

**LA VARIACION NATURAL COMO BASE DEL MEJORAMIENTO  
GENETICO FORESTAL**

**(Natural variation as a basis for tree improvement)**

**NOTA DE CLASE No. A.3**

**Recopilado por  
R.L.Willan, K.Olesen y H.Barner**

**Humblebaek, Dinamarca. Abril 1993**

**CONTENIDO**

	<b>PAGINA</b>
<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>3</b>
<b>2. FUENTES DE VARIACION</b>	<b>3</b>
<b>3. EL MECANISMO DE LA HERENCIA</b>	<b>5</b>
3.1 Mitosis	
3.2 Meiosis	
3.3 Fertilización y desarrollo de la semilla	
3.4 Exogamia y endogamia	
<b>4. EVOLUCION</b>	<b>10</b>
4.1 Mutación	
4.2 Migración	
4.3 Introgresión o hibridación	
4.4 Selección natural	
<b>5. MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL</b>	<b>15</b>
<b>6. LITERATURA SELECCIONADA</b>	<b>17</b>

## 1. INTRODUCCION

La extraordinaria diversidad que existe de plantas y animales ha sido causa de asombro para la humanidad desde la antigüedad. Aunque existe una variedad casi infinita de formas, algunos grupos de plantas se parecen más entre sí que a otros grupos. El hombre ha tratado por mucho tiempo de agrupar a los seres vivos en especies similares, con el fin de entender mejor la complejidad de la naturaleza. Esta clasificación la realizan los taxónomos.

Un nivel de clasificación, reconocido desde los tiempos de Lineo, es la especie. Una especie es un grupo de plantas o animales que se pueden cruzar entre sí y producir una descendencia que se asemeja a los padres y que normalmente no se cruza con otras especies. Las especies se agrupan en categorías taxonómicas mayores (géneros, familias, órdenes) y se pueden subdividir en categorías más pequeñas (subespecies, variedades, razas).

Después de reconocer y clasificar la variación, el próximo paso es tratar de explicar las causas o fuentes de dicha variación.

## 2. FUENTES DE VARIACION

La variación entre seres vivos tiene tres causas principales:

1. Diferencias en el desarrollo (edad).
2. Diferencias ambientales.
3. Diferencias genéticas.

**Primera causa:** La mayoría de los seres vivos aumentan su tamaño con la edad. Esto es particularmente evidente en los árboles, los cuales se inician como semilla de pocos gramos y crecen hasta convertirse en una masa de muchas toneladas. Cuando se considera la variación causada por las otras dos fuentes, se deben comparar árboles de la misma edad. Las clasificaciones taxonómicas como género, especie, etc, se basan casi siempre en individuos adultos.

**Segunda causa:** La variación ambiental es también evidente en casos simples. Todos hemos visto árboles torcidos o deformados por el viento o que se mantienen como arbustos por el constante pastoreo de animales. Es evidente que un árbol en estas condiciones no representa al potencial de desarrollo que la especie puede dar en un ambiente favorable y con suficiente tiempo. En alguna medida, la variación ambiental se puede controlar a través de prácticas silvícolas, tales como la poda.

**Tercera causa:** En muchas especies los individuos se pueden reproducir sin cruzarse con otros de la misma especie (reproducción asexual). En este caso, el nuevo individuo se produce a partir de alguna parte del progenitor. Los individuos producidos a partir del mismo progenitor son genéticamente idénticos entre sí y tienen el mismo genotipo del progenitor. De esta manera, cualquier diferencia entre individuos se debe a diferencias ambientales o de edad.

Otras especies necesitan el cruce de dos individuos (macho y hembra) para poder reproducirse (reproducción sexual). En este caso los descendientes generalmente no son genéticamente idénticos entre sí y son diferentes a los padres. Estas diferencias son las que se conocen como variación genética.

La variación genética (dentro de la especie), es suficientemente pequeña como para poder reconocer los descendientes de la misma especie de los progenitores, y suficientemente grande como para poder distinguir entre individuos de la misma especie. Así, por variación genética se entiende la variación asociada dentro de determinadas especies (cerdos blancos o negros; pinos rectos o torcidos) y que se transmite de generación a generación. En este sentido, se habla de variación heredable.

