

// INTRODUCCION AL MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL

Francisco Mesén
Genetista Forestal, PROSEFOR

INTRODUCCION

Durante muchos años, agricultores y criadores de animales han utilizado los principios del mejoramiento genético para mejorar las descendencias, seleccionando sus mejores animales o plantas como pie de cría para producir la siguiente generación. A ningún ganadero se le ocurriría seleccionar el toro más débil, deforme y enfermizo de su hato para utilizarlo como padrote en su finca. Extrañamente, a mucha gente no le preocupa seleccionar los árboles más débiles, deformes y enfermizos para recolección de semilla y establecimiento de plantaciones.

El mejoramiento genético forestal pretende identificar la magnitud, clases y causas de la variabilidad dentro de las especies, seleccionar aquellas poblaciones e individuos dentro de la especie con características sobresalientes, agruparlos para que se crucen entre sí y produzcan semilla que genere árboles con características sobresalientes, al igual que los padres que les dieron origen. Al mismo tiempo, es necesario mantener una reserva de material en su estado natural, a la cual se pueda recurrir en caso de que se necesite introducir nueva variación en la población de mejoramiento. Esto se conoce como conservación de los recursos genéticos forestales.

Es común que los forestales piensen en mejoramiento genético como una ciencia compleja y sofisticada. En la práctica, sin embargo, todo lo que implica es entender las formas y las causas de variación natural entre individuos, y hacer uso de esa variación para aumentar la productividad de las plantaciones. Por otro lado, también se debe entender que el mejoramiento genético no es la solución a todos los problemas; poco se puede lograr en mejoramiento genético si este no va acompañado de prácticas silviculturales adecuadas. Se debe recordar que el rendimiento de un árbol es el resultado de la interacción de su genotipo con el ambiente en el cual se ha desarrollado; nunca se podrá lograr máxima productividad si uno de estos dos componentes es inadecuado.

En general, el mejoramiento genético tiene como objetivos maximizar ciertas características como i) la adaptabilidad de

una especie al sitio potencial de plantación, ii) la tasa de crecimiento, iii) la resistencia a enfermedades y iv) la calidad del producto final.

DEFINICIONES

Es importante definir ciertos términos comunes en mejoramiento genético, que se usarán con frecuencia a lo largo del documento.

Heredabilidad (h^2): es un valor que expresa el grado en el cual los padres transmiten sus características a sus descendientes, y es primordial para estimar la ganancia genética obtenida en programas de selección. La heredabilidad no es un valor fijo, sino que es específico para cada población en particular creciendo en cierto lugar, a cierta edad y para cierta característica.

Diferencial de selección (S): cuando se realizan selecciones en alguna población determinada, S es la diferencia entre la media de la población completa y la media de la subpoblación seleccionada.

Ganancia genética (G): es un valor de la superioridad en cierta característica obtenida mediante selección, y es el producto de la heredabilidad por el diferencial de selección ($G = h^2S$). Se puede observar que G aumenta conforme aumenten h^2 y S .

ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL

Una estrategia de mejoramiento genético forestal es un conjunto de acciones dirigidas a abastecer germoplasma en cantidad y calidad suficiente al menor costo y en el menor tiempo posible, a la vez que asegura la posibilidad de mejoramiento continuado en el largo plazo. Esto requiere la existencia de tres elementos:

- i) **Conservación de los recursos genéticos,** también llamados población base: proporciona el material para implementar los demás componentes y sirve de reserva para realizar nuevas introducciones al programa en el futuro.
- ii) **Mejoramiento e investigación:** donde se realizan todas las acciones de evaluación, recombinación, mejoramiento y selección de materiales superiores, así como el desarrollo de tecnologías que permitan la ejecución del programa.

iii) **Producción:** donde se agrupan los mejores individuos de la población de mejoramiento en áreas especiales que aseguren el abastecimiento de germoplasma en cantidad y calidad suficiente para los programas de plantación.

