



Existe una gran necesidad de hacer que las tierras forestales sean más productivas. Una mayor productividad es especialmente importante en las regiones forestales tropicales, donde podría ocurrir una catástrofe en el año 2000 si no se toman medidas pertinentes para invertir la tendencia hacia una menor producción forestal (Holden, 1980). La urgencia de emprender acciones pertinentes en los trópicos y la necesidad de lograr el potencial productivo del bosque con productos de la mejor calidad provenientes de las tierras forestales tropicales, han sido recalçadas por Johnson (1976). En docenas de publicaciones recientes se han señalado las necesidades y métodos para aumentar la productividad, como ejemplo puede citarse la de Anderson (1978), quien piensa que la producción en el sur de los Estados Unidos puede duplicarse si se utilizan todos los aspectos de manejo del bosque (reconoce que el mejoramiento genético forestal es un componente importante). Anderson señala además la necesidad del mejoramiento genético de la calidad de la madera. Los conceptos de cómo afectará la calidad de la madera el cambio de las actividades dasonómicas, han sido subrayados por Baskerville (1977).

Se reconoce ahora de manera general que una forma importante de aumentar el rendimiento y calidad de las tierras forestales es a través del mejoramiento genético forestal. Sin embargo, para que este aspecto de la silvicultura se utilice integralmente, las ganancias y las mejoras deben cuantificarse y sujetarse al análisis de costos y beneficios. Los esfuerzos del mejoramiento genético forestal se tornan académicos, a menos que su uso aumente el valor del bosque y sus productos. Los beneficios que se obtienen del mejoramiento genético forestal pueden tomar varias formas, tales como una mayor adaptabilidad, una mayor producción en volumen, mejor calidad de la madera producida y otras formas que dan como resultado un producto final mejorado. La reducción de la edad óptima de rotación para obtener el producto deseado y desarrollar una mayor uniformidad en los árboles producidos son beneficios potenciales importantes. Es evidente que estos factores están interrelacionados y no pueden estimarse independientemente.

El análisis económico del mejoramiento genético forestal es complejo. Existen tantas variables como tiempo, especie, localidad, costos, tasas de inflación, tasas de interés, mercados, etc., que puede parecer casi imposible hacer estimaciones comparativas de los costos. Sin embargo, debe intentarse el análisis económico para justificar el mantenimiento o expansión de las actividades del mejoramiento genético forestal. Para lograr esto, deben hacerse varias suposiciones basadas en la experiencia, la opinión y, con frecuencia, en el juicio acerca de los costos y ganancias desconocidos. Esta dificultad se complica aún más por el principal factor en dasonomía: EL TIEMPO. Es muy difícil predecir los valores, los costos y los parámetros económicos para el futuro. En consecuencia, la mayoría de los análisis económicos que se han hecho son de naturaleza general o bien están desarrollados para contar con la opción de elegir entre varios niveles de factores desconocidos, tales como costos, tasas de interés y de inflación. Aunque imprecisos, estos resultados generalizados tienen un propósito útil.

Vale la pena mencionar que todos los análisis bien planeados han mostrado que el mejoramiento genético forestal es una actividad económicamente redituable. Este resultado general fue señalado claramente por Carlisle y Teich (1970a) al afirmar

que "aun cuando esté sujeto a este tipo de escrutinio objetivo y riguroso, el mejoramiento genético forestal ha demostrado ser no sólo económicamente redituable sino la mejor de muchas opciones".

Determinar las ganancias es un poco más simple que un análisis económico completamente desarrollado. Existen problemas con los diseños de prueba y la edad que hacen que las ganancias obtenidas por el uso de la genética sean difíciles de calcular con exactitud. Sin embargo, se han obtenido buenos valores generales que son muy útiles como guía. Con frecuencia, se han hecho estimaciones de las ganancias que son bastante inciertas debido a que están basadas en rodales de árboles inmaduros. Las estimaciones hechas con datos provenientes de árboles jóvenes, especialmente las que expresan porcentajes de mejoramiento, no sólo son deficientes, sino que pueden ser engañosas. Existen varias razones para esto. La más importante es que conforme los árboles crecen, cambia la base sobre la cual se calculan los porcentajes; como consecuencia, el porcentaje por lo general disminuye con la edad.

Un catálogo de las ganancias o utilidades económicas específicas tendría poco significado en este libro. Sólo se mencionarán las tendencias generales más amplias, indicando la referencia específica pertinente con fines ilustrativos.

## GANANCIAS

### Generalidades

Siempre surge la pregunta de cuánta ganancia es necesaria para justificar la intensificación continua de las operaciones del mejoramiento genético forestal.

El aumento de las mejoras y los costos para lograr cada una de éstas usualmente no están relacionados en forma lineal. En general, las ganancias iniciales se obtienen relativamente fácil, pero las demás ganancias se tornan más difíciles y costosas de lograr. El hecho es que en general se busca obtener ganancias *óptimas*, más que ganancias *máximas*. Las primeras son las que es posible obtener antes de que el costo adicional por cada unidad extra de mejora exceda al valor del mejoramiento que puede obtenerse. El concepto de que las ganancias óptimas deben ser el objetivo del manejo intensivo y que las ganancias máximas en general no son económicamente atractivas, suele pasarse por alto en dasonomía. De acuerdo con Gruenfeld (1975), rara vez es favorable producir ganancias máximas. Esto se aplica a la ganancia genética lo mismo que a la económica, por lo que los programas de mejoramiento genético deben estar gobernados por este concepto.

La estimación de la ganancia genética está llena de numerosos escollos. La etapa en que se determinan las ganancias es tan importante como la metodología, la especie y la localidad. Además, las ganancias están restringidas por la "regla de los factores limitantes". Por ejemplo, sin considerar la calidad genética que se haya desarrollado, ciertos factores del ambiente, como la humedad o los nutrientes, pueden estar restringidos de modo que el mejoramiento genético no puede expresarse completamente.

Como se mencionó en los primeros capítulos, la ganancia en un programa de selección es una función de la heredabilidad y el diferencial de selección. Esto parece

ser simple y directo cuando se aplica a una sola característica. Sin embargo, en un programa de mejoramiento genético participan simultáneamente varias características, cada una de las cuales tiene distintas heredabilidades y diferenciales de selección. En el mejoramiento genético forestal, el interés se centra en la ganancia total obtenida a partir de todas las características. Para expresar esto, es fundamental utilizar algún tipo de índice para considerar las ganancias e importancia de cada característica como parte de una estimación total. Con bastante frecuencia se utiliza un programa de mejoramiento de características múltiples, pero las ganancias se expresan en términos de únicamente una característica. Para ser exacto, la ganancia total debe ser el valor total determinado por la ganancia obtenida en cada característica, medida por su valor económico. Como se señaló en el capítulo 13, a medida que se incluyan características adicionales en el esfuerzo del mejoramiento genético forestal, se obtendrán menos ganancias para cualquier característica individual, pero lo que se busca es el óptimo para todas las características combinadas.

Desde el punto de vista económico, el tiempo necesario para lograr las ganancias es de importancia fundamental. Como se expresó en los primeros capítulos, "el tiempo es dinero"; por lo que uno de los mayores beneficios de un programa de mejoramiento genético forestal es reducir el tiempo que se requiere para obtener un producto deseado. Con frecuencia, las ganancias obtenidas con el mejoramiento genético forestal se expresan como ganancias totales pero, como se señaló en el capítulo 13, el estándar económico real debe ser la *ganancia por unidad de tiempo*.

La manera como deben expresarse mejor las ganancias genéticas es un verdadero problema. Cualquier medida que se utilice puede ser errónea o engañosa; esto se aplica tanto a valores de porcentaje como de unidades. La estimación más segura de las ganancias es de naturaleza monetaria; es decir, ¿qué valor en dinero representan las ganancias? Aunque ésta es la mejor forma, todavía tiene muchas deficiencias debido a que suele desconocerse el valor monetario de una unidad de ganancia o el costo para obtenerla. Por ejemplo, ¿qué valor representa la reducción del 15% en la infección de una enfermedad, o cuál es el valor de los árboles con fuste muy recto de modo que por tres veces más están en una categoría de rectitud que podría utilizarse para elaborar productos de mayor valor?. Cuando el peso específico aumenta de 0.48 a 0.50, ¿cuál es el efecto económico sobre las operaciones dasonómicas y de manufactura? El valor del incremento en volumen o de la producción de más peso seco de madera por unidad de área puede estimarse con razonable exactitud, pero dicha estimación es muy difícil de llevar a cabo en el caso de la mayoría de los factores cualitativos del árbol.

