

INTRODUCCION

La Genética es una ciencia fundamental para la humanidad, pues de su conocimiento depende que la actual generación y las siguientes puedan disponer de bastantes alimentos así como de otra serie de bienes que se derivan directa o indirectamente de las plantas y de los animales, es decir, de la tierra y el agua que como se sabe, existen en cantidades fijas en nuestro planeta, mientras que la población humana sí aumenta.

Las presentes notas fueron extractadas de unas cuantas obras que se mencionan al final, y aunque no tocan aspectos profundos de este interesante tema, se espera resulten útiles para los lectores que tienen un primer acercamiento al estudio del mejoramiento genético aplicado a la dasonomía.

GENETICA FORESTAL

“Sin el uso de la genética jamás se obtendrán las máximas ganancias en la biomasa. No hay nada mágico acerca de la genética, solamente es una de las varias herramientas silvícolas que facilitan a las plantas hacer el máximo uso de los factores ambientales que afectan el crecimiento y la calidad. Permite el desarrollo de las plantas de tal manera que superan a los elementos del ambiente que limitan el crecimiento y la producción. La máxima utilidad de la genética estriba en que una vez que se obtiene una ganancia en la producción de la biomasa, ésta es permanente. Por ejemplo, con fertilización es necesario aplicar fertilizante a cada ciclo de cultivo, pero una vez que a un cultivo se le desarrolla genéticamente, esa superioridad perdura para las siguientes generaciones.

Sin embargo, un programa de mejoramiento genético no debe ser estático, sino que se requieren programas permanentes de hibridación a fin de mejorar continuamente el material para tender siempre a obtener mejor cosecha”.

Bruce Zobel.

RESEÑA HISTORICA

En el breve lapso de una década se echaron los cimientos de nuestros actuales conceptos de herencia y evolución: Charles Darwin, en el *Origen de las especies* (1859), presentó

* Ing. Agrónomo Forestal y Doctor en Ciencias. Investigador Titular del Campo Experimental Valle del Guadiana, Durango, del CIR Norte-Centro.

pruebas y argumentos apoyando el concepto de la evolución orgánica y su teoría de la selección natural. Gregor Mendel descubrió las leyes básicas de la herencia en 1866, y Friedrich Miescher descubrió los ácidos nucleicos en 1869.

Sin embargo, nuestra comprensión actual de la genética comenzó realmente en 1900, con el redescubrimiento de las leyes de Mendel y el posterior desarrollo de esta compleja ciencia.

El interés por los ácidos nucleicos sólo se hizo notar hasta 1950, en que datos químicos y cristalográficos ofrecieron la base para la sugerencia de James Watson y Francis Crick de que la molécula de DNA es una espiral doble.

NATURALEZA Y FINALIDADES DE LA MEJORA DE PLANTAS

El hombre depende casi absolutamente de las plantas para su alimentación. Todo lo que come, prácticamente sin excepción, o es vegetal o se deriva más o menos directamente de los vegetales, por ejemplo: la carne, los huevos o los productos lácteos. De las plantas se derivan directa o indirectamente la mayoría de las ropas, drogas y materiales de construcción.

A esa gran importancia de las plantas se debe el que el hombre se haya preocupado desde hace muchos años por obtener tipos más aptos para satisfacer sus necesidades.

Incrementos de las reservas alimenticias

El aumento de los rendimientos ha sido casi siempre el fin principal de la mejora de las plantas, como consecuencia de la creciente demanda de alimentos de una población en constante crecimiento, dentro de un mundo de superficie limitada.

El reverendo Thomas Malthus, postuló en 1798 que la población humana aumenta hasta que el hambre la controla, a no ser que sobrevengan guerras o desastres. Profetizó una catástrofe porque creía que mientras la población crecía en proporción geométrica, los alimentos lo hacían sólo en proporción aritmética. Basado en este argumento previó que Gran Bretaña padecería hambre a mediados del siglo diecinueve. Su profecía no se cumplió a pesar de que el ritmo de crecimiento se ajustó a los cálculos de Malthus.

El fallo de su profecía se debió a que Malthus no estimó en su verdadero valor el ingenio del hombre para incrementar la productividad agrícola. Mientras Malthus escribía, sus compatriotas comenzaban a introducirse a la edad de la agricultura científica, con lo que sobrevino una etapa de creciente desarrollo tecnológico que no sólo aumentó la eficiencia en la producción agrícola, sino también mejoró los métodos de conserva, almacenamiento y transporte de alimentos. Sin embargo, cabe preguntarse lo siguiente a casi 200 años de las profecías de Malthus: ¿Existen todavía posibilidades de incrementar más la producción de alimentos?

Algunos creen que los trópicos tienen una potencia agrícola muy favorable. El mar tiene para otros muchas oportunidades de producción de materias primas. Existen otras sugerencias más convencionales que desafortunadamente van asociadas con proyectos más costosos como "el riego de los desiertos", o "el drenaje de los pantanos".

Otra posibilidad para incrementar la producción se basa en una mejora en las prácticas agrícolas.

