

**INTRODUCCION A LA CONSERVACION DE LOS  
RECURSOS GENETICOS FORESTALES**

**(Introduction to Conservation of Forest Genetic Resources)**

**NOTA DE CLASE No. A-4**

**H. Keiding y L. Graudal**

**Humlebaek, Dinamarca. Marzo 1989**

**CONTENIDO**

	<b>PAGINA</b>
<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>71</b>
<b>2. CONCEPTOS SOBRE CONSERVACION DE RECURSOS GENETICOS</b>	<b>71</b>
2.1 Recursos genéticos, variación genética y mejoramiento forestal	
2.2 Erosión genética	
2.3 Estrategias para mantener la variabilidad	
<b>3. SELECCION DE ESTRATEGIAS DE CONSERVACION</b>	<b>75</b>
<b>4. LA IDENTIFICACION DE RECURSOS GENETICOS COMO OBJETOS PARA LA CONSERVACION</b>	<b>78</b>
4.1 Especies nativas valiosas	
4.2 Especies exóticas	
4.3 Consideraciones regionales e internacionales	
4.4 Exploración	
<b>5. ESTUDIO DE CASO</b>	<b>81</b>
5.1 <i>Pinus merkusii</i>	
<b>6. LITERATURA SELECCIONADA</b>	<b>82</b>

## 1. INTRODUCCION

La creciente plantación de árboles con diferentes propósitos se ha convertido en una actividad común en los países de las regiones tropicales. Esta representa un medio para disminuir la escasez de madera y la degradación ambiental causada por el efecto combinado del crecimiento de la población y de la presión sobre los bosques naturales.

Para ejecutar los programas de reforestación se requieren grandes cantidades de semillas forestales de especies, procedencias y otras fuentes bien adaptadas y técnicamente mejoradas. Para llenar esta necesidad cada país debe contar con un programa nacional de abastecimiento de semillas, que posea las facilidades técnicas para la recolección, el procesamiento y la distribución de semillas. También, debe contar con una cantidad adecuada de los diferentes tipos de fuentes semilleras, que sean representativas de los recursos genéticos de las especies y procedencias. Los recursos genéticos pueden estar disponibles en diferentes grados de desarrollo, variando desde rodales demarcados y protegidos en bosques naturales hasta huertos semilleros formados por clones seleccionados, tanto de especies nativas como de exóticas.

Es de importancia fundamental asegurar una base genética amplia y diversa, tomando en cuenta que uno de los principales objetivos de un programa nacional de semillas forestales es proveer material bien adaptado a un rango amplio y variable de condiciones ambientales y que, además, dicho material será plantado con muchos propósitos diferentes. Sin embargo, debido de la creciente presión sobre los bosques naturales, las fuentes primarias de material genético están en muchos casos en peligro de desaparecer o quedar reducidas a poblaciones de escaso valor genético. Por lo tanto, se requieren acciones urgentes para proteger y conservar la variación genética existente, con el fin satisfacer, entre otros propósitos, las necesidades futuras de semilla para la plantación de árboles.

## 2. CONCEPTOS SOBRE CONSERVACION DE RECURSOS GENETICOS

La conservación de un recurso se define como las acciones y políticas que aseguren su existencia y disponibilidad continua. El término conservación que se usa con el sentido definido en la Estrategia Mundial para la Conservación es "el manejo del uso humano de los recursos genéticos, de tal forma que puedan brindar los mayores beneficios sostenibles a las generaciones presentes y mantengan su potencial para llenar las necesidades y aspiraciones de las generaciones futuras" (IUCN/UNEP/WWF, 1980).

## 2.1 Recursos genéticos, variación genética y mejoramiento forestal

Los recursos genéticos son "unidades de variación heredable de valor presente o potencial". La variación debe ser heredable y estar disponible en forma tal que pueda, tarde o temprano, dar origen a las generaciones siguientes de árboles (Roche y Dourojeanni, 1984). La variación se refiere a las diferencias en la composición genética que existen entre individuos o entre grupos de individuos (poblaciones). Cuando se toma en cuenta toda la variación entre especies, poblaciones dentro de especies, e individuos, nos estamos refiriendo en un sentido amplio al concepto de "diversidad genética".