### Evaluación de las ganancias a partir de estimaciones en árboles jóvenes

Es necesario tener mucho cuidado al estimar y predecir las ganancias genéticas. Los datos siempre se requieren de inmediato, por lo que mejoradores forestales y encargados de huertos en ocasiones se sienten muy presionados para hacer predicciones

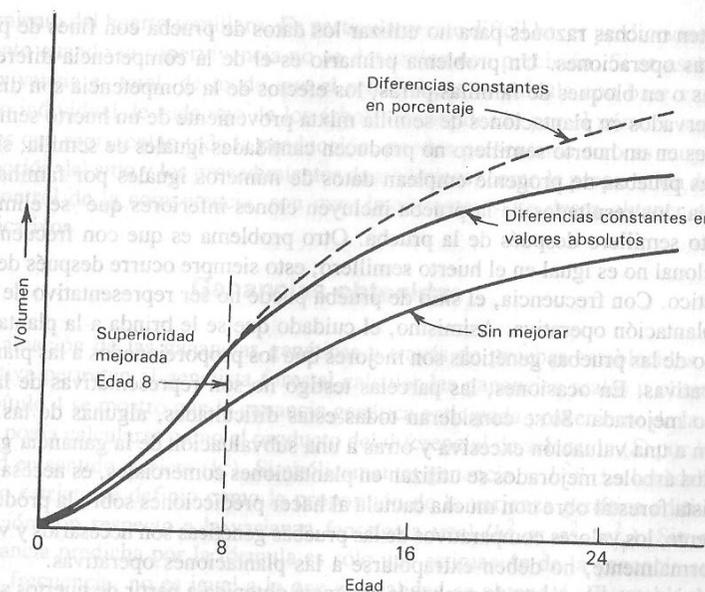
y planeamientos, aun cuando los datos estén incompletos o las pruebas no estén suficientemente desarrolladas. El rendimiento de algunas características en la madurez no puede estimarse fácilmente utilizando árboles jóvenes; por ejemplo, se señaló en un principio que debido a las diferencias que existen en las curvas de crecimiento, las características de crecimiento en general no pueden determinarse con seguridad en menos de la mitad de la edad de rotación. Sin embargo, debido a la necesidad urgente de contar con información orientadora, las ganancias suelen calcularse e iniciarse grandes programas basados únicamente en el rendimiento de árboles jóvenes. Muchos de los datos de ganancia genética que existen en la bibliografía no son totalmente confiables debido a que están basados en estimaciones que se hicieron muy tempranamente. Por otra parte, algunas características pueden valorarse tempranamente con considerable exactitud. Por ejemplo, las características relacionadas con la supervivencia pueden estimarse a una edad temprana, a menos que las condiciones de crecimiento fueran especialmente favorables en las primeras etapas de desarrollo del rodal. El peso específico de la madera de árboles maduros puede estimarse en general utilizando árboles más bien jóvenes. En contraste, los árboles deben ser considerablemente maduros antes de que pueda predecirse con razonable exactitud la longitud de las traqueidas. Otra característica importante que puede estimarse tempranamente es la rectitud del fuste del árbol.

La importancia de las correlaciones juvenil-maduro y la confiabilidad de la predicción del rendimiento subsecuente a partir de una estimación temprana, varían con la especie y las características en cuestión. La mayoría de las características relacionadas con el crecimiento requieren períodos prolongados para obtener una información razonablemente precisa, aunque las predicciones tempranas pueden ser un poco más precisas en familias en comparación con las de árboles individuales. La predicción a edades tempranas suele ser mejor en el caso de las procedencias; por ejemplo, una procedencia proveniente de grandes altitudes crece más lentamente que una que proviene de bajas altitudes, sin importar su edad. El concepto de predecir el rendimiento de árboles maduros a partir de edades juveniles siempre ha sido importante, pero lo es más hoy en día debido al mayor uso de la propagación vegetativa, en la cual se requiere material joven para facilitar el enraizamiento. Se han llevado a cabo varios estudios con las llamadas "superplántulas", en los cuales se seleccionan plántulas de viveros sobresalientes con vistas a un posible rendimiento mayor en la edad de rotación. Los resultados no han sido determinantes. Por ejemplo, Sweet y Wareing (1966) han encontrado que las plántulas grandes seleccionadas de pino "radiata" no crecieron más rápido, y Brown y colaboradores (1961) encontraron esta misma situación en el caso del pino "loblolly". Sin embargo, Hatchell y colaboradores (1972) encontraron que las plántulas de pino "loblolly" seleccionadas habían crecido más después de 10 años, por lo que recomendaron bastante el método, como lo hizo Nienstaedt (1981) en el caso de la "super" picea. Respecto a la picea, Barneoud y colaboradores (1979) encontraron también una disminución y advirtieron que debía tenerse cuidado en utilizar el método de selección de las superplántulas. Robinson y van Buijtenen (1979) concluyeron que, a pesar de una disminución observada del crecimiento, todavía eran evidentes ganancias significativas en el pino "loblolly" de 15 años. Varios investigadores

han recalcado que la forma del fuste y la copa de las superplántulas seleccionadas era desigual; es decir, que éstas se asemejaban en muchas formas a los "árboles ramudos" típicos (en inglés: "wolf trees", aquellos árboles cuyo tamaño y posición impiden el crecimiento de árboles vecinos más pequeños y potencialmente más valiosos ocupando el espacio, luz y nutrientes de éstos).

No pueden citarse todos los estudios efectuados sobre la relación entre el crecimiento de las etapas juvenil y maduro, pero muchas pruebas indican que el rendimiento en el primer año, o rendimiento de vivero, no es un buen indicador del crecimiento posterior. Esto fue cierto incluso en el caso del sauce de crecimiento rápido, con base en una rotación de 4 años. Barrett y Alberti (1972) señalaron: "se concluye que la evaluación o selección basada en el rendimiento del crecimiento durante el primer año es ineficaz". Por otra parte, Mohn y Randall (1971) obtuvieron ganancias en el álamo de crecimiento rápido prediciendo la altura de éste árbol al tercero y cuarto años con base en estimaciones a corto plazo. Los autores de este libro han observado situaciones en las que la selección temprana de *Populus*, ha conducido a algunas conclusiones erróneas sobre el potencial de crecimiento a una edad tan temprana como el tercer año de vida del árbol. La incertidumbre fue resumida por Wilkinson (1974), quien mencionó que en el caso de los álamos híbridos, las correlaciones entre el primero y los 15 años pueden ser bastante bajas, de modo que puede ser necesario reducir las intensidades de selección para preservar los mejores clones a los 15 años. Es evidente que el uso generalizado y al por mayor de las superplántulas como una base importante para llevar a cabo las selecciones debe hacerse con el mayor cuidado, y sólo después que la prueba completa ha indicado las relaciones juvenil-maduro.

Otro problema que implica la edad está relacionado con el tamaño del árbol y el cambio de porcentaje de superioridad a medida que las pruebas maduran. Por ejemplo, no es aceptable predecir el crecimiento en volumen comercial con base en volúmenes de árboles que tengan entre 2.5 y 5.0 cm de diámetro. Aun así, dichas predicciones suelen hacerse, y las ganancias de volumen pronosticadas son algo más que inútiles. Las tablas para volúmenes de árboles pequeños las más de las veces son imprecisas. La forma del árbol y el porcentaje relativo de corteza suelen cambiar bastante con la edad del árbol. Lo que es más importante, es que una pequeña diferencia de volumen en árboles pequeños se traducirá en un gran valor de porcentaje que no es del todo representativo de las diferencias que se encontrarán en los árboles maduros. Por ejemplo, es fácil encontrar familias de árboles que tengan 1 m de altura al primer año de edad, mientras que otras familias de la misma prueba tienen sólo 0.5 m de altura. Así, las mejores familias son 100% superiores a las demás. No obstante, a la edad de 20 años una familia podría tener una altura de 20 m y la otra 15 m. La superioridad del 100% ha disminuido hasta una superioridad del 33%, aun cuando las diferencias de familia sean todavía muy notables (figura 14.1). Las diferencias de porcentaje basadas en el rendimiento a una edad temprana nunca deben extrapolarse a árboles maduros debido a que la base sobre la cual se calcula el porcentaje aumenta, por lo que éste tiende a disminuir. Evidentemente, toda ganancia genética presentada en valores de porcentaje debe considerarse con cierto cuidado, y debe tomarse en cuenta la edad a la cual se calcularon los porcentajes.



**Figura 14.1** Las proyecciones de mejoramiento son bastante distintas, dependiendo de si se utilizan valores absolutos o porcentajes de ganancias. La gráfica muestra una proyección hipotética de mejoramiento en volumen a partir de la medición en el octavo año, y en la cual se muestran los tipos de diferencias en los volúmenes proyectados, dependiendo de si éstos están basados en diferencias absolutas o en diferencias de porcentaje en ese año.

### Importancia de la parcela y del diseño de prueba

Los datos de las parcelas de investigación no deben utilizarse para predecir la producción bajo condiciones forestales operativas. La mayoría de las parcelas de investigación en genética forestal están diseñadas para mostrar sólo rendimientos comparativos entre fuentes o familias. Usualmente se incluye un control comercial para dar alguna indicación del rendimiento relativo del material de prueba en relación a lo que se estaba plantando operativamente antes del mejoramiento genético. Dicha información es buena y útil, pero debe tenerse mucho cuidado al transferir los datos del crecimiento absoluto de las pruebas a las plantaciones operativas, y con ello hacer proyecciones económicas. Los datos de la tasa de crecimiento provenientes de parcelas en hilera, diseñadas para probar los progenitores en un huerto semillero, no pueden transferirse directamente al crecimiento observado por unidad de área en una plantación. No es raro encontrar una reducción del 10 al 15% entre las tasas de crecimiento de la plantación de prueba, en comparación con las de la plantación establecida bajo condiciones operativas.

