

Justificación económica del mejoramiento genético forestal

Dr. Francisco Mesén

*Proyecto de Semillas Forestales (PROSEFOR),
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE),
Turrialba, Costa Rica*

INTRODUCCION

El mejoramiento genético debe ser considerado como una parte integral de la silvicultura. Hoy en día ya no es aceptable el uso de germoplasma de origen y calidad desconocidos, que resultan en plantaciones de mala calidad que sólo contribuyen a dar una mala imagen a la reforestación. Como lo indica su nombre, el mejoramiento genético está enfocado a mejorar características de importancia económica que se encuentren bajo cierto grado de control genético en los árboles, y por lo tanto sus beneficios son más que obvios. Un aumento en la tasa de crecimiento de los árboles, en la resistencia a insectos y enfermedades problemáticas y un mejoramiento en la forma del fuste, por ejemplo, tendrá un efecto directo sobre la productividad de las plantaciones y por lo tanto en los ingresos que se perciban de la actividad de reforestación. Además, existe una serie de beneficios adicionales indirectos que contribuyen a aumentar la rentabilidad de los programas de mejoramiento.

Un aumento en productividad, por ejemplo, significa que se puede obtener la cantidad necesaria de producto en una área menor, lo cual permitiría excluir sitios marginales y/o de difícil acceso y concentrar la reforestación en sitios que contribuyan a aumentar la productividad y a reducir los costos de manejo, extracción y transporte. Igualmente, un aumento en la productividad significa una reducción en el turno de rotación, reduciendo así el periodo de retorno de la inversión. Un mayor crecimiento inicial incide en un cierre más rápido del dosel y por lo tanto en una reducción de los costos de mantenimiento. Una plantación más homogénea facilita y reduce los costos de los aclareos, es decir, se podrían sustituir los sistemas de aclareo selectivo por otros más económicos, tales como el aclareo sistemático. Además, con árboles de mejor calidad se podría reducir la densidad de plantación, eliminando la necesidad de un primer aclareo de saneamiento. Un mejoramiento en la forma de los árboles facilita el transporte y el aprovechamiento.

Otro factor importante es que los cambios que se logran en mejoramiento genético son permanentes, al contrario de aquellos obtenidos mediante el manejo silvicultural; por ejemplo, se puede aumentar la productividad de una plantación mediante el uso de fertilizantes, pero se deberá incurrir en esta inversión repetidamente en cada nueva plantación. Por el contrario, si se logra aumentar la productividad a nivel genético, este mejoramiento perdurará a lo largo de las generaciones sin necesidad de repetir la inversión en el futuro.

Dentro del contexto regional hay otro beneficio fundamental del mejoramiento genético, y es su papel como estímulo a la reforestación (Mesén *et al.* 1994, Cornelius 1995). Al contrario de la situación en países industrializados, donde son las empresas reforestadoras las que implementan programas de mejoramiento, los programas de la región normalmente se han desarrollado justamente para estimular la reforestación de parte de pequeños y medianos finqueros, mediante la demostración de sus beneficios.

El mejoramiento genético también tiene implicaciones a nivel ecológico y sus beneficios trascienden el ámbito de los proyectos de reforestación. Si se pueden suplir las necesidades de madera y otros productos forestales que requiere la población creciente mediante plantaciones más productivas, no habrá necesidad de recurrir a los bosques nativos, lo cual puede contribuir a su conservación. De esta manera se estará contribuyendo efectivamente a reducir la deforestación creciente que amenaza el planeta y la calidad de vida de todos sus habitantes.

A pesar de que es difícil realizar análisis económicos en mejoramiento genético, debido a los múltiples factores involucrados y a toda la gama de beneficios indirectos que son difíciles de cuantificar, existen numerosos estudios al respecto que evidencian su rentabilidad. Algunos de estos se discutirán en el presente documento.

