá la selección de genotipos sobresalientes dentro de familias específicas a través del análisis del ADN en laboratorio. Sin embargo hay diferentes relaciones entre los marcadores y los QTLs para cada familia, por lo que el mejorador necesitará nuevamente establecer ensayos para cada familia para hacer la selección.

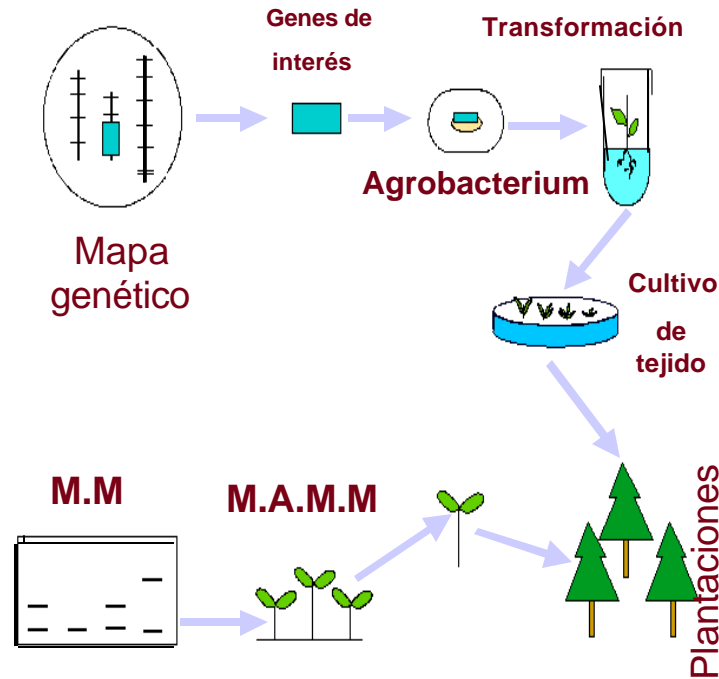
Es probable que se requieran grandes muestras, alrededor de 1000 progenies, para determinar en forma precisa la relación entre los marcadores y los QTLs. Esto hace que hasta ahora su viabilidad económica sea cuestionable.

En estudios realizados con cruzamientos de hermanos completos de **E. grandis x E. urophylla** se han encontrados locus que contribuyen a la caracterización cuantitativa del fenotipo, QTLs (quantitative trait loci). Se han encontrado relaciones de rasgos de propagación vegetativa y rasgos comerciales a la edad de rotación. Los rasgos son habilidad de retoñación, habilidad de enraizamiento y respuesta a la micropropagación. Usando una familia de medios hermanos de **E. grandis** (de un progenitor maternal de cruzamiento de hermanos completos entre **E. grandis x E. urophylla**) se identificaron QTL que controlan los rasgos de crecimiento y de la calidad de la madera, específicamente volumen de madera, densidad de madera, peso seco de la corteza y rendimiento pulpable y de celulosa. Los resultados sugieren la existencia de genes mayores involucrados en la expresión cuantitativa de los rasgos relacionados con la productividad en **Eucalyptus**. La identificación de marcadores estrechamente enlazados a QTL para rasgos de importancia forestal es de un interés obvio para el uso de marcadores para mejoramientos acelerados. No obstante en algunas especies forestales como el **Pinus radiata** las pruebas clonales continúan siendo inevitables, ya que tal como lo indica Kerr y Goddard (1997), la prueba clonal permite una estimación más precisa tanto del componente aditivo y no aditivo que la selección asistida por marcadores, y esta última tiene más limitaciones cuando existe una significativa varianza de dominancia.

Ingeniería genética

La ingeniería genética tiene que ver con la identificación del ADN que codifica para una característica determinada, luego el ADN se copia e inserta dentro del genoma de un árbol individual que no contenía este gen. En algunos países hay una resistencia del público a utilizar plantas transgénicas. En relación a la aceptación del público, la biotecnología forestal tiene una importante ventaja sobre los productos agrícolas, y es que los productos forestales no son alimentos de consumo humano. La desventaja radica en que los árboles forestales normalmente ocupan grandes extensiones de terreno y los árboles son más longevos que los cultivos agrícolas, por lo que aumenta la probabilidad de escape de los organismos transgénicos. La presencia de plantaciones con árboles transgénicos puede ser menos problemática en países donde la silvicultura está basada en especies exóticas y

donde no existe posibilidad de cruzamientos con las especies nativas. Los organismos gubernamentales de distintos países están aumentando las restricciones de las plantas transgénicas para que estas sean estériles antes de permitir su uso comercial.