Existen muchas razones para no utilizar los datos de prueba con fines de predicción en las operaciones. Un problema primario es el de la competencia diferencial. En hileras o en bloques de familias puras, los efectos de la competencia son distintos a los observados en plantaciones de semilla mixta proveniente de un huerto semillero. Los clones en un huerto semillero no producen cantidades iguales de semilla; sin embargo, las pruebas de progenie emplean datos de números iguales por familia. Con frecuencia, los resultados de la prueba incluyen clones inferiores que se eliminarán del huerto semillero después de la prueba. Otro problema es que con frecuencia, la mezcla clonal no es igual en el huerto semillero; esto siempre ocurre después del aclareo genético. Con frecuencia, el sitio de prueba puede no ser representativo de los sitios de plantación operativa. Asimismo, el cuidado que se le brinda a la plantación y el manejo de las pruebas genéticas son mejores que los proporcionados a las plantaciones operativas. En ocasiones, las parcelas testigo no son representativas de la plantación no mejorada. Si se consideran todas estas dificultades, algunas de las cuales conducen a una valuación excesiva y otras a una subvaluación de la ganancia genética cuando los árboles mejorados se utilizan en plantaciones comerciales, es necesario que el genetista forestal obre con mucha cautela al hacer predicciones sobre la producción. Ciertamente, los valores comparativos de las pruebas genéticas son necesarios y valiosos pero, normalmente, no deben extrapolarse a las plantaciones operativas.

La única manera cierta de probar la ganancia obtenida a partir de huertos semilleros, en comparación con el material comercial, es coleccionar directamente la semilla del huerto semillero una vez que se ha alcanzado la productividad total y probar la línea mejorada respecto de la línea no mejorada en plantaciones apareadas que hayan sido diseñadas para reducir al mínimo los efectos ambientales, pero que todavía puedan manipularse en una forma operativa. Si desea obtener ganancias de huertos semilleros depurados, el genetista forestal debe realizar la prueba una vez que el huerto se ha depurado completamente. Esto significa que deben transcurrir muchos años antes de que puedan iniciarse las pruebas de las ganancias provenientes de huertos semilleros. En su impaciencia, muchos encargados de huertos semilleros utilizan la primera cosecha de semilla comercial para establecer pruebas de ganancias. En un huerto joven, sólo unos pocos clones producen polen o semilla; una "regla empírica" utilizada por muchos encargados de huertos de pinos, es que en huertos jóvenes el 80% de la semilla es producida por el 20% de los clones. Si uno o dos de los mejores productores son especialmente buenos o especialmente malos, la estimación de las ganancias obtenidas del huerto puede ser muy errónea. La desigual contribución genética a la cosecha de semilla puede ser tan extrema como la encontrada por Bergman (1969), quien determinó que más de la mitad de la constitución genética de la semilla de un huerto semillero provenía de un clon. Éste es un caso extremo para un huerto muy joven; el balance mejora a medida que los huertos llegan a la madurez. Además, la fuente principal de polen dentro de los huertos semilleros jóvenes puede provenir de rodales vecinos no mejorados.

Una situación especial se presenta cuando la semilla se colecta y se siembra a través de árboles madre o clones. En este caso, la prueba debe ser por bloques de familias, y si se realiza correctamente, pueden hacerse predicciones bastante precisas del

rendimiento del huerto semillero. Es particularmente difícil hacer predicciones del rendimiento cuando la supervivencia no se determina con precisión. Si se asume que la supervivencia es total, de modo que el rendimiento se calcula con base en el rendimiento individual de cada uno de los árboles multiplicado por el número supuesto de árboles que representan toda la producción, pueden presentarse errores muy grandes. La elección del sitio y los procedimientos dasonómicos, como la preparación del terreno o el control de la competencia, son muy importantes si se desea obtener resultados significativos.

### Ganancias obtenidas

La evaluación de las ganancias genéticas a través de pruebas establecidas en forma operativa permiten al genetista forestal calcular las ganancias reales u obtenidas. En el capítulo 4 se mostró que la ganancia genética anticipada proveniente de la selección masal podía calcularse como el producto del diferencial de selección ( $S$ ) por la heredabilidad en sentido estricto ( $h^2$ ). Simbólicamente: ganancia =  $h^2S$ . La heredabilidad en sentido estricto se definió como la proporción de la varianza genética aditiva de una población con respecto a la varianza fenotípica total ( $h^2 = \sigma^2_A/\sigma^2_P$ ). Sin embargo, la ganancia predicha por la fórmula es sólo una estimación de la ganancia anticipada y, con frecuencia, no es igual a la que en realidad se obtendrá. El establecimiento y evaluación de estudios diseñados específicamente para estimar las ganancias obtenidas permitirán al genetista forestal mostrar lo que realmente se ha logrado a través de los procedimientos de selección y cruzamiento.

### Métodos para obtener ganancias

Aunque existen excepciones, las ganancias que se obtienen a partir del mejoramiento genético forestal pueden agruparse en tres grandes categorías. En general, estas categorías están basadas en pruebas, selección y cruzamiento genéticos, lo cual permite obtener logros continuos con el tiempo y en generaciones posteriores. Las categorías básicas, las cuales se mencionaron en los primeros capítulos, son las siguientes:

1. **Selección masal seguida de prueba.** La mayor parte del mejoramiento genético forestal hasta la fecha ha dependido de la selección de árboles deseables, prueba de éstos para determinar los mejores genotipos, y de la polinización abierta entre ellos para producir semilla destinada a la plantación operativa. Las ganancias obtenidas a partir de una generación de selección utilizando este método han sido notablemente buenas, especialmente en el caso de aquellas características que muestran heredabilidades razonablemente altas (es decir, están bajo control genético aditivo considerable) y donde la variación total y, por ende, los diferenciales de selección son adecuadamente grandes. A causa de que ocurren segregación y recombinación cuando se utiliza la reproducción sexual, si existe una varianza genética no aditiva considerable la descendencia no será exactamente igual a los progenitores (ni tan buena como éstos). Sin embargo, las ga-

nancias representan un movimiento de la población promedio en la dirección deseada.

**2. Selección fenotípica seguida de propagación vegetativa y prueba.** El uso de la propagación vegetativa está adquiriendo una importancia cada vez mayor en la dasonomía. Cuando es adecuada, las ganancias son buenas debido a que los individuos con buenos valores genéticos aditivos y no aditivos se reproducen intactos. En el caso de características con una gran proporción de varianza no aditiva, la propagación vegetativa es particularmente importante debido a que puede transferirse toda esta porción de la calidad genética del progenitor donador al propágulo. La única acción en el mejoramiento genético forestal que aumentará la ganancia genética más que cualquier otra, es aprender a utilizar la propagación vegetativa más amplia y eficazmente.

**3. Realización de cruza especiales.** Cuando las características son controladas fundamentalmente por acción genética no aditiva, pueden utilizarse diseños de cruza especiales para obtener las características deseadas utilizando combinaciones específicas de progenitores. Cuando las pruebas indican que dos progenitores producen descendencia sobresaliente, esta información puede utilizarse para realizar las cruza específicas requeridas a fin de producir los lotes de semilla deseados en cantidades suficientes para lograr la reforestación. Esto debe hacerse mediante cruza controladas o a través de algún sistema de polinización masal controlada. En los programas especiales de cruza que incluyen huertos semilleros de dos clones, pueden utilizarse eficazmente plantas masculinas estériles, o aquellas que no se autopolinizan. Las ganancias obtenidas con este procedimiento pueden ser grandes si existe varianza genética no aditiva considerable; éste es un método que se utilizará más ampliamente para obtener árboles destinados a áreas problema o para necesidades especiales de aquellas especies en las que la propagación vegetativa no es económicamente factible. Actualmente, la producción de grandes cantidades de semilla por medio de cruza especiales es difícil y costosa, pero a medida que avance la tecnología se utilizarán más progenies de polinización controlada.

### Magnitud de las ganancias

Es importante mencionar varias categorías de características y sus respuestas al manejo genético. El mejoramiento genético puede obtenerse seleccionando entre poblaciones o entre árboles individuales dentro de las poblaciones. Como se mencionó en detalle en un principio, las características relacionadas con la adaptabilidad suelen estar asociadas más estrechamente con las poblaciones, en comparación con la mayoría de las demás características económicas que están relacionadas más estrechamente con la herencia en árboles individuales. Es de suma importancia que en el caso de la mayoría de las especies, muchas de las características importantes del árbol no están estrechamente relacionadas desde el punto de vista genético; por lo tanto, es posible trabajar para obtener una población "hecha a la medida" que contenga un paquete de las características deseadas.