EL MARCO DEL MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL

El mejoramiento genético, independientemente de su complejidad, especies involucradas y estado de avance, puede ser resumido en términos del «ciclo de mejoramiento», descrito por White (1987). Este consiste en una serie de actividades y tipos de población que pueden ocurrir durante una generación en mejoramiento. Cada ciclo parte de una población base, que está compuesta por todos los árboles disponibles para selección, ya sea en bosques naturales o en plantaciones. Las plantaciones pueden estar compuestas por material no seleccionado, procedencias adaptadas, procedencias comprobadas o material de selecciones avanzadas, dependiendo del estado de avance del programa.

A partir de esta población base se derivará una subpoblación seleccionada, es decir un grupo de individuos escogidos por su apariencia fenotípica superior para ciertas características de interés. Se supone que el valor genético de este subgrupo será mayor que el valor genético promedio de la población completa. Por ejemplo, si se realiza una selección efectiva de árboles plus de rectitud superior al promedio en la población, se espera un mejoramiento en esta característica cuando se utilice semilla de esta subpoblación para el establecimiento de plantaciones. Sin embargo, no todos los árboles producidos serán superiores, puesto que la naturaleza aleatoria de la recombinación genética durante la reproducción sexual, generará gran cantidad de variación genética en la progenie. Por lo tanto, se pueden seleccionar individuos sobresalientes dentro de la progenie e iniciar así un nuevo ciclo de mejoramiento que garantice ganancias aún mayores.

Dentro de cada ciclo de mejoramiento es necesario utilizar algunos o todos los individuos de la subpoblación seleccionada para la producción de semilla genéticamente mejorada que supla los programas de reforestación. Este subgrupo se conoce como población de producción, y normalmente consistirá de huertos semilleros. Alternativamente, dentro de una población seleccionada, por ejemplo una región de procedencia, se puede seleccionar y depurar una subpoblación con características superiores al promedio, lo que equivaldría al rodal semillero y es una opción preliminar para la producción de semilla con cierto grado de mejoramiento.

En los huertos semilleros se puede realizar una selección aun más intensiva, con base en los resultados de ensayos genéticos, para dejar, por ejemplo, solamente el mejor 10-50% de las selecciones originales. De esta manera se asegura una mayor ganancia genética a partir de la semilla producida por el huerto. El ensayo donde se comprueba el valor genético de los individuos presentes en el huerto se denomina ensayo de progenies, y consiste en un área donde se evalúan los descendientes de los individuos seleccionados en igualdad de condiciones y bajo un diseño experimental apropiado. En este tipo de ensayos se controla al máximo la variación ambiental, de manera que la expresión fenotípica de los individuos sea mayormente una expresión de su potencial genotípico. Este ensayo permite determinar entonces el valor genético de los padres mediante una evaluación del desempeño de su progenie. El ensayo de progenies, a su vez, puede dar origen al huerto semillero de plántulas, una vez concluido el periodo de evaluación y además, proporcionar material para selecciones avanzadas dentro de un nuevo ciclo de mejoramiento.

A partir de la subpoblación seleccionada también pueden derivarse otras opciones de producción masiva de material, por ejemplo, el uso de estacas enraizadas para plantaciones clonales.

En términos generales, este marco ilustra las actividades y opciones más comunes dentro de un programa de mejoramiento genético, con diferentes énfasis dependiendo básicamente del estado de avance del programa, la especie involucrada, su importancia y los recursos disponibles.

SELECCION Y GANANCIA GENETICA

Como se mencionó anteriormente, la ciencia del mejoramiento se basa en la selección y cruzamiento de un grupo de individuos de apariencia superior dentro de la población total, basándose en el principio de que el valor genético de los individuos seleccionados será mayor que el promedio de la población completa. La diferencia entre el promedio de la subpoblación seleccionada y el promedio general de toda la población para cierta característica se denomina «diferencial de selección (S)»; e incide directamente sobre la ganancia genética. En su forma más simple, la ganancia genética está representada por la fórmula:

