

## CAPÍTULO 5

# Selección en rodales naturales y en plantaciones no mejoradas

### DEFINICIONES

## ¿CUÁNDO DEBE UTILIZARSE LA SELECCIÓN INDIVIDUAL? SELECCIÓN DE ÁRBOLES SUPERIORES

Selección en rodales coetáneos

Selección en rodales multietáneos, mezclados o en

los originados de brotes

Sistema de selección por regresión

Sistema del árbol madre

Sistema de puntaje subjetivo

## CARACTERÍSTICAS DESEADAS PARA LA SELECCIÓN: DESARROLLO DE UN SISTEMA DE EVALUACIÓN

### SELECCIÓN INDIRECTA

### BIBLIOGRAFÍA

El objetivo de un programa de selección, es obtener cantidades significativas de ganancia genética, tan rápida y económicamente como sea posible, y al mismo tiempo mantener una base genética amplia para asegurar ganancias futuras. Todos los métodos de selección en un programa de mejoramiento genético forestal aplicado se basan en el mismo principio general; es decir, seleccionar los individuos más convenientes para utilizarlos como progenitores en los programas de cruzamiento y producción. Como se señaló en el capítulo anterior, el método de selección que se utilice dependerá de la información, de los materiales vegetales con que se cuente y de los objetivos del programa. Las pruebas se hacen tan pronto como es posible, pero con frecuencia están todavía realizándose cuando ya se utiliza por primera vez el material mejorado.

La selección es una etapa fundamental de todos los programas de mejoramiento genético forestal aplicado. Las ganancias pueden no ser mayores que la calidad de los progenitores utilizados, y la forma de obtener los mejores progenitores es a través de selección intensiva. Dado que esta actividad se efectúa al inicio del programa, muchas organizaciones se alarman por los costos de selección. Aunque éstos pueden parecer altos, en realidad representan por lo general sólo una pequeña parte de los costos totales del mejoramiento genético forestal. Las estimaciones realizadas en varios programas van del 5% (Porterfield y colaboradores, 1975) al 11% (van Buijtenen y Saitta, 1972), e incluso hasta el 30% (Reilly y Nikles, 1977). La selección es normalmente el primer paso en un programa de mejoramiento genético forestal y determina qué tantas ganancias pueden obtenerse, tanto en la primera generación como en generaciones subsiguientes. Llevar a cabo una deficiente tarea de selección para reducir los costos iniciales ciertamente no es justificable.

El mejorador forestal cuenta con varios métodos de selección. La elección de uno para un programa particular depende de los tipos de variación genética de la población, de la información del pedigrí si es que existe y del grado de urgencia en establecer los huertos semilleros para producción. Los métodos de selección utilizados para árboles de rodales donde no se cuenta con la información del pedigrí, casi siempre difieren de los utilizados en pruebas genéticas donde se conocen los ancestros. En este capítulo se estudian los métodos de selección que se aplican a rodales naturales o plantaciones no mejoradas. Los métodos de selección utilizados donde se cuenta con la información del pedigrí, como en las pruebas genéticas, sólo se estudiarán brevemente en relación con el inicio de los programas de mejoramiento genético forestal. Una discusión más completa de dichos métodos se hará en el capítulo 13, donde se estudia el mejoramiento genético forestal de generación avanzada.

La gran variación que existe dentro de las características importantes de la mayoría de los árboles forestales, y la aptitud combinatoria general razonablemente importante de dichos árboles, da una buena oportunidad de obtener ganancias a través de la selección de los fenotipos convenientes (figura 5.1). Las mejores selecciones se utilizan luego en los huertos semilleros, permitiendo que las combinaciones genéticas favorables interactúen y produzcan progenie con una mayor proporción de las características deseadas. En la mayoría de las especies puede obtenerse rápidamente un mejoramiento considerable en la rectitud del fuste, resistencia a las enfermedades, calidad de la madera y adaptabilidad a ambientes adversos o tolerancia a las plagas, a través de la

