

# **MEJORA GENÉTICA DE ESPECIES DE NOTHOFAGUS DE INTERÉS ECONÓMICO. PRINCIPIOS BÁSICOS.** Roberto Ipinza C., Dr. Ingeniero de Montes. Universidad Austral, Instituto de Silvicultura, Casilla 567, Valdivia. Chile.

## **RESUMEN**

*El presente artículo pretende dar un marco conceptual para abordar la mejora genética de especies nativas en Chile. Se plantea que dado el desconocimiento de la estructura genética de las poblaciones nativas es necesario abordar el mejoramiento genético bajo un ciclo de selección recurrente, pero que estructure fuertemente la población base de forma de optimizar la probabilidad de capturar alelos útiles.*

**Palabras claves:** *estrategia, ciclo de mejora, roble, raulí*

## **ABSTRACT**

*The present article pretends to give a conceptual frame to face the genetic improvement of native species in Chile. Due to the lack of knowledge in the genetic structure of the native species it is proposed to face the genetic improvement necessarily under a recurrent selection cycle, but it needs a base population strongly structured in order to optimize the probability to capture useful alleles.*

**Keywords:** *Strategies, improvement cycle, roble, rauli*

## INTRODUCCIÓN

Muchos forestales, ecólogos y mejoradores piensan que la manipulación genética es un fenómeno nuevo en la silvicultura y en realidad es “tan viejo como el hilo negro”, en sus aspectos más básicos se ha utilizado desde la época de los romanos. En realidad el silvicultor siempre ha sido un genetista, él ha colectado semilla de árboles semilleros y luego ha sembrado la semilla y las plantas las ha colocado en lugares específicos. A través del raleo ha favorecido a ciertos árboles en detrimento de otros. El silvicultor continuamente ejerce un control genético sobre los árboles, decidiendo donde colectar la semilla, donde plantar los árboles, y qué árboles. La idea de selección está íntimamente ligada a las prácticas básicas de manejo forestal. El mejorador genético ha acelerado el proceso haciéndolo más eficiente y efectivo.

La mejora o el mejoramiento genético es un arte que se ha formalizado sólo este último decenio. Hoy se reconoce como parte integrante de la silvicultura y, de acuerdo a la intensidad con que se aplique, le confiere a esta última un dinamismo de inusitadas consecuencias económicas. Esta connotación hace que juegue un doble papel dentro del ciclo económico, por un lado la silvicultura al servicio de los aspectos industriales y de mercado, y por otro la creciente necesidad de conservación, fundamentalmente, para masificar las denominadas “ganancias genéticas”.

Los proyectos de mejora genética muestran interesantes niveles de rentabilidad. En Chile, a modo de ejemplo: el proyecto de la Cooperativa de Mejoramiento Genético sobre propagación clonal exhibe una tasa interna de retorno (TIR) que fluctúa de 24 a 39%, de acuerdo a escenarios pesimista y optimista, respectivamente. De la misma forma, el proyecto FONDEF del Instituto Forestal sobre “Mejora genética de los eucaliptos en Chile”, exhibe una TIR que alcanza al 40%. Por último, existe consenso a nivel mundial entre muchos especialistas, que basta un incremento del 4% por concepto de ganancias genéticas para cubrir los costos de un programa de mejoramiento genético.

El proyecto de mejoramiento genético de especies de *Nothofagus* de interés económico tiene una duración de tres años, tiempo totalmente insuficiente para llevar a cabo un programa de mejora, incluso en especies de rápido crecimiento. No obstante, dicho proyecto permitirá establecer las bases del programa de mejoramiento de dos especies: *Nothofagus alpina* y *N. obliqua*, dando énfasis a los aspectos de corto plazo que incluye básicamente áreas productoras de semillas, huertos semilleros, ensayos de progenies, ensayos de procedencias y una estrategia de mejora que se presentará en un documento que incluye un detallado cronograma de acción. Este proyecto es patrocinado por FONDEF y cuenta con la participación de la UNIVERSIDAD AUSTRAL, el INSTITUTO FORESTAL, la CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL y las principales EMPRESAS FORESTALES.