$$G = h^2S$$

donde G = ganancia genética, h^2 = heredabilidad (sentido estricto) de la característica y S = diferencial de selección. Esto significa que el mejorador puede influir efectivamente sobre la ganancia genética aumentando el diferencial de selección, es decir, realizando una selección intensiva y permitiendo el cruzamiento únicamente de los mejores individuos de una población. Esto se realiza normalmente mediante la selección de árboles plus y el establecimiento de huertos semilleros. La creación de rodales semilleros está basada en este mismo criterio, pero obviamente la ganancia genética será menor que con la estrategia de selección de árboles plus, debido al menor diferencial de selección que resulta en el caso de los rodales semilleros.

El otro término que influye sobre la ganancia genética es la heredabilidad de la característica bajo selección, la cual está definida por la siguiente fórmula:

$$h^2 = \frac{\sigma^2_A}{\sigma^2_A + \sigma^2_{NA} + \sigma^2_E}$$

donde σ^2_A = varianza genética aditiva, σ^2_{NA} = varianza no aditiva y σ^2_E = varianza ambiental. Se puede ver que la existencia de varianza aditiva contribuye a aumentar la heredabilidad, mientras que la presencia de varianza no aditiva y varianza ambiental, la reduce.

En una plantación ya establecida es poco lo que el mejorador puede hacer para aumentar la heredabilidad, pero sí es posible influenciar este factor concentrando la selección en características que se sabe están bajo mayor control aditivo y/o realizando la selección en sitios uniformes (ej. plantaciones homogéneas), con el fin de reducir el componente de variación ambiental. Por esta razón se afirma que la selección en plantaciones es más efectiva que la selección en el bosque natural, donde existe un mayor componente de variación ambiental y por lo tanto, una reducción en la heredabilidad para las características bajo selección.

En resumen, si se crea un diferencial de selección en una población genéticamente variable y se realiza una selección eficiente para características de alta heredabilidad, se estará generando efectivamente una ganancia genética en las siguientes generaciones.

MAGNITUD DE LAS GANANCIAS

Dentro del contexto de un programa de mejoramiento, es de esperar ganancias genéticas cada vez mayores conforme se avanza en el programa. Desde el punto de vista económico, sin embargo, el mejoramiento y los costos para lograrlo generalmente no están relacionados de forma lineal (Zobel y Talbert 1984): las ganancias iniciales son relativamente fáciles de obtener, pero las ganancias adicionales se hacen cada vez más difíciles y requieren de una mayor inversión. Esto demuestra la importancia de los ensayos iniciales, por ejemplo, el establecimiento de pruebas de procedencias, las cuales pueden resultar en grandes ganancias con una inversión relativamente pequeña. Por el contrario, si el germoplasma que se utiliza en un país proviene de procedencias ya probadas y seleccionadas, es necesario iniciar programas de selección masal, seguidos por el

establecimiento de huertos semilleros o programas de propagación clonal, si se quiere aumentar la ganancia con respecto a la población base.

La magnitud de las ganancias producto de la selección de procedencias dentro de especies, seguido por la selección dentro de procedencias ha sido estimada por Willan (1988). Este autor considera que se pueden obtener ganancias desde 1 a 20% mediante la selección de las mejores procedencias, dependiendo de la variabilidad de la especie. Las ganancias serían de 1 a 5% para especies poco variables, de 5 a 10% para especies moderadamente variables y de 10 a 20% para especies muy variables. Se debe recordar que entre mayor sea la variación dentro de una población, mayor es la posibilidad de aumentar el diferencial de selección y por lo tanto generar una mayor ganancia genética.