A continuación se hace una lista de las ganancias que se han logrado para varias categorías de características obtenidas a través del manejo de árboles individuales. Podría darse una larga lista de referencias para cada una de esas categorías, pero sólo se citará un par de estudios representativos.

**1. Características de crecimiento.** En general, la manipulación genética de las características de crecimiento permite obtener sólo ganancias modestas mediante la regeneración a partir de semillas, si bien dichas ganancias ciertamente valen la pena. La mayoría de las estimaciones del crecimiento se han basado en la altura, pero cuando el crecimiento en volumen se ha determinado realmente las ganancias han aumentado (Jeffers, 1969; Talbert, 1982). En un resumen de las ganancias obtenidas con el mejoramiento genético forestal, Nikles (1970) informó de un rendimiento económico neto del 30% en plantaciones de 15 años basado en el crecimiento de *Pinus elliottii* y *P. radiata* en Australia. Snyder (1973) encontró una ganancia del 43% en volumen a partir del mejor 10% de las familias de pino "longleaf" estudiadas. La genética del crecimiento es compleja y en general tiene un fuerte componente no aditivo y ambiental, además de un componente aditivo. Asimismo, suele existir una fuerte interacción genotipo-ambiente para el crecimiento, la cual restringe las posibles ganancias cuando una población está destinada a ser utilizada en grandes áreas. Así, las ganancias en crecimiento utilizando un programa de huertos semilleros serán modestas, pero económicamente valen la pena. Las ganancias en crecimiento pueden ser considerablemente mayores cuando se utilizan métodos especiales de mejoramiento genético o propagación vegetativa.

**2. Rectitud del árbol y características cualitativas de las ramas.** La rectitud del fuste del árbol es notablemente heredada y responde bien a los sistemas de propagación sexual o vegetativa. Debido a la intensidad de su herencia, con frecuencia se obtienen suficientes ganancias en rectitud durante la primera generación de selección intensiva, de modo que la selección de esta característica puede disminuirse en generaciones subsecuentes (Goddard y Strickland, 1964; Campbell, 1965; Enrenberg, 1970). Las características de las ramas resultan afectadas mucho más por el ambiente que la rectitud del fuste del árbol, pero existe suficiente control genético para mejorar dichas características. En general, las ganancias serán menores a las de la rectitud del fuste del árbol (Shelbourne y Stonecypher, 1971). Debido al efecto sobre el producto final y a su patrón hereditario, el énfasis en un programa de mejoramiento genético forestal debe hacerse en general sobre la rectitud del fuste, pero no deben ignorarse las cualidades de las ramas. Éstas tienen un efecto importante sobre algunos productos, por lo que pueden obtenerse ganancias aun cuando sean modestas.

**3. Cualidades de la madera.** Aunque existen algunas excepciones, la mayoría de las propiedades de la madera están bajo un fuerte control genético aditivo, por lo que las ganancias obtenidas al utilizar un programa de huertos semilleros son buenas. Aunque muchas de las propiedades de la madera muestran una herencia razonablemente intensa, las dos que más se estudian (la longitud de las fibras

y el peso específico) muestran importantes ganancias a partir de la manipulación genética (véase el capítulo 12). Parece ser ahora que la propiedad química de producción de celulosa por unidad de peso seco de la madera, está también bajo algún grado de control genético, pero debido a su gran componente no aditivo, las ganancias genéticas sólo se obtendrán si se utilizan sistemas de propagación vegetativa o de mejoramiento genético especial. El aspecto alentador es que la herencia de una de las propiedades de la madera, el peso específico, es tan fuerte que pueden obtenerse ganancias aun dentro del sistema de características morfológicas y de crecimiento deseadas.

La manipulación genética de la madera da buenos resultados; esto ha sido comprobado por numerosos autores. En un artículo reciente, Jett y Talbert (1982) determinaron en pinos "loblolly" de 12 años que con sólo una generación de selección moderada en la cual uno de dos individuos se reservaba para un mayor peso específico de la madera, el mejoramiento y el peso seco de la madera aumentaban hasta casi  $10 \text{ kg/m}^3$  de madera.

Se han hecho numerosos cálculos acerca de las ganancias obtenidas en las propiedades de la madera, particularmente en lo que se refiere al peso específico (Dadswell y colaboradores, 1961; Zobel y colaboradores, 1972). En un análisis intensivo del valor de incluir la madera en un programa de mejoramiento genético forestal, van Buijtenenn y colaboradores (1975) determinaron que el mejoramiento genético del peso específico de la madera casi siempre era deseable para fabricar papel tapiz. No hay duda alguna de la importancia que tiene incluir la madera en un programa de mejoramiento genético para obtener ganancias.

**4. Resistencia a las plagas.** A veces pueden obtenerse enormes ganancias con el mejoramiento genético de los individuos para lograr resistencia a las plagas, y otras veces las ganancias obtenidas son pequeñas o no existen. Los resultados dependen de la variación genética del hospedero, así como del patógeno y sus interacciones con el ambiente. Las ganancias en lo que respecta a la resistencia a las plagas derivadas del uso de la genética pueden ser a veces tan grandes, que permiten lograr bosques productivos a partir de una situación que de otra manera sería improductiva. Aunque el mejoramiento genético de resistencia a las plagas falla en ocasiones, las ganancias genéticas totales, resultado de esta actividad de mejoramiento genético, han sido uno de los puntos más importantes del mejoramiento genético forestal. En el capítulo 9 se mencionaron ya las complicaciones, logros y fracasos del mejoramiento genético de resistencia a las plagas.

**5. Ambientes adversos.** Aunque gran parte de la variabilidad genética relacionada con la adaptabilidad a ambientes adversos es función de una procedencia o población, existe todavía una importante variabilidad de un árbol a otro que puede explotarse. Por ejemplo, ocasionalmente árboles de áreas cálidas son resistentes al frío, o bien los de áreas húmedas son resistentes a la sequía. Utilizar árboles individuales para desarrollar una línea tolerante deseada puede ser una tarea difícil y prolongada, pero en ocasiones no existe alguna otra forma satisfactoria

de lograrlo. Por ejemplo, ninguna de las fuentes de eucaliptos resistentes al frío muestran un crecimiento y morfología adecuados para crecer en el área de la costa del Golfo en el sur de los Estados Unidos. Por lo tanto, se están seleccionando y propagando árboles vigorosos de gran calidad provenientes de fuentes ampliamente susceptibles al frío para desarrollar la línea deseada tolerante al frío (Hunt y Zobel, 1978). Las ganancias que es posible obtener mediante el uso de individuos especialmente tolerantes a las condiciones ambientales adversas, no se han explotado suficientemente. Si se hace el esfuerzo necesario, pueden obtenerse buenas ganancias no obtenibles por otros medios.

**6. Otras características.** Existen muchos aspectos adicionales del mejoramiento genético forestal en los cuales pueden obtenerse ganancias genéticas útiles y en ocasiones importantes. Características como la fecundidad muestran vastas diferencias entre los clones, al igual que la capacidad de enraizamiento y la incompatibilidad de injerto. Estas diferencias fuertemente heredables se explotarán con más frecuencia a medida que las actividades del mejoramiento genético forestal se hagan más elaboradas. Muchas otras características fisiológicas, como la producción de resina, muestran patrones hereditarios de moderados a intensos. Por ejemplo, se ha duplicado la alta producción de aceite en los pinos utilizando individuos productores genéticamente superiores como progenitores (Franklin y colaboradores, 1970). Se han estudiado además con detalle los patrones de crecimiento y la respuesta a la luz y a otros factores ambientales (Ekberg y colaboradores, 1976; Eriksson y colaboradores, 1978).

Las ganancias genéticas a partir del mejoramiento genético forestal han sido más grandes y más fáciles de obtener que lo que originalmente esperaban la mayoría de los genetistas forestales. La gran variabilidad de los árboles forestales y la considerable varianza aditiva han hecho que los sencillos esquemas de selección masal utilizados en los programas de primera generación sean muy fructíferos. De los muchos estudios que informan de ganancias específicas, sólo se menciona aquí un ejemplo para dar al lector una idea de la magnitud de las ganancias que se han obtenido.

En un resumen reciente de las ganancias obtenidas a partir de una generación de mejoramiento genético del pino "loblolly", utilizando el sistema comparativo de selección de árboles en rodales naturales, Talbert (1982) hizo varios cálculos de ganancia en volumen con base en datos provenientes de pruebas genéticas de más de 12 años; gran parte de esto se proyectó a través de modelos de crecimiento y producción a la edad de 25 años. Por ejemplo, se pronosticaron los siguientes porcentajes de mejoramiento para la edad de 25 años de la semilla de un huerto semillero, respecto de la semilla testigo comercial.

|                                       | Volumen del rodal (%) | Valor del rodal (%) <sup>a</sup> |
|---------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Huerto semillero sin aclareo genético | 6.4                   | 18.0                             |
| Huerto semillero con aclareo genético | 12.7                  | 32.0                             |

<sup>a</sup>Incluye el valor agregado que resulta del incremento en el tamaño del árbol.