El término "recurso" se define como "una existencia o reserva que pueda usarse cuando sea necesario", considerando tanto los recursos actuales como los potenciales. Los primeros son aquellos que están inmediatamente disponibles, como por ejemplo diferentes formas de semillas, mientras los segundos son aquellos que se requiere todavía volverlos disponibles o sobre los cuales no se conoce actualmente su valor genético. La mayoría de las poblaciones de las especies forestales tropicales de uso múltiple se encuentran todavía dentro de esta última categoría (Roche y Dourojeanni, 1984).

Los recursos genéticos se presentan en diferentes formas y grados de desarrollo genético, abarcando reservas de árboles en sus hábitats naturales (bosques naturales), bosques inducidos por el hombre, plantaciones, material mejorado, semillas y polen.

El grado de variación genética depende de la clase de población que se trate. Por ejemplo, existe mayor variación en las poblaciones silvestres que en poblaciones mejoradas altamente seleccionadas. En general, existe una relación directa entre la magnitud de la ganancia genética (en volumen, rectitud, etc.) que se obtiene a través de selección y el grado de variación que existe en la población de la cual se parte. La variación genética se va reduciendo durante la ejecución de un programa de mejora, debido a que en cada etapa se selecciona sólo una proporción de la población, constituida por los mejores individuos para una característica dada. Es importante tener en cuenta en el contexto de la conservación que el mejoramiento de una o varias características se logra a costa de una reducción de la variabilidad genética. Este proceso se ilustra gráficamente en la Figura 1.

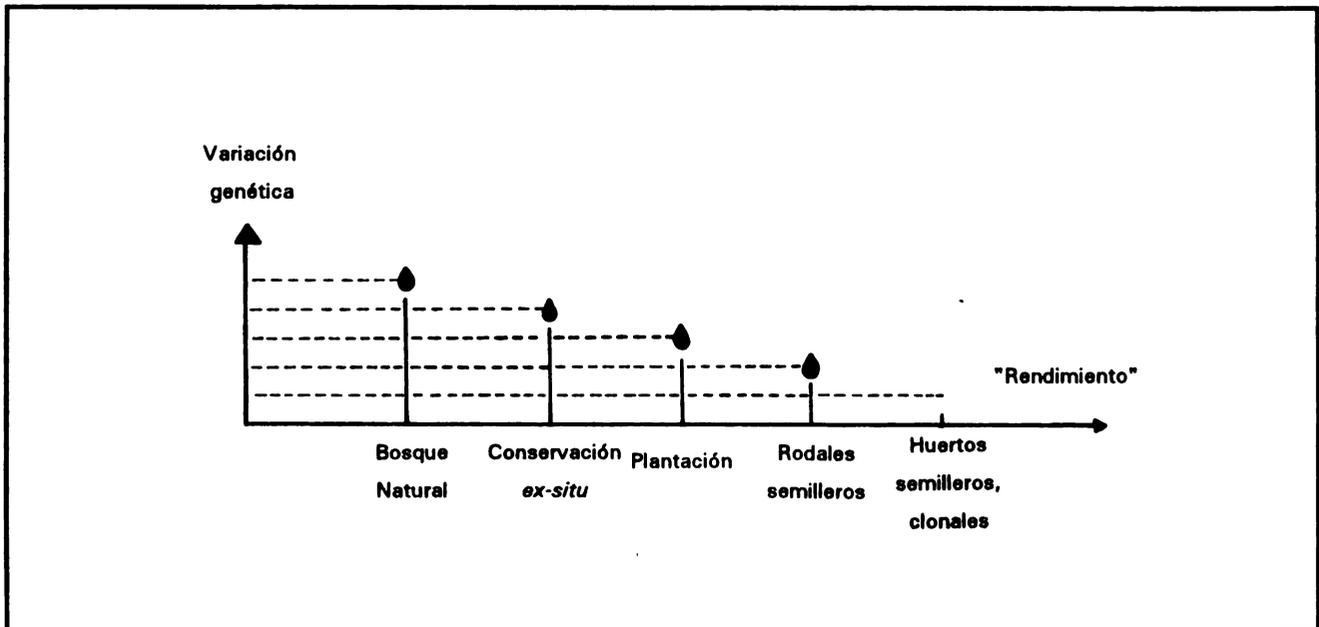


Figura 1. Reducción de la variación genética durante un proceso de mejoramiento forestal