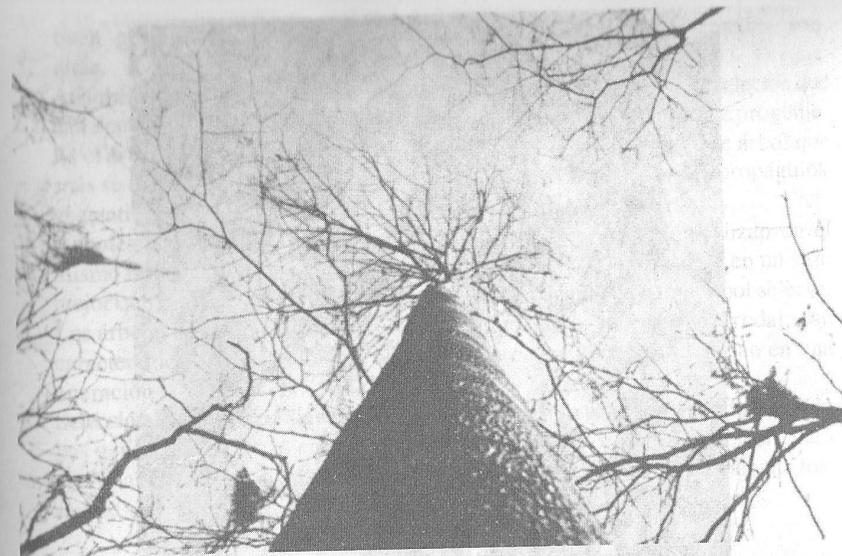


Figura 5.1 Fotografía que muestra un arce "red" (*Acer rubrum*) notablemente sobresaliente, seleccionado para utilizarlo en un programa de mejoramiento genético de latifoliadas. Esta especie rara vez desarrolla árboles con copas pequeñas y fustes rectos.

selección y permitiendo que exista fecundación (polinización) cruzada entre los mejores árboles, como lo han reportado Giertych (1967), Zsuffa (1975), Butcher (1977) y varios autores más.

De los diversos métodos disponibles para obtener ganancias rápidas y económicas en un incipiente programa de mejoramiento genético forestal, la *selección individual (masal)* de árboles es el que más se utiliza, y es por lo general el más satisfactorio (figura 5.2). Se aplica ampliamente en las etapas iniciales de los programas de mejoramiento genético forestal y es adecuado para muchas especies. En ocasiones, cuando se tiene poca urgencia de obtener propágulos mejorados para reforestación y hay tiempo suficiente para permitir el establecimiento de pruebas genéticas, pueden utilizarse métodos como la selección por pruebas de progenie o la selección de y dentro de familias para establecer huertos semilleros iniciales. Debido a la gran importancia de la selección individual en la mayoría de los incipientes programas de mejoramiento genético forestal, se estudiará con mayor detalle en este capítulo.

## DEFINICIONES

Para ayudar a evitar la confusión en la terminología que generalmente surge cuando se estudia la selección, se definen los siguientes términos relacionados con un programa de selección:



**Figura 5.2** La mayoría de los programas de mejoramiento genético forestal comienzan con la selección de los fenotipos sobresalientes en las plantaciones o en los rodales naturales. La fotografía muestra un excelente pino "loblolly" utilizado en un programa de huertos semilleros.

1. **Árbol candidato.** Es el árbol que se ha seleccionado para evaluarlo debido a sus cualidades fenotípicas deseables, pero que aún no se ha valorado o sometido a prueba.
2. **Árbol selecto, superior o plus.** Es el árbol que se ha recomendado para utilizarlo en un huerto de investigación o producción, después de haberlo evaluado. Posee un fenotipo superior para crecimiento, forma, calidad de la madera u otras características deseables, y parece ser adaptable. Sin embargo, no se ha probado su valor genético, aunque las probabilidades de que posea un

buen genotipo para características con una heredabilidad razonable son altas.

3. **Árbol élite.** Es un término que se ha reservado para aquellos árboles selectos que han demostrado ser genéticamente superiores a través de la prueba de progenie. Es el árbol "vencedor" de un programa de selección y es la clase de árbol que más se desea para utilizarlo en la producción masiva de semillas o propágulos vegetativos.
4. **Árboles testigo o de comparación.** Son los árboles que se localizan en el mismo rodal, tienen casi la misma edad y crecen en el mismo sitio o en un sitio mejor que el árbol selecto; se utilizan como patrón para valorar al árbol selecto. Los árboles seleccionados como árboles testigos son los mejores del rodal, con características similares a los árboles "comerciales" que se utilizarían en una operación silvícola.
5. **Selección de generación avanzada.** Es el árbol seleccionado a partir de las pruebas genéticas de cruza entre los progenitores de la generación anterior. Para elegir las selecciones de generación avanzada, por lo general se utiliza alguna forma de selección de y dentro de familias.