Las estrategias de mejoramiento pueden ser realizadas con menor o mayor intensidad, dependiendo básicamente de la importancia de la especie, sus características silviculturales, biológicas y genéticas, y la disponibilidad de recursos. Normalmente, la decisión inicial crítica es la selección de las especies y procedencias adecuadas para los sitios potenciales de reforestación, que cumplan con los requerimientos de producción deseados y que no presenten problemas biológicos o genéticos que impidan el desarrollo del programa de mejoramiento a largo plazo.

La estrategia más simple es aquella que pretende proporcionar semilla de origen reconocido para reforestación, sin entrar en otras actividades de mejoramiento genético. Esto puede realizarse mediante la selección de ciertos árboles de buena calidad fenotípica en plantaciones y recolección de su semilla. La ganancia genética en este caso es baja porque tanto el diferencial de selección como la heredabilidad, son bajas. Además, la selección se basa únicamente en el árbol madre, ya que los progenitores masculinos son desconocidos.

Una opción para aumentar la ganancia genética es aumentar el diferencial de selección, lo cual se logra eliminando de la población ciertos individuos indeseables. Esto da origen a los rodales semilleros, y es un inicio importante en programas de mejoramiento.

Para especies introducidas, es importante el establecimiento de ensayos de procedencias antes de iniciar programas de selección y mejoramiento. Una vez definidas las mejores procedencias, hay varias alternativas a seguir. Si hay acceso a la zona original de procedencia, se puede iniciar la recolección de semilla directamente para su uso en plantaciones comerciales. La mayoría de los programas, sin embargo, han optado por el establecimiento de plantaciones semilleras para desarrollar fuentes locales de semilla. Estas tienen la ventaja de que pueden dar origen a razas locales, adaptadas a los nuevos sitios de reforestación.

Aun dentro de las mejores procedencias existe una gran variabilidad entre los árboles, que puede explotarse mediante selecciones individuales. Estas son estrategias más complejas que involucran la selección de árboles individuales que muestren características sobresalientes, para su inclusión en

huertos semilleros. Para iniciar este proceso, debe existir una base genética suficientemente amplia en la región, que permita una alta intensidad de selección. El proceso pretende seleccionar varias decenas de estos árboles superiores y agruparlos físicamente para permitir que se crucen entre sí y produzcan semilla de calidad genética superior. Si la selección se hace en plantaciones homogéneas, esto conlleva en un aumento efectivo en la heredabilidad (debido a la reducción de la varianza ambiental), lo cual, unido a un alto diferencial de selección, resulta en ganancias genéticas muy importantes. Además, la calidad de la semilla aumenta, ya que en este caso, ambos padres han sido seleccionados. Hay varias opciones disponibles para el establecimiento de huertos semilleros, las cuales se discuten más adelante.

A partir de los árboles seleccionados también existe la opción de iniciar programas de silvicultura clonal, mediante los cuales se puede lograr la mayor ganancia genética, ya que los propágulos producidos para las plantaciones son reproducciones exactas de los árboles seleccionados.

Como se ve, existe una serie de alternativas abiertas a los forestales, para mejorar la calidad del germoplasma utilizado en plantaciones. Depende mucho del sentido común, de la especie involucrada y de la naturaleza y objetivos de la reforestación decidir las mejores opciones a seguir. Los diferentes componentes de las estrategias se describen a continuación.

SELECCION DE ESPECIES

La selección de las especies adecuadas, de acuerdo a los sitios potenciales y a los objetivos de la reforestación, es una etapa básica antes de iniciar programas de mejoramiento a largo plazo. No tiene sentido invertir tiempo y recursos en el mejoramiento de una especie, para descubrir años después que otras introducciones no mejoradas producen rendimientos iguales o incluso mayores. El proceso de selección de especies puede apoyarse en información existente o en experiencias previas.

Es importante tener en cuenta que no se puede juzgar una especie por el comportamiento de sólo una de sus procedencias; por lo tanto, si ya existen los recursos y la disponibilidad para realizar una prueba de especies, es conveniente incluir varias procedencias representativas. Desgraciadamente son muchos los ejemplos donde se han desechado especies que pudieron haber traído grandes beneficios a un país, por haber tomado una decisión errónea basada en una única introducción inapropiada.