Por último, se puede esperar que la mejora genética de las plantas contribuya sustancialmente a una mayor productividad agrícola, tanto mediante la mejora genética de variedades de mayor rendimiento en sí mismas, como por la obtención de variedades que tiendan a estabilizar su producción a través de la resistencia a enfermedades, a la sequía, al calor, al frío, viento, etc.

Otras finalidades de la mejora genética de las plantas

El fin que persiguen la mayoría de los mejoradores es un aumento en el rendimiento. Sin embargo, tienen también gran importancia para la humanidad las mejoras en la calidad de los productos; por ejemplo, el haberse logrado una fibra más larga y más fuerte en el algodón, manzanas con mejor sabor, trigo con mayor proporción de proteínas y tomates con un contenido más alto de vitaminas.

Existen múltiples razones para creer que el aprovechamiento de la variabilidad de la mayoría de las especies cultivadas, que se ha hecho hasta el momento, no nos ha llevado ni siquiera cerca de la productividad máxima posible teóricamente.

Formas de evolución

Existen fundamentalmente tres formas de evolución de las especies cultivadas y son:

- a) Variación mendeliana
- b) Hibridación interespecífica
- c) Poliploidía

Variación mendeliana

La diversidad mendeliana surge básicamente de las mutaciones genéticas que son las piedras que cimentan y constituyen la evolución. Las recombinaciones mendelianas que resultan de la hibridación entre formas que lleven mutaciones distintas dan a continuación mayor diversidad entre los individuos y sobre éstos pueden actuar las selecciones natural y artificial.

Hibridación interespecífica.

Consiste en el cruzamiento de distintas especies taxonómicas con la conservación de ciertos tipos producidos a partir de los productos de la segregación. Muchas de estas recombinaciones no están equilibradas ni tienen posibilidades de pasar la prueba de la selección natural.

La multiplicación vegetativa conserva el vigor excepcional que caracteriza a muchos híbridos interespecíficos F_1 y evita la necesidad de tener que fijar los tipos buenos que pueden aparecer con frecuencia muy bajas en las generaciones siguientes.

Poliploidía

Esta es otra importante forma de la evolución en la que la variación proviene de la reduplicación de juegos enteros de cromosomas. La planta normal tiene un número diploide de cromosomas, es decir, dos juegos completos de cromosomas, uno de cada uno de sus progenitores.

Por errores en los procesos de reproducción, se pueden producir individuos haploides, con un solo juego de cromosomas, triploides con tres, tetraploides con cuatro, o niveles más altos de poliploidía. Si se duplican genomios idénticos dentro de una sola especie, se dice que ha habido poliploidía simple o autoploidía. Si los genomios no son iguales porque provienen de dos o más especies se denomina al individuo poliploide híbrido o alopoliploide.

CROMOSOMAS, GENES Y ALELOS

Los cromosomas son cuerpos alargados, teñidos de oscuro, que se encuentran en el núcleo de la célula y que contienen los factores hereditarios de los organismos. Cada célula de toda especie contiene un número característico de cromosomas. Por ejemplo cada célula del hombre posee exactamente 46 cromosomas. Hay muchas otras especies de animales y vegetales que poseen también 46 cromosomas. Pero no es el número de cromosomas lo que diferencia a una especie de otra, sino los factores hereditarios que en ellos se contiene.

Los cromosomas se presentan siempre emparejados de manera que invariablemente se les ve de dos en dos de la misma clase en las células somáticas de animales y vegetales superiores. Así, los 46 cromosomas correspondientes a la especie humana son en realidad 23 pares distintos; la diferencia consiste en la longitud, forma y ocurrencia de nudos y muescas; en casi todas las especies las variaciones de estos caracteres morfológicos suelen ser suficientes para que los citólogos identifiquen plenamente los diferentes pares.

Las leyes de la herencia derivan de la acción de los cromosomas en la mitosis, la meiosis y la fecundación. Dentro de cada cromosoma se encuentran numerosos factores heredita-

rios llamados genes, cada uno de ellos diferente del resto y con la misión de controlar uno o más caracteres hereditarios. La gran regularidad del proceso mitótico asegura que cada célula hija tendrá dos de cada serie de cromosomas y por lo tanto dos de cada tipo de genes. Al separarse los cromosomas en la meiosis y recombinarse en la fecundación, los genes pares deberán separarse y sucesivamente volver a una nueva recombinación. Cada cromosoma se comporta genéticamente como si estuviese compuesto de un rosario de genes dispuestos en fila. Los miembros de un par homólogo de cromosomas presentan genes dispuestos en un orden similar. El gen de cada carácter está situado en un punto especial llamado *Locus*.

Cada gen es una molécula de DNA en el cual se halla almacenada la información biológica en forma de un código de triples seriados de nucleótidos, constituyendo la doble hélice de la molécula de DNA. La información de cada gen es leída y en consecuencia, se sintetiza una proteína específica. La presencia de esta proteína específica, una enzima por ejemplo, constituye la base química del carácter.