Estas son estimaciones promedio, de manera que bajo ciertas situaciones es posible obtener ganancias mucho mayores. Por ejemplo, en un ensayo de procedencias de *Eucalyptus saligna* en Costa Rica, Mesén (1990) encontró una superioridad de 44% en altura y 40% en dap entre la mejor y la peor procedencia a los cinco años de edad; en *E. urophylla*, encontró una superioridad de 32% en altura y 43% en dap entre la mejor y la peor procedencia a los 6.5 años de edad. Con *Gmelina arborea* las diferencias fueron de 42% en altura, 22% en dap y 53% en rectitud del fuste entre la mejor y la peor procedencia a los cuatro años de edad, y en *Acacia mangium* se obtuvieron diferencias de 71% en altura y 43% en dap entre la mejor y la peor procedencia a los tres años de edad.

En las estimaciones de Willan (1988), se parte del hecho de que se están utilizando las mejores especies, y el autor no considera las ganancias posibles producto de la selección entre especies. Sin embargo, en la mayoría de los países de la región aún falta investigación al respecto y los valores de ganancia podrían aumentar grandemente si se incluye este aspecto. En Costa Rica, por ejemplo, Mesén (1990) encontró una superioridad de 42% en altura y 44% en dap entre la mejor procedencia de *E. grandis* y la peor procedencia de *E. alba* a los cinco años de edad. También en Costa Rica, Corea (1984) informó de ganancias en volumen de 112% entre la mejor procedencia de *Pinus tecunumanii* (Yucul, Nicaragua) y el promedio de 13 procedencias de *P. oocarpa* a los 6.5 años de edad, mientras que la superioridad de *Pinus tecunumanii* de Yucul sobre la peor procedencia de *P. oocarpa* fue de 432%. Estos ejemplos demuestran la magnitud de las ganancias que es posible obtener mediante la selección combinada de especies y procedencias.

Una vez seleccionada la mejor procedencia, normalmente se procederá a la selección de rodales superiores para la producción de semilla, o a la selección de árboles plus para el establecimiento de huertos semilleros. En el caso de selección de árboles plus a una intensidad de 1:1000, Willan (1988) considera que las ganancias serían de 1-5% para procedencias poco variables, 5-15% para procedencias moderadamente variables y de 15-30% para procedencias altamente variables. Considerando las ganancias acumuladas producto de la selección de las mejores procedencias, seguido por la selección de árboles plus dentro de procedencias, los valores totales de ganancia estarían en el rango de 2 hasta 50%. En la mayoría de las especies de interés en la

región es común observar una gran variación genética entre y dentro de poblaciones, por lo cual las ganancias posibles normalmente estarían situadas en la parte superior de la escala, es decir, cercanos al 50% e incluso mayores.

Las ganancias genéticas que se obtienen a partir de los huertos semilleros pueden aumentar mediante el aclareo genético de los mismos, es decir, la remoción de ciertos clones o familias que han mostrado inferioridad en los ensayos de progenies. Willan (1988) estima que la remoción del 50% al 70% de las selecciones originales del huerto produciría una ganancia adicional de aproximadamente la mitad de la ganancia inicial obtenida en el huerto no raleado, es decir, dentro del rango de 3 a 75%.

Se estima que la ganancia a partir del desarrollo de rodales semilleros sería desde una cuarta parte hasta la mitad de la que es posible obtener mediante el establecimiento de huertos semilleros (Willan 1988).

Las estrategias anteriores se basan en la reproducción sexual de los individuos y obtención de semilla para plantaciones operacionales. En estos casos, la recombinación aleatoria de genes durante la reproducción sexual resultará en gran variación genética en las progenies; es decir, no todos los individuos heredarán la superioridad de sus padres. Asimismo, puesto que la heredabilidad en este caso nunca es del 100%, la progenie no puede ser superior a la media de la población seleccionada. La clonación de árboles plus permite obtener ganancias aun mayores, puesto que toda la superioridad genética de los padres será transmitida a sus propágulos. La heredabilidad en este caso (que se designa como $H^2 = \sigma^2_A + \sigma^2_{NA} / \sigma^2_A + \sigma^2_{NA} + \sigma^2_E$) siempre será mayor que la obtenida mediante estrategias de propagación sexual, puesto que la propagación vegetativa permite capturar tanto la varianza aditiva como la no aditiva (Zobel y Talbert 1984). Esto permite ganancias muy grandes en periodos muy cortos de tiempo, como lo demuestran los programas pioneros con *Eucalyptus grandis* y otras especies en Colombia (Lambeth y López 1988, Wright 1993) y Brasil (Zobel et al. 1983). El desarrollo reciente de técnicas simples y económicas de propagación pone esta técnica al alcance de pequeños programas de desarrollo rural (Leakey et al. 1990, Leakey y Mesén 1991, Mesén et al. 1992, 1995).