SELECCION DE PROCEDENCIAS

A lo largo del rango de distribución natural de una especie, las condiciones ecológicas específicas prevalecientes en diferentes regiones provocan cambios en la constitución genética de dichas poblaciones. Los individuos que no se adaptan al ambiente específico donde están creciendo mueren, mientras que aquellos que logran adaptarse transmiten sus genes a la siguiente generación. A lo largo de muchas generaciones se desarrollan razas geográficas o procedencias, es decir poblaciones altamente adaptadas a su ambiente, que pueden ser muy diferentes a otras procedencias de la misma especie. Cuando se recolecta semilla de varias razas geográficas dentro del rango de distribución de la especie y se establecen en un sitio común, es de esperar que los individuos respondan en forma muy diferente en cuanto a su crecimiento y comportamiento, como generalmente ocurre.

Al igual que con la selección de especies, no tiene sentido iniciar un programa de mejoramiento hasta no estar seguro de que se está trabajando con la mejores procedencias disponibles. Una vez determinadas las mejores procedencias, se debe obtener semilla para la creación de una población base. Si se tiene acceso directo a la región de procedencia, se puede iniciar el desarrollo de rodales semilleros para producción inmediata de semilla comercial, coleccionar semilla para el establecimiento de plantaciones semilleras o realizar selecciones a nivel de árbol individual para el establecimiento de ensayos de progenies, huertos semilleros o programas de silvicultura clonal.

RODALES SEMILLEROS

Cuando se han identificado las mejores especies y procedencias, los mejores rodales existentes, ya sea naturales o plantados, pueden ser mejorados mediante la remoción de individuos inferiores y manejados adecuadamente para convertirlos en rodales semilleros. Los rodales semilleros son una medida económica y rápida para asegurarse el abastecimiento de semilla de origen reconocido, que proporciona ganancias genéticas modestas pero superiores a las que se obtienen de semilla de plantaciones inferiores y/o no manejadas. Los rodales semilleros pueden ser desarrollados a partir de rodales naturales, pero los mejores rodales se establecen a partir de plantaciones, donde los árboles han sido plantados al mismo tiempo y manejados bajo condiciones similares.

Muchos programas de mejoramiento genético han tomado la sabia decisión de establecer rodales identificados por

procedencia, al mismo tiempo que establecen los ensayos de procedencias. De esta manera, tan pronto los ensayos produzcan información confiable, los rodales de las mejores procedencias pueden ser manejados y utilizados inmediatamente para la producción de semilla. Los demás simplemente se cosechan para aprovechar el producto y además pueden proporcionar uno o más árboles sobresalientes, que aparecen ocasionalmente aún en estas procedencias inferiores, y que contribuirán a aumentar la variabilidad genética de las poblaciones de mejoramiento.

PLANTACIONES SEMILLERAS

Este tipo de plantaciones se establecen con procedencias que han demostrado su superioridad en ensayos de campo. Su objetivo principal es la producción de semilla, de manera que su ubicación, establecimiento y manejo están enfocados desde el inicio a lograr este objetivo.

Existe otra variante conocida como plantaciones piloto. Estas son plantaciones generalmente de mayor extensión, que se utilizan para validar el material seleccionado bajo condiciones normales de manejo, proporcionar material para selecciones y además, cumplen una importante función demostrativa, especialmente en el caso de especies nuevas poco conocidas. Este tipo de plantaciones también pueden ser convertidas en rodales semilleros, si cumplen con los requisitos necesarios.