MEJORAMIENTO GENETICO DE ARBOLES

El mejoramiento genético de árboles es la aplicación práctica de la genética forestal; su principal objetivo es obtener árboles genéticamente mejorados para propósitos de reforestación. Comprende toda aquella serie de trabajos conducentes a obtener semilla que dé origen a individuos mejor conformados, que tengan turnos más cortos, presenten características tecnológicas más adecuadas para el fin específico a que se destinen, que permita seleccionar las especies y procedencias más productivas para una región determinada y obtener resistencia a plagas y enfermedades.

Problemas relativos a la genética forestal

Las bases o principios básicos de la genética forestal, en esencia son los mismos que se aplican al maíz o a la *Drosophila*, pero al igual que las demás plantas, la herencia en los árboles es de muchos tipos.

Debido a la gran longevidad de los árboles y las diversas modalidades de transmisión hereditaria que en ellos se presentan, resulta ociosa la búsqueda de objetivos puramente prácticos sin tratar de conocer mejor los principios teóricos. Por el contrario, la asimilación de las teorías fundamentales depende de una larga labor de experimentación, amplia y continua, cuyo costo difícilmente puede justificarse sólo desde el punto de vista teórico.

Casi todas las características de los árboles forestales como la forma del fuste, altura, resistencia a plagas y enfermedades, gravedad específica de la madera, producción de resina, etc., son de carácter complejo en el sentido de que la determinación de cada característica está dada por muchos genes y, consecuentemente, son difíciles de trabajar. Estas características se dice que son de naturaleza aditiva y cuantitativa.

Otro tipo de problemas que deberá resolver el genetista forestal, reside en los estudios sobre hábitos de floración, fructificación y reproducción de los árboles y demás aspectos fenológicos para utilizarlos en el manejo de polen para hibridaciones de huertos semilleros.

Son precisos cientos de ensayos de progenie que deberán analizarse de tal forma que revelen cuáles son las diferencias efectivas y cuáles se deben al azar. Es necesario estudiar también las correlaciones entre el comportamiento genético y el clima o la fisiografía.

El estudio de la variabilidad genética inherente a los árboles sienta las bases para las estrategias de mejoramiento genético en los cálculos sobre heredabilidad y ganancia genética; por ellos las matemáticas se convierten en una herramienta indispensable para el genetista forestal.

La genética por otra parte requiere del apoyo de otras disciplinas auxiliares como: citología, bioecología, edafología, taxonomía, fisiología, entomología, patología, anatomía, morfología, etc., todas ellas como herramientas de trabajo.

Antecedentes del mejoramiento genético en México.

La fase inicial puede situarse por los años 1964-65, con la estancia del doctor I.J. Thulin (de Nueva Zelanda) en nuestro país. Al término de su comisión, patrocinada por la FAO, publicó sus "Recomendaciones al Gobierno de México", entre las que propuso la creación de un Centro de Semillas Forestales y un Programa de Mejoramiento Genético, todo lo cual se derivaba del gran interés que muestran algunos países del mundo por la variación de las coníferas mexicanas.

En 1965 se fundó el Departamento de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales en el INIF, constituyendo inicialmente un banco de Germoplasma Forestal.

Los trabajos iniciales fueron la ubicación de rodales semilleros para la recolección de semillas; en 1977 se estableció la primera área semillera en Uruapan, Mich., posteriormente otra en San Juan Tetla, Pue.

En 1967, el doctor Thulin inició algunos trabajos de propagación vegetativa con una especie mexicana, *Pinus patula* y en 1977-78 Carrera y Villaseñor, iniciaron este tipo de trabajos en *Pinus pseudostrobus*, *P. douglasiana* y *P. montezumae*.

En la década de los 70's también se iniciaron algunos otros trabajos tendientes a conocer el comportamiento genético de otras especies de pinos mexicanos. Se establecieron áreas semilleras en más estados de la República, algunas de ellas en Durango. Sin embargo, la mayoría de estas áreas se han descuidado y están siendo subutilizadas y de hecho el programa inicial de establecimiento de más de 30 áreas semilleras en el país, sigue incon-

cluso, fundamentalmente por la falta de comprensión de la importancia que revisten y consecuentemente falta de apoyo a las pocas gentes interesadas.

EL CONCEPTO DE VARIACION Y SU IMPORTANCIA

Por variación se entiende el grado de diferencias fenotípicas y genotípicas presentes en los árboles forestales.

La variación constituye la base de un programa de mejoramiento de árboles, en virtud de que la ganancia genética que se obtenga, depende, por una parte, del conocimiento que se tenga de la variación en una especie forestal dada y, por otra, de la manipulación de la misma.

Causas de la variación

Existen dos causas fundamentales: una genética y la otra ambiental; la primera está dada por cuatro factores que son la mutación, la recombinación, la migración y la deriva genética.

La variación ambiental puede ser controlada por el silvicultor mediante prácticas culturales como: preparación del sitio de plantación, espaciamento, fertilización, etc. La variación ambiental controlada podría ser aplicada en cada generación. La variación genética puede ser permanentemente cambiada a través del mejoramiento genético.

La variación puede ser artificial o natural y siendo la base de un programa de mejoramiento genético, algunos de estos programas pueden tener como objetivos mantener e incrementar la variabilidad.