## 2.2 Erosión genética

El concepto "erosión genética" fue aplicado inicialmente a cultivos altamente mejorados, tales como el trigo, el maíz, el arroz, etc., en los cuales se lograron grandes incrementos en la productividad a través de procesos de mejoramiento sistemáticos y combinaciones especiales de una parte limitada del recurso genético. Las líneas altamente mejoradas se expandieron rápidamente reemplazando a cultivares menos productivos pero con mayor variación genética. Como consecuencia, los cultivos fueron más productivos y uniformes, pero al mismo tiempo más vulnerables a ataques de plagas y enfermedades a gran escala. La "resistencia" y la adaptación no se tuvieron suficientemente en cuenta en el esfuerzo por mejorar la producción.

Los agricultores y los fitomejoradores se dieron cuenta entonces de la importancia de conservar los recursos genéticos originales, de los cuales se pueden obtener, por ejemplo, genes para resistencia a enfermedades e incorporarlos en los programas de mejora, reduciendo así el efecto de la erosión genética.

Entonces, ¿cuál es la importancia de la erosión genética en el campo forestal, donde el mejoramiento se encuentra, en general, en una fase introductora o primitiva en comparación con la agricultura ?

En una perspectiva a largo plazo, en el campo forestal también puede ocurrir una reducción de las alternativas genéticas, lo que está favorecido por:

1. Selección de especies y procedencias (fuentes de semilla).
2. Incremento del uso de la propagación vegetativa.

La demanda de especies para plantación es inmediata. La selección de estas especies y las fuentes de germoplasma es afectada por la disponibilidad y por la facilidad de establecimiento. Como consecuencia, sólo unas pocas especies, principalmente de los géneros *Pinus* y *Eucalyptus*, fueron mayormente utilizadas en las primeras plantaciones. El uso de estas especies y la utilización de relativamente pocas fuentes de semilla, se asemeja en principio al caso del uso extensivo los cultivos agrícolas altamente productivos y genéticamente poco variables, con algunas de las mismas consecuencias. Por esta razón, es importante mantener la diversidad de los recursos genéticos de las especies más plantadas, así como de otras especies alternativas. En el caso de estas últimas, es más importante aún si se toma en cuenta la gran cantidad de usos que se les da a los árboles, lo que requiere de un mayor espectro de especies disponibles.

La propagación vegetativa de especies forestales ha sido utilizada para el establecimiento de plantaciones clonales comerciales, especialmente de eucaliptos. El uso de esta tecnología se está extendiendo a otras especies y es especialmente importante en aquellas en las que es difícil obtener o almacenar semilla. Sin embargo, aunque se han obtenido resultados espectaculares (Brasil, Sur Africa, Congo, Colombia), el riesgo de erosión genética aumenta con el uso de la propagación vegetativa. Por esta razón, es aún más importante conservar una base genética amplia.

### **2.3 Estrategias para mantener la variabilidad (extraído de FAO, 1989)**

Los principios para la conservación genética son los mismos para todos los organismos. Sin embargo, las estrategias y las metodologías de conservación varían de acuerdo con los objetivos de conservación y con la distribución y naturaleza biológica del material que se desea conservar.

La conservación de ecosistemas mantiene la variación entre especies y la dinámica de su interdependencia en un ambiente dado y es, *per se*, conservación *in situ*.

Existen dos estrategias básicas para la conservación de las especies y la variación dentro de ellas (poblaciones, individuos, genes):

<i>In situ</i>	Protección y mantenimiento de especies y poblaciones en los ecosistemas en los (en sitio) que ocurren naturalmente.
----------------	---

**Ex situ** Protección y mantenimiento de recursos genéticos fuera de su ambiente natural: (fuera del sitio) plantaciones, material de mejoramiento, rodales semilleros y de conservación, semillas, polen y/o tejidos.

La diferencia básica entre las dos estrategias es que la conservación *in situ* permite que el proceso evolutivo continúe dentro del área de distribución natural.

La conservación *in situ* además, puede incluir regeneración artificial cuando no ha ocurrido una selección consciente y se planta en la misma área donde se recolectó la semilla (FAO, 1985). Desde este punto de vista, la conservación *in situ* de razas locales y material seleccionado también es posible, si se planta en el sitio donde ellos, o sus antecesores, han crecido naturalmente.