SELECCION DE ARBOLES PLUS

Como se mencionó anteriormente, aún dentro de procedencias superiores existe una gran variabilidad entre los diferentes individuos que la componen. Basta recorrer cualquier plantación para darse cuenta de esto. Ocasionalmente aparece un árbol que nos llama la atención por sus características sobresalientes en cuanto a tamaño, rectitud, forma de la copa, etc. Estos se conocen como árboles plus. Esta etapa en el proceso de mejoramiento pretende seleccionar varias decenas de estos árboles superiores y utilizarlos como progenitores de las siguientes generaciones. Sólo aquellos árboles que cumplan ciertos requisitos preestablecidos son admitidos en el programa de mejoramiento, de manera que al final, cada árbol admitido ha sido seleccionado entre varios miles de árboles observados. Estos árboles dan inicio a varias etapas dentro de un programa de mejoramiento, tales como las pruebas de progenies, los huertos semilleros y las plantaciones clonales. La efectividad de las selecciones depende en gran medida de las

características evaluadas en el árbol, las cuales deben ser de alta heredabilidad.

La selección de árboles plus se basa en ciertas características visibles del árbol, tales como la forma del fuste, la altura, la ramificación, etc., es decir, su fenotipo. En este momento no se sabe si el árbol seleccionado luce superior porque es genéticamente superior, porque ha sido favorecido por el microambiente en el cual ha crecido, porque es de mayor edad que el resto o por una combinación de algunos o todos estos factores.

Los árboles en plantaciones han estado sometidos a las mismas condiciones ambientales a lo largo de su vida, generalmente son de la misma edad y han recibido un manejo similar. Por lo tanto, es de esperar que la superioridad de ciertos árboles sea en gran parte debida a su genotipo. Por eso se dice que la selección en plantaciones es más eficiente que en el bosque natural, donde no se sabe mucho acerca del manejo anterior ni de la edad de los árboles.

Para probar si la superioridad de un árbol es genética, se determina su capacidad de transmitir esas características a sus descendientes, a través de pruebas de progenies.

PRUEBAS DE PROGENIES

Un árbol que origine descendencia superior prueba que su apariencia superior en la plantación era intrínseca (genética), y no debida a otros factores externos. Esas pruebas, llamadas pruebas de progenies, de descendencias o de familias, se establecen bajo un diseño experimental adecuado que garantice que las diferencias observables entre las descendencias sean mayormente genéticas. Una vez que se determina cuáles padres son genéticamente superiores, se convierten en árboles élite, y son los que finalmente se utilizan para la producción de semilla mejorada en los huertos clonales o directamente para el establecimiento de plantaciones clonales.

Otra de los objetivos de las pruebas de progenies es la producción de semilla mejorada, mediante su conversión en huertos semilleros de plántulas, una vez concluido el periodo de evaluación. Para esto se seleccionan los mejores árboles de las mejores familias, se elimina el resto y se maneja la plantación para estimular la producción de semilla. Esta opción es posible únicamente cuando la especie florece y fructifica adecuadamente en el sitio donde fue establecida. Asimismo, el aclareo genético del ensayo debe planearse cuidadosamente: un aclareo demasiado temprano reduce la

efectividad de la selección, ya que los árboles aún no han expresado las características por las cuales se está seleccionando; un aclareo demasiado tardío puede perjudicar el desarrollo de copas adecuadas para la producción de semilla. Aunque en la mayoría de la literatura sobre huertos esto ha sido identificado como una seria limitante para el desarrollo de huertos de plántulas, en especies tropicales de rápido crecimiento generalmente es posible lograr el balance adecuado sin mayores problemas. Esto hace de los huertos de plántulas una opción atractiva, sobre todo en especies de floración precoz. Una consideración importante en el caso de huertos semilleros de plántulas es que la semilla producida por el huerto debería utilizarse para reforestación en la misma zona o en zonas ecológicas similares. Los ensayos de progenies sirven también como una fuente de material para selecciones avanzadas.

Existe otro tipo de plantación de progenies conocida como banco de genes o banco de conservación, que en ocasiones se establecen como complemento de las pruebas de progenies. En la mayoría de los casos se utilizan 10 árboles de cada familia y se establecen aleatoriamente en parcelas de un solo árbol, teniendo el cuidado de que haya al menos dos líneas de separación entre árboles de la misma familia. Estos bancos pueden utilizarse exclusivamente para conservación de genes, pero generalmente tienen los mismos objetivos que los ensayos de progenies e, igualmente, pueden ser convertidos en huertos semilleros de plántulas. Estos bancos brindan seguridad en caso de pérdida de los ensayos debido a incendios u otros factores y tienen el atractivo de que son fáciles de establecer y ocupan poca área: un banco con 50 familias, establecidas a 3 x 3 m requiere menos de 0,5 ha.