Niveles de variación

Existen diversas clases de variación natural y que son las siguientes:

- a) Variación entre especies
- b) Variación geográfica
- c) Variación entre localidades
- d) Variación entre rodales.
- e) Variación individual
- f) Variación dentro de individuos

Observando la diversidad botánica, geográfica, ecológica y anatómica en que se presentan los árboles, se encuentran múltiples ejemplos de los niveles de variación citados.

Como ejemplo de la utilidad de la variación geográfica es de señalarse que el éxito en el

establecimiento y la productividad de las plantaciones, depende en mucho del origen adecuado de la semilla. Cuando se desconocen técnicas sofisticadas de mejoramiento las ganancias genéticas más rápidas y baratas pueden obtenerse usando orígenes geográficos adecuados de semillas de cualquier especie forestal.

La determinación de esos orígenes adecuados se puede hacer mediante la técnica de "ensayo de procedencias".

PRINCIPIOS BASICOS DE GENETICA APLICADOS EN LA DASONOMIA

Estructura cromosómica

Todas las células vivas están constituidas por membranas, citoplasma y núcleo. Dentro del núcleo se encuentran los cromosomas, portadores de la información genética.

El elemento fundamental del cromosoma es un hilo llamado cromonema. Estudios realizados con microscopio electrónico han revelado que los cromosomas están constituidos por fibras muy finas no visibles una por una en el microscopio ordinario. Un cromonema debe estar constituido por un haz de estas fibras o por uno de estos hilos enrollado y superenrollado. Normalmente, a lo largo del ciclo de división, los cromosomas cambian de longitud, debido en parte al enrollamiento y desenrollamiento de los cromosomas.

Químicamente los cromosomas se componen de una sustancia llamada ácido desoxirribonucleico (ADN) y un tipo especial de proteínas llamadas histonas, que forman agregados con el ADN; los complejos ADN-histona se llaman nucleoproteínas y ARN (ácido ribonucleico). El ADN y las histonas siempre están presentes en los cromosomas siendo probablemente sus componentes principales.

Los cromosomas de una generación a la siguiente, duplican sus partes con una fidelidad casi invariable; sólo raras veces presentan novedades.

Algunas características de los cromosomas son, entre otras: su individualidad, su capacidad para mantener esta individualidad a lo largo de generaciones sucesivas. Por regla general, el número de cromosomas por núcleo es constante para todos los individuos de una especie, y varía de una especie a otra. Los cromosomas se encuentran en parejas (cromosomas homólogos), los miembros de cada par son iguales pero los pares distintos se diferencian entre sí.

Estructura genética

Estructuralmente un gen o gene está definido como una secuencia de tripletes a lo largo de una molécula de ADN. Sin embargo, hasta el momento ha sido imposible aislar y estudiar la estructura de un gen. El gen puede definirse también como la parte del cromosoma

soma que es responsable del desarrollo de un carácter determinado. Por ejemplo, se habla de genes de rápido crecimiento, resistencia al frío, etc.

Se considera al gene como la última unidad hereditaria, aunque se sabe que es de gran tamaño molecular. El número de genes de una célula es desconocido, no obstante, existen estimaciones para algunas plantas. De *Pinus banksiana* por ejemplo, es de 13 millones de genes. En algunos cultivos agrícolas se ha encontrado que individuos de una misma especie pueden diferir en 500 genes. En un programa de mejoramiento, se trabaja con un par de docenas de genes.

Los genes pueden tener efectos grandes o pequeños, por ejemplo, el ritmo de crecimiento de un árbol generalmente está dado bajo la acción de múltiples genes con pequeños efectos individuales. En cambio el color de los ojos en el hombre se halla bajo el control de un par de genes con efectos relativamente grandes.

Se denominan alelomorfos a los genes que ocupan un mismo *locus* en el par de cromosomas homólogos, se expresan con una misma letra. Los genes alelomorfos dominantes expresan el carácter aún en estado heterocigota, en cambio los recesivos solo se manifiestan en el estado homocigoto. Se llaman genes aditivos cuando se manifiestan de manera acumulativa, es decir, son genes de pequeño efecto que controlan un mismo carácter.

QUE ES EL MEJORAMIENTO DE ARBOLES

Consiste en la combinación de todas las pericias de los forestales en cuanto a silvicultura e hibridación de árboles, para cultivar los productos más valiosos del bosque tan rápidamente como sea posible y también en la forma más barata posible.

No hay nada misterioso acerca del mejoramiento de árboles. Este más bien consiste en el uso del sentido común en manejo de bosques enfocado hacia el punto de vista del organismo biológico básico (el árbol). Se relaciona con el conocimiento de la variación de los árboles y como se puede utilizar dicha variación para mejorar la productividad del bosque.

Cualquier programa inicial de mejoramiento de árboles consiste en lo siguiente:

1. Determinación de especies o fuentes geográficas dentro de una especie, que habrá de usarse en una determinada área.
2. Determinar la cantidad, clase y causas de la variación dentro de una especie.
3. Formación de un paquete de las cualidades deseables dentro de individuos mejorados, así como el desarrollo de árboles con combinaciones de las características deseables.
4. Producción masiva de individuos mejorados, con propósitos de reforestación.