ESQUEMA DE APLICACIONES DE INGENIERÍA GENÉTICA

Las áreas promisorias para la ingeniería genética son la inserción de pesticidas o genes resistentes a herbicidas en el genoma de los árboles. Un ejemplo de esto es la inserción en eucalipto de un gen resistente al "Roundup". También el plasmidio Ti de **Agrobacterium tumefaciens** ha sido utilizado intensamente para transferir genes a las plantas. En Sudáfrica se ha utilizado **A. tumefaciens** como sistema de transferencia para desarrollar resistencia a insectos en **Eucalyptus** mediante la inserción de genes de quitinasa. También se están iniciando algunos esfuerzos para controlar la polilla del brote en pino. Mediante **A. rhizogenes** se han transferido genes para mejorar el enraizamiento de clones de **Eucalyptus** difíciles de enraizar propagados in vitro. El enraizamiento de varias especies y clones de **Eucalyptus** ha aumentado en un 80% con ciertas cepas de **A. rhizogenes**. Esto es un buen ejemplo de como la biotecnología puede ser usada para mejorar árboles. Por último, la Nippon Paper ha estado trabajando con éxito en cambiar la configuración de la lignina para disminuir los costos de extracción de este componente de la madera en el proceso pulpable.

La ingeniería genética es ciertamente una poderosa herramienta que algún día podrá ser usada para realizar importantes cambios en los pinos, aunque existan importantes barreras para su actual implementación. El potencial para los cambios es grande, aunque puede pasar un largo tiempo antes de que esta tecnología haga la diferencia

REFERENCIAS

- Ahuja, M. y Libby, W. 1993. Clonal Forestry. Genetics and Biotechnology. Springer-Verlag. 277 p.
- Cubbage, F., Abt, R., Dvorak, W. y Pacheco, G. 1996. World Timber Supply and Prospects: Models, Projections, Plantations, and Implications. Central America and Mexico Coniferous Resource /CAMCORE) Annual Meeting. Discussion Working Paper Version. Draft #2. 15 September 1996. 43 p.
- Dvorak, W. y Hodge, G. 1998. Wood supply strategies in countries with fast growing plantations. (for submission). 7 p.
- FAO. 1993. Plan de Acción Forestal para Chile. Santiago, Chile. 82 p.
- FAO. 1994. Anuario de Productos Forestales 1993. Roma.
- FAO, 1995. Forest Resources Assessment 1990: Global synthesis. Forestry Paper 124. Food and Agriculture Organization of United Nations Rome.
- International Monetary Fund, 1998. Chile: Selected Issues. IMF Staff Country report No. 98/26. 158 p.
- Grosse, H. 1988. Renovales de Raulí, Roble, Coigue y Tepa. Espectativas y rendimientos. Revista Ciencia e Investigación Forestal. Volumen 3 N°6. pp. 37-72
- Grosse H. y Cubillos, V. 1991. Antecedentes generales para el manejo de renovales de Raulí, Roble, Coigue y Tepa. Boletín Técnico 127. INFOR- CORFO.
- Hagler, R. 1996. The global wood fiber equation - a new world order? Tappi Journal 79(1):51-54.
- INFOR; CORFO. 1988. Costos Operacionales y de Capital de las Actividades Forestales en Chile 1987. Santiago. Chile. 82 p.
- INFOR. 1990. Disponibilidad de madera de Pino Radiata en Chile, 1990 a 2019. Informe Técnico N 125. Santiago, Chile. 33 p.
- INFOR; CORFO. 1992. El Sector Forestal en Chile, logros y desafíos. Santiago, Chile. 166 p.
- INFOR. 1995. Estadísticas Forestales 1994. Boletín estadístico N 40. Santiago, Chile. 113 p
- INFOR; CORMA; CONAF. 1995. Estadísticas Forestales X Región. Santiago, Chile. 131 p.
- INFOR. 1996. La Industria del Aserrío 1994. Boletín estadístico N 42. Santiago, Chile. 145 p
- INFOR; CONAF. 1998. Exportaciones Forestales Chilenas, Diciembre 1997. Boletín estadístico N 57. Santiago, Chile. 154 p
- INFOR. 1997. Boletín de precios forestales Octubre 1997. Boletín N 50. Santiago, Chile. 33 p.
- Infante, P., Ipinza, R. y Prado, J. 1991. Bases para la mejora genética de las especies del género **Eucalyptus** en Chile. Ciencia e Investigación. Vol. 5, N°1, pp. 71-95.
- Instituto Forestal-Universidad Austral de Chile. 1996. Mejoramiento genético para especies de **Nothofagus** de interés económico. Documento de formulación de proyecto. 91 págs + anexos