### 3. SELECCION DE ESTRATEGIAS DE CONSERVACION (Extracto de FAO, 1989)

Ambas estrategias de conservación (*in situ* y *ex situ*) son importantes y complementarias. Se deben desarrollar en forma paralela y forman parte integral de los programas dirigidos a mejorar el uso del material genético disponible en la naturaleza.

Existen tres dimensiones principales para la conservación: cantidad, calidad y tiempo. La cantidad se refiere al número de ecosistemas, especies, poblaciones, individuos y genes considerados y al "volumen" de germoplasma que está disponible para su utilización. La calidad incluye la composición y distribución alélica, así como las fluctuaciones dentro de la especie y sus poblaciones. La "escala de tiempo de interés" es el periodo proyectado para las actividades de conservación y parte desde la utilización práctica a corto plazo hasta la conservación evolucionaria a largo plazo (evolutionary responsibility) (Frankel y Soulé, 1981). Para la selección de la estrategia se deben considerar las tres dimensiones mencionadas.

La conservación *ex situ* se aplica en situaciones bien definidas:

- Para salvaguardar poblaciones que están en peligro de ser destruidas. Por ejemplo, cuando existe mucha presión sobre una especie muy importante como la caoba (*Swietenia humilis*) o sobre el área en la que crece y además no es posible la protección *in situ*.

- Para conservar poblaciones que están en peligro de sufrir un fuerte deterioro genético. La integridad genética natural se puede contaminar si se plantan en la vecindad especies o poblaciones exóticas que puedan hibridizar. Si fuera deseable preservar el acervo genético natural, la conservación se debe hacer *ex situ*, a través de la recolección de semillas en un tiempo o área donde no exista contaminación con polen, o por propagación vegetativa.

Las colecciones genéticas *ex situ* también pueden responder a otras necesidades:

- a. Para asegurar la disponibilidad real y el abastecimiento continuo de material reproductivo, ya sea a través del almacenaje o por la creación de una fuente productora (rodales semilleros o de conservación) en el área donde se va a usar el material. Esto frecuentemente se realiza donde haya necesidad de utilización inmediata, generalmente a gran escala. El ejemplo clásico se presenta con aquellas especies que son más apreciadas en áreas o países donde han sido introducidas que en sus lugares de origen.
- b. Para permitir mejoramiento comercial de especies mediante actividades de reproducción. El objetivo comercial del mejoramiento es producir un genotipo o conjunto de genotipos que brinden un retorno económico suficientemente mayor o más seguro que el actual. Para lograr este objetivo se reduce la variación genética a través de una selección consciente.

La conservación *ex situ* se aplica generalmente a las especies económicamente más importantes y se complementa, tal como se mencionó antes, con la conservación, especialmente cuando se desea preservar algunos genotipos específicos. Sin embargo, nunca puede reemplazar a la conservación *in situ* totalmente.

La conservación *in situ* presenta una serie de ventajas en comparación con la conservación *ex situ*:

- a. Generalmente conserva una muestra más amplia del recurso, lo que incrementa la probabilidad de conservar un mayor número de genes potencialmente interesantes.
- b. Se adapta especialmente para la conservación de especies que no se pueden establecer o regenerar fuera de su hábitat natural. Estas especies se pueden clasificar en tres grupos:
  1. Especies que pertenecen a la fase clímax de ecosistemas complejos, tal como el bosque húmedo tropical, en donde la interdependencia entre las especies hace que sea muy difícil o imposible plantarlas individualmente como monocultivos.