Aunque es conveniente considerar las tres fuentes de variación en forma separada, en la naturaleza actúan simultáneamente, a menudo en interacciones extremadamente complicadas. Un estudio de la variación en rodales naturales o plantaciones en los cuales se desconoce el parentesco entre árboles no puede establecer conclusiones acerca del control genético de las características estudiadas. Todo lo que se puede ver y medir es el fenotipo de los árboles. No es posible evaluar cual proporción de las diferencias entre árboles, rodales o procedencias se debe a diferencias genéticas, ambientales o de desarrollo, sin establecer realmente experimentos genéticos (Zobel y Talbert, 1984). En ensayos comparativos los tratamientos (especies, procedencias o progenies) se plantan todos al mismo tiempo, para eliminar las diferencias en edad. De esta manera quedan como fuentes de variación el ambiente y el genotipo, los cuales conjuntamente determinan los atributos de los árboles que se comparan. La fórmula que expresa este fenómeno es:

$$F = G + A$$

$$\text{Fenotipo} = \text{Genotipo} + \text{Ambiente}$$

lo que vemos = composición genética + efectos del ambiente

Para mayores detalles vea los documentos sobre mejoramiento forestal de esta serie.

Aunque los experimentos bien diseñados (repeticiones, aleatorización, selección cuidadosa del sitio) pueden reducir el efecto del ambiente, no es posible eliminarlo completamente.

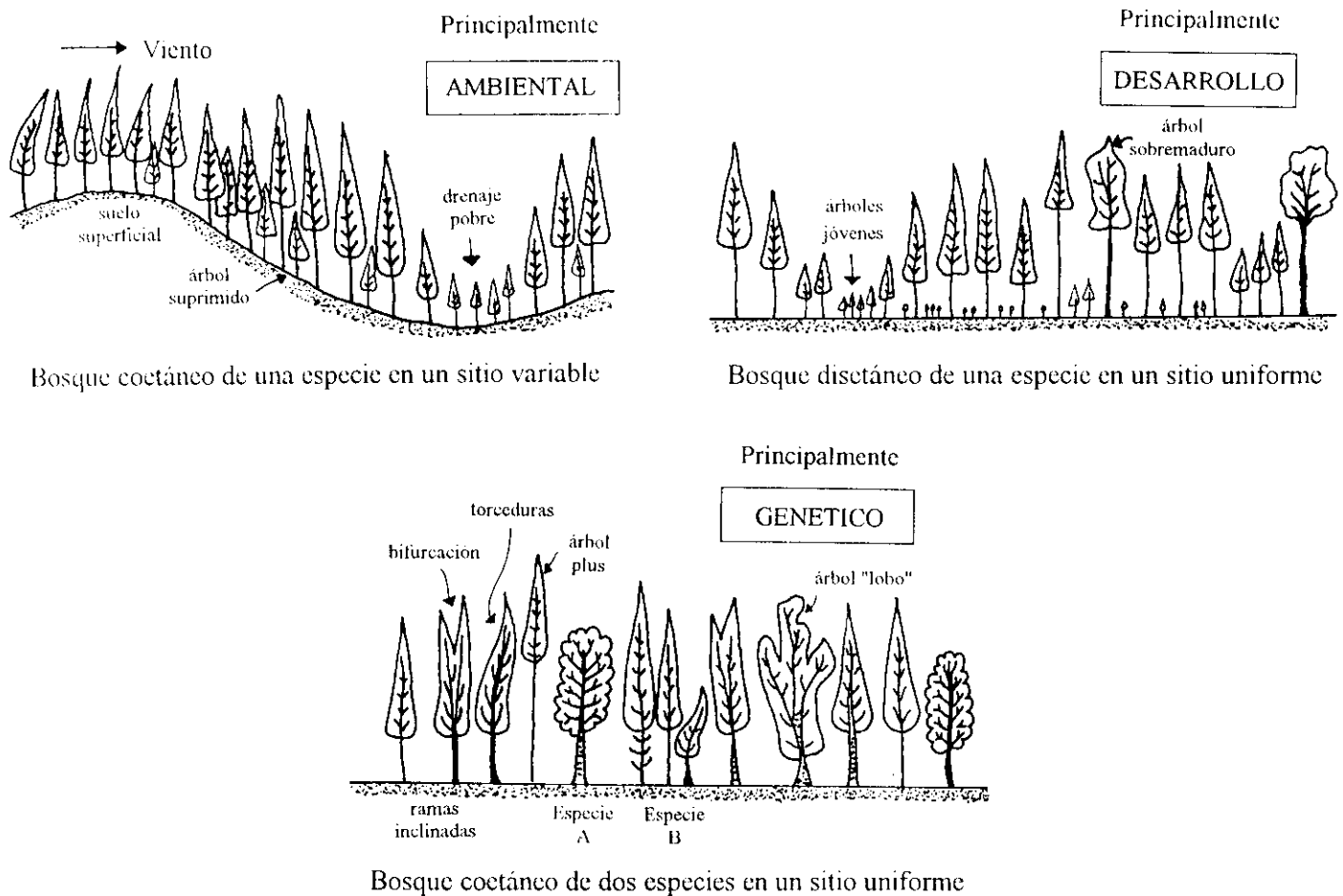


Figura 1. Fuentes de variación

### 3. EL MECANISMO DE LA HERENCIA

Los árboles están compuestos de células, algunas vivas otras muertas. Cada célula viva está compuesta por una pared celular externa, un fluido llamado citoplasma y un núcleo rodeado por el citoplasma. Entre otras cosas, el núcleo contiene los cromosomas, los cuales parecen estructuras similares a salchichas, durante la división celular (Figura 2).