HUERTOS SEMILLEROS CLONALES

Los huertos semilleros clonales se establecen a partir de propágulos vegetativos de los árboles plus (injertos, acodos aéreos, estacones); son plantaciones establecidas en áreas de fácil acceso, de topografía y condiciones edáficas apropiadas, que faciliten el manejo y la recolección de semilla, aisladas para reducir la contaminación de polen de árboles inferiores y manejadas intensivamente para favorecer la producción rápida y abundante de semilla. Idealmente deberían establecerse al mismo tiempo que los ensayos de progenies, y una vez que los ensayos proporcionen información sobre el potencial genético de los padres, se realiza un aclareo de depuración en el huerto para dejar únicamente los clones que han probado su superioridad genética. En muchos casos no se realiza el aclareo del huerto, sino que este se mantiene intacto como un banco de genes, y se utiliza material de los mejores clones

para establecer otros huertos mejorados. Estos huertos han sido llamados 'huertos de 1.5 generaciones'; sin embargo, el término es inadecuado puesto que estos huertos, si bien son superiores a los originales, siguen siendo de primera generación. Además, biológicamente no tiene sentido hablar de 1.5 generaciones. Las selecciones de segunda generación son aquellas que se realizan a partir de material generado por semilla del huerto.

Los huertos clonales pueden establecerse en zonas completamente diferentes a la zona donde se lleva a cabo la reforestación, debido a que están respaldados por pruebas de progenies establecidas en los sitios de plantación. Esta es una ventaja cuando la especie no florece o no fructifica adecuadamente en los sitios de reforestación. Los huertos clonales generalmente producirán mayores ganancias genéticas que los huertos de plántulas, y pueden ser la única opción disponible para especies de floración tardía.

A partir de los huertos semilleros se puede iniciar un programa de cruzamientos controlados e iniciar así el desarrollo de selecciones de segunda generación.

SILVICULTURA CLONAL

Muchos programas han optado por el uso de clones directamente en plantaciones operacionales, con material generado de los árboles seleccionados. Este sistema tiene la ventaja de que produce mayor ganancia genética que un programa tradicional por semilla, porque las características del árbol superior se reproducen íntegramente en todos sus 'descendientes'.

Se debe tener en cuenta que la forma de propagación en este caso es diferente que para la producción de huertos clonales; en este último, se busca que el material utilizado sea fisiológicamente adulto (proveniente de la copa de los árboles), de manera que inicie la producción de semilla en el menor tiempo posible. En el caso de plantaciones clonales se debe utilizar material juvenil, que produzca árboles de crecimiento vertical normal, similar al de una plántula de semilla. La forma tradicional de lograr esto es a través de la corta del árbol seleccionado (ortet), y el uso de los rebrotes para generar estacas juveniles (en algunas especies es posible estimular la producción de rebrotes juveniles basales sin necesidad de cortar el árbol). Cada una de estas secciones vegetativas se denominan ramets. Todos los ramets provenientes de un mismo árbol conforman un grupo genéticamente idéntico, 'fotocopias' exactas del árbol original. Este grupo de plantas o ramets que tienen un mismo genotipo conforman un clon.

Las estacas se ponen a enraizar bajo condiciones controladas, y una vez enraizadas se tratan en forma similar que una plántula normal (Leakey et al. 1990; Leakey y Mesén 1991). En este caso no tiene objeto realizar pruebas de progenies, sino que se establecen ensayos clonales en el campo con todos los clones, para seleccionar los 30-50 mejores y propagarlos masivamente para su uso en plantaciones.