Talbert (1982) advierte especialmente acerca del cambio en el porcentaje de mejoramiento con la edad en rodales sin aclareo y señala que "una de las razones para la disminución del porcentaje de ganancias en volumen a medida que aumenta la edad, es el creciente valor en volumen sobre el cual se basa el porcentaje. Otra razón es la mayor tasa de mortalidad en rodales establecidos con material proveniente del huerto semillero, debido a la competencia más intensa que se establece entre los árboles individuales y que resulta del desarrollo más rápido del rodal". Parecería que esta situación mejoraría efectuando un aclareo en el momento oportuno.

No existe ya ninguna duda de que pueden obtenerse ganancias considerables en lo que respecta a las características más deseables de los árboles forestales en una generación de selección. Los cambios en composición genética de los rodales forestales son de tal magnitud que tienen un gran efecto sobre las estrategias de manejo del bosque (Zobel, 1979). Es importante que el genetista forestal y el silvicultor comprendan que las ganancias en volumen, rectitud del fuste o cualquier otra característica, deben interpretarse con relación a sus efectos sobre el desarrollo del rodal y actividades de manejo asociadas. Las ganancias obtenidas en cualquier característica, expresadas en términos biológicos o económicos, pueden y de hecho cambian drásticamente durante la vida del rodal y según los diferentes métodos dasonómicos y de manejo forestal.

### Resumen de las ganancias

¿En qué punto las diversas facetas y complejidades de las ganancias dejan de ser útiles al genetista forestal y cómo se utiliza la información disponible? Algunos aspectos especialmente importantes relacionados con las ganancias pueden resumirse como sigue:

1. La primera consideración es el cuidado que debe tenerse para interpretar toda la información a la luz de los requerimientos de productos, edad de los árboles, condiciones de prueba, especies y áreas involucradas. No aplique a ciegas los valores que pueden estar disponibles para otras especies, otras áreas u otros bosques de edad diferente, ya que el resultado muchas veces es similar al que se obtiene comparando manzanas con naranjas. Esta advertencia de gran importancia puede resumirse como sigue: sea crítico y analítico en lo que respecta a cualquier ganancia dada a conocer y que se esté considerando utilizarla.
2. No haga estimaciones de ganancias para bosques operativos maduros basadas en estimaciones efectuadas a partir de pruebas muy jóvenes. Esto es especialmente aplicable a las características de crecimiento en las cuales los patrones de crecimiento cambian con la edad. Algunas características cualitativas, de resistencia a las plagas y adaptativas, pueden estimarse con confianza a edades tempranas; pero incluso éstas deben interpretarse con cuidado. La bibliografía está llena de datos engañosos o claramente erróneos, debido a que éstos están basados en estudios poco extensos, muy tempranos o en otras circunstancias insatisfactorias, que se han aplicado a programas operativos.

3. Intente transformar todas las ganancias en unidades monetarias. Tenga cuidado con las ganancias dadas a conocer como porcentajes; esta precaución debe emplearse también cuando se cuente con valores unitarios reales de volumen, calidad o adaptabilidad.
4. Las estimaciones de adaptabilidad son difíciles de efectuar. Es la secuencia o situación extremas, el primer día del primer año o el primer día en 10 años, lo que puede causar problemas. Es necesario que el material que se está probando se exponga lo suficiente a los extremos y secuencias ambientales poco frecuentes que podrían ocurrir, a fin de que pueda confiarse en el rendimiento obtenido.
5. Los valores unitarios de ganancias para las características de crecimiento son fáciles de determinar, pero los de algunas características cualitativas son más difíciles de cuantificar. A pesar de esta dificultad, el valor del mejoramiento de las características cualitativas suele ser obvio; un ejemplo es producir árboles con fustes más rectos que aquellos que se encuentran en poblaciones no mejoradas.
6. El cálculo de la ganancia total obtenida a partir de un programa de mejoramiento genético forestal es muy complejo, y en última instancia debe basarse en alguna forma de un índice económico agregado.
7. Sea realista en lo que respecta a los tipos de ganancias buscados. El objetivo es, por lo general, obtener ganancias óptimas en lugar de ganancias máximas. Mucho daño se ha hecho a los esfuerzos del mejoramiento genético forestal, prometiendo mayores ganancias que las que realmente pueden obtenerse. Nadie se sorprende cuando las ganancias que se obtienen son mayores que las que se han predicho de manera mesurada, pero lo opuesto puede ser fatal para un programa de mejoramiento genético forestal.
8. Utilice los mejores métodos posibles para obtener la variabilidad genética. Cada vez se dispone de técnicas más precisas y refinadas, las cuales no deben pasarse por alto. Por ejemplo, se cuenta ahora con suficiente información para utilizar métodos especiales de producción de semillas, tales como la polinización masiva o los huertos biclonales. Asimismo, se están desarrollando rápidamente métodos de propagación vegetativa que obtienen ventaja de la varianza genética tanto aditiva como no aditiva, permitiendo obtener así mayores ganancias en menos tiempo. Se necesitan programas especiales de mejoramiento genético de desarrollo para obtener el beneficio óptimo de la propagación vegetativa.

### ASPECTOS ECONÓMICOS DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO FORESTAL

El valor final del mejoramiento genético forestal depende de su aportación al manejo forestal; dicho de otra forma, ¿en qué proporción aumenta el mejoramiento genético forestal las utilidades derivadas de las actividades dasonómicas? A pesar de aquella gran complejidad que implica estimar el valor real de una serie de acciones e inver-

siones complejas que suelen no proporcionar ganancias durante varios años, se han llevado a cabo numerosos estudios sobre el valor económico de las actividades del mejoramiento genético forestal. Al principio, estas estimaciones estuvieron relacionadas con los costos y ganancias esperadas o predichas. Recientemente, se están obteniendo valores más reales, los cuales pueden utilizarse para llevar a cabo análisis económicos importantes.

Como es común en todos los aspectos del mejoramiento genético forestal, el tiempo es el principal obstáculo para realizar análisis económicos adecuados. Aun después de que se conocen los costos y ganancias genéticas reales, existe siempre la incertidumbre de las tasas de interés, mercados futuros, inflación y condiciones económicas generales. En el caso de la mayoría de los productos forestales, las incertidumbres adicionales son las que se relacionan con la competencia por materiales que pueden utilizarse para sustituir productos de madera; por ejemplo, alguna vez predominó el temor de que el plástico pudiera sustituir a los productos de papel, y en realidad esto ha ocurrido hasta cierto grado, como lo demuestran los envases para leche y las bolsas que se proporcionan en los supermercados. No hace muchos años, los forestales fueron advertidos de que el aluminio, el acero y el concreto reducirían ampliamente el uso de los productos de madera en la industria de la construcción. Esto ocurrió hasta cierto grado, pero ha disminuido debido al alto costo de la energía necesaria para fabricar los materiales alternativos.

Un obstáculo importante para los programas de mejoramiento genético forestal y su aplicación final es la incertidumbre del producto. Un aspecto de esto rara vez reconocido pero importante, es la consideración de la moda, especialmente en el caso de productos de madera sólida para uso bajo situaciones altamente estéticas, como muebles o acabado de la habitación. Los estilos en los productos de madera pueden variar como en el caso de la ropa. Un ejemplo es el abedul espiralado en Europa; este tipo único de madera es altamente heredable, lo cual hace que se obtengan buenas ganancias genéticas en un tiempo relativamente corto (Johnsson, 1950). El abedul espiralado fue por muchos años un producto muy raro de gran valor. A medida que se produzcan más árboles con este tipo de madera, será más común y disminuirá el precio de ésta. En el caso del cerezo "black" (*Prunus serotina*), ocurrió un cambio en el valor de la madera en la industria mueblera de los Estados Unidos. Esta especie se utilizó por muchos años para fabricar muebles, pero después escaseó y tuvieron que utilizarse otras maderas como el fresno y el nogal "white". Debido a este cambio, recientemente se ha cuestionado la conveniencia de continuar los proyectos de mejoramiento genético del cerezo que se habían iniciado anteriormente.

Los valores y las necesidades futuras de productos son fundamentales para cualquier valoración económica de la importancia del mejoramiento genético forestal. Dado que aquéllos son muy difíciles de predecir, pueden ponerse en tela de juicio todos los estudios económicos habidos y por haber. A pesar de estas imperfecciones, los estudios ya realizados han indicado un panorama claro y repetitivo del valor económico del mejoramiento genético forestal. En uno de los primeros estudios acerca de los aspectos económicos del mejoramiento genético forestal, Davis (1967a) concluyó su estimación con el siguiente enunciado prudente pero optimista:

*Aún reconociendo las diversas suposiciones que se han hecho para calcular los costos y lograr los incrementos de producción requeridos, está todavía bastante claro que las inversiones hechas en semilla proveniente de huertos semilleros comerciales, son lo suficientemente bajas para que la mínima posibilidad de obtener un mayor rendimiento las justifique. En resumen, desde el punto de vista del productor de madera en pie, parece indudable que las inversiones actualmente hechas en huertos semilleros de pino "loblolly" permanecen dentro de los límites permisibles con respecto a la justificación financiera. Si las expectativas más altas de obtener ganancias se materializaran, probarían ser excelentes inversiones.*

Este resumen, basado en algunos costos iniciales y utilidades poco significativas, se asemeja mucho al elaborado posteriormente por Carlisle y Teich (1970b), cuando se contaba con datos más confiables.