### ¿CUÁNDO DEBE UTILIZARSE LA SELECCIÓN INDIVIDUAL?

La selección individual o masal funciona mejor para aquellas características que muestran una alta heredabilidad en sentido estricto. Sin duda, es el único método que puede utilizarse para seleccionar los árboles en rodales donde se desconocen los pedigrís. Para obtener los mejores resultados, la selección individual debe utilizarse en rodales que posean una gran proporción de buenos árboles y que no hayan sufrido explotaciones en las cuales se hayan eliminado los mejores árboles (figura 5.3). Ejemplos de características que presentan heredabilidades relativamente altas son el peso específico de la madera, la producción de resina en el pino y la mayoría de las características de adaptabilidad. La rectitud del fuste del árbol y la resistencia a las enfermedades son características intermedias, mientras que para la mayoría de las características relacionadas con el crecimiento, la selección individual es menos conveniente debido a la baja heredabilidad (Shelbourne y colaboradores, 1972). Para algunos caracteres con heredabilidad estrictamente muy baja, tales como la producción de celulosa en el pino "loblolly", la selección individual puede no ser un método conveniente para obtener ganancias (Zobel y colaboradores, 1966; Jett y colaboradores, 1977).

Las ganancias obtenidas en un programa de selección de árboles individuales puede indicarse como  $G = \text{heredabilidad} \times \text{diferencial de selección}$ , o  $G = h^2S$ . La heredabilidad es por lo general muy constante para una característica dada a una determinada edad en un cierto ambiente, por lo que el mejorador forestal no puede hacer mucho para mejorarla, excepto crear un ambiente que sea más apropiado para que el árbol exprese su potencial genético. Sin embargo, el mejorador puede manipular la diferencial de selección (dentro de ciertos límites) variando la intensidad con la cual se aplica la selección. Como se explicó en el capítulo 4, un objetivo importante es aumen-

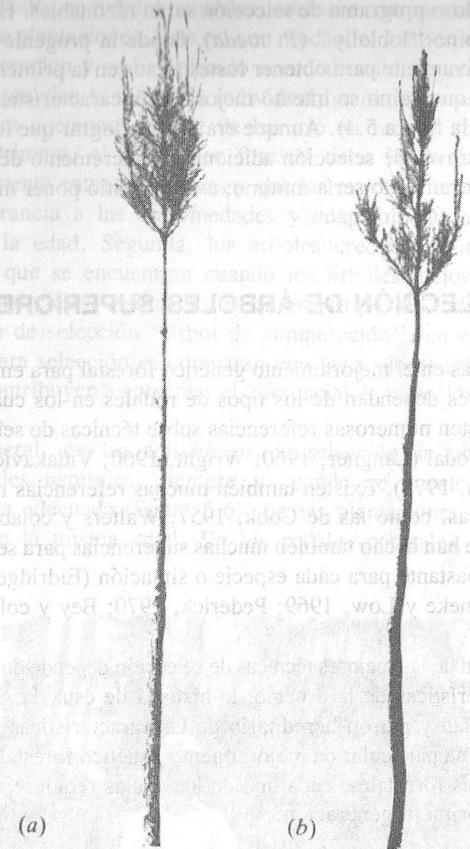


**Figura 5.3** La selección de árboles, individual o masal, debe hacerse en buenos rodales que no hayan sido muy talados, como el rodal de pinos "loblolly" que aquí se muestra.

tar la diferencial de selección que, a su vez, aumenta la ganancia genética (véase la figura 5.4).