Los cromosomas son los que transmiten casi toda la información genética de una generación de células a la siguiente. Los cromosomas están compuestos de ADN y proteínas. El ADN es el material genético activo y consiste de una molécula muy larga compuesta por dos cadenas helicoidales. La capacidad para duplicarse a sí mismo es una de las características del ADN que permite a los cromosomas transmitir información genética de una generación de células a la siguiente.

Desde el punto de vista funcional, un gen se puede definir como la parte de un cromosoma responsable del desarrollo de un carácter particular en un organismo. Usando esta definición simplificada, se puede hablar de genes que determinan la velocidad de crecimiento, resistencia a sequías, etc. De esta forma, se puede considerar al gen como la unidad básica que se transmite de una generación (de células, árboles, etc) a la siguiente (Wright 1976).

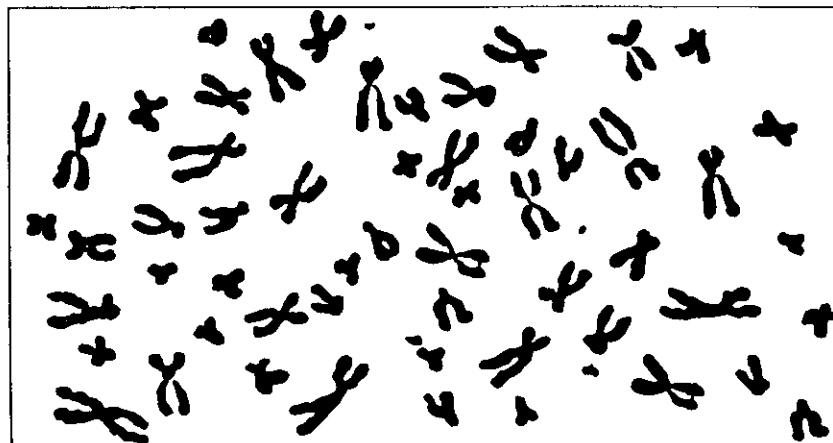


Figura 2. Aspecto de los 46 cromosomas de la especie humana durante la mitosis (x 2000)

### 3.1 Mitosis

Las células de la mayoría de las partes de un árbol contienen dos juegos homólogos de cromosomas. El tipo de división celular que ocurre en el cambium, las yemas de las raíces, los primordios foliares, etc., para producir madera, hojas, etc., es denominada "mitosis".

En la mitosis, los cromosomas se ordenan y se reúnen en el centro de la célula madre (Figura 3). Cada cromosoma se divide longitudinalmente para formar dos nuevos cromosomas idénticos. Un par de cromosomas migra hacia un extremo de la

célula y el otro par al extremo opuesto. Se forma una nueva pared celular en el centro y se completan las dos células hijas. Cada célula hija tiene un genotipo idéntico al de la célula madre, a menos que ocurran mutaciones durante el proceso de división celular. De esta manera, todas las células vegetativas de un árbol tienen genotipos similares. Para una especie dada, el número de cromosomas en las células vegetativas es constante. Por ejemplo, en la mosca de la fruta (*Drosophyla*) el número de cromosomas es 8 (4 pares), 24 cromosomas (12 pares) en *Pinus* y *Fagus* y 48 cromosomas (24 pares) en el hombre (*Homo sapiens*).