Instituto Forestal. 1997. Mejoramiento genético y establecimiento de lenga en las regiones australes XI y XII. Documento de formulación de proyecto. Concepción, 118 p.

Ipinza, R. y Gil, L. 1989. Mejora genética del olmo frente a la grafiosis en España. En: Mejora Genética de Especies Arbóreas Forestales. De. J. A. Pardos. Fundación Conde del valle de Salazar. Madrid, pp. 394-410.

Ipinza, R. 1991. Mejora genética y la resistencia a enfermedades y plagas. Ciencia e Investigación Forestal. 5(2):301-317.

Ipinza, R. y Gutiérrez, B. 1992. Resultados preliminares del enraizamiento de estaquillas de **Eucalyptus globulus** tratadas con altas dosis de ácido indolbutírico. Ciencia e Investigación Forestal. 6(1):61-79.

Ipinza, R., Parra, P., Canala-Echeverría, J., Molina, M., Gutiérrez, B., Salinas, A. y Chung, P. 1992. Programa Nacional de Mejora Genética de las Especies de Eucalipto para Chile. Documento Técnico N°64. Chile Forestal. 8 p.

Ipinza, R., Eaton, L. y Apiolaza, L. 1993. Curso de actualización de cruzamientos controlados con énfasis en eucalipto. Cooperativa de Mejoramiento Genético. UACH, CONAF y EMPRESAS FORESTALES, 111 p.

Ipinza, R., Pérez, E., Apiolaza, L. y Crespell, P. 1993. Décimo Informe Anual. Cooperativa de Mejoramiento Genético. UACH/CONAF y Empresas Forestales. Serie Técnica, Valdivia. Chile. 78 p.

Ipinza, R., García, X., Apiolaza, L., Molina, M., Chung, P. y Parra, P. 1994. Variación juvenil de un ensayo de procedencia y familias de **Eucalyptus globulus** subsp. *globulus* Labill, en la séptima región, Chile. Ecología, N°8, pp. 259-270.

Ipinza, R., White, T. y Apiolaza, L. 1994. Revisión de la estrategia de **Eucalyptus globulus**. Cooperativa de Mejoramiento Genético. UACH, CONAF y Empresas Forestales, Valdivia, Octubre de 1994. 40 p. + anexos.

Ipinza, R., Apiolaza, L., Pérez, E., Crespell, P. y Morales, E. 1994. Informe Anual Undécimo. Cooperativa de Mejoramiento Genético. UACH/CONAF y Empresas Forestales. Serie Técnica, Valdivia. Chile. 82 p.

Ipinza, R., Apiolaza, L., Pérez, E., Morales, E. y Vergara, R. 1995. Duodécimo Informe Anual. Cooperativa de Mejoramiento Genético. UACH/CONAF/Empresas Forestales. Serie Técnica, Valdivia. Chile. 58 p.

Ipinza, R., Apiolaza, L., Morales, E., Pérez, E., Vergara, R. y Alvear, C. 1995. Curso: Aspectos Cuantitativos para el Mejoramiento Genético. Concepción, 24 al 26 de abril de 1995. Cooperativa de Mejoramiento Genético. UACH/CONAF/ EMPRESAS FORESTALES. 188 p.

Ipinza, R. y Apiolaza, L. 1996. Propuesta preliminar para el programa de mejoramiento de **Eucalyptus nitens** en Forestal Angol. Cooperativa de Mejoramiento Genético. UACH, CONAF y EMPRESAS FORESTALES, 14 p.

Ipinza, R., Morales, E., Pérez, E., Vergara, R. y Dungey, H. 1996. Décimo Tercer Informe Anual. Cooperativa de Mejoramiento Genético. UACH/CONAF/EMPRESAS FORESTALES. Serie Técnica, Valdivia. Chile. 49 p.