A medida que aumenta la intensidad de selección, se alcanza un punto donde disminuyen las utilidades cuando las ganancias llegan a ser menores por unidad de incremento en la intensidad de selección (Shelbourne, 1970). Sin embargo, la intensidad de selección utilizada en los programas operativos es por lo general menor al óptimo. Por ejemplo, en la *North Carolina State University - Industry Tree Improvement Cooperative* (Cooperativa Universidad Estatal de Carolina del Norte - Industria para el mejoramiento genético forestal), que utilizó un sistema de selección para pinos relativamente intensivo en la primera generación, hubiese sido posible incrementar hasta tres veces la intensidad de selección, produciendo mayores ganancias genéticas, pero todavía con la utilidad deseada en la inversión (Porterfield y colaboradores, 1975).

Es fundamental volver a subrayar que un programa de selección individual se basa únicamente en el fenotipo del árbol. La selección individual para la mayoría de las características debe ir seguida de una prueba de progenie para determinar si el árbol seleccionado es en realidad genéticamente superior; esto es especialmente necesario



**Figura 5.4** Las características con una alta heredabilidad responden bien a la selección. Esta fotografía muestra la progenie resultante de la cruce entre dos árboles progenitores de pino "loblolly" con fuste recto (a) y entre dos progenitores con fuste torcido (b). La respuesta de la rectitud a la selección fue tan buena en esta especie durante la primera generación, que a esta característica se le dio un menor énfasis en las generaciones posteriores.

en el caso de características con baja heredabilidad. Van Buijtenen y Saitta (1971) encontraron que la selección individual fue muy eficaz, al grado de que el mayor valor de las pruebas genéticas se utilizó como fuente a partir de la cual se seleccionaban las generaciones avanzadas. Para características que muestran una alta heredabilidad y grandes cantidades de variación, puede tenerse la certeza de que las ganancias obtenidas

a través de un cuidadoso programa de selección serán razonables. Esto fue lo que ocurrió en el caso del pino "loblolly" (*P. taeda*), donde la progenie de árboles padres seleccionados intensivamente para obtener fustes rectos en la primera generación mostró fustes tan rectos que ya no se intentó mejorar esta característica en las siguientes generaciones (véase la figura 5.4). Aunque era posible lograr que los árboles tuvieran fustes más rectos a través de selección adicional, el incremento del valor económico de este pequeño mejoramiento sería mínimo; esto permitió poner más énfasis en otras características.

## SELECCIÓN DE ÁRBOLES SUPERIORES

Las técnicas utilizadas en el mejoramiento genético forestal para encontrar y seleccionar árboles superiores dependen de los tipos de rodales en los cuales van a hacerse las selecciones. Existen numerosas referencias sobre técnicas de selección para varias especies y tipos de rodal (Langner, 1960; Wright, 1960; Vidakovic, 1965; Morgens-tern y colaboradores, 1975). Existen también muchas referencias relacionadas con la selección de coníferas, como las de Cook, 1957; Walters y colaboradores, 1960, y Andersson, 1963. Se han hecho también muchas sugerencias para seleccionar latifolias. Éstas difieren bastante para cada especie o situación (Eldridge, 1966; Clausen y Godman, 1967; Beineke y Low, 1969; Pederick, 1970; Bey y colaboradores, 1971, y Schreiner, 1972).

La determinación de las mejores técnicas de selección depende de varios factores, incluyendo las características de la especie, la historia de ésta, la situación actual del bosque, la variabilidad y patrón hereditario de las características importantes, y los objetivos del programa particular de mejoramiento genético forestal. Existen dos tipos principales de rodales forestales, cada uno de los cuales requiere diferentes sistemas de selección en la primera generación:

1. Plantaciones o rodales silvestres coetáneos de semilla no mejorada, donde se desconoce el origen ancestral de los árboles.
2. Rodales multietáneos, dispersos u originados por brotes, donde se desconoce el origen ancestral de los árboles. Se incluyen aquellos rodales que poseen especies que crecen entremezcladas y donde no se cuenta con árboles testigo.

A continuación se estudian las técnicas de selección para cada uno de estos tipos de rodales forestales.