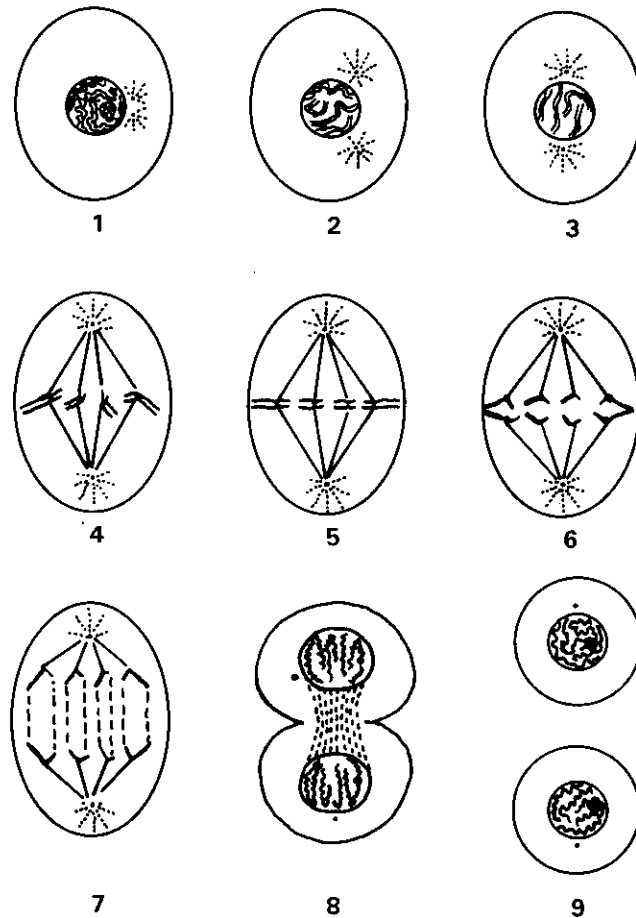


Figura 3. Representación esquemática de la mitosis.

Para efectos de claridad, sólo se muestran dos pares de cromosomas homólogos en las células. En los pasos 1-3 se muestra la fase inicial de la mitosis en la que los cromosomas se contraen. En los pasos 4-5, los cromosomas, ya casi completamente divididos longitudinalmente, se reúnen en el "ecuador" de la célula.

En los pasos 6-7, los cromosomas "hermanos" homólogos migran hacia los polos opuestos de la célula. Pasos 8-9, se completa la mitosis, incluyendo la división del citoplasma.

### 3.2 Meiosis

Durante la floración ocurre un tipo especial de división celular llamado "meiosis" (Figura 4). Esta es una división de reducción porque el número de cromosomas que se encuentra en los gametos (polen, óvulos) es exactamente la mitad del que existe en las células vegetativas. Cada gameto tiene un juego completo de cromosomas en comparación con los dos juegos que tienen las células vegetativas.

Convencionalmente se usa el símbolo "n" para designar el número de cromosomas que tiene un juego individual. En la mayoría de las especies los gametos tienen 1n cromosomas y las células vegetativas 2n. Así, por ejemplo, para *Pinus*  $n$  (o  $1n$ ) = 12,  $2n$  = 24.

Durante la meiosis los dos juegos de cromosomas homólogos se reúnen en el centro de la célula madre y los miembros de un juego se juntan en pares con sus homólogos del otro juego. Un cromosoma de cada par migra hacia uno de los extremos de la célula madre y su homólogo migra hacia el extremo opuesto. Se forma una nueva pared celular en el centro y se originan dos células hijas (gametos), donde cada una tiene sólo la mitad del número original de cromosomas.

La segunda división meiótica (Figura 4) es similar a la mitosis en donde los cromosomas se dividen y los dos juegos se separan para formar dos células nuevas sin que ocurran cambios en el genotipo.

Como en la Figura 3, en la Figura 4 sólo se muestran dos pares de cromosomas homólogos. Paso 1: dos pares de cromosomas representan el conjunto completo en una célula. Pasos 2-4: fase inicial de la meiosis donde se juntan en pares los cromosomas homólogos. Paso 5: primera división meiótica, durante la cual los pares homólogos se separan y migran, cada uno a su respectivo polo en la célula. Paso 6: se presentan los cromosomas de las dos células hijas creados en la primera división meiótica. Paso 7: la segunda división meiótica durante la cual los cromosomas se dividen en dos mitades y estas se separan. Paso 8: el resultado final del proceso meiótico: cuatro células cada una con la mitad del número de cromosomas de la célula original (1).



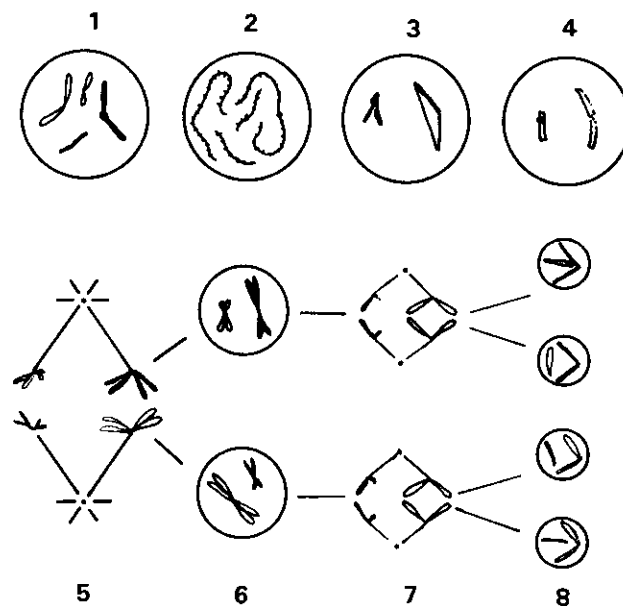


Figura 4. Representación esquemática de la meiosis.