Aunque la estrategia futura aún no está formalmente escrita se quiere esbozar los elementos estructurales sobre los cuales ésta se desarrollará; que aseguren que al seguir el programa se obtendrán ganancias en volumen en el corto, mediano y largo plazo. La intensidad y diseño de un programa de mejoramiento genético dependerá, básicamente, de la existencia de variabilidad genética, de la biología reproductiva, metas que trace la organización, intensidad del manejo forestal y del valor comercial de la madera de las especies de *Nothofagus*.

El programa de mejora protege el potencial evolutivo de las especies, ya que el mejorador requiere ganancias hoy y mañana. Éstas se logran a través de un ciclo de selección recurrente y una estructuración de la población base, población seleccionada, población de producción, población de mejoramiento y pruebas genéticas, tal como es indicado por White (1987). De esta forma el mejorador se convierte en el mayor interesado en la conservación genética, la cual realiza a través de una mejora genética selectiva sobre una población al menos, y preferiblemente sobre muchas. Ese programa incluye también la conservación de múltiples poblaciones, independiente que la ordenación no sea viable mediante la intervención directa.

El objetivo comercial del mejoramiento genético es producir un genotipo, o conjunto de ellos, que genere un rendimiento económico bastante más elevado y seguro que el inicial.

## MEJORA GENÉTICA

El procedimiento práctico se inicia con la selección de un número de árboles denominados *plus* que varían de 20 a 300 individuos a partir de poblaciones que suelen estar compuestas por varios miles de individuos. La mejora en cuanto a rendimiento volumétrico depende de muchos loci génicos diferentes o posiciones lineales o puntos ordenados ocupados por genes en un cromosoma. Para cada locus pueden existir múltiples variantes alélicas de un gen dado. La mejora cuantitativa del rendimiento maderero de una especie es consecuencia de una acumulación de alelos que favorecen esa característica; dichos alelos pueden ocupar muchos loci diferentes. En árboles forestales, para los que es difícil definir los efectos de un gen determinado, puede ser en general necesario tratar la herencia como fenómeno cuantitativo. En todo caso es un hecho irrefutable que una selección cuidadosa da como resultado un mejoramiento heredado en la generación siguiente. Debido a esto mucha de la investigación en materia de mejoramiento genético de árboles, se ha centrado en obtener estimaciones precisas e insesgadas de la calidad genética de los progenitores potenciales. En la primera generación se seleccionan frecuentemente varias poblaciones de origen, y las mejores se someten a una selección inicial.

## ¿Cómo Opera el Mejoramiento Genético?

En la Figura 1 se ilustra el modelo básico de un ciclo completo de selección recurrente (SR).