### Selección en rodales coetáneos

La selección individual da mejores resultados cuando se cuenta con buenos rodales coetáneos de una edad conveniente (véase la figura 5.3). Esto permite hacer comparaciones eficientes entre los árboles seleccionados y los testigos. La selección individual

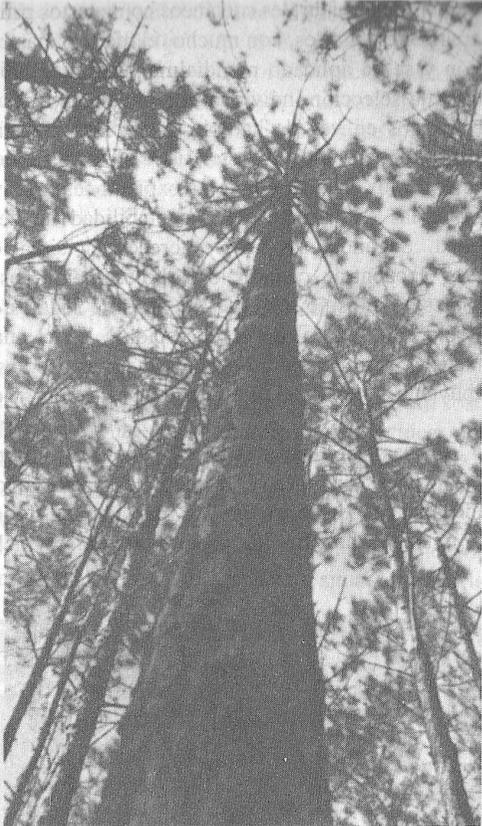
da mejores resultados en rodales naturales coetáneos compuestos principalmente de una especie o bien en plantaciones. Éste es, con mucho, el método más común de selección de primera generación y se ha aplicado mundialmente (figura 5.5).

Cuando se practica la selección individual, se obtienen varias ventajas seleccionando en rodales coetáneos en vez de hacerlo en rodales mezclados o en rodales multietáneos. Primera, el mejorador forestal tiene la certeza de que la edad no diferirá ampliamente entre los árboles y que las expresiones relativas del crecimiento, forma, tolerancia a las enfermedades y adaptabilidad no se confundirán con los efectos de la edad. Segunda, los árboles crecen en situaciones competitivas similares a las que se encuentran cuando los árboles mejorados se establecen en plantaciones comerciales. Asimismo, es en estos tipos de rodales donde puede utilizarse el sistema de selección "árbol de comparación", en el cual los árboles que se consideran para selección se comparan con los mejores árboles del rodal. Todos estos factores contribuyen a aumentar el diferencial de selección, y esto resulta en mayores ganancias.

Por lo general, en las actividades de selección se prefieren las plantaciones a los rodales naturales, siempre y cuando se cuente con plantaciones de fuente de semilla adecuada (figura 5.6). En las plantaciones, todos los árboles tienen exactamente la misma edad. En los rodales naturales, incluso las pequeñas



**Figura 5.5** La selección de árboles sobresalientes en las plantaciones es muy útil y se ha utilizado ampliamente en todo el mundo. La fotografía muestra un individuo sobresaliente de *P. radiata* seleccionado para utilizarlo en un huerto semillero de Nueva Zelanda.



**Figura 5.6** La selección de árboles en las plantaciones, como en el caso del pino "slash", en comparación con los rodales naturales es relativamente fácil y pueden obtenerse buenos árboles debido a que todos los árboles son de la misma edad y se plantaron con un espaciamiento casi igual. Debe tenerse cuidado de que los árboles utilizados sean de la fuente de semilla adecuada.

diferencias de edad causan competencia diferencial, lo cual puede resultar en grandes diferencias de volumen y forma dentro del rodal. Por ejemplo, se sabe que en rodales de pino densamente poblados, una diferencia en edad de uno o dos años entre árboles vecinos generalmente hace que los árboles más jóvenes nunca lleguen a ser dominantes o codominantes en el rodal. Una ventaja adicional de la selección en plantaciones es

que el espaciamiento entre los árboles es más uniforme. La competencia es, en esencia, una fuerza ambiental que afecta al fenotipo del árbol. Cuando la competencia se distribuye de manera uniforme, las heredabilidades aumentan.

A continuación se da una guía general para localizar los árboles individuales en rodales naturales y plantaciones coetáneas. Esta guía ha sido muy útil para seleccionar árboles superiores en los programas de mejoramiento genético forestal de primera generación.