Mientras los cromosomas homólogos se juntan en pares, se produce "entrecruzamiento". Esto ocurre como resultado de una ruptura simultánea en exactamente el mismo *locus* en ambos cromosomas, con un subsiguiente reencuentro, de tal forma que los cromosomas intercambian segmentos. (Asumiendo que la secuencia original para el par de cromosomas es ABCDEFGH/abcde fgh y que el entrecruzamiento ocurre entre los locus D y E, la nueva secuencia de los dos cromosomas es ABCDefgh/abcdEFGH).

Si se considera un pino con  $n = 12$  ( $2n = 24$ ) cromosomas y que los 24 cromosomas de una célula madre se derivaron de padres A y B, de manera que podría designárseles como A 1-12 y B 1-12. Después de juntarse en pares y de entrecruzarse, los cromosomas se segregan independientemente hacia los dos extremos de la célula madre. Los cromosomas A1 y B1 deben migrar hacia extremos opuestos, pero esto no determina la dirección en que migrarán los cromosomas A2 y B2, A3 y B3, etc. La célula hija que recibe A1 puede recibir A2 o B2, A3 o B3, etc. También se debe recordar que los entrecruzamientos ocurren en forma independiente entre cada par de cromosomas homólogos y que no hay dos cromosomas homólogos que vayan a tener los mismos genes. De esta forma, se puede observar que dos gametos producidos por el mismo árbol no tienen exactamente el mismo genotipo. Solamente los genes muy ligados se pueden segregar juntos.

### 3.3 Fertilización y desarrollo de la semilla

Un aspecto esencial de la fertilización es la concurrencia de un gameto masculino y un gameto femenino para producir huevos fertilizados (cigotos). Estos se dividen posteriormente por medio de mitosis para producir un embrión, el cual se desarrolla en una semilla que, a su vez, se desarrolla en un árbol. Durante la fertilización, los cromosomas del gameto masculino entran en el núcleo del gameto femenino (óvulo) y se mezclan con los cromosomas de este. Puesto que los citoplasmas de ambos gametos no se mezclan, el citoplasma del cigoto se deriva sólo de progenitor femenino.

La meiosis y la fertilización, en conjunto, son los mecanismos por los cuales la variabilidad genética de un árbol se puede segregar y recombinar para producir descendientes que son diferentes de sus progenitores.

### 3.4 Exogamia y endogamia

La cantidad de variación genética de un individuo es influenciada en la medida en que la especie sea naturalmente exógama o endógama. Las especies exógamas presentan barreras biológicas que actúan contra la autofertilización o la fertilización entre parientes cercanos. De esta manera, se favorece el apareamiento entre individuos no emparentados o que sólo tienen un parentesco lejano. Las especies endógamas no tienen dichas barreras. Algunos cultivos agrícolas, como el trigo, son naturalmente autógamas y, a través de muchas generaciones de selección, los agrónomos han desarrollado un cierto número de "líneas puras" en las cuales los descendientes se parecen a los progenitores casi tanto como sí la reproducción fuera asexual. Muchos árboles forestales son marcadamente exógamos, lo que explica la riqueza de su variación. Sin embargo, algunos, como la *Leucaena*, son autocompatibles. Se presume que otras especies del bosque tropical (que presentan una distribución dispersa de los individuos) también lo sean, debido al aislamiento que presentan los árboles con respecto a otros de la misma especie. También es probable que se presente algún grado de endogamia entre especies fuertemente exógamas y viceversa.

## 4. EVOLUCION

Durante siglos, muchos científicos han venido preguntándose acerca de las posibles causas de la variación y muchos han considerado algún tipo de evolución.

A mediados del siglo diecinueve, Charles Darwin y su colega Henry Wallace presentaron la teoría de que si las pequeñas diferencias entre los progenitores y sus descendientes ocurren en forma continua durante decenas de miles de generaciones y millones de años, podrían dar origen a la increíble variedad de plantas y animales que existe actualmente. Su libro, "El origen de la especie" se publicó por primera vez en 1859. Sus principales puntos se resumen a continuación:

1. Las plantas y los animales varían.

Darwin estaba consciente de la variación que presentan las especies domesticadas y su viaje en el "Beagle" lo convenció de que dicha variación ocurre con igual frecuencia en la naturaleza. Él reconoció dos clases de variación: las mutaciones que originan variantes raras y muy diferentes, y la "variación fluctuante" que consiste en pequeñas variantes continuas alrededor de un promedio. Él encontró que este último tipo de variación es universal y la consideró la forma más importante para la ocurrencia de evolución por selección.