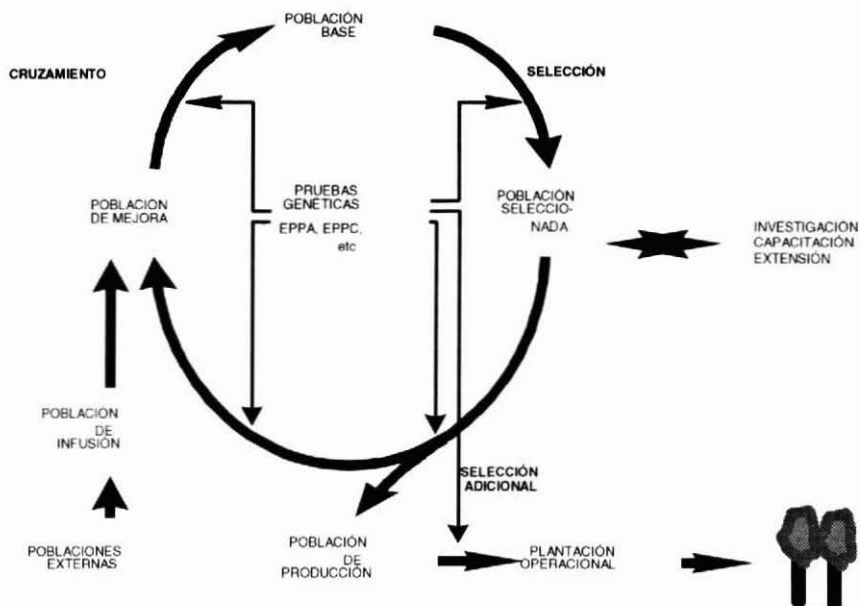


Figura 1. CICLO DE MEJORA GENÉTICA

Para un rasgo de interés económico tal como es la rectitud, la mejora genética se alcanza cuando se aumenta la frecuencia de alelos favorables en la porción seleccionada de la población. Lo que implica que si se seleccionaron árboles de gran rectitud y esa característica tiene un cierto nivel de control genético, como realmente la tiene, se habrán concentrado árboles de mayor volumen aserrable en la población seleccionada, cuyo promedio será mayor al promedio de la población donde se realizó la selección. La efectividad depende de la intensidad de selección y del control genético que se tenga de este rasgo. Ambos son directamente proporcionales, es decir, a mayor intensidad de selección y mayor control genético, mayor es la efectividad de la selección.



Los árboles seleccionados se cruzan para inducir a la recombinación genética. La descendencia de dos árboles superiores no necesariamente será superior debido a la aleatoriedad de la recombinación genética durante la reproducción sexual. Durante este proceso, se origina una importante variación, lo que sumado a las diferencias de micrositios en que pueden habitar los árboles se produce una sustancial variabilidad fenotípica entre la descendencia. No obstante la teoría genética sugiere que si dos progenitores tienen un alto valor genético, es muy probable que se logre transmitir a la progenie dichas características y en especial si estas características son heredables.

Para la siguiente generación se tendrá que volver a seleccionar fenotipos superiores y, si nuevamente la selección es efectiva, entonces la selección de segunda generación contendrá una aún mejor frecuencia de alelos que la primera generación. La diferencia entre ambas generaciones se expresa en términos de ganancias genéticas, las que medirán el éxito del mejoramiento genético. Entonces, de acuerdo a esto, en la primera generación se tendrá mayores ganancias genéticas, las que se incrementarán en la segunda generación, con respecto a la primera.

Los programas de mejoramiento genético pueden exhibir muchas diferencias entre sí, producto de distintas estrategias, lo que conlleva a distintas actividades, énfasis, ritmos, etc. Pero todos ellos presentan una estructura en común denominada "Ciclo de Mejoramiento", tal como se observa en la Figura 1 (White, 1987).

El "Ciclo de Mejoramiento", es una simplificación de un programa de mejoramiento genético. Las actividades que conducen a los programas aplicados forman distintas poblaciones tipo. Éstas pueden tener la misma localización para cumplir dos papeles conceptualmente distintos.

### ¿Cuál es la Estructura del "Ciclo de Mejoramiento"?

En la Figura 1, se muestran los componentes y actividades, principalmente, del "ciclo de mejoramiento". Un ciclo de mejoramiento se completa en una generación de mejoramiento. Las poblaciones tipo en el ciclo de mejoramiento son las siguientes:

- Población base
- Población seleccionada
- Población de mejora

Estas poblaciones se forman en cada generación desde las poblaciones tipos precedentes. Por ejemplo, la población "seleccionada" es formada desde la población "base", a través de la actividad de selección. Las poblaciones periféricas al "ciclo de mejora", tales como la población de producción y de infusión no necesariamente tienen que ser creadas en cada generación. En agricultura, en ocasiones para alcanzar una población de producción, transcurren varios ciclos de mejora (generaciones).

Por otro lado, la separación de la población de producción del cuerpo principal del ciclo de mejoramiento obedece a razones conceptuales. El ciclo de mejoramiento (población: base, seleccionada y de mejora), tienen como función verificar las ganancias genéticas y mantener la diversidad genética para las actuales y futuras generaciones de mejora.

Las pruebas genéticas, aunque costosas, son una parte importante del ciclo de mejoramiento ya que proveen de información necesaria para una efectiva toma de decisiones.

### Población Base

Por definición, corresponde a un grupo de individuos a la cual se le aplica mejoramiento genético, es la población fundacional. A partir de todos los individuos disponibles para la selección se desarrollará una población mejorada.

La unidad o área geográfica para la cual se desarrolla una variedad mejorada, se denomina unidad de mejora. Cada unidad de mejora tiene un programa de mejora distinto, con su propia población: base, seleccionada, de mejora y de producción. A este respecto, existen dos decisiones críticas; primero definir la población base y los límites de la unidad de mejora.