ASPECTOS ECONOMICOS

La evidencia existente sugiere que, desde el punto de vista económico, la inversión en mejoramiento genético está plenamente justificada, aun para programas de reforestación a pequeña escala. Davis (1976), por ejemplo, estimó que una ganancia de 2.5% a 4.0% en volumen sería suficiente para justificar un programa de mejoramiento genético. Carlisle y Teich (1970), por su parte, estimaron que una ganancia de 2% a 5% cubriría los costos del programa. A igual conclusión llegó Willan (1988), quien estimó que una ganancia de 2.5% sería lo mínimo requerido para justificar en términos económicos un programa de mejoramiento genético.

Considerando las ganancias de hasta 75% que es posible obtener durante un primer ciclo de mejoramiento, es claro que la inversión en mejoramiento genético está más que justificada.

Normalmente se menciona que los programas de mejoramiento son rentables solamente si existen programas sustanciales de reforestación. Sin embargo, Hamilton *et al.* (en prensa) evaluaron un programa de mejoramiento de *Gmelina arborea* en Costa Rica, que consistió en la selección de 70 árboles plus, establecimiento de tres ensayos de progenies con 50 familias, un huerto clonal con los mejores 25 clones y conversión de los ensayos de progenies en huertos de plántulas después de tres años. La producción en ambos tipos de huerto se inició al año 7 y las primeras plantaciones con material mejorado fueron establecidas al año 8. Con una ganancia estimada de 20%, la cual es perfectamente factible, un área anual de plantación de tan solo 32 ha justificó los costos del programa. Aun con ganancias tan bajas como del 5%, los autores estimaron que un área de plantación anual de 125 ha justificaría el programa.

Los reforestadores deben comprender que los costos de la semilla son una pequeña parte de los costos totales de reforestación, y que pagar un poco más por semilla mejorada está ampliamente justificado. Davis (1967) estimó para *Pinus taeda* que una ganancia en productividad de 2.5 a 4% justificaría pagar hasta tres veces más por la semilla y Willan (1988) menciona que para *Picea abies*, un mejoramiento de 10 a 15% justificaría pagar hasta 20 veces más el precio de la semilla no mejorada. Considerando las ganancias potenciales mencionadas a lo largo del documento, es claro que vale la pena pagar un ligero sobrepago por utilizar semilla mejorada. Como lo indicó Savill (1984), la semilla representa no más del 5% de los costos totales de plantación, pero una mala selección puede llevar a más problemas a largo plazo que casi cualquier otro factor.

CONCLUSIONES

La evidencia presentada indica que los beneficios directos y fácilmente cuantificables, producto del mejoramiento genético, tales como aumentos en adaptabilidad y productividad, resistencia a enfermedades y plagas, y mejoramiento en la calidad del producto final, por ejemplo, justifican por sí solos la inversión en tales programas. Además, existe una serie de beneficios adicionales que normalmente no son incluidos en los análisis económicos, derivados de la mejor forma de los árboles, su crecimiento más rápido y mayor homogeneidad, la posibilidad de reducir el área de plantación y desechar sitios marginales, etc., que hacen aún más rentable la inversión.

Además, el mejoramiento genético resulta en cambios permanentes y sostenibles en el tiempo, de tal manera que una vez logrado el cambio, este perdura a lo largo de las siguientes generaciones sin necesidad de inversiones adicionales.