2. Existen controles naturales al crecimiento de las poblaciones.

Considerando la fecundidad de los organismos, el número de individuos aumentaría en forma geométrica, a menos que existan controles naturales.

3. Sólo aquellos individuos que presentan alguna ventaja inherente contra los controles sobreviven.

Otros miembros de la población mueren.

4. Los individuos que sobreviven pueden transmitir su ventaja a alguna proporción de sus descendientes.

La ventaja no se transmite a toda la descendencia en el mismo grado debido a que existe variación.

5. La selección continúa durante miles de generaciones sucesivas ampliando la ventaja.

Hasta que, en un ambiente, se alcance un valor óptimo.

6. Cuando el ambiente es cambiante, nuevas características se vuelven ventajosas y las nuevas variantes reemplazan a las originales.

Si se considera un período largo se encontrará que los ambientes nunca son constantes.

El salto vital de pensamiento que dieron Darwin y Wallace fue reconocer la existencia de sobrevivencia diferencial y que esta debe tener un efecto selectivo. Posteriormente, Spencer enunció estos conceptos como "Sobrevivencia del más apto" y "Selección natural".

Se debe entender como funciona realmente la selección. Existen dos hechos de vital importancia para la comprensión de la selección en el sentido genético: (1) La expresión "sobrevivencia del más apto" se debe entender cuidadosa y correctamente. Esta fue usada en forma práctica por Darwin para referirse a "la capacidad diferencial para dejar descendencia". La aptitud se define como el valor de sobrevivencia y la capacidad reproductiva de un genotipo dado; (2) Las características adquiridas no se heredan. Una jirafa que agrega un centímetro a su cuello como consecuencia de estirarlo para obtener alimento de los árboles, no transmite la longitud extra a su descendencia, de la misma manera que una mujer morena, que continuamente se tiñe el pelo, no va a producir hijos rubios (Buijtenen *et al.*, 1971).

Los principales procesos evolucionarios que operan en los bosques son:

Mutación  
Migración  
Introgresión  
Selección natural

Los tres primeros tienen que ver con la creación de la variación. La mutación es la fuerza creativa básica y las otras dos sirven para distribuir y mezclar esta variación. Por otra parte, la selección natural es la fuerza que decide cuáles variantes sobreviven y transfieren su variación a las generaciones siguientes.

#### 4.1 Mutación

Durante la meiosis, la segregación y el entrecruzamiento de los cromosomas resultan gametos con diferentes combinaciones de genes. Sin embargo, los genes individuales no son alterados en estos procesos.

Los cambios heredables que ocurren en los genes individuales se conocen como mutaciones genéticas. Estas pueden ocurrir en células vegetativas durante el desarrollo de la mitosis. En este caso, la mutación afecta sólo áreas locales donde se desarrollan grupos de células mutantes. Cuando ocurren en células reproductivas, las mutaciones se transmiten a la descendencia y, por tanto, a las generaciones siguientes.

La probabilidad de que un determinado gen mute se ha estimado entre 1:10.000 a 1:100.000 divisiones individuales de genes. Sin embargo, las

mutaciones ocurren con frecuencia, tanto en la fase reproductiva como de crecimiento vegetativo. Esto se debe a que existen muchos genes en una célula, muchas células en un árbol y se producen muchos gametos durante la floración. Los hechos más significativos de las mutaciones son:

1. La mayoría de las mutaciones son perjudiciales.
2. La mayoría de las mutaciones son recesivas. Mientras que los genes perjudiciales dominantes son eliminados rápidamente por selección natural, los recesivos persisten por generaciones.
3. Las mutaciones benéficas ocurren muy raramente. (Fischer estima que ocurre sólo una en 1000 generaciones). Sin embargo, durante millones de años, estas mutaciones han creado la enorme variación natural existente.
4. Las mutaciones son de especial importancia en ambientes en constante cambio. Por ejemplo, un gen mutante recesivo que incrementa la resistencia a sequías no tiene ningún valor en el bosque tropical lluvioso, pero confiere una mayor probabilidad de sobrevivir si el clima se vuelve más seco.

## 4.2 Migración

Migración es el movimiento de los genes por medio de polen, semillas o plantas de una población (emigración) a otra población (inmigración) de la misma especie.

Dos poblaciones de árboles pueden estar situadas en hábitats muy diferentes. A través de varias generaciones, la selección natural tiende a diferenciar la composición genética de ambas poblaciones, de tal manera que cada una está compuesta por los genotipos mejor adaptados a las condiciones de su ambiente particular. Sin embargo, si existe migración entre ambas poblaciones, las frecuencias génicas tenderán a uniformizarse, disminuyendo las diferencias entre poblaciones. De esta manera, la migración tiene un efecto opuesto a la selección natural.