5. Desarrollo y sostenimiento de una población genética base, lo suficientemente amplia para llenar las necesidades en generaciones avanzadas.

El paso uno se debe dar mucho antes de que los pasos dos al cinco sean realmente efectivos. La descripción anterior puede parecer simple, pero no es fácil realizar el trabajo y requiere mucha pericia, sentido común, tiempo y dinero.

Dónde y cuándo se debe usar el mejoramiento de árboles

El mejoramiento es más difícil de justificar económicamente cuando los bosques se regeneran en forma natural. Pero el hecho básico prevalece de que todas las actividades de manejo de bosques se benefician al usar las técnicas de mejoramiento.

Los esfuerzos más intensivos de mejoramiento se harán en rodales regenerados artificialmente por lo menos una vez cada pocas rotaciones. En este caso se pueden obtener las máximas ganancias del mejoramiento.

El objetivo de la silvicultura intensiva se puede expresar simplemente como "la producción de la calidad deseada de madera en cantidades máximas en el menor tiempo y a un costo razonable".

Dicho objetivo se puede lograr mediante dos formas:

a) Mejorando cada vez más las técnicas silvícolas y de manejo forestal, b) mejorando genéticamente las especies deseadas ambas formas contribuyen a limitar el efecto de la "ley de los factores limitantes".

Componentes esenciales de un programa de mejoramiento

Existen dos aspectos fundamentales para cualquier programa de mejoramiento exitoso. El primero se relaciona con la obtención de ganancias inmediatas de los productos deseados tan rápida y eficientemente como sea posible, aplicando intensivamente los principios de la genética a los programas operacionales forestales que resultarán en árboles cosechables mejor adaptados, de mejor calidad y más productivos. Las máximas ganancias se obtienen usando unos pocos de los muy selectos individuos parentales, para abastecer de plántulas a los programas operativos.

El segundo aspecto de un programa de mejoramiento tiene que ver con el largo plazo necesario para proveer la amplia base genética que es esencial para el progreso continuo a través de muchas generaciones. Aunque no se enfatiza en muchos programas de mejoramiento, esta fase es muy importante. Todo programa de mejoramiento requiere de una fase operacional (de producción) y una de desarrollo (investigación). Las dos deben ir estrechamente ligadas pero requieren diferente filosofía y enfoque.

La fase operacional produce rápidamente ganancias económicas a partir del mejoramiento y es la más fácilmente entendida y obvia para el público en general y para los forestales. A menudo se aceptan ganancias modestas con tal de que sean rápidas. Aunque existe un periodo inevitable entre la inversión y la cosecha en la fase operacional, este periodo es corto comparado con el tiempo necesario para ver resultados de la fase de desarrollo.

Debido a que la fase de desarrollo (o investigación) requiere mucho mayor tiempo para presentar resultados ya que de todos modos se debe comenzar a invertir junto con la fase operativa, algunos programas descuidan los aspectos de investigación. Tales programas eventualmente llegan a un término prematuro. Debido a su complejidad y costo, el trabajo de investigación o de desarrollo es idealmente propicio para un enfoque cooperativo donde varias organizaciones juntas financien los trabajos y compartan los resultados (en Durango por ejemplo, podrían ser las UAF + Papeleras industriales + Uniones de ejidos y comunidades).

Mucha gente piensa que el mejoramiento de árboles consiste sólo en la localización de éstos con buenos fenotipos y manipularlos para producir grandes cantidades de semilla. Nada puede estar más lejos de la realidad. Se requiere mejoramiento continuo. La porción operacional del programa en realidad toca sólo la superficie de adiestramiento, costo y energía requerida para un programa exitoso de largo plazo en mejoramiento de árboles.

Es triste, pero cierto, que la industria forestal es una de las más resagadas entre las industrias mayores que apoyan a la investigación biológica sobre árboles forestales. Parece haber una absoluta falta de confianza en las palabras "investigación básica o fundamental" y la actividad etiquetada con esas palabras a menudo no se le apoya ni se le financia. Sin embargo sustituyendo el término por "investigación de apoyo" se ha logrado gran aceptación por parte de los administradores de la industria forestal.

No importa cuál término se use (fundamental, básica o de apoyo), la información se requiere si es que el programa de mejoramiento de árboles ha de tener éxito.

El tiempo y su relación con los objetivos del cruzamiento genético

Uno de los factores más importantes en un programa activo de mejoramiento genético, es el tiempo.

En todo programa aplicado de mejoramiento se deben de balancear las necesidades de tiempo contra las ganancias posibles, tanto en el corto como en el largo plazo; el objetivo clave es obtener las máximas ganancias por unidad de tiempo.

El concepto del valor del tiempo se ilustra en la siguiente figura.