Es comprensible que debido a la falta de información, muchos de los primeros análisis económicos, así como también algunos de los actuales, se refieren a los aspectos económicos del mejoramiento genético forestal sólo en términos generales. Sin embargo, en algunos estudios se tratan situaciones específicas. Uno de los primeros estudios fue el de Perry y Wang (1958), quienes calcularon el valor agregado que resultaría para la empresa forestal cuando se utilizara semilla para siembra con diferentes grados de mejoramiento genético. No se contaba en esa época con los costos y ganancias genéticas reales, pero los cálculos realizados permitieron tener una buena idea de la intensidad del esfuerzo genético necesario para justificar ciertos costos. Parte del análisis tuvo que ver con la cantidad de dinero que podría gastarse para producir un kilogramo de semilla que produjera la cantidad deseada de ganancias. El estudio más reciente y profundo de Weir (1975) trata de los problemas financieros que resultarían de la pérdida del crecimiento mejorado en las plantaciones operativas, si los insectos destruyeran la semilla en desarrollo de un huerto semillero. Los cálculos indicaron que la pérdida de semilla del huerto semillero tendría un mayor impacto sobre la economía forestal que las actuales pérdidas causadas por el escarabajo de los pinos del sur, el cual se considera como una de las plagas más destructivas en esa región. Su artículo trata claramente un hecho que suele pasarse por alto, esto es, que están ocurriendo pérdidas "invisibles" en dasonomía debido a que no se utilizan plántulas mejoradas para establecer las plantaciones.

### Valor económico del mejoramiento genético forestal

Muchos economistas prefieren basar sus estimaciones en la cantidad de ganancia genética necesaria para justificar un programa dado. Ésta es una forma relativamente fácil de ilustrar los aspectos económicos del mejoramiento genético forestal, y se puede relacionar con las ganancias genéticas que realmente se obtienen. Un ejemplo es el de Davis (1976b), quien calculó que sería necesaria una ganancia en volumen del 2.5 al 4.0% sobre la línea utilizada corrientemente para establecer las plantaciones a fin de justificar un programa de mejoramiento genético forestal. Davis subrayó la dificultad de incluir en dicho cálculo el mejoramiento de la calidad, además de las ganancia-

cias en volumen más fácilmente determinables. Basados en sus experimentos llevados a cabo en Canadá, Carlisle y Teich (1970b) llegaron a una conclusión similar, señalando que un aumento de producción del 2 al 5% compensaría los costos agregados de un programa de mejoramiento genético forestal. Añadieron que si se consideraban las características cualitativas, tales como la madera, y se coordinaban adecuadamente la dasonomía y el mejoramiento genético forestal, el aprovechamiento en el aserradero resultaría profundamente afectado. El punto interesante acerca del 2 al 5% requerido para obtener la ganancia económica determinada por los autores antes mencionados, es que estos valores de porcentaje son muy pequeños cuando se comparan con las ganancias en volumen del 6 al 12% que Talbert (1982) encontró, o con las ganancias en volumen del 12 al 14%, un mejoramiento del 5% en el peso específico de la madera y un 10% en la resistencia a la roya que Porterfield y colaboradores (1975) publicaron. En algunos trabajos recientes realizados con pinos tropicales, para los cuales se cuenta con muy poca información de carácter económico, Ledig y Whitmore (1981) demostraron ganancias en volumen del 12 al 21%, dependiendo de la intensidad de selección utilizada. Sin embargo, estas ganancias no se han convertido a valores económicos.

En varios estudios se han indicado otros aspectos de la economía del mejoramiento genético forestal. En muchos de ellos, como el de Lundgren y King (1966), que incluyen *Pinus banksiana*, se concluyó que el mejoramiento genético forestal es una buena inversión. En otro estudio efectuado por Reilly y Nikles (1977), quienes basaron sus análisis en costos y utilidades reales respecto del volumen y rectitud mejorados, se encontró una tasa de utilidad interna del 14% a partir de un huerto semillero sin aclareo genético. Esta tasa aumentó hasta un 19% después de la depuración. Asimismo, Row y Dutrow (1975) demostraron una tasa de rendimiento del 12.4% en el mejoramiento genético forestal, mientras que Carlisle y Rauter (1978) indicaron una tasa de rendimiento interna que fluctuó entre el 6 y el 21%, dependiendo de las variables utilizadas. Algunos autores son muy optimistas acerca de las posibilidades del mejoramiento genético forestal. Por ejemplo, Carlisle y Teich (1970a) han señalado que "sería difícil encontrar una forma más económica de aumentar el rendimiento", en el caso de la picea "white". Esto se determinó aun cuando el modelo que utilizaron estaba enfocado a la obtención de beneficios mínimos.

En el caso de la roya fusiforme, Holley y Vale (1977) demostraron que se pierden anualmente de 18 a 28 millones de dólares debido a los menores rendimientos y menor calidad de la madera que resultan de la infección por dicha enfermedad en los pinos del sur. A partir de esto, es evidente que se lograrán buenas ganancias si puede obtenerse una resistencia razonable a la roya. Se han realizado numerosos estudios sobre las ganancias que pueden obtenerse con el mejoramiento genético de las características de la madera (véase por ejemplo, Dadswell y colaboradores, 1961; van Buijtenen, 1973; Zobel, 1975; Jett y Talbert, 1982). La falta de espacio no permite citar otros de los numerosos estudios y características del árbol que se han estimado. En conjunto, es bastante evidente que las mayores utilidades se obtienen trabajando con unas cuantas características en vez de hacerlo con muchas de ellas de una sola vez.

El mejoramiento genético forestal es económicamente más provechoso en algunas especies que en otras. Dutrow (1974) subrayó este punto, indicando que se requieren

mayores ganancias genéticas en el roble que en el abedul para poder obtener una utilidad razonable en el mejoramiento genético forestal debido a las limitaciones en la producción de semillas. Marquis (1973) ha hecho comentarios similares acerca de la utilidad relativa de estos dos árboles.

Aparte de los estudios específicos realizados en varios artículos generales se indican tanto la conveniencia como los buenos rendimientos financieros del mejoramiento genético forestal. Ejemplos de los artículos publicados más generales son los de Zobel (1966), Dutrow y Row (1976), Porterfield (1977) y Stonecypher (1982). Se pronostica un buen aprovechamiento y se recomienda poner énfasis especial en la justificación económica a largo plazo de las inversiones inicialmente grandes que suelen ser necesarias.

La mayoría de los estudios se han basado en las coníferas de crecimiento más rápido y de rotación más corta. Respecto a las latifoliadas, Marquis (1973) sugirió que los programas de mejoramiento genético forestal son más provechosos para especies que producen grandes cantidades de semillas, que crecen rápidamente y que dan productos de gran valor. La situación económica es menos clara bajo otras circunstancias. Por ejemplo, Ledig y Porterfield (1981) han subrayado que la tasa de descuento y la duración de la rotación son variables particularmente importantes para determinar el valor económico del mejoramiento genético forestal. Estos autores publicaron las ganancias necesarias para justificar la aplicación de la genética en especies de crecimiento lento con largas rotaciones. Con edades de rotación hasta de 50 años, un mejoramiento del volumen tan bajo como 6.3% dará un rendimiento del 8% en la inversión del mejoramiento genético forestal. Sin embargo, Ledig y Porterfield han recalado que es muy difícil demostrar ganancias aprovechables a partir del mejoramiento genético forestal cuando se utilizan rotaciones de 80 a 120 años.

Dependiendo de las técnicas y métodos empleados, existen también grandes diferencias en aprovechamiento. Por ejemplo, van Buijtenen y Saitta (1972) han publicado que la selección masal es más eficaz por costo que la prueba de progenie para establecer huertos semilleros de primera generación y que estos últimos deben utilizarse principalmente como base para la selección de generaciones avanzadas. La mayoría de los autores subrayan, como Teich y Carlisle (1977) lo han hecho, que se requiere más información genética y económica y que las estrategias seleccionadas son críticas. Con frecuencia, se comete el error de subestimar los beneficios adicionales de los programas de mejoramiento genético forestal sobre la calidad del árbol o de la madera, o bien sobre el costo de la cosecha o manufactura (Nantiyal, 1970). Predecir los mercados futuros, los costos, las tasas de interés, la inflación, etcétera, es particularmente difícil. Parece ser que la mejor alternativa en el futuro es utilizar algún método de programación lineal, como Teich y Carlisle (1977) lo han sugerido, o un método de análisis de sistemas como el que van Buijtenen y Saitta (1972) utilizaron.

La información necesaria para llevar a cabo el análisis económico del mejoramiento genético forestal y la metodología requerida para realizarlo cada vez mejor, se necesitan con urgencia. Desafortunadamente, el uso de técnicas económicas adecuadas y los datos de entrada requeridos continuarán dependiendo de la necesidad de resultados para justificar otra operación o una mayor intensificación del mejoramiento genético fo-

restal. Es fundamental que el genetista forestal una sus esfuerzos a los de los economistas para desarrollar programas y métodos de análisis más eficaces.

### Informe de las ganancias económicas

Es fundamental que el valor del mejoramiento genético forestal se presente en una forma realista y significativa. Esto requiere también el trabajo en equipo con un economista que tenga nociones precisas del mejoramiento genético forestal y de un genetista forestal que pueda apreciar y comprender los análisis económicos simples. De las muchas formas que se han propuesto para presentar el valor de un programa de mejoramiento genético forestal, una de las mejores alternativas es calcular el valor agregado que una cantidad dada de semilla genéticamente mejorada aporta a la empresa forestal. Varias empresas han utilizado exitosamente este método, y se ilustra en la tabla 14.1. A partir de dicha tabla puede obtenerse una indicación del valor *actual* de ingreso agregado en el futuro que se obtendría al momento de la cosecha para dos casos contrastantes, en los cuales el caso 1 representa una buena situación; el caso 2 es menos favorable.

Sin embargo, los valores de la tabla 14.1 por sí solos son poco significativos si no se compara el valor actual de una libra de semilla mejorada con el costo de producir dicha semilla. Esto puede mostrarse a través de la siguiente relación:

$$\frac{\text{Valor actual de la semilla mejorada}}{\text{Valor actual del costo de producir una libra de semilla}} = \frac{B}{C}$$

Si la relación  $B/C$  es mayor que 1.0, entonces (debido a que en la tabla 14.1 se utilizó un interés del 8%) la ganancia será mayor del 8%. Como ejemplo, considere los 48 dólares/libra del caso 2 en dicha tabla. Si cuesta 50 dólares/libra obtener la semilla, no es atractivo como inversión económica y no dará una utilidad del 8%. Si cuesta 15 dólares/libra, constituye una inversión económica muy atractiva para la empresa en cuestión.

### Evaluación económica

Con todas las incertidumbres e incógnitas, parecería a simple vista que es imposible efectuar un análisis económico del mejoramiento genético forestal. Sin embargo, esto no es así. Se utilizan todos los datos disponibles, se emplean las mejores estimaciones y entonces se procede. Sin duda, la respuesta proporcionará información con la cual no se podría contar si no se hubiera llevado a cabo el análisis. La clave de dicho análisis es la flexibilidad. La metodología debe ser estable y general, y al mismo tiempo utilizar datos nuevos o actualizados cuando se vuelvan disponibles. Éste es el patrón seguido por la mayoría de las empresas.

No tiene caso sugerir en este capítulo algún método particular que deba seguirse debido a que cada empresa tiene sus propias normas y objetivos. Sin embargo, existen

**Tabla 14.1** Valor actual de madera adicional obtenida a partir de 1 lb de semilla de huerto semillero para varios valores de madera en pie, dos tasas de crecimiento y dos combinaciones de producción en vivero, ganancia genética y material para plantación.

| Primer caso  |  | Segundo caso  |  |
|--|--|---|--|
| 1. 1 lb de semilla produce 9,000 plántulas cultivables                             |  | 1. 1 lb de semilla produce 7,000 plántulas cultivables                              |  |
| 2. Plantación de 500 plántulas por acre (con 1 lb de semilla se siembran 18 acres) |  | 2. Plantación de 800 plántulas por acre (con 1 lb de semilla se siembran 8.8 acres) |  |
| 3. Edad de rotación = 25 años  |  | 3. Edad de rotación = 25 años   |  |
| 4. Ganancia genética = 15%   |  | 4. Ganancia genética = 10%  |  |
| 5. Tasa de interés = 8%  |  | 5. Tasa de interés = 8%   |  |

| Valor de la madera en pie (dólares/cuerda al momento de la cosecha) | Crecimiento base (cuerdas/acre/año) | Valor de la madera en pie (dólares/cuerda al momento de la cosecha) | Crecimiento base (cuerdas/acre/año) |
|---|-------------------------------------|---|-------------------------------------|
|   | 1.5                                 | 2.0   | 1.5                                 |
|   | 2.0                                 |   | 2.0                                 |
| 10  | 127                                 | 197   | 48                                  |
| 15  | 221                                 | 296   | 72                                  |
| 24  | 354                                 | 473   | 115                                 |
| 30  | 443                                 | 591   | 144                                 |
| 40  | 591                                 | 788   | 192                                 |

unos cuantos puntos generales que deben considerarse para hacer una evaluación económica del mejoramiento genético forestal.

1. Uniformice en el tiempo todos los rendimientos y costos. El método usual es convertir cualquier dato en un valor actual.
2. Los costos son relativamente fáciles de determinar con considerable exactitud. Debe tenerse cuidado en utilizar costos reales que dejarán sentir su efecto una vez que un programa sea operativo. Los costos basados en parcelas pequeñas o para investigación pueden ser muy engañosos.
3. Los resultados y ganancias son muy difíciles de determinar con precisión, y frecuentemente deben basarse en proyecciones y sentido común. Sin embargo, debe tenerse cuidado al considerar los rendimientos basados en investigaciones y al aplicarlos a grandes operaciones. Casi siempre, los resultados de las investigaciones son más optimistas que los que se obtienen operativamente. Con frecuencia, los resultados de las investigaciones están basados en árboles jóvenes que no dan una indicación de la situación que existiría en la edad de rotación.
4. Mantenga un sistema sencillo y comprensible. El personal que toma las decisiones administrativas requiere de respuestas directas y sencillas. Los resultados expresados en un lenguaje estadístico excesivo suelen ser ineficaces. Los informes que resultan vacilantes debido al uso excesivo de expresiones imprecisas (*casi, posiblemente, quizá, a veces, etc.*) suelen ignorarse o rechazarse totalmente.

5. Los resultados deben ser conservadores. Nadie se sorprendería si las ganancias son mayores que las que se proyectaron. Sin embargo, no se debe ser tan conservador y elegir el "peor caso", ya que se corre el riesgo de dar una impresión errónea del potencial económico del mejoramiento genético forestal.
6. Muchas veces los forestales no saben qué hacer cuando desconocen todos los datos. Esto no es aceptable, por lo que deben hacerse estimaciones que permitan determinar la conveniencia económica de un programa.

### BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, G. A. 1978. Effects of intensive pine plantation management on southern wood supply and quality. *Tappi* 61(2):37-46.
- Barneoud, C., Brunet, A. M. y Dubois, J. M. 1979. Behavior of the highest plants in a young spruce plantation. Association Forêt-Cellulose (AFOCEL): Annales de Recherches Sylvicoles, París, Francia, pp. 383-400.
- Barrett, W. H. y Alberti, F. R. 1972. Value of early selection in progeny of willows [Valor de la selección temprana en progenies de sauces]. *IDIA, Supp. For. No. 7*, pp. 3-8.
- Baskerville, G. 1977. "Let's Call the Whole Thing Off." Proc. Symp. Inten. Cult. Northern For. Types. U.S. Forest Service. Technical Report NE-29, pp. 25-30.
- Bergman, A. 1969. "Evaluation of Costs and Benefits of Tree Improvement Programs." 2nd World Cons. For. Tree Breed., Washington. D.C.
- Brown, C. L., Goddard R. E. y Klein, J. 1961. Selection of pine seedlings in nursery beds for certain crown characteristics. *Jour. For.* 59(10):770-771.
- Campbell, R. K. 1965. Phenotypic variation and repeatability of stem sinuosity in Douglas fir. *Northwest Sci.* 39(2):47-59.
- Carlisle, A. y Teich, A. H. 1970a. "The Costs and Benefits of Tree Improvement Programs." Petawawa Forest Experiment Station, Chalk River, Ontario, Canadá, Info. Report PS-X-20.
- Carlisle, A. y Teich, A. H. 1970b. "Cost and Benefit Analysis of White Spruce (*Picea glauca*) Improvement." Proc. 12th Meet. Comm. For. Tree Breed. en Canadá, pp. 227-230.
- Carlisle, A. y Rauter, M. 1978. "The Economics of Tree Improvement in Ontario." Tree Improvement Symp., Ontario, Min. Nat. Res. OP-7, Ontario, Canadá.
- Dadswell, H. E., Fielding, J. M., Nichols, J. W. P., y Brown, A.J. 1961. Tree to tree variations and the gross heritability of wood characteristics of *Pinus radiata*. *Tappi* 44:174-179.
- Davis, L. S. 1967a. "Cost-Return Relationships of Tree Improvement Programs." Proc. 9th South. Conf. For. Tree Impr., Knoxville, Tenn., pp. 20-26.
- Davis, L. S. 1967b. Investment in loblolly pine clonal seed orchards. *Jour. For.* 65:882-887.
- Dutrow, G. F. 1974. "Economic Analysis of Tree Improvement: A Status Report." U.S. Forest Service Technical Report 50-6.
- Dutrow, G. y Row, C. 1976. "Measuring Financial Gains From Genetically Superior Trees." U.S. Forest Service Research Paper, 50-132.
- Ehrenberg, C. 1970. Breeding for stem quality. *Unasylva*. 24(23):23-31.
- Ekberg, I., Dormling, I., Eriksson, G. y von Wettstein, D. 1976. Inheritance of the photoperiodic response in forest trees. En *Tree Physiology and Yield Improvement* (M. G. R. Cannel y F. T. Last, directores de la edición), pp. 207-221. Academic Press, Nueva York.

- Eriksson, G., Ekberg, I., Dormling, I. y Matern, B. 1978. Inheritance of budflushing in *Picea abies*. *Theor. Appl. Gen.* 52:3-19.
- Franklin, E. C., Taras, M. A. y Volkman, D. A. 1970. Genetic gains in yields of oleoresin, wood extractives and tall oil. *Tappi*. 53(12):2302-2304.
- Goddard, R. E. y Strickland, R. K. 1964. Crooked stem form in loblolly pine. *Sil. Gen.* 13(5):155-157.
- Gruenfeld, J. 1975. "Leaning Flagpoles." Workshop South. For. Econ. Workers, Biloxi, Miss.
- Hatchell, G. E., Dorman, K. W. y Langdon, O. G. 1972. Performance of loblolly and slash pine nursery selections. *For. Sci.* 18(4):308-313.
- Holden, C. 1980. Rain forests vanishing. *Science* 208:378.
- Holley, D. L. y Veal, M. A. 1977. "Economic Impact of Fusiform Rust." Proc. Fusiform Rust Conf., Gainesville, Fla., pp. 39-50.
- Hunt, R. y Zobel, B. 1978. Frost-hardy *Eucalyptus* grow well in th Southeast. *South. Jour. Appl. For.* 1(1):6-10.
- Jeffers, R. M. 1969. "Prent-Progeny Growth Correlations in White Spruce." Proc. 11th Meet. Comm. on For. Tree Breed. En Canadá, Ottawa. pp. 213-221.
- Jett, J. B. y Talbert, J. T. 1982. "The Place of Wood Specific Gravity in the Development of Advanced Generation Seed Orchards." *South. Jour. Appl. For.* 6:177-180.
- Johnson, N. E. 1976. Biological opportunities and risks associated with fastgrowing plantations in the tropics. *Jour. For.* 74(4):206-211.
- Johnsson, H. 1950. Ankomor av masurbjörk [Offspring of curly burch]. Årsberätt. Fören. Växtföräd. *Skogsträd*, pp. 18-29.
- Ledig, T. F. y Porterfield, R. L. 1981. "West Coast Tree Improvement Programs: A Break-Even Cost-Benefit Analysis." U.S. Forest Service Research Paper PSW-156.
- Ledig, F. T. y Whitmore, J. L. 1981. "The Calculation of Selection Differential and Selection Intensity to Predict Gain in a Tree Improvement Program for Plantation Grown Honduras Pine in Puerto Rico." Southern Forest Experiment Station Research Paper SO-170.
- Lundren, A. L. y King, J. P. 1966. Estimating financial returns from forest tree improvement programs. *Jour. For.* 28(1):37-38.
- Marquis, D. A. 1973. Factors affecting financial returns from hardwood tree improvement. *Jour. For.* 71(2):79-83.
- Mohn, C. A. y Randall, W. K. 1971. Inheritance and correlations of growth characteristics in *Populus deltoides*. *Sil. Gen.* 20(5-6):182-183.
- Nautiyal, J. C. 1970. "Economic Considerations in Tree Breeding." Proc. 12th Meet. Comm. For. Tree Breed. en Canadá, pp. 222-223.
- Nienstaedt, H. 1981. "Super spruce seedlings continue superior growth for 18 years," North Central Forest Experiment Station Research Note NC-265.
- Nikles D. G. 1970. Breeding for growth and yield. *Unasylva* 24(2-3):9-22.
- Perry, T. O. y Wang, C. W. 1958. The value of genetically superior seed. *Jour. For.* 56:843-845.
- Porterfield, R. L., Zobel, B.J. y Ledig, F. T. 1975. Evaluating the efficiency of tree improvement programs. *Sil. Gen.* 24(2-3):33-34.
- Porterfield, R.L. 1977. "Economic Evaluation of Tree Improvement Programs." 3rd World Cons. of For. Tree Breed., Canberra, Australia.
- Reilly, J. J. y Nikles, D. G. 1977. "Analysing Benefits and Costs of Tree Improvement: *Pinus caribaea*." Proc. 3rd World Cons. For. Tree Breed., Canberra, Australia, pp. 1099-1024.
- Robinson, J. F. y van Buijtenen, J. P. 1979. Correlation of seed weight and nursery bed traits with 5-, 10-, and 15-year volumes in a loblolly pine progeny test. *For. Sci.* 25(24):591-596.
- Row, C. y Dutrow, G. 1975. "Measuring Genetic Gains by Projected Increases in Financial Return." Proc. 13th South. For. Tree Imp. Conf., Raleigh, N. C., pp. 17-26.

- Shelbourne, C. J. A. y Stonecypher, R. W. 1971. The inheritance of bole straightness in young loblolly pine. *Sil. Gen.* 20(5-6):151-156.
- Snyder E. B. 1973. "15-Year Gains from Parental and Early Family Selection in Longleaf Pine." Proc. 12th South. For. Tree Impr. Conf., pp. 46-49.
- Stonecypher, R. W. 1982. "Potential Gain through Tree Improvement. Increasing Forest Productivity." Proc. 1981. Society of American Forestry Convention.
- Sweet, G. B. y Wareing, P. F. 1966. "The Relative Growth Rates of Large and Small Seedlings in Forest Tree Species," New Zealand Forest Service Report No. 210.
- Talbert, J. T. 1982. "One Generation of Loblolly Pine Tree Improvement: Results and Challenges." Porc. 18th Can. Tree Imp. Assoc. Meet., Duncan, Columbia Británica, Canadá.
- Teich, A. H. y Carlisle, A. 1977. "Analysing Benefits and Costs of Tree Breeding Programs." 3rd World Cons. For. Tree Breed., Canberra, Australia.
- van Buijtenen, J. P. 1973. Innovation by systems analysis: Southern pine kraft linerboard from breeding to boxcar. *Tappi.* 56(1):121-122.
- van Buijtenen, J. P., Alexander, S. D., Einspahr, D. W., Ferrie, A. E., Hart, T., Kellogg, R. M., Porterfield, R. L. y Zobel, B. J. 1975. How will tree improvement and intensive forestry affect pulp manufacture? *Tappi.* 58(9):129-134.
- van Buijtenen, J. P. y Saitta, W. W. 1972. Linear programming applied to the economic analysis of forest tree improvement. *Jour. For.* 70:164-167.
- Weir, R. J. 1975. "Cone and Seed Insects—Southern Pine Beetle: A Contrasting Impact on Forest Productivity." 13th South. For. Tree Impr. Conf., Raleigh, N.C., pp. 182-192.
- Wilkinson, R. C. 1974. "Realized and Estimated Efficiency of Early Selection in Hybrid Poplar Clonal Tests." Proc. 21st Northeast. For. Tree Impr. Conf., Fredericton, New Brunswick, Canadá, pp. 26-35.
- Zobel, B.J. 1966. "Tree Improvement and Economics: A Neglected Interrelationship." 6th World For. Conf., Madrid, España.
- Zobel, B. J. 1975. "Our Changing Wood Resource—Its Effects on the Pulp Industry." 8th Cellulose Conf., Syracuse, N.Y., pp. 5-7.
- Zobel, B. J. "Trends in Forest Management as Influenced by Tree Improvement." Proc. 15th Sou. For. Tree Imp. Conf., Starkville, Miss., p. 73-77.
- Zobel, B. J., Kellison, R. C., Matthias, M. F. y Hatcher, A. V. 1972. "Wood Density of the Southern Pines," N.C. Agricultural Experiment Station Tech. Bull. No. 208.

## CAPÍTULO 15

# La base genética y la conservación de genes

## ¿QUÉ ES LA CONSERVACIÓN DE GENES? CONSERVACIÓN DE GENES Y COMPLEJOS GÉNICOS CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS

Razones de la pérdida de recursos genéticos

Metodología de la conservación

*Conservación in situ*

*Conservación ex situ*

## CONSERVACIÓN DE PROCEDENCIAS DENTRO DE UNA ESPECIE

## CONSERVACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE ÁRBOLES INDIVIDUALES

## LA SITUACIÓN ESPECIAL DE LAS REGIONES

## TROPICALES

## POLÍTICA DE CONSERVACIÓN

## BIBLIOGRAFÍA