Una población base de primera generación se encuentra conformada por varios millones de individuos y con una inmensa variabilidad genética. Una población base de generación avanzada consiste de árboles mejorados genéticamente y que crecen en los ensayos genéticos, además, a estos árboles se les conocerá el pedigrí, es decir, su origen geográfico, historia, progenitores y ancestros.

### Población Seleccionada

El ciclo de mejora comienza en cada generación con la selección desde la población base de árboles superiores. En un programa de primera generación, la selección es normalmente masal, es decir, realizada a partir de poblaciones no mejoradas (plantaciones de una raza local, renovales y bosques naturales). En programas de generación avanzada, los árboles superiores se seleccionan de acuerdo: al desempeño individual y de sus progenitores y parientes.

Si la selección se realiza en forma rigurosa, se espera obtener importantes ganancias genéticas. La descendencia de los árboles seleccionados, será genéticamente superior a la progenie de los árboles de la población base.

Los criterios de selección son fundamentales y, por esta razón, el proyecto **UACH/INFOR/CONAF/EMPRESAS-FORESTALES/FONDEF** ha establecido una rigurosa metodología de selección, que asegura la superioridad de los árboles

seleccionados. En estos momentos la intensidad de selección es de aproximadamente 1 árbol cada 10 hectáreas visitadas.

La edad de selección es otro factor que cambia, de acuerdo a la generación y al objetivo de mejora. Se considera que la selección debe realizarse, al menos, cuando los individuos pasen el 50% de la edad de la rotación. En generaciones posteriores, cuando se conoce el pedigrí de los árboles, la edad de selección puede disminuir.

La población seleccionada es un subconjunto de la población base, conceptualmente, es una porción de la población base que es elegida para llevar a cabo el “ciclo de mejoramiento”. Los individuos seleccionados se transportan, usualmente, a través de injertos y se almacenan en bancos clonales. En este lugar se realiza un manejo intensivo de la floración para propósito de mejoramiento.

### Población de Producción

Para una generación dada, la población está compuesta por algunos o toda la población seleccionada. La función de la población de producción es producir descendencia genéticamente mejorada para plantaciones operacionales.

Los huertos semilleros clonales y las áreas de multiplicación clonal y familiar a través de setos constituyen los tipos más usados de poblaciones de producción, aunque existen otras alternativas para obtener material para plantaciones operativas.

- Semilla de polinización abierta colectada de individuos de la población base.
- Semilla de huertos semilleros de semillas o plántulas establecidas con la descendencia de la población seleccionada.
- Plántulas originadas de cultivo de tejido.
- Estaquillas de individuos de la población seleccionada.

La población de producción se puede depurar (raleo genético) con la información de las pruebas de progenie, evitando que descendencia de individuos genéticamente inferiores llegue a plantaciones operacionales. Esto se alcanza a través de dos vías:

- Depuración de los huertos semilleros
- Creación de huertos semilleros de generación 1,5

### Población de Mejora

Para una generación determinada, algunos o todos los individuos de la población seleccionada se incluyen en la población de mejora. El objetivo de la población de mejora es crear la población base de la siguiente generación. Esto se alcanza al inducir la recombinación de genes entre genotipos superiores, la progenie resultante se establece en



pruebas genéticas. Una vez que la nueva población base se ha creado, comienza un ciclo completo de mejora, nuevamente.

Es importante destacar el papel que cumplen las pruebas genéticas para ordenar (ranking) los individuos seleccionados e incluirlos en la población de mejora. En programas de generación avanzadas, los cruzamientos se inician después de la selección desde la población base y no hay tiempo suficiente para acopiar información acerca de la población seleccionada. En este caso, todos los individuos de la población seleccionada son incluidos en la población de mejoramiento y, por lo tanto, la población seleccionada y la de mejora son idénticas.

### Infusiones desde Poblaciones Externas

Los programas de mejoramiento, normalmente y en forma periódica, incluyen árboles desde fuentes externas a la población de mejoramiento. Las fuentes más comunes son las siguientes:

- Selección continua.
- Individuos probados (élite) de poblaciones de mejora de otras áreas fisiográficas.
- Cruces para mejorar la rapidez de crecimiento en genotipos resistentes a heladas.
- Híbridos interespecíficos (resistentes a plagas).