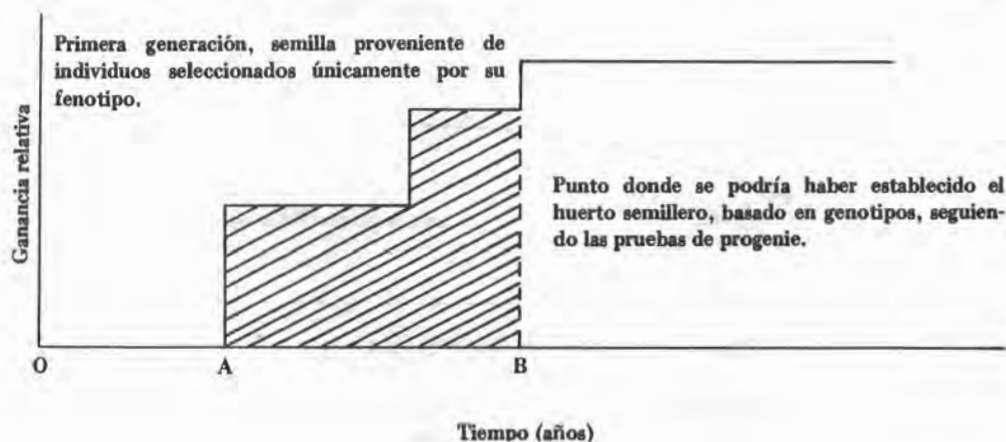


Figura 1. Se pueden obtener ganancias adicionales y más tempranas (AB), estableciendo un huerto semillero a base de fenotipos no probados. Estas ganancias son además de las que se obtendrán cuando estén disponibles las pruebas de progenie.

Nótese que se obtienen menores ganancias, pero más tempranas cuando se establece el huerto con padres seleccionados sólo en base a su apariencia que cuando la calidad genética de los padres ya se conoce.

Nunca se obtendrán árboles totalmente resistentes a la sequía, al frío o al exceso de humedad. Sin embargo, se puede aspirar a obtener árboles más tolerantes a esas y otras condiciones adversas.

La ley de los rendimientos decrecientes se pone de manifiesto a medida que el esfuerzo incrementado llega a un punto donde se obtiene una menor cantidad de mejora por "unidad de esfuerzo invertido.

Un programa de mejoramiento bien diseñado tendrá como objetivo a perseguir la producción del máximo mejoramiento que todavía se justifique con ingresos costeables. El problema extrínseco en determinar cuando esos dividendos de la inversión disminuyen hasta un punto tal en que los esfuerzos adicionales por incrementar la mejora no se garantizan.

Mantenimiento y uso de la variación

Es absoluta necesidad en un programa de mejoramiento, el mantener e incrementar la variabilidad genética dentro de las poblaciones de árboles a usar.

Fuerzas que moldean la variación

La fuerza última de toda la variabilidad son las mutaciones, pero también influyen

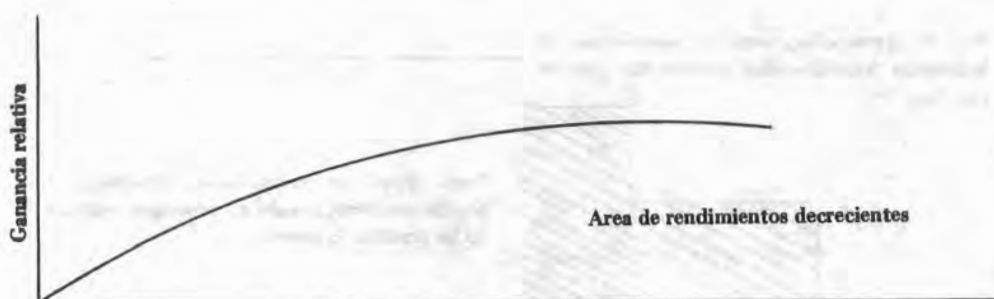


Figura 2. Esfuerzo invertido para obtener ganancias.

otros factores que incrementan o decrecen la variación en un rodal. Por otra parte, también los humanos pueden crear nueva variabilidad o juntar genotipos para crear nuevas y útiles combinaciones genéticas.

En términos muy simples, conviene recordar que la variabilidad en rodales naturales es causada por cuatro fuerzas principales, dos que incrementan la variación (mutación y migración de genes) y dos que la disminuyen (recombinación o selección natural y deriva genética).

Variación causada por el hombre

La selección disgénica* en donde se extraen los mejores árboles y se dejan los peores para reproducirse, o un método de selección en el cual se dejan los mejores árboles, causará en última instancia un cambio en la frecuencia de los genes y por lo tanto en los patrones de la variación. Nuestras acciones pueden causar cambios rápidos en la variabilidad cuando aplicamos selección intensiva y prácticas de cultivo.

A medida que progresa un programa de mejora, será esencial incrementar a propósito la variación. Existen varias opciones aplicables cuando la variabilidad natural es muy limitada para un programa de mejora. La primera es asegurarse de que se conoce toda la variabilidad dentro de una especie. Se pueden hacer amplias cruzas dentro de la especie para juntar genotipos que quizá nunca ocurrirían en condiciones naturales. Se pueden producir híbridos interespecíficos y cruzas regresivas para desarrollar nuevas combinaciones genéticas. Finalmente, es posible incrementar la variación por medio de mutaciones provocadas. El objetivo de todo esto es asegurar que exista suficiente variación genética de modo de lograr programas productivos de mejora.