Los medios más importantes para la migración genética en especies forestales son la dispersión de polen por viento o insectos y la diseminación de semillas por *viento, agua o animales*. El patrón y la velocidad de migración dependen de la distancia y dirección de la dispersión del polen y las semillas, lo que depende de la especie y de la población. Por ejemplo, los álamos y otras especies de latifoliadas que crecen cerca de ríos y quebradas tienden a migrar en una dirección en franjas estrechas a lo largo de los cauces. Esto se debe a que sus semillas flotan en el agua, lo que ocasiona un considerable flujo de genes corriente abajo. Este hecho tiene importantes consecuencias prácticas. Por ejemplo, en este caso es muy posible que las fuentes de semilla o procedencias se comporten mejor en sitios corriente arriba que en el sitio donde crecen en el presente. Esto se debe a que los genes,

"adaptados" para sitios río arriba, fluyen corriente abajo más rápido de lo que la selección natural los puede eliminar. Efectos similares ocurren cuando el polen es dispersado por el viento en una dirección constante durante la estación de producción de polen.

La migración, en el sentido antes señalado, se refiere al flujo de genes de una población a otra de la misma especie. En un sentido más general, los genes migran también cuando una especie reemplaza a otra, por ejemplo, cuando el bosque coloniza pastizales o las plantas trepadoras invaden áreas donde se ha talado el bosque.

### **4.3 Introgresión o Hibridación**

La introgresión es la incorporación de genes de una especie en otra especie a través de un proceso de hibridación continuo. En este sentido, la introgresión es similar a la migración, con la salvedad de que ocurre entre especies.

Normalmente, existen ciertas barreras que evitan el cruce entre especies forestales. Estas barreras pueden ser, por ejemplo, la incompatibilidad del polen de una especie con las flores femeninas de otra especie, la esterilidad de los híbridos o diferencias en la fecha de floración. En ocasiones, estas barreras reproductivas son parciales y ocasionalmente se producen híbridos. Si estos híbridos producen descendencia viable con una o ambas especies originales, entonces los genes de una especie pueden pasar a la otra. Este flujo genético puede ser en ambos sentidos o predominantemente en una sola dirección.

### **4.4 Selección natural**

La selección natural es una fuerza evolutiva muy importante que generalmente reduce la variabilidad (genética) de una población en un ambiente dado. Esta fuerza tiene un efecto direccional en la composición genética de los árboles de una población, debido a que determina cuales árboles crecen y se reproducen y cuales no. La selección natural favorece a los más adaptados, es decir, a aquellos árboles con los genotipos más adecuados para crecer y reproducirse en un ambiente determinado (Zobel y Talbert, 1984). Dentro de ese ambiente se tiende a preservar e incrementar la proporción de los genotipos más adaptados. Cuando una especie crece en una gran variedad de ambientes, la selección natural favorece el desarrollo de diferentes genotipos adaptados a los distintos ambientes. De esta manera, se tiende a reducir la variabilidad genética dentro de las poblaciones pero se incrementan las diferencias genéticas entre ellas, aumentando así la variación total dentro de la especie.

Frecuentemente resulta difícil evaluar el efecto de la selección debido a que muchos otros factores determinan cuales árboles son los más aptos para crecer y reproducirse. Cada característica relacionada con la aptitud del individuo tiene su propio valor selectivo y la adaptación creada por un factor puede afectar positiva o negativamente a los otros. Además, la migración reduce el efecto de la selección natural.

La selección natural es una fuerza que modela las poblaciones altamente variables. Los individuos más prolíficos contribuyen en mayor proporción a la siguiente generación, pero la adaptación al ambiente local determina cuales individuos de la nueva generación sobrevivirán para reproducirse. A menudo el éxito depende de la efectividad para competir por recursos, tales como luz, agua y nutrientes. Como resultado de la selección se desarrollan razas geográficas adaptadas a sus respectivos ambientes.

## 5. MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL

El conocimiento de las causas naturales de la variación y la evolución es la base esencial para poder usar dicha variación en beneficio del ser humano. Las leyes de Mendel (Wellendorf y Ditlevsen, 1992) aplican de igual forma cuando la naturaleza selecciona para sobrevivencia o cuando el mejorador selecciona para obtener árboles con fustes más rectos o follaje más nutritivo para usarlo como alimento o forraje.

El mejoramiento forestal comprende todas aquellas actividades dirigidas a producir árboles genéticamente más deseables, incluyendo el cruce controlado de individuos con características superiores. Por medio de la selección se busca utilizar los mejores genotipos que se han desarrollado en la naturaleza. Mediante el cruce controlado de progenitores seleccionados se trata de producir genotipos nuevos, que combinen además propiedades favorables.

La expresión "mejoramiento forestal" y más aún el término "genético" generalmente hacen pensar en actividades sofisticadas y altamente especializadas. Sin embargo, en la práctica, mejoramiento forestal sólo significa algún grado de ajuste del manejo forestal y de las prácticas silviculturales, teniendo en cuenta algunos principios genéticos básicos. Con base en la comprensión de tales principios, se pueden utilizar y manipular conscientemente los materiales que la naturaleza ha desarrollado durante miles de años y que están a nuestra disposición. Al mismo tiempo, la inclusión de la conservación de la variación genética de las especies como parte integral de las estrategias de mejoramiento, garantiza la existencia de opciones abiertas para el futuro (Palmberg, 1987).

Las especies forestales difieren en muchos aspectos de los cultivos agrícolas. Por ejemplo, hablando en términos genéticos, los bosques naturales continúan presentando, en gran medida, una interferencia humana más bien limitada, a pesar de su degradación y de la creciente deforestación. Esto significa que, al contrario de los cultivos agrícolas, que han sido seleccionados y producidos durante miles de años, los bosques naturales son una enorme fuente de variación genética que debe ser utilizada y conservada.

En mejoramiento forestal se debe seleccionar y usar lo que ya existe y está disponible en la naturaleza, antes de invertir recursos en métodos genéticos más avanzados, como los que se aplican en agricultura.

Las etapas del mejoramiento forestal son:

1. Selección entre especies.
2. Selección entre poblaciones dentro de especies (subespecies, variedades, razas, procedencias, fuentes semilleras, etc).
3. Selección entre individuos dentro de poblaciones superiores.
4. Cruzamiento controlado, incluyendo recombinación e hibridación entre especies, poblaciones, progenitores y descendientes seleccionados.

El mejoramiento (selección y cruzamiento) a nivel individual incluye la identificación de árboles con un fenotipo superior, la evaluación de su descendencia en ensayos de progenie para determinar su valor genético, el establecimiento de los genotipos superiores en huertos para la producción de semilla, donde ambos progenitores (femeninos y masculinos) aportan sus genes superiores.

El mejoramiento necesita del desarrollo de técnicas eficaces de propagación masiva, vía sexual o vegetativa, para que los genotipos superiores puedan ser usados en plantaciones a gran escala.

El reto de las estrategias de mejoramiento genético forestal está en la formulación de planes a largo plazo que incluyan muchas generaciones y que, al mismo tiempo, sean lo suficientemente sólidos y flexibles como para incorporar los cambios en los métodos silviculturales y las innovaciones en las técnicas genéticas y de propagación (Wellendorf y Kaosa-ard, 1988).

El tema del mejoramiento genético se trata en mayor profundidad en otros documentos de esta serie.



## 6.- LITERATURA SELECCIONADA

- Buijtenen, J.P. van; G.A. Donovan; Long E.M.; Robinson J.F.; Woessner R.A.** 1971. Introduction to practical forest tree improvement. Circular 207. Forest Genetics Laboratory, Texas Forest Service.
- Darwin, Ch.** 1872. The origin of species. 6th edition. John Murray. London.
- Ditlevsen, B.; Shrestha, N.B.; Robbins, A.M.J.** 1988. Tree improvement. An outline and plan of action for Nepal. HMG/EEC/ODA National Tree Seed Project.
- Dyson, W.G.** 1973. Variation and Selection. *In* Report on the FAO/DANIDA Training Course on Tree Improvement. Limuru, Kenya. FAO Rome.
- Fischer, R.A.** 1930. The genetical theory of natural selection. University Press.
- Palmberg, C.** 1987. Creation of new forest resources. Paper presented for: Planning National Programmes for Wood Based Energy. Italy 26 Oct - 5 Nov 1987. GCP/INT/433/ITA.
- Wellendorf, H.; Ditlevsen, B.** 1992. Introduction to forest genetics. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. . Lecture note. D-2, 13p.
- Wellendorf, H.; Kaosa-ard, A.** 1988. Teak improvement strategy in Thailand. Forest Tree Improvement, No.21. Arboretet, Horsholm. 43p.
- Willan, R.L.** 1988a. Benefits from tree improvement. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. Lecture Note A-2. 21p.
- Willan, R.L.** 1988b. Economics returns from tree improvement in tropical and sub-tropical conditions. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denamrk. Technical Note No.36. 38p.
- Wright, J. W.** 1976. Introduction to forest genetics. Academic Press, New York. 463p.
- Zobel, B.; Talbert, J.** 1984. Applied forest tree improvement. John Wiley and Sons, New York. 505p.