Este tipo de conclusiones pueden ampliarnos la base genética y permitir así una intensa selección en generaciones futuras para un nivel determinado de endogamia (cruzamiento entre individuos emparentados).

### Pruebas Genéticas

En términos generales, una prueba genética es una plantación diseñada a partir de la descendencia de una de las poblaciones tipos (población base, población seleccionada y población de mejora) del ciclo de mejoramiento. Dependiendo del papel en el ciclo de mejora, puede denominarse ensayo de progenie, población base, ensayo de producción o investigación experimental y, de acuerdo a su localización, éstas pueden ubicarse en el terreno, vivero, invernadero o cámara de enfriamiento.

Los objetivos de las pruebas genéticas, de acuerdo a su función en el ciclo de mejora, son las siguientes:

- A. Ensayo de progenie, es definido como una prueba para estimar el valor de un genotipo, de acuerdo al desempeño de su progenie. Las pruebas de progenie sirven en diferentes etapas del ciclo de mejoramiento (Figura 1). Un programa de mejoramiento cumple varias funciones, entre ellas:



- a) Eliminar individuos de bajo valor genético. Los ensayos genéticos permiten excluir árboles de bajo valor genético en la población de producción. Esto permite mejorar la calidad genética de los propágulos producidos en la población de producción.
  - b) Conocer el valor relativo de los miembros de la población de producción para elegir la mejor semilla para sitios específicos.
  - c) Subir el nivel de los integrantes de la población de mejora. Al excluir los individuos seleccionados de bajo nivel en la población de mejora, se está evitando que estos genes participen en las subsecuentes poblaciones bases.
  - d) Mejora la eficiencia del diseño de cruzamientos.
  - e) Mejora la eficiencia de la selección de futuras poblaciones bases.
- B. Evaluación de la descendencia de cruzamientos. Después de completar el cruzamiento entre los miembros de la población de mejora, la progenie se planta en terreno para evaluar qué árboles específicos parecen ser superiores. Estas pruebas genéticas constituyen la población base, para iniciar un nuevo ciclo de selección y mejoramiento.
- C. Definir la arquitectura genética. Para realizar esta tarea, es necesario definir la cantidad relativa o absoluta de la variación genética, debido a: origen geográfico de la semilla, aptitud combinatoria general y específica, interacción genotipo - ambiente y relaciones entre juvenil - adulto.
- D. Evaluar la inclusión de individuos de poblaciones externas.
- E. Evaluación de las ganancias obtenidas.

## GENERACIONES AVANZADAS

En las generaciones avanzadas la población utilizada para la reproducción prácticamente se estabiliza. Aunque las primeras selecciones sean numerosas, es ingenuo suponer que la población efectiva (número de individuos no emparentados) seguirá siendo grande. Por lo general, es previsible que el mejoramiento comercial reducirá drásticamente el tamaño de la población efectiva. Incluso si se trata de mantener una población base amplia, un mejorador o genetista forestal que trabaje con fines comerciales puede decidir que los beneficios inmediatos (utilizando, por ejemplo, los cinco mejores progenitores en lugar de 10 a 20) compensan los riesgos a largo plazo que entraña la reducción de la varianza genética. Esto es cierto tanto en el caso de los programas de selección recurrente simple y en los programas de selección recurrente de híbridos o recurrente recíproca.

La reducción del tamaño de las poblaciones, unida a la depresión endogámica, es decir la pérdida de crecimiento por endogamia, causa una pérdida de la variabilidad genética, y por consiguiente de la capacidad para responder a cambios en los objetivos de la selección, que a su vez dependen de cambios en los objetivos económicos o empresariales, o de cambios necesarios para una adaptabilidad ecológica. La reducción del tamaño de la población efectiva también reduce la capacidad de las poblaciones para responder acumulativamente a las reiteradas presiones de selección. El problema parece menos grave que cuando se aplica una nueva selección a un rasgo totalmente independiente. La pérdida de variación genética impide también la selección en función de genes que determinen rasgos cualitativos si la población seleccionada utilizada para la reproducción los ha perdido, e impide la posibilidad de una selección en busca de nuevas funciones de respuesta al medio ambiente o de resistencia al mismo si se ha perdido dicha variabilidad.

Existen varias formas de resolver el problema que plantea la reducción del tamaño de la población útil para la reproducción. Las más comunes son: mantener una selección continua de árboles plus, y la otra es mantener una jerarquía de poblaciones relativamente amplias y menos seleccionadas, y mantener una subdivisión en sublíneas. A partir de esas poblaciones, los genetistas pueden obtener variedades comerciales. Pero esos procesos a menudo resultan difíciles, costosos y requieren tiempo, para los árboles forestales tal vez se necesite sólo un nivel básico de poblaciones seleccionadas. Sin embargo, dadas las características de las intervenciones genéticas aplicadas a los árboles, esas poblaciones básicas resultarán inútiles, a menos que hayan sido sustancialmente mejoradas y, en tal caso, la selección genética se aplicaría mejor a poblaciones múltiples para mantener una diversidad útil.

El mejoramiento aplicado a poblaciones múltiples para mantener la diversidad genética puede ser también útil para conservar ciertos rasgos, pues la adaptabilidad de cada árbol no es infinita y hay una serie de variables económicas o ambientales. Cuando el mejoramiento de poblaciones de base se hace con fines de aprovechamiento comercial inmediato, teóricamente es más eficaz en relación con los costos mejorar el rendimiento o el valor de distintas poblaciones adaptadas a medios diferentes.

Aplicando procedimientos sencillos de mejoramiento a cada una, se puede obtener una gama adaptable de poblaciones de base con la misma facilidad que una única población básica, jerárquica y amplia, y las características resultantes se incorporan más fácilmente a las variedades avanzadas. Dicha gama de poblaciones también puede formar parte de un programa de conservación genética, pues se puede mantener y a menudo acrecentar la diversidad intraespecífica.

En cualquier momento, pero siempre y cuando sea económicamente factible, se pueden aplicar técnicas de biotecnología, como por ejemplo, la macro y micropropagación, y la transferencia de genes. Estas técnicas escapan al objetivo de este documento, no obstante es importante tenerlas presente como un complemento fascinante de los métodos tradicionales de mejoramiento genético.

## ORDENACIÓN GENÉTICA DE ESPECIES DE INTERÉS ECONÓMICO

Por lo general existen razones lógicas y económicas fundadas para que las especies de roble y raulí atraigan un interés inmediato y se hagan grandes esfuerzos para mejorar las que ya están bien adaptadas desde el punto de vista económico y ecológico. No obstante, como la demanda de productos y el medio ambiente físico y biótico de los bosques cambian, es lógico prever que la lista de especies de importancia comercial se modificará. Esta necesidad se hace más ineludible a medida que se exploran nuevos mercados y la diversidad productiva surge como un elemento de estabilidad y seguridad económica.

Con algunas especies se han hecho numerosos ensayos y sin duda se seguirán haciendo. El objetivo de la mayoría de los ensayos realizados en el pasado ha sido buscar especies de rápido crecimiento que satisfagan mejor las necesidades actuales. Sin embargo, poco se ha realizado con las especies nativas por lo que se requiere pruebas genéticas que muestren dos objetivos principales:

- a) Detectar la distribución de la variación genética y tomar muestras de la misma;
- b) Analizar y distinguir diferencias útiles entre genes, individuos o poblaciones.

A continuación se examinan estos dos objetivos.

### Variación Genética

El primer objetivo es conocer la distribución actual de la variación genética producida por la combinación de las fuerzas naturales y las actividades humanas. Es preciso responder a preguntas fundamentales sobre la estructura de la especie, las razones de que distintos genes y combinaciones de genes puedan ser normales en algunas zonas y raros en otras, y en qué grado están relacionados esos modelos con la estrategia de supervivencia de la especie. Hay probablemente un pequeño número de especies que tienen una variabilidad genética relativamente escasa, en la cual las muestras de árboles adyacentes o de dos extremos de la distribución de la población son similares. Sin embargo, la mayor parte de las especies arbóreas parecen tener una gran variabilidad genética, y una elevada proporción de la misma se encuentra en rodales, al menos en relación con la mayoría de las demás especies vegetales. Pero también parecen existir adaptaciones heredables y muy sutiles a las distintas condiciones del medio. Por consiguiente, la falta de una gran variabilidad genética entre rodales no indica necesariamente una falta de genes que confieran adaptaciones especiales.

Uno de los problemas que se plantea al estudiar los grados y modelos existentes de las distribuciones alélicas es que, cuando se toman muestras de poblaciones únicamente se puede abarcar un período de tiempo muy limitado.

Mientras que los cambios en los patrones genéticos forestales que influyen en la adaptabilidad pueden requerir muchos años y varias generaciones para equilibrarse, los





estudios de las variaciones de los genes, por lo general se han limitado a una o dos décadas; y a menudo a muestras tomadas en uno o dos años. Con un muestreo limitado es fácil perder de vista tipos de cambios generacionales más lentos en la estructura de los rodales. El ser humano puede ejercer una gran influencia sobre la estructura de los árboles forestales, directamente mediante la selección e indirectamente como resultado de cambios en la diseminación de polen y semillas, y en la densidad de las plántulas. Es más, si las especies de árboles se encuentran en un estado de transición, lo mismo ocurre con las especies a ellas asociadas, así como sus plagas y patógenos. Es especialmente importante reconocer que los estados de desequilibrio pueden haber sido causados por la influencia humana sobre la estructura genética de las especies en interacción. En consecuencia, es necesario actuar con cautela al pretender deducir de las condiciones actuales cualquier conclusión en el sentido de que las estructuras actuales de las poblaciones se encuentran en un estado de equilibrio óptimo.

En cuanto a las especies tropicales, cuyas modalidades de reproducción son más complicadas y restringidas y cuyos rodales tienen estructuras más complejas, la complejidad estructural, ecológica y genética pueden ser importantes para la adaptabilidad y la continua evolución de esas especies. Las poblaciones forestales pueden haber evolucionado en los trópicos con subdivisiones sutiles y estables. Los bosques de los climas templados, aunque no sean estables, pueden haberse adaptado a una amplia gama de variaciones en el tamaño y la distribución de la población. En los trópicos, sin embargo, las especies arbóreas parecen haberse estructurado normalmente en forma de pequeñas poblaciones múltiples, protegiendo así, tal vez, a las especies contra epidemias de patógenos.

Un problema para utilizar esas especies es la ignorancia casi total de su estructura genética. Como se desconoce la evolución paralela de sus competidores, plagas y agentes patógenos, es necesario conservar una diversidad mayor de la que tal vez se necesite en último término, hasta que se puedan eliminar sin peligro las variaciones innecesarias. Por consiguiente, el primer objetivo de los ensayos de procedencias propuesto por el proyecto es estudiar las estructuras naturales de las poblaciones.

### **Poblaciones Útiles.**

El segundo objetivo de los ensayos de procedencias es determinar cuáles son las poblaciones útiles. Esto no se contrapone necesariamente al primer objetivo conocer la distribución de la variación genética sino que está orientado a la toma de decisiones de orden práctico acerca de los beneficios iniciales del mejoramiento y la conservación genética inmediata. Suponiendo que se conozcan los rasgos o genes deseables, el problema inmediato está en calcular la probabilidad que con una nueva muestra vaya a obtenerse una ganancia adicional suficiente para justificar el intento de buscar esas poblaciones mejores. Hay que asegurarse no sólo que existan tales poblaciones, sino también que los ensayos estén concebidos para localizar y tomar muestras de poblaciones mejores, de manera oportuna. Si hay pocos indicios de que existan grandes diferencias

entre las poblaciones, apenas se obtendrán beneficios de las muestras de nuevas poblaciones. Análogamente, incluso si existen diferencias, pero están distribuidas al azar con respecto a cualquier característica medible del medio ambiente, habrá pocas probabilidades razonables de obtener un beneficio adicional haciendo un estudio de poblaciones. Además, cualquier ganancia que pueda esperarse de una nueva selección de poblaciones puede no ser equiparable a la que se obtendría con un mejoramiento normal en poblaciones previamente establecidas. Sin embargo, mientras no se conozca la distribución de alelos para todos los rasgos de valor potencial no se podrán calcular los costos que representan las oportunidades perdidas de incorporar rasgos específicos o cierto grado de rendimiento de los rasgos.