2. Especies con semillas que tienen un período corto de viabilidad o que presentan dormancia que no puede ser interrumpida por métodos conocidos.
  3. Especies con sistemas sexuales de cruzamiento altamente especializados, que dependen, por ejemplo, de un insecto o ave específica, la cual es a su vez dependiente de los otros componentes del ecosistema.
- c. Permite que continúe la evolución natural. Esto es especialmente importante para conservar especies o poblaciones resistentes a plagas y enfermedades, las cuales co-evolucionan con sus parásitos y representan para los mejoradores una fuente dinámica de material resistente. Esto contrasta con la conservación *ex situ* de material reproductivo en donde ocurre una cierta "especialización" i.e. reducción de la variabilidad genética.
- d. Puede llenar diferentes objetivos al mismo tiempo. Los recursos genéticos de valor para diferentes sectores (mejoramiento de cultivos, forestería, producción de forraje, medicina, vida silvestre, etc.) pueden a veces traslaparse y mantenerse en la misma área.
- e. Facilita la investigación de las especies en su hábitat natural. Por ejemplo, se pueden correlacionar las características morfológicas y ecológicas con la variación genética, lo que permite una mejor evaluación y utilización de la misma. Varias características importantes de especies silvestres se han encontrado estudiándolas en sus hábitats naturales (tolerancia a la salinidad, resistencia a las heladas, etc.).
- f. Se asegura la protección de las especies asociadas. Cuando se conservan especies de valor económico actual en sus ecosistemas naturales, se conservan también, indirectamente, muchas especies subsidiarias, que aunque no tienen valor económico presente, forman parte de la herencia natural del hombre. La contribución de estas especies al funcionamiento y mantenimiento de la productividad a largo plazo de los ecosistemas no se debe ignorar.

En la mayoría de las situaciones se puede decir que la conservación *in situ* es el método ideal para preservar los recursos genéticos de plantas silvestres. La conservación *ex situ* es un valioso método complementario para muchas especies y es la única esperanza para rescatar recursos genéticos amenazados por la pérdida inevitable de sus hábitats naturales (FAO, 1985).

El éxito de las estrategias de conservación (*in situ* y *ex situ*) depende de un control frecuente y una continua actualización y mejoramiento de las técnicas de manejo y de la tecnología aplicada.

Mientras que las técnicas de conservación *ex situ* son bien conocidas, ampliamente utilizadas y desarrolladas, pocas acciones se han llevado a cabo en el campo de la conservación *in situ*, especialmente para mantener la diversidad genética dentro de las especies. Las principales causas de esta situación son las siguientes:

- a. La cooperación intersectorial es limitada, especialmente entre los usuarios finales, tales como los mejoradores de cultivos y árboles y el sector de áreas protegidas y conservación de la naturaleza.
- b. Una alta concentración de esfuerzos de parte de los usuarios en los métodos de conservación *ex situ*.
- c. Un enfoque concentrado solamente en la conservación de ecosistemas y de especies, especialmente de especies amenazadas, por parte del sector de áreas protegidas y conservación de la naturaleza.

#### **4. LA IDENTIFICACION DE RECURSOS GENETICOS COMO OBJETOS PARA CONSERVACION**

Pueden haber muchas razones para conservar ecosistemas, especies y poblaciones, variando desde la intención de proteger especies raras y amenazadas, hasta la protección del ambiente y de los recursos genéticos en general. Generalmente los objetivos están interrelacionados, pero los motivos particulares pueden ser muy específicos, como por ejemplo, la demanda de semilla.

La estimación de las metas de plantación y de las necesidades de semilla es un requisito para iniciar un programa semillero nacional. El paso siguiente es determinar las fuentes de semilla disponibles y sus posibilidades para satisfacer la demanda, tanto en cantidad como en calidad genética. Esta información es útil para definir la necesidad de identificar, proteger y establecer fuentes de semilla adicionales.

A continuación se considerarán varias situaciones y aspectos para definir cuales recursos genéticos conservar:

##### **4.1 Especies nativas valiosas**

Este grupo incluye especies del bosque natural conocidas por su madera u otras características valiosas (combustible, forraje, medicina, etc).

Un aspecto común a estas especies es la vulnerabilidad que presentan en los diferentes tipos de bosques naturales tropicales. Estas especies son miembros de

diferentes tipos de asociaciones arbóreas y su modo de ocurrencia, ya sea dispersas o en grupos, determina en parte la forma en que deben ser protegidas y conservadas, para que estén disponibles para la recolección de semilla y trabajos de mejoramiento.

Con el incremento de la presión sobre el bosque natural y el consecuente riesgo de perder recursos genéticos valiosos, la protección y conservación de los mismos se ha vuelto una tarea urgente en la cual deben estar involucrados la mayoría de los programas semilleros nacionales.

La protección de estos recursos es aún más importante si se toma en cuenta el papel del bosque natural en la conservación de suelos y el manejo del recurso hídrico.

Cuando por una o varias razones se toman medidas de protección y conservación, es necesario decidir cuál estrategia es la más adecuada. En la Sección 3 se presentaron los principios, requisitos y criterios para la selección. Posteriormente se debