

- Toda, R. 1980. An outline of the history of forest genetics. In *Advances in Forest Genetics*. Ambika Publications, Nueva Delhi, India.
- Toyama, S. 1954. "Studies on Breeding for Forest Trees." Bull. Govt. Forest Experimental Station, Meguro, Tokio, Report 24, pp. 56—269.
- Wright, J. W. 1953. A survey of forest genetics research. *Jour. For.* 51(5):330—333.
- Wright, J. W. 1981. "A Quarter Century of Progress in Tree Improvement in the Northeast." 27th Northeast. For. Tree Impr. Conf., Burlington, Vt. pp. 6—15.
- Zobel, B. J. 1952. The genetic approach for improving wood qualities of the southern pines. *Jour. For. Prod. Res. Soc.* 2(2):45—47.
- Zobel, B. J. 1957. Progeny testing for drought resistance and wood properties. *Der Zuchter H.* 95-96.
- Zobel, B. J. 1974. "Increasing Productivity of Forest Lands through Better Trees," S. J. Hall Lectureship, University of California, Berkeley.
- Zobel, B. J. 1978. "Progress in Breeding Forest Trees—The Problem of Time." 27th Ann. Sess. Nat. Poultry Breed. Roundtable, Kansas City, Mo., pp. 18—29.
- Zobel, B. J. y Zoerb, M. 1977. "Reducing Fusiform Rust in Plantations through Control of the Seed Source." Symposium on Management of Fusiform Rust in Southern Pines, South. For. Dis. and Insect Res. Coun., Gainesville, Fla., pp. 98—109.

La variación y su uso

ALGUNOS CONCEPTOS GENÉTICOS BÁSICOS

Generalidades
Células y cromosomas
Mitosis y meiosis

Genes y alelos: interacción génica

CAUSAS Y TIPOS DE VARIABILIDAD

Generalidades
Variación ambiental
Variabilidad genética

Sistemas de apareamiento
Poliploidía

Interacción genotipo-ambiente

VARIACIÓN EN RODALES NATURALES

Introducción

Variación geográfica (o de procedencia)

Variabilidad entre sitios

Diferencias entre los rodales dentro de sitios

Diferencias entre árboles dentro de un rodal

Variación dentro del árbol

Resumen de la variación natural

DETECCIÓN DE LA VARIACIÓN EN RODALES CON PEDIGRÍ MANTENIMIENTO Y USO DE LA VARIACIÓN

Generalidades

Fuerzas que moldean la variación genética

Mutaciones

Flujo génico (migración génica)

Selección

Deriva genética

VARIACIÓN CAUSADA POR EL HOMBRE BIBLIOGRAFÍA

Si no hubiera una suficiente variabilidad genética del tipo correcto en las características de interés económico, cualquier intento por utilizar la genética para mejorar los árboles forestales sería infructuoso o fracasaría. En consecuencia, lo primero que debe hacerse al iniciar un programa de mejoramiento genético forestal es determinar la cantidad, causa y naturaleza de la variación presente en la especie de interés y aprender cómo utilizarla. Las actividades relacionadas con la estimación de la variación absorben gran parte del tiempo del genetista forestal y requieren un esfuerzo continuo e intensivo. La existencia de la variación entre las especies, razas e individuos dentro de las especies no es en general difícil de demostrar, pero la determinación de sus causas requiere mucho tiempo y es muy costosa. Una tarea difícil pero esencial es descubrir qué porcentaje de la variación está bajo control genético a fin de que se determine cómo explotarla en un programa de mejoramiento genético forestal, para desarrollar mejores árboles que produzcan productos de mayor calidad (figura 2.1; véase también la figura 1.4).

Los forestales tienen suerte a este respecto, ya que las poblaciones de árboles son por lo general genéticamente variables. Esta variación permite que los árboles sobrevivan, crezcan y se reproduzcan en las diferentes condiciones y numerosos ambientes que prevalecen durante una sola y muchas generaciones (Antonovics, 1971; Nienstaedt, 1975). El valor de este "don" de gran variabilidad en los árboles forestales suele pasarse por alto. El tipo adecuado de variación genéticamente controlada proporciona las condiciones indispensables para un programa de mejoramiento genético forestal, proporcionando las herramientas necesarias para obtener ganancias importantes y rápidas derivadas de la aplicación de la genética en la dasonomía. Comparadas con los cultivos agrícolas, las poblaciones de árboles forestales han sido poco afectadas hasta ahora por las actividades humanas. Los genetistas forestales trabajan esencialmente con poblaciones silvestres que contienen los genes y los complejos genéticos necesarios para los programas de mejoramiento genético. Es un hecho que *la mayoría de las especies de árboles forestales poseen una mayor variabilidad* que las especies de otros organismos; se ha reportado que es casi el doble de la presentada por otras plantas (Hamrick y colaboradores, 1979). Por lo tanto, los genetistas forestales poseen una vasta ventaja al ser capaces de manipular esta variabilidad en sus programas de mejoramiento genético. Sin embargo, una gran responsabilidad recae en el genetista forestal para mantener y aumentar el gran acervo de variación para uso futuro, un tema que más adelante se tratará con más detalle.