1. La búsqueda se debe centralizar en rodales y plantaciones que sean promedio o mejores en cuanto a crecimiento, poda, rectitud del fuste, ángulo de las ramas y otras características de interés. Ocasionalmente, puede encontrarse un árbol aceptable en un rodal de poca calidad, pero esto es raro, por lo que los esfuerzos de investigación son más eficaces cuando se llevan a cabo en buenos rodales. Los rodales de árboles sobresalientes a veces se conocen como *rodales plus*.
2. Los rodales y plantaciones donde se explora en busca de árboles candidatos, deberán localizarse en regiones con la misma variedad de sitios que aquéllas donde se establecerán finalmente las plantaciones de semilla mejorada. Esto es necesario a menos de que exista evidencia de que los sitios carecen de efecto sobre el rendimiento del genotipo. Si la mayoría de los terrenos de una organización están en sitios promedio, entonces la mayor parte de las selecciones provendrán de dichos sitios. Si las plantaciones se van a establecer en sitios promedio o de mala calidad, *el proceso de selección nunca debe concentrarse en los terrenos con sitios de alta calidad*.
3. Cuando las selecciones se hacen en plantaciones, debe obtenerse información acerca de la adaptabilidad de la fuente de semilla utilizada en la plantación. Las selecciones no deben hacerse en rodales plantados con semillas provenientes de áreas que se sabe están poco adaptadas al área donde se establecerá la plantación.
4. En rodales viejos, la búsqueda debe centrarse en árboles que estén dentro de un rango de edad, menor o mayor en no más de 10 a 15 años que la edad de rotación proyectada de las plantaciones que van a establecerse. En el caso de especies que se cosechan a una edad temprana, los árboles deben ser lo suficientemente maduros como para haber demostrado su potencial. Para pinos tropicales, es necesario que transcurran por lo menos de 10 a 12 años antes de que el rodal exhiba el desarrollo que permita hacer una selección eficiente; mientras que en las mismas áreas, algunos eucaliptos tan jóvenes como los de 3 años de edad pueden seleccionarse fácilmente si se utilizan rotaciones muy cortas.
5. Las selecciones deben hacerse en rodales que sean lo más puro posible en lo que respecta a la composición de especies. Las diferencias entre las tasas de crecimiento de las especies pueden complicar bastante la selección a través de competencia diferencial si el rodal posee un componente considerable de dos o más especies.

6. Deben evitarse los rodales que hayan sido explotados para obtener postes o pilotes, en forma intensiva o que hayan sido aclareados por arriba (aclareo ascendente). Si el rodal se ha aclareado por abajo (aclareo descendente) o si ha sufrido daños a causa de incendios, debe permitirse que se restablezca la competencia de la copa antes de que se haga la selección. Los rodales que se aclaran mecánicamente o a través de un método verdaderamente silvícola son adecuados para efectuar un programa de selección individual.
7. El tamaño mínimo de un rodal o plantación en los cuales se pueda localizar el árbol candidato, carece de importancia. Si el rodal es lo bastante grande como para permitir localizar un buen árbol candidato y elegir árboles para comparación, entonces es lo suficientemente grande para buscar árboles selectos.
8. De preferencia, sólo debe aceptarse un árbol selecto proveniente de cualquier rodal natural pequeño para reducir la posibilidad de obtener árboles candidatos que sean parientes cercanos. Esta restricción no se aplica a la selección en plantaciones.
9. Aunque es bastante deseable que los árboles candidatos presenten una cantidad considerable de flores o conos, en general a estas características no se les da mucha importancia. Esto es particularmente aplicable en el caso de rodales jóvenes y densos, donde muchos árboles no muestran signos de floración debido a que no llega suficiente luz a las copas para estimular dicho proceso. En general, estos árboles florecen abundantemente en el ambiente del huerto semillero.
10. Una vez que se ha tomado la decisión de explorar un área en busca de árboles candidatos, debe hacerse un rastreo sistemático completo. La experiencia ha demostrado que muchas veces se pasan por alto árboles excelentes cuando la búsqueda se hace al azar. Asimismo, se ha demostrado que en general los árboles selectos sólo son encontrados por personas que específicamente los están buscando. Aunque ocasionalmente se localice un árbol aceptable durante las actividades silvícolas de rutina, ésta es la excepción. La única forma eficaz de localizar árboles candidatos es dedicarse específicamente a una actividad de selección.
11. Cuando sea posible, debe utilizarse un sistema de selección mediante árboles testigo o por comparación. Esto ayuda a explicar las diferencias ambientales dentro de los rodales y permite hacer una selección más eficiente y objetiva de los árboles superiores. Un método para evaluar los árboles candidatos sin necesidad de utilizar árboles testigo fue sugerido por Robinson y Van Buijtenen (1971), pero en general es deseable el uso de árboles testigo.