PROCEDENCIAS, FUENTES DE LA SEMILLA Y PLANTAS EXOTICAS

Las decisiones acerca de cuál es la mejor fuente, no deberá tomarse hasta que se haya

* Disgénica. Nocivo para la calidad genética de una población, antónimo de eugénica.

realizado pruebas extensivas para la mayor parte de la edad de rotación. Las ganancias que podrían obtenerse mediante diversas procedencias se deben comparar contra los riesgos asociados y esto requiere un periodo que brinde resultados confiables. Uno de los problemas más comunes relativos a los ensayos de procedencias es tener un buen desarrollo inicial que luego decae, pierde vigor y aún termina en mortandad.

En ninguna otra área de la dasonomía es tan necesaria la cooperación internacional como en los ensayos de procedencia y ésta ha ocurrido a una gran escala. Se han hecho algunas pruebas a escala internacional muy grande en especies como: *Pinus silvestris*, *P. caribaea*, *Pseudotsuga menziesii*, *Picea abies*, *Picea sitkensis* especies de *Populus*, *Tectona grandis*, especie de *Eucalyptus* y otras muchas. Algunos de estos estudios son enormes, contienen cientos de fuentes. Muchos de los estudios son ahora lo suficientemente antiguos, de modo que existen disponibles los resultados confiables.

Entre los organismos que han contribuido mucho a este tipo de estudios se tiene: IUFRO (International Union of Forest Research Organization), FAO (Food and Agriculture Organization de la ONU), grupos específicos como: CFI (Commonwealth Forestry Institute) en Oxford, Inglaterra, coaliciones de industrias y gobiernos como: CAMCORE Cooperative (Central America and Mexico Coniferous Resources Cooperative).

Para cualquier programa de mejoramiento es esencial obtener información acerca de la mejor fuente de semillas, tan pronto como sea posible.

VARIACION RACIAL.

Fuente geográfica y raza geográfica son sinónimos. Barner (1966) considera que el término "raza" debe usarse sólo cuando se describen poblaciones naturales. Las razas se desarrollan en respuesta a fuerzas evolutivas, tales como la selección natural que es variable en diferentes partes del rango de distribución natural de una especie. Dado que procedencia, fuente geográfica y raza geográfica tienen la misma definición a continuación se mencionan algunas descripciones preparadas por Wakeley:

1. Una raza geográfica es una subdivisión de una especie, diferenciándose en forma que pueden ser demostradas por observación y experimentación, de otra raza o razas dentro de la misma especie.
2. Una raza geográfica ha evolucionado dentro de la especie de la cual es una parte, a través del proceso de selección natural y los individuos que constituyen una raza están relacionados por descender de un ancestro común o un grupo de ancestros relacionados.
3. Las características que distinguen a una raza están genéticamente controladas, es decir, son heredables en el proceso ordinario de reproducción.

4. Como su nombre lo indica, una raza geográfica ocurre naturalmente en un ambiente bien definido al cual está bien adaptada como resultado de la selección natural y tiene la habilidad de sobrevivir y reproducirse en ese ambiente.

Las razas geográficas ocurren más a menudo en especies que tienen un amplio rango de distribución y por lo tanto crecen en muy diversos ambientes.

Ecotipo

Es un grupo de plantas de genotipo similar que ocupa un nicho ecológico específico. En dasonomía frecuentemente se usan como sinónimos raza y ecotipo, pero este último consiste de una población discreta más pequeña.

Cline

Es un gradiente en una característica medible la cual sigue a un gradiente ambiental.

Dado que los clines se refieren sólo a una característica y no a la constitución genética entera de una población, el concepto de ecotipo sería de más utilidad para el mejorador de árboles. Sin embargo, dado que tanto los ecotipos como los clines ocurren en la naturaleza, un mejorador exitoso necesita comprender ambos términos.

Comparación entre CLINE y ECOTIPO.

	ECOTIPO	CLINE
Número de característica	Muchas (el genotipo o complejo de genes)	Una
Patrón	Distintas poblaciones	Continuo
Genética	Genéticamente controlado	Puede o no estar genéticamente controlado
Causa	Adaptación a un ambiente específico	Sigue un gradiente ambiental
Uso	Descriptivos y como unidad de mejora, similar a la raza	Descriptivo.

El concepto de raza de terreno ("land race").

Este concepto es muy simple y de importancia clave cuando se trabaja con procedencias plantadas fuera de sus ambientes normales. Una raza de terreno es una población de

individuos que se han adaptado a un ambiente específico en el cual ha sido plantada. En otras palabras son los mejores árboles de las procedencias más apropiadas que se manifiestan al usar una especie como exótica.

El usar razas de terreno puede ser la forma más fácil y mejor de lograr ganancias genéticas grandes y rápidas en la dasonomía exótica.

DASONOMIA EXOTICA

Se usan especies exóticas cuando los bosques indígenas locales no pueden o no producen la calidad y cantidad deseadas de productos forestales.

La dasonomía exótica está muy en boga en las áreas tropicales. Las especies duras tropicales son tan variables, poco uniformes y difíciles de manejar ecológicamente que, en sitios apropiados, los forestales generalmente prefieren usar especies exóticas que sean más uniformes, más fáciles de manejar y cuyos productos sean aceptados y conocidos. Algunas de las especies tropicales tienen magnífica madera, pero usualmente las especies más deseables crecen muy lento y son difíciles de manejar en plantaciones. Corrientemente se carece del conocimiento de como se deberían manejar. Los forestales están más a menudo entrenados para manejar las especies exóticas y se sienten confortables con ellas, porque las exóticas crecen más rápido se eligen comúnmente como la parte fundamental de una dasonomía económicamente redituable en las áreas tropicales.

Es necesario que cada vez más forestales se especialicen en el conocimiento de las especies tropicales, pues algunas de ellas han manifestado un gran potencial el cual se ha estado desperdiciando en gran parte por ignorancia.

La dasonomía exótica es también muy usual en algunas regiones boscosas del hemisferio norte, por ejemplo en el norte de Europa. Usualmente se llevan especies de Norteamérica hacia Europa y Asia, entre ellas el abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii*), Picea sitka (*Picea sitchensis*), pinos, cicutas ("hemlocks") y alerces (larches), se usan mucho como exóticas.

Algunas ventajas que pueden presentar las plantas exóticas son:

1. Más madera, con mayor uniformidad y turno más corto.
2. Se puede acortar el ciclo de rotación. En algunos eucaliptos resulta en ciclos de cinco o seis años.
3. Se adaptan a manejo intensivo y se conocen las técnicas silvícolas y de plantación.
4. Se conoce la calidad de la madera.

5. Se conoce frecuentemente mejor la genética de las especies exóticas.

6. Se conoce mejor la biología de las especies exóticas.

Algunos problemas con las plantas exóticas:

1. Falla inmediata de la plantación.

2. Falla posterior a la plantación.

a) Por cambios en la latitud, pueden crecer bien los primeros años pero no llegar a constituir una masa útil.

b) Hay una buena supervivencia y ritmo de crecimiento, pero la madera no es apropiada.

c) Crecimiento inicial bueno, pero hay un ataque retardado de plagas o condiciones ambientales adversas.

3. Pueden registrar un continuo desarrollo subestándar.

4. Crecimiento no satisfactorio debido a deficiencia o ausencia de las micorrizas adecuadas.

ELECCION DE ESPECIES Y PROCEDENCIAS

Hay muchas reglas que se han sugerido como guía para el movimiento o procedencia de especies, pero más bien se adaptan sólo a situaciones específicas. Sin embargo, se pueden hacer una cuantas generalizaciones:

1. No mover procedencias de un clima mediterráneo a uno continental.

2. No mover árboles de áreas con climas uniformes y pequeñas fluctuaciones en lluvia y temperatura a aquellos climas con grandes fluctuaciones en esos factores, aun cuando los promedios anuales y las extremas puedan ser similares.

3. No mover fuentes de alta latitud o altitud hacia bajas elevaciones o latitudes ni lo contrario. Sin embargo procedencias de alta elevación de bajas latitudes a menudo se pueden movilizar exitosamente hacia menores elevaciones pero en altitudes mayores y viceversa.

4. No plante árboles de suelos básicos en suelos ácidos ni viceversa. Esta regla a menudo se sostiene para tipos de suelo, por ejemplo de suelos arcillosos a arenosos y de arenosos a arcillosos.

LITERATURA CITADA

- ALLARD, R.W. 1960. Principios de la mejora genética de las plantas. Edit. Omega, S.A. España. 499 p.
- BERMEJO, V.B. 1980. Selección natural y selección artificial. Depto. de Bosques, UACH. Chapingo, Méx. Inéd. 28 p.
- . 1981. Notas del curso genética forestal (primera parte). Depto. de Bosques, UACH. Chapingo, Méx. 38 p.
- DORMAN, K.W. 1976. The genetics and breeding of Southern pines. Agriculture Handbook; USDA Forest Service. Washington, D.C., EUA. 407 p.
- EGUILUZ, P.T. Sin fecha. Selección y ganancia genética en bosques Naturales vs. Plantaciones. Depto. de Bosques, UACH. Chapingo, Méx. Inéd. 17 p.
- VAN HAVERBEKE, D.F. 1976. Genética forestal y mejoramiento genético de árboles. Documento presentado en el Simposio "Cortinas Rompevientos en las Grandes Planicies". Denver, CO. Trad. Teobaldo Eguluz P. Depto. de Bosques, UACH. Chapingo, Méx. Inéd. 12 p.
- VILLEE, C.A. 1977. Biología. Edit. Interamericana, 7a. Ed. México. 803 p.
- WRIGHT, J.W. 1964. Mejoramiento genético de los árboles forestales. FAO. Italia. 433 p.
- ZOBEL, B. 1984. Applied forest tree improvement. John Wiley & Sons. EUA. 505 p.