Ipinza, R. 1997. Uso de la Biotecnología en la Producción Silvícola. En: Conferencia de Planificación. Programa Nacional para el Desarrollo de la Biotecnología Agropecuaria y Forestal en Chile. Chillan, Chile 16-19 de Octubre de 1995. Serie Quilamapu n°77. pp. 149-153.

Ipinza, R. y Emhart, V. 1997. Mejoramiento Genético de Especies de **Nothofagus**. Rentable opción productiva. Chile Forestal. Junio. pp.18-21.

Ipinza, R., Gutiérrez, B. y Emhart, V. 1997. Ganancias Genéticas en el Corto Plazo. Chile Forestal. Agosto. pp. 36-38.

Ipinza, R., Gutiérrez, B. y Molina, M. 1997. Análisis genético univariado de siete ensayos de progenie y procedencia de **Eucalyptus nitens** (Deane & Maiden) Maiden, en Chile. Potencial Genético y Silvícola. En: IUFRO Conference. Modelling Growth of Fast-Grown Tree Species. Proceeding, September 5-7, 1997. Valdivia, Chile. pp. 202-219.

Ipinza, R. 1998. Mejoramiento Genético Forestal. Serie Técnica No. 42. Santafé de Bogotá, Agosto de 1998. Programa CONIF - Miniagricultura. 162 p.

Ipinza, R. Emhart, V., Gutiérrez, B. y Molina, M. 1998. Mejoramiento Genético para Especie de **Nothofagus**: Una Pauta Sencilla. Chile Forestal. pp. 34-37.

Ipinza, R. y Molina, M. 1998. Análisis genético multivariado y catálogos de valores genético de ensayos de progenie y procedencia de **Eucalyptus nitens** (Deane & Maiden) Maiden, en Chile. Ciencia e Investigación Forestal. (en prensa).

Ipinza, R. Y Gutiérrez, B. y Molina, M. 1998. Análisis genético univariado de cuatro ensayos de progenie y procedencia de **Eucalyptus globulus** Labill., en Chile. Potencial Genético y Silvícola. Ciencia e Investigación Forestal. (en prensa).

Jaakko Pöyry Group, 1994. Global fiber resources situations: "The challenges for the 1990's". An overview presentation. Selected slides distributed for the Jaakko Pöyry Group by James McNutt, 560 White Plains Road, Tarrytown, NY, 10591. Mimeo.

Kiekens, J. 1997. Eco-Certificación. Tendencias internacionales e implicaciones forestales y comerciales. Estudio realizado por Environmental Strategies Europe. Noviembre de 1997. 46 p.

Kellison, R. 1997. Production Forestry into the 21st Century. A Word View. En: 24th Biennial Southern Forest Tree Improvement Conference. Orlando, Florida, USA, June 9-12, 1997. Proceeding. pp. 3-10.

Kerr, R. y Goddard, M. 1997. Comparison between the use of MAS and clonal tests in tree breeding programmes. En: IUFRO '97 Genetics of Radiata Pine. Edited by R. D. Burdon and J. M. Moore. NZFRI, Rotorua, New Zealand. pp. 297-303.

Namkoong, G., Kang, H. y Brouard, J. 1988. Tree Breeding: Principles and Strategies. Springer - Verlag. 180 p.

McNutt, J. 1996. The global fiber resource situation: Challenges for the 1990's. En: Proceedings, 1995 Southern Forest Economics Workers Annual Meeting. New Orleans, LA. Published by Wachovia Timberland Management, Atlanta, GA. pp. 1-32.

National Academy of Sciences, 1991. Managing Global Genetic Resources. Forest Trees. National Academy Press. 228 p

Sedjo, R. y Lyon, K. 1996. Timber Supply Model 96: A Global timber supply model with a pulpwood component. Discussion Paper 96-15. Resources for the Future. Washington, D. C.

Syrach Larsen, C. 1956. Genetics in Silviculture. Oliver and Boyd. 224 p.

Weir, R. 1996. The Impact of Genetics on Forest Productivity.
<http://www.forestry.auburn.edu/coops/sfnmc/class/genetic.html>

Wilcox. P. 1995. Use of DNA markers for the genetic dissection of breeding of fusiform rust resistance in loblolly pine. Ph.D. Thesis, North Carolina State University, Raleigh, N.C. 125 p.

World Resources Institute. 1994. World Resources, 1994-1995. Oxford University Press. New York.