Por consiguiente, la búsqueda de poblaciones útiles como fuentes de genes para producir subconjuntos de rasgos deseados está orientada hacia la obtención de variación genética. La preparación y el análisis de esas pruebas no requiere de ninguna teoría estadística nueva. Los adelantos realizados en la elaboración y análisis de tales pruebas han hecho que esos objetivos puedan alcanzarse en plantaciones de tamaño medio. Sin embargo, por lo que concierne a las plagas y agentes patógenos, que pueden evolucionar con relativa rapidez, las estimaciones de los tipos de resistencia y sus efectos han de hacerse teniendo en cuenta su población y la dinámica evolutiva. En este caso las pruebas y los procedimientos de estimación difieren de los que se aplican a las respuestas a variables del medio físico. En los ensayos se trata de detectar las variaciones genéticas de las distintas formas de resistencia o los fenómenos de reacción. Luego se requiere un análisis dinámico para predecir los efectos que tendría la introducción de tipos de resistencia en un ecosistema forestal.

Se necesitan procedimientos de ensayos similares para conservar y mejorar especies de variedades agrícolas a las que actualmente no se da un uso comercial. Con frecuencia es poco lo que se sabe acerca de la distribución presente o natural de rasgos o alelos, de la localización de poblaciones potencialmente útiles o de manifestaciones de rasgos de especial utilidad. Por consiguiente, los estudios de las variedades silvestres de las plantas cultivadas tienen por objeto conocer la evolución de los cultivos y encontrar fuentes de genes para introducirlos en variedades comerciales. Los estudios ecogeográficos de las variedades no comerciales están orientados sobre todo a encontrar genes que puedan resultar útiles en las variedades establecidas y en las nuevas poblaciones de reproducción. Por lo que respecta a muchas de estas especies cultivadas, con ciclos de reproducción cortos y un largo historial de mejoramiento genético, la atención se ha centrado en su conservación.

Los genetistas confían en que, una vez asegurada la conservación de las fuentes de germoplasma en peligro, podrá dedicarse más tiempo a las etapas de prueba y mejoramiento en la actividad genética. Por lo general se requieren ensayos para evaluar la capacidad inherente; las actividades que se necesitan son las descritas más arriba en relación con los ensayos de procedencias. Las actividades de desarrollo o mejoramiento son las mencionadas a propósito de la creación de poblaciones jerárquicas o múltiples.

El material necesario para los ensayos y el mejoramiento ha de proceder de alguna muestra tomada *ex situ* o *in situ* del acervo genético disponible. Dichas muestras deben ser de un tamaño mínimo suficiente para que se tenga una posibilidad razonable de rescatar los genes útiles. Sin embargo, con ese tamaño mínimo hasta en los mejores trabajos de muestreo se pueden perder numerosos alelos si se hallan presentes únicamente en pequeñas cantidades en el momento y lugar de toma de la muestra. Por eso es tan importante que se determinen los modelos y las estructuras de la variación. Para que se pueda apreciar la diversidad estructural que puede existir en las poblaciones, se necesitan muestras de zonas, rodales e individuos diferentes. Aunque son difíciles de realizar, tales programas son factibles.

Independientemente del valor comercial de una especie y las asociadas a ella, se sabe que las variaciones genéticas y ecológicas probablemente no se encuentran en un estado evolutivo estático. Algunas pueden tener un acervo genético empobrecido, y otras tal vez contengan todo tipo de variaciones genéticas en poblaciones únicas de gran tamaño, pero hay que considerar que la mayoría de ellas se encuentra en un estado transitorio de su evolución. Hayan o no sido estables en un pasado reciente, las actividades humanas probablemente han cambiado al menos muchos de sus estados de equilibrio. La meta de los responsables de la ordenación de los recursos genéticos no es mantener un estado de equilibrio estático, sino conservar un sistema dinámico, aunque se comprende poco esa dinámica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Namkoong, G., Kang, H. y Brouard, J. 1988. Tree Breeding: Principles and Strategies. Springer-Verlag. 180p.
- Namkoong, G. (1986). La genética y los bosques del futuro. Unasylva 152. Vol. 38: 1-17.
- White, T. 1987. A conceptual framework for tree improvement programs. New Forest 4 : 325 - 342.