CONCLUSIONES

El mejoramiento genético involucra varias alternativas diferentes, algunas de ellas a largo plazo. Es una actividad que ofrece grandes retos pero también grandes recompensas, y depende mucho del sentido común decidir las mejores opciones a seguir para una determinada especie y situación. Una de las muchas ventajas del mejoramiento genético es que una vez que se logra el cambio deseado, este perdura indefinidamente a lo largo de las generaciones. Asimismo, se pueden lograr ganancias reales desde el inicio mismo del programa, por ejemplo, mediante la selección y manejo de rodales semilleros, y las ganancias siguen en aumento en cada nueva etapa.

Además de las ganancias evidentes del programa, como son por ejemplo, los aumentos en productividad y calidad del producto, existen otras ganancias indirectas igualmente importantes. Por ejemplo, un mejoramiento en la rectitud de los fustes facilita el transporte y el aprovechamiento de la madera. Un aumento en la homogeneidad de los árboles facilita labores de manejo como los aclareos. Igualmente, un aumento en el vigor y crecimiento inicial de los árboles reduce los costos de limpiezas. Tal vez la ganancia indirecta más importante es que un reforestador que se sienta satisfecho con su plantación, plantará nuevamente, y posiblemente también estimule a sus vecinos a hacerlo, lo cual nunca sucederá si la plantación es un fracaso. Esto inicia un proceso positivo que conlleva a aumentos en los índices de reforestación, disminución en la tala de los bosques naturales y a un mejoramiento del ambiente y de la calidad de vida en general.

LITERATURA CITADA O CONSULTADA

Barner, H.; Diltevsen, B.; Olesen, K. (Comp.) (1991). Introduction to tree improvement. Danida Forest Seed Centre, Humlebæk, Denmark. Lecture Note No. D-1. 23 p.

- Burley, J.; Wood, P.J. (1979). Manual sobre investigaciones de especies y procedencias con referencia especial a los trópicos. Commonwealth Forestry Institute, University of Oxford. Tropical Forestry Papers Nos. 10 & 10A. 299 p.
- Cornelius, J.P.; Mesén, J.F.; Corea, E. (Eds.) (1991). Manual sobre mejoramiento genético forestal con referencia especial a América Central. Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE, Turrialba. 218 p.
- Keiding, H. (1991). Gene conservation and tree improvement. Danida Forest Seed Centre, Humlebæk, Denmark. Lecture Note No. D-9. 18 p.
- Leakey, R.R.B.; Mesén, J.F.; Tchoundjeu, Z.; Longman, K.A.; Dick, J. McP.; Newton, A.; Matin, A.; Grace, J.; Munro, R.C.; Mutoka, P.N. 1990. Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review* 69(3):247-257.
- Leakey, R.R.B.; Mesén, J.F. 1991. Métodos de propagación vegetativa en árboles tropicales: enraizamiento de estacas suculentas. In Manual sobre Mejoramiento Genético Forestal con Referencia Especial a América Central. (J.P. Cornelius; J.F. Mesén y E. Corea, Eds.). Turrialba, Costa Rica, CATIE, Proyecto Mejoramiento Genético Forestal. pp. 113-133.
- Matheson, A.C. (1990). Breeding strategies for MPTs. *In* Tree Improvement of Multipurpose Species (Glover, N. y Adams, N., Eds.). Multipurpose Tree Species Network Technical Series, Vol. 2. pp. 67-99.
- Savill, P. (1986). Selection of species. Lecture Notes, Oxford Forestry Institute, University of Oxford. 9 p. No publicado.
- van Buijtenen, J.P.; Donovan, G.A.; Long, E.M.; Robinson, J.F.; Woessner, R.A. (1971). Introduction to practical forest tree improvement. Texas Forest Service, Circular 207. 17 p.
- Wellendorf, H. (1991). Tree improvement strategies. Danida Forest Seed Centre, Humlebæk, Denmark. Lecture Note No. D-10. 10 p.
- Willan, R.L.; Olesen, K.; Barner, H. (1989). Natural variation as a basis for tree improvement. Danida Forest Seed Centre, Humlebæk, Denmark. Lecture Note No. A-3. 13 p.

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