### Selección en rodales multietáneos, mezclados o en los originados de brotes

Con bastante frecuencia, los rodales forestales no son del tipo que permite utilizar programas de selección individuales como el que acaba de describirse para rodales coetáneos. Existen varias razones para esto: (1) Los rodales pueden ser en realidad de edad

no uniforme; (2) las especies deseables pueden estar tan dispersas que no se cuenta con árboles para comparación (testigos); (3) la especie puede ser un retoñador vigoroso y los árboles que crecen cerca del árbol candidato tener un sistema de raíces común y el mismo genotipo; y (4) es posible que el rodal esté formado por una mezcla de especies.

El sistema del árbol de comparación no es aplicable cuando los árboles crecen en rodales multietáneos. Puesto que las curvas de crecimiento dentro de una especie varían con la edad, no es conveniente utilizar proporciones como el crecimiento en diámetro o altura por unidad de tiempo para fines comparativos. Además, la forma del árbol cambia drásticamente con la edad. En consecuencia, las características cualitativas no pueden compararse entre árboles de diferentes edades provenientes de rodales multietáneos. A excepción de los bosques tropicales, raramente se encuentran en condiciones naturales rodales de coníferas o de latifoliadas que sean verdaderamente multietáneos. Muchos forestales cometen el error de suponer que los rodales formados por árboles de diferente tamaño son multietáneos. La principal excepción a esta generalización de que los bosques por lo general son coetáneos, es cuando los rodales han sido llevados a una condición multietánea mediante la manipulación realizada por el hombre a través de corta selectiva. Incluso dentro de los verdaderos rodales multietáneos, existe una tendencia a presentarse una clase de edad acumulada.

Los árboles a veces crecen en *rodales mezclados*, en los cuales existen relativamente pocos individuos de una determinada especie en un área específica. Esta situación es más común en el caso de latifoliadas. En este caso, no es aplicable un sistema de selección mediante comparación debido a que los individuos dispersos de una especie crecen bajo diferentes ambientes. Esta es, con mucho, la situación más común que requiere un sistema de evaluación distinto al método común del árbol por comparación (Pitcher y Dorn, 1966).

Con frecuencia, no se comprende la importancia y frecuencia del parentesco entre los árboles de rodales *originados por brotes*. En general, los brotes de un determinado árbol están limitados a aquellos individuos que están adyacentes a él; pero en ocasiones, los brotes de un sistema de raíces común pueden ser bastante extensos. Existen registros de rodales de álamos (*Populus tremuloides*) hasta de 40 acres (16 ha) que tienen un sistema de raíces común (Baker, 1925). Cuando los rodales originados por brotes son bastante grandes y poseen una diversidad genética suficiente para permitir el uso del sistema del árbol por comparación, los árboles testigo deben seleccionarse cuidadosamente a fin de que no estén emparentados con el árbol candidato. Esto a veces es difícil de lograr con precisión.

Los rodales compuestos parcialmente de brotes y de plántulas plantean también el problema del diferencial de crecimiento entre los árboles originados a partir de brotes y a partir de plántulas. Inicialmente, los brotes crecen en general mucho más rápido que las plántulas debido al alimento almacenado y al sistema de raíces establecido. Sin embargo, los brotes suelen culminar el crecimiento a una etapa más joven que las plántulas. Al cabo de unos pocos años, suele ser imposible distinguir entre los brotes y las plántulas, pero los resultados de la selección no son buenos si los dos tipos de árboles están mezclados.