ALGUNOS CONCEPTOS GENÉTICOS BÁSICOS

Generalidades

En un mundo que posee millones de diversas formas de vida, los árboles son los organismos más grandes y están entre los organismos más complejos. Sin embargo, a pesar de la vasta diversidad que existe en la naturaleza, ciertos mecanismos básicos de herencia son comunes a todas las especies, incluyendo los árboles forestales. Aunque no



Figura 2.1 Por lo común, existe una gran variabilidad dentro de una especie. La fotografía muestra dos pinos "loblolly" en un área expuesta al daño por emanaciones tóxicas de humo. Un árbol ha muerto a causa de éstas; el otro parece estar creciendo normalmente. Cuando dicha variación tiene una base genética, es posible utilizarla para obtener líneas de árboles para uso y de valor especiales.

se pretende que este libro sirva como texto de genética, hacer una breve revisión de algunos conceptos básicos y sus efectos sobre la variación es útil para entender los principios del mejoramiento genético forestal que se estudian en capítulos posteriores. El mensaje que debe entenderse es que los procesos genéticos siguen un orden y en muchos casos son predecibles. Para tener éxito, los genetistas forestales deben valorar este hecho y utilizarlos en sus programas. La explicación detallada de los mecanismos hereditarios puede encontrarse en textos de genética, como los de Srb y colaboradores (1965), Gardner y Snustad (1984), Grant (1975) o Strickberger (1976).

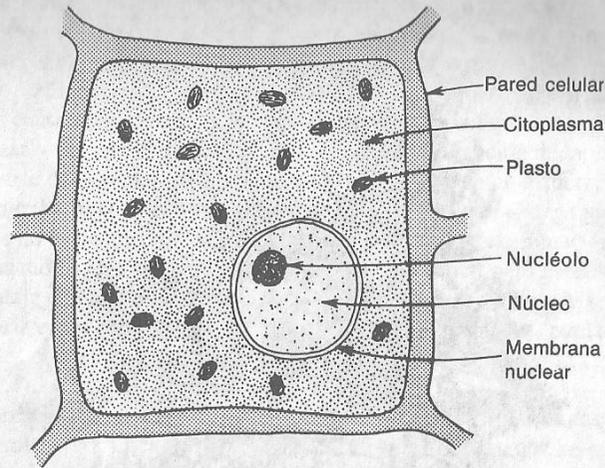


Figura 2.2 Esquema que presenta los componentes que integran a una célula: 1) pared celular circundante; 2) citoplasma; 3) plastos, que son pequeños cuerpos del citoplasma que participan en el funcionamiento y reproducción de la célula; 4) núcleo, que contiene la mayor parte del material que determina la herencia; 5) membrana nuclear, en torno al núcleo; y 6) nucléolo, que aparentemente controla la actividad celular.

Células y cromosomas

Al igual que todos los organismos, los árboles están compuestos de células. Existen numerosos tipos de células en los árboles, pero todas las células vegetales vivas tienen en común una *pared celular*, un *citoplasma* y un *núcleo* (figura 2.2). Desde el punto de vista genético, el núcleo es de especial interés, ya que contiene a los *cromosomas*, los cuales albergan la mayor parte de la información genética necesaria para el crecimiento y desarrollo del árbol. El número de cromosomas es por lo general constante en cualquier célula vegetativa (somática) de un organismo, en todas las poblaciones de una especie y, en la mayoría de los casos, en cualquier individuo de una especie. Químicamente, los cromosomas están compuestos de ácido desoxirribonucleico (DNA), que es la fuente de información genética, y de una cubierta de proteínas. Los genes, que son las unidades funcionales de la herencia, existen en una disposición lineal a lo largo de la molécula de DNA de cada cromosoma. Se dice que la localización de un gene en un cromosoma es el *locus del gene*. Los genes que ocurren en el mismo cromosoma se dice que están *ligados* o que están en el mismo *grupo de ligamiento*.

Durante la mayoría de las fases del crecimiento y desarrollo de una célula, los cromosomas existen como estructuras largas en forma de filamento difíciles de observar, excepto con los microscopios más potentes. Poco antes de la división celular, los

cromosomas se condensan y forman estructuras en forma de bastón que pueden observarse con un microscopio óptico y que pueden contarse. Las especies de árboles difieren ampliamente en el número de cromosomas presentes en sus núcleos. Por ejemplo, todos los miembros normales del género *Pinus* tienen 24 cromosomas, mientras que la secuioia (*Sequoia sempervirens*) tiene el número excepcional de 66 cromosomas en sus células vegetativas (figura 2.3); el abeto "Douglas" (*Pseudotsuga menziesii*) tiene 26 cromosomas. Por lo general, las coníferas tienen unos cuantos cromosomas grandes (aunque existen raras excepciones como la secuioia), mientras que las angiospermas tienden a presentar números mayores de cromosomas más pequeños. Como ejemplo se tiene que el sicómoro americano (*Platanus occidentalis*) posee 42 cromosomas, mientras que los miembros del género *Eucalyptus* tienen un número relativamente bajo de 20 a 22 cromosomas somáticos. En algunas especies, el número de cromosomas varía, dependiendo de la población que se esté estudiando. En el abedul "paper" (*Betula papyrifera*), por ejemplo, el número de cromosomas varía de 56 en la variedad *cordifolia* a 84 en la variedad *occidentalis*. El número cromosómico de la mayoría de las especies cultivadas lo proporcionan Darlington y Janaki Ammal (1974); para las coníferas, véa-

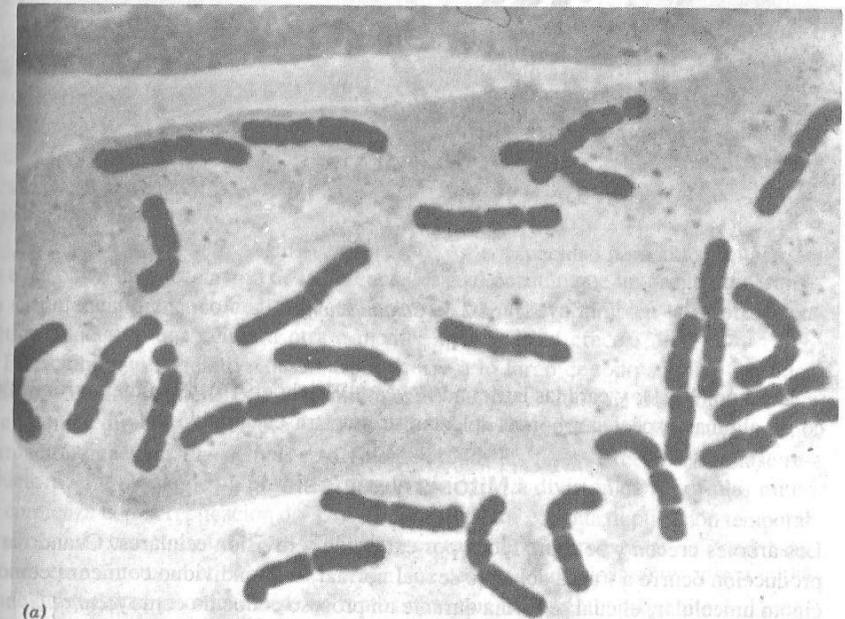
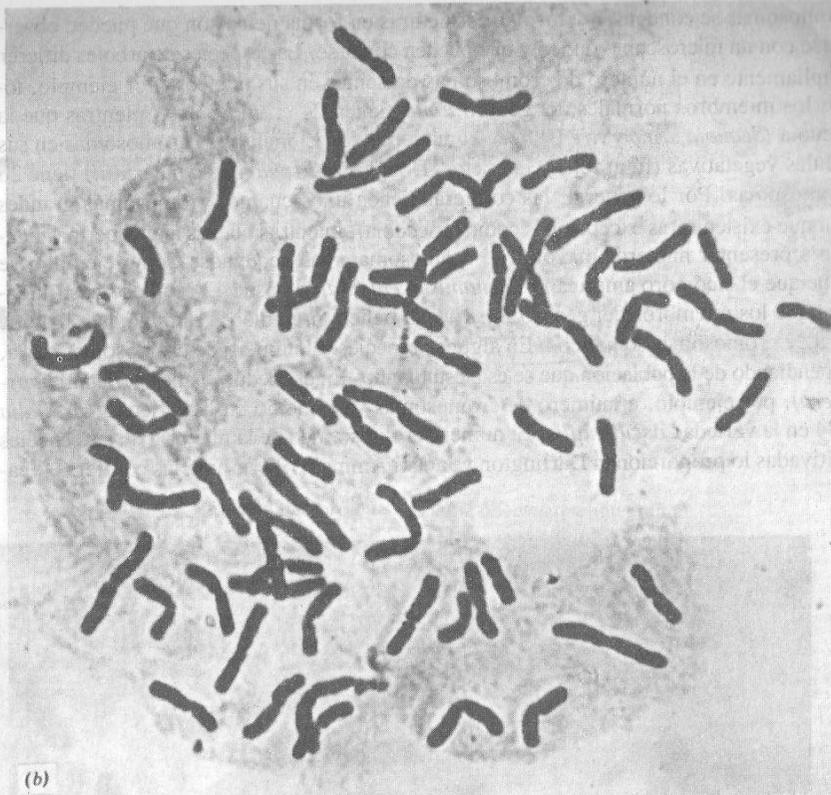


Figura 2.3 a) Los pinos tienen 24 cromosomas, como se observa en las preparaciones con aceto-carmín de la punta de la raíz de *P. taeda*. **b)** (página siguiente). Ocasionalmente las coníferas son poliploides, como lo demuestran los 66 cromosomas de una célula de *Sequoia sempervirens*. (Fotos por cortesía de L. C. Saylor, North Carolina State University).



(b)

Figura 2.3 (Continuación).

se Khoshoo (1961); y para las latifoliadas, véase Wright (1976). El número cromosómico de algunas especies arbóreas selectas se muestra en la tabla 2.1

Mitosis y meiosis

Los árboles crecen y se reproducen por extensión y división celulares. Cuando la reproducción ocurre a través del ciclo sexual normal, cada individuo comienza como un cigoto unicelular, el cual se forma durante un proceso conocido como *fecundación* por la unión de dos células reproductoras (gametos), cada una de las cuales tiene sólo la mitad del número usual de cromosomas. Uno de los gametos es una célula huevo u óvulo del progenitor femenino, y el otro es una célula espermática o espermatozoide del progenitor masculino. Cada gameto aporta un juego de cromosomas y genes al cigoto recién formado. Dado que el cigoto tiene dos juegos de cromosomas, se dice que

Tabla 2.1. Variación del número cromosómico de árboles.

Gimnospermas		Angiospermas	
Género	Número somático de cromosomas	Género	Número somático de cromosomas
<i>Abies</i>	24	<i>Acacia</i>	26 (52)
<i>Araucaria</i>	26	<i>Acer</i>	26 (y variable)
<i>Cedrus</i>	24	<i>Albizia</i>	26 (y variable)
<i>Chamaecyparis</i>	22	<i>Alnus</i>	28 (y variable)
<i>Cryptomeria</i>	22	<i>Betula</i>	28 (2n)
<i>Cunninghamia</i>	22	<i>Carya</i>	32
<i>Cupressus</i>	22	<i>Castanea</i>	24
<i>Cycas</i>	22 (24)	<i>Diospyros</i>	30 (60)
<i>Ginkgo</i>	24	<i>Eucalyptus</i>	22 (24)
<i>Juniperus</i>	22 (44)	<i>Fagus</i>	24
<i>Larix</i>	24	<i>Ficus</i>	26

Estos valores se expresan ya sea como el número básico n o como el número somático, el cual por lo general es el doble del número n . Algunos árboles son poliploides y tienen más de $2n$ cromosomas. Las gimnospermas frecuentemente tienen números somáticos pequeños (22, 24 ó 26), mientras que las angiospermas tienen con frecuencia números mayores. Sólo se incluyen unos cuantos de los géneros de árboles forestales. Los valores cromosómicos se obtuvieron de varias fuentes bibliográficas.

es *diploide* (o $2n$). Los gametos son *haploides* ($1n$) debido a que poseen un solo juego de cromosomas, es decir, uno de cada tipo de cromosoma. Los dos juegos de cromosomas del cigoto que tienen los mismos genes son homólogos y poseen los genes que afectan la misma función. En consecuencia, cada locus del gene está representado dos veces en el cigoto, una vez en el cromosoma de un progenitor y otra en el cromosoma homólogo del otro progenitor.

Una de las propiedades exclusivas del DNA es su capacidad para autorreplicarse. Esta es la clave del mecanismo de la herencia, el cual permite que un progenitor transmita su potencial genético a su descendencia. El DNA lleva también la información genética intacta de una célula a otra a medida que el árbol crece.

El crecimiento vegetativo de un árbol ocurre a lo largo de todo su ciclo de vida. Un árbol maduro contiene miles de millones de células, cada una de las cuales son descendientes directos del cigoto formado durante la fecundación y llevan la misma información genética. Las células se dividen en todas las fases, excepto en la fase reproductora, por medio de un proceso llamado *mitosis*. La división de las células mitóticas comienza con la replicación del DNA y, por lo tanto, con una duplicación temporal del número de cromosomas de la célula progenitora. Los cromosomas se condensan entonces en estructuras en forma de bastón, ya descritas anteriormente, y una copia de cada cromosoma se mueve a los extremos opuestos de la célula progenitora. La célula forma entonces una pared entre ellos, dando como resultado dos células hijas, cada una con su propia pared celular, citoplasma, núcleo y número completo de cromosomas. A medida que los árboles crecen y maduran, se forman numerosos tipos de células, cada una con una función y forma especiales, pero la información genética contenida en el núcleo de cada célula es idéntica a la de la célula cigótica original.

La razón de la diferenciación de células y tejidos radica en que ciertos juegos de genes son activados en un tipo de célula, mientras que otros genes están activos en otros tipos celulares.

La reproducción sexual ocurre a través de un proceso llamado *meiosis*. La meiosis abarca realmente dos divisiones celulares, y da como resultado la reducción de los cromosomas del número $2n$ en el progenitor al $1n$ en las células gaméticas o reproductoras (figura 2.4). El proceso meiótico comienza con la replicación del DNA. Luego los cromosomas homólogos se aparean. La replicación es evidente en este punto y va seguida de la disposición ordenada de los cromosomas en el centro de la célula. Durante el tiempo en el cual los cromosomas *homólogos* se aparean puede ocurrir un intercambio de material genético a través del proceso conocido como *entrecruzamiento*. Cuando esto ocurre, los cromosomas se rompen en puntos equivalentes e intercambian algunos de sus segmentos. Este intercambio de material genético por medio del entrecruzamiento es un proceso importante, ya que sirve para separar los grupos de genes ligados y esto da como resultado nuevas combinaciones de genes y, por ende, variación en la población. Después del apareamiento y entrecruzamiento, un miembro de cada par de cromosomas homólogos se mueve hacia extremos opuestos de la célula en una forma aleatoria, de modo que cada extremo contiene mezclas de cromosomas de ambos progenitores. Una pared suele formarse entre los extremos, y la primera división celular da como resultado la formación de dos células hijas. Después de esta división, los cromosomas vuelven a alinearse en el centro de cada una de las dos células hijas. Las dos réplicas de cada cromosoma, que se formaron al principio de la meiosis, se mueven entonces a los extremos opuestos de las células y ocurre otra división celular por medio de una nueva pared. El resultado es que se forman cuatro células gaméticas, cada una con un juego ($1n$) de cromosomas (véase la figura 2.4). Cuando los gametos $1n$ (por lo común de diferentes progenitores) se unen durante la fecundación, el cigoto resultante es diploide ($2n$) y contiene el mismo número de cromosomas que los progenitores, pero con una nueva combinación de genes, la mitad de un progenitor y la otra mitad del otro.

Genes y alelos: interacción génica

Los genes son las unidades funcionales de la herencia. Cada gene puede estar representado en la población por una, dos o más formas alternativas. Cada una de las formas alternativas de un determinado gene se denomina *alelo*. Los alelos tienen el potencial genético para diferentes expresiones de la misma característica. Por ejemplo, uno de los alelos del locus génico que determina el tamaño de la hoja (alelo *A*) podría codificar para hojas grandes, mientras que el otro alelo del mismo gene (alelo *a*) podría codificar para hojas más pequeñas. Puede hacerse una analogía entre los alelos y los diferentes tipos de camionetas. Varias compañías fabrican camionetas. Todas son camionetas y tienen la misma función, aun cuando cada una difiere un poco de las demás en su aspecto. Asimismo, todos los alelos de un locus tienen la misma función, pero pueden provocar una diferente expresión de la misma característica.

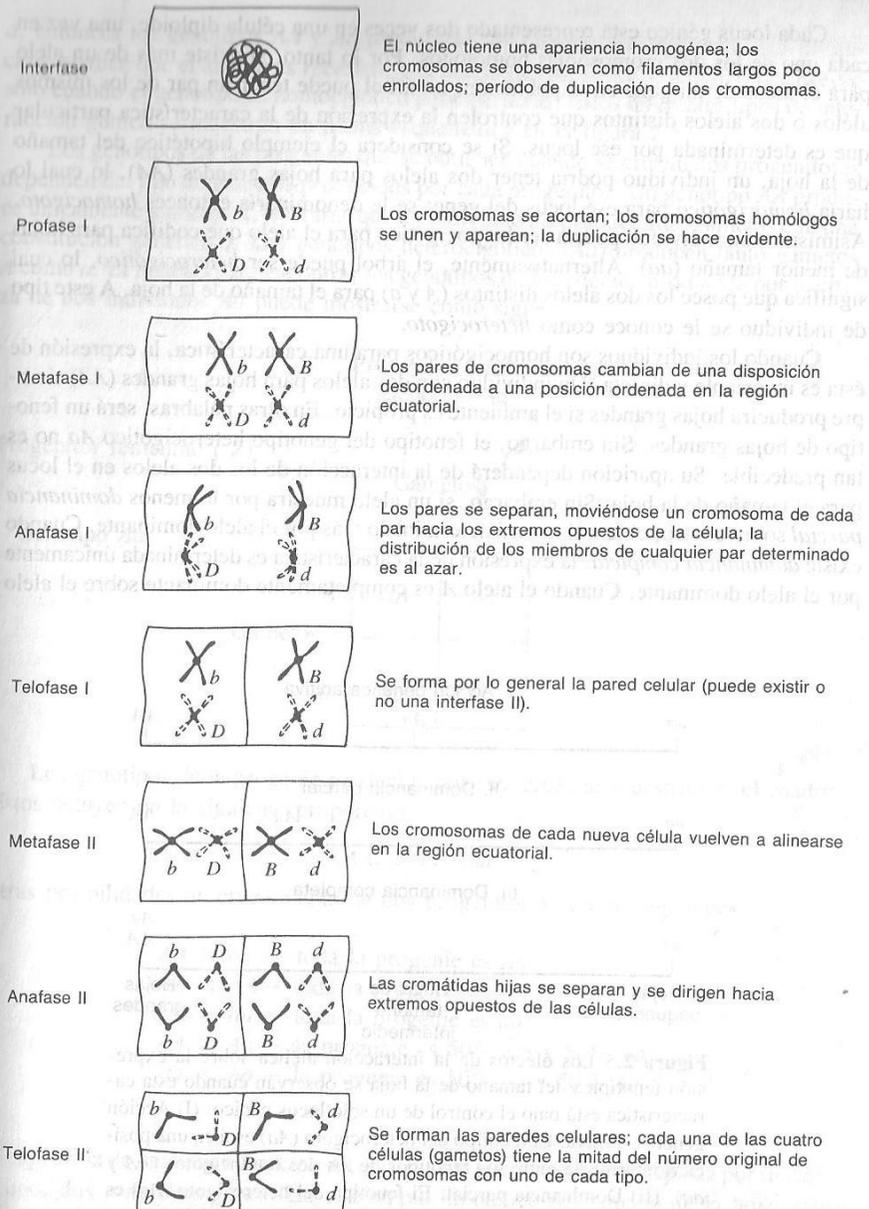


Figura 2.4 La reproducción sexual ocurre a través del proceso denominado meiosis. Éste comprende dos divisiones celulares y resulta en una disminución de los cromosomas del número $2n$ del progenitor al número $1n$ en la célula reproductora (gameto). Véase telofase II.

Cada locus génico está representado dos veces en una célula diploide, una vez en cada uno de los dos cromosomas homólogos. Por lo tanto, si existe más de un alelo para el locus de un gene en la población, un árbol puede tener un par de los mismos alelos o dos alelos distintos que controlen la expresión de la característica particular que es determinada por ese locus. Si se considera el ejemplo hipotético del tamaño de la hoja, un individuo podría tener dos alelos para hojas grandes (*AA*), lo cual lo haría *homocigótico* para ese locus del gene; se le denominaría entonces *homocigoto*. Asimismo, un individuo podría ser homocigótico para el alelo que codifica para hojas de menor tamaño (*aa*). Alternativamente, el árbol puede ser *heterocigótico*, lo cual significa que posee los dos alelos distintos (*A* y *a*) para el tamaño de la hoja. A este tipo de individuo se le conoce como *heterocigoto*.

Cuando los individuos son homocigóticos para una característica, la expresión de ésta es invariable y directa. Un individuo con dos alelos para hojas grandes (*AA*) siempre producirá hojas grandes si el ambiente es propicio. En otras palabras, será un fenotipo de hojas grandes. Sin embargo, el fenotipo del genotipo heterocigótico *Aa* no es tan predecible. Su aparición dependerá de la interacción de los dos alelos en el locus para el tamaño de la hoja. Sin embargo, si un alelo muestra por lo menos *dominancia parcial* sobre el otro, el fenotipo será determinado más por el alelo dominante. Cuando existe *dominancia completa*, la expresión de la característica es determinada únicamente por el alelo dominante. Cuando el alelo *A* es completamente dominante sobre el alelo

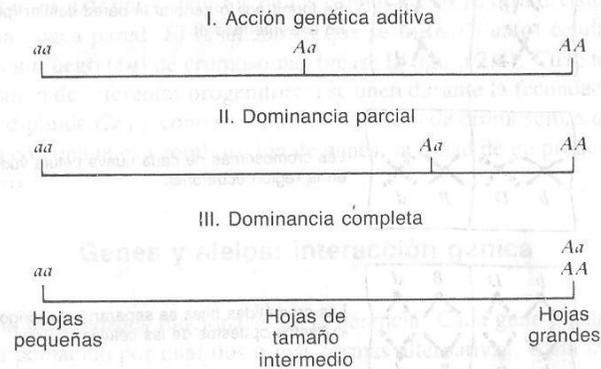


Figura 2.5 Los efectos de la interacción alélica sobre la expresión fenotípica del tamaño de la hoja se observan cuando esta característica está bajo el control de un solo locus génico. (I) Acción genética aditiva. El fenotipo del heterocigoto (*Aa*) está en una posición intermedia entre los fenotipos de los dos homocigotos (*AA* y *aa*). (II) Dominancia parcial. El fenotipo del heterocigoto (*Aa*) es más afectado por un alelo que por el otro, pero ambos alelos tienen algún efecto sobre el fenotipo. (III) Dominancia completa. El fenotipo del heterocigoto es igual al del homocigoto para el alelo dominante.

a, entonces los genotipos *AA* y *Aa* producirán los mismos fenotipos. En este último caso, se dice que el alelo *a* es *recesivo*, y el efecto de éste sobre el fenotipo se observa sólo cuando el genotipo es homocigótico para ese alelo. Estos diferentes tipos de interacción génica se muestran en forma esquemática en la figura 2.5.

Los genotipos de las progenies que se obtienen cuando se cruzan dos progenitores dependen del tipo de gametos producidos por cada progenitor. Un genotipo *AA* produce únicamente gametos *A*, mientras que un individuo *aa* produce sólo gametos con una constitución genética *a*. Los genotipos heterocigóticos (*Aa*) producen tanto gametos *A* como *a*. El método para encontrar los genotipos de la progenie producida por la cruce de dos individuos *Aa* puede mostrarse como sigue:

		Progenitor masculino (σ)	
		Genotipo <i>Aa</i>	
		Gametos	
		<i>A</i>	<i>a</i>
Progenitor femenino (φ)	Genotipo <i>Aa</i>	<i>A</i>	<i>AA</i> <i>Aa</i>
		<i>a</i>	<i>Aa</i> <i>aa</i>

Los genotipos de la progenie producida por esta cruce se muestran en el cuadro. Estos ocurren en la siguiente proporción:

$$1AA: 2 Aa: 1aa$$

Otras posibilidades de cruzamiento de dos progenitores son las siguientes:

- $AA \times aa \rightarrow$ toda la progenie es *Aa*
- $AA \times AA \rightarrow$ toda la progenie es *AA*
- $aa \times aa \rightarrow$ toda la progenie es *aa*
- $AA \times Aa \rightarrow$ la progenie es 50% *AA* y 50% *Aa*
- $aa \times Aa \rightarrow$ la progenie es 50% *aa* y 50% *Aa*

La expresión de cualquier característica particular puede estar determinada por los loci de uno, dos o muchos genes. En el ejemplo hipotético del tamaño de la hoja, ésta era afectada únicamente por un solo locus. Cuando un gene o únicamente unos cuantos genes determinan una característica, se dice que esos genes son *genes mayores* o que tienen efectos mayores. Sin embargo, un concepto más importante es que *la mayoría de las características económicas de los árboles forestales son determinadas por mu-*

chos genes, cada uno de los cuales tiene un pequeño efecto sobre la característica. Por lo tanto, los genetistas forestales rara vez tratan con un locus particular, más bien trabajan con el conocimiento de que la característica representa la culminación de los efectos de muchos genes. Bajo este concepto, cada gene tiene sólo un pequeño efecto sobre el fenotipo, y los efectos del ambiente son por lo general mayores. Los genetistas han desarrollado técnicas especiales para estudiar las características determinadas por muchos genes. Estas características se denominan *características cuantitativas*, y en el capítulo 4 se estudian con detalle.

En secciones subsiguientes de este capítulo, así como en capítulos posteriores, se destaca la importancia de la observación y estimación de la variación dentro de y entre los árboles forestales. Las características se describirán ampliamente, ya que son el resultado de los efectos de muchos genes sobre la apariencia del árbol, y rara vez se hará énfasis en loci individuales; en ocasiones se utiliza el término de *complejo génico*. Sin embargo, es importante recordar que a pesar del número de loci que determinan una característica particular, la herencia en cualquier locus está determinada por los mismos principios que se mencionaron anteriormente en el ejemplo hipotético del tamaño de la hoja.

CAUSAS Y TIPOS DE VARIABILIDAD

Generalidades

Básicamente, todas las diferencias entre los árboles son el resultado de tres factores: los diferentes ambientes en los cuales los árboles crecen, las diferencias genéticas entre los árboles, y las interacciones existentes entre el genotipo de los árboles y los ambientes en los cuales éstos crecen. Algunas variaciones genéticas son predecibles y útiles, mientras que otras son aleatorias y es más difícil que el genetista forestal pueda utilizarlas.

En los árboles forestales existen varias categorías de variación que pueden agruparse ampliamente en especies, orígenes geográficos (procedencias), rodales, sitios, árboles individuales y la variabilidad dentro de árboles individuales (Zobel y colaboradores, 1960b). Todo mundo sabe las diferencias que existen entre las especies, por lo que no se discutirán más aquí. Sin embargo, el conocimiento de la importancia relativa de las otras categorías de variación es fundamental para que un programa de mejoramiento genético forestal sea exitoso. Por ejemplo, se ha encontrado con respecto a las características relacionadas con la supervivencia y la adaptabilidad (como la resistencia al frío) que la variación geográfica suele ser el factor más importante, mientras que en lo que respecta a las características económicas, que obviamente no están relacionadas con la supervivencia (como la rectitud del fuste o el peso específico de la madera), la variabilidad del árbol individual es por lo general el factor preponderante.

Un punto clave, que suele pasarse por alto, es que el estudio de la variación en rodales o plantaciones naturales de los cuales se desconoce el origen, *no dice nada*

acerca del control genético de la característica en cuestión. Todo lo que se ve y se juzga en el bosque es el *fenotipo* del árbol. No es posible determinar qué porción de las diferencias que existen entre los árboles, rodales o procedencias están bajo control genético o ambiental sin antes hacer pruebas genéticas. Ciertamente, es posible hacer deducciones basadas en la magnitud y patrón de la variación, pero la comprobación del control genético requiere pruebas genéticas en las cuales se conozcan las fuentes parentales. Las costosas y tardadas pruebas genéticas constituyen la clave para determinar el tipo y control de la variabilidad existente en una especie, y de esta manera lograr progresos continuos en las actividades del mejoramiento genético forestal.

Variación ambiental

La variación ambiental es entendida por la mayoría de los forestales y su manejo es la base de la mayoría de las actividades silvícolas. Algunos factores ambientales que afectan al crecimiento del árbol pueden controlarse y manipularse, pero con otros no es posible hacerlo así. Procesos como los niveles de densidad y la competencia entre árboles, pueden controlarse mediante el espaciamiento entre las plantas o mediante aclareos. Dentro de ciertos límites, las deficiencias de nutrientes pueden corregirse mediante fertilización, y la humedad del suelo puede modificarse mediante drenaje. En general, la textura del suelo no puede alterarse, pero la preparación del lugar puede cambiar la estructura del suelo en grado considerable. Operaciones como el subsuelo, algunas veces son útiles para crear un ambiente propicio para el mejor desarrollo de la raíz y crecimiento del árbol. La preparación del lugar y los herbicidas suelen utilizarse para reducir la competencia que, si no se controla, disminuye o limita el crecimiento del árbol. Otras variables ambientales como la precipitación, temperatura, acción del viento, profundidad del suelo, aspecto y muchos otros componentes del ambiente de un árbol, son poco afectados por el hombre, pero todas estas fuerzas afectan al fenotipo del árbol. La variación entre los árboles causada por diferencias ambientales no puede utilizarse en un programa de mejoramiento genético y con frecuencia incluso no puede predecirse. Sin embargo, las fuerzas ambientales son la causa más importante de variabilidad en algunas características, especialmente las relacionadas con el crecimiento. La forma y la calidad también pueden ser afectadas notablemente por las diferencias ambientales, pero en general las características de calidad en los árboles forestales tienden a ser ampliamente heredables y menos afectadas por el ambiente que las características de crecimiento.

Aunque en general los forestales no pueden controlar fácilmente el ambiente, con frecuencia es posible desarrollar líneas de árboles que crezcan satisfactoriamente bajo condiciones ambientales adversas. En efecto, casi el único método con que cuenta el forestal para superar las condiciones adversas de temperaturas, precipitación, acción del viento, plagas y otros factores ambientales importantes, es desarrollar líneas de árboles mediante mejoramiento genético, o bien utilizar aquellas encontradas en la naturaleza que sean más tolerantes a los factores adversos.