También de gran importancia, pero difícil de cuantificar, es el efecto positivo del mejoramiento genético sobre la actitud hacia la reforestación. El uso de material de mala calidad sólo sirve para darle a la reforestación una mala imagen y causar un desestímulo hacia esta actividad. Ningún finquero invertiría en reforestación si en las fincas vecinas observa plantaciones de mala forma y pobre desarrollo. Por el contrario, el uso de germoplasma comprobado que resulte en plantaciones altamente productivas

genera interés por la actividad y puede iniciar una espiral de desarrollo del sector forestal. Tal aumento en la tasa de reforestación es una acción urgente e impostergable, para suplir los productos forestales que requiere la población, a la vez que ayuda a contrarrestar los efectos nocivos de la erosión, generar empleos, mejorar el ambiente, conservar los recursos forestales remanentes y en general, mejorar la calidad de vida en el planeta.

LITERATURA CITADA

- Corea E (1989) Evaluación de un ensayo de procedencias de *Pinus oocarpa* - *P. patula* ssp. *tecunumanii* en cuatro sitios de Costa Rica. M.Sc. Tesis. Sistema de Estudios de Posgrado Universidad de Costa Rica - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 179 p.
- Cornelius JP (1995) Introducción al mejoramiento genético forestal. In Manual / Materiales Suplementarios, V Curso. Internacional sobre Mejoramiento y Conservación de Recursos Genéticos Forestales. Turrialba, Costa Rica, 4-29 de noviembre, 1995. Capítulo 1, pp. 1-9.
- Davis LS (1967) Investments in loblolly pine clonal seed orchards; production costs and economic potential. *J. Forestry* 65:882-887.
- Hamilton C, Chandler L, Brodie A, Cornelius JP (en prensa). A financial analysis of a small scale *Gmelina arborea* Roxb. improvement programme in Costa Rica.
- Lambeth CC, López JL (1988) Programa clonal de mejoramiento de árboles de *Eucalyptus grandis* para Cartón de Colombia. Smurfit Cartón de Colombia, Investigación Forestal. Informe de Investigación No. 120. 5 p.
- Leakey RRB, Mesén F, Tchoundjeu Z, Longman KA, Dick JMcP, Newton A, Matin A, Grace J, Munro RC, Mutoka PN (1990) Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review* 69(3):247-257.
- Leakey RRB, Mesén F (1991) Hacia una estrategia para la silvicultura clonal: guía basada en experiencias con árboles tropicales. In Cornelius JP, Mesén F, Corea E (eds) Manual sobre Mejoramiento Genético Forestal con Referencia Especial a América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE, Proyecto Mejoramiento Genético Forestal. pp 135-152.
- Mesén F (1990) Resultados de ensayos de procedencias en Costa Rica. Serie Técnica, Informe Técnico No 156, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 42 p.
- Mesén F, Leakey RRB, Newton AC (1992) Hacia el uso de la silvicultura clonal por el pequeño finquero. *El Chasqui* 28:6-18.
- Mesén F, Leakey RRB, Newton AC (1995) Propagadores de subirrigación: un sistema simple y económico para la propagación vegetativa de especies forestales. Preparado para el Simposio sobre Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina, Managua, Nicaragua, 16-20 de octubre, 1995. 11 p.
- Savill PS (1984) Selection of species. Lecture Notes, University of Oxford, no publicado.
- White TL (1987) A conceptual framework for tree improvement. *New Forests* 4:325-342.
- Willan RL (1988) Economic returns from tree improvement in tropical and sub-tropical conditions. Danida Forest Seed Centre, Technical Note No. 36. 37 p.

Wright JA (1993) Twenty years of industrial tree improvement at Smurfit Cartón de Colombia. Investigación Forestal, Research Report No. 146.

Zobel B, Talbert J (1984) Applied Forest Tree improvement. John Wiley and Sons, New York. 505 p.

Zobel B, Campinhos E, Ikemori Y (1983) Selecting and breeding for wood uniformity. *Tappi J.* 66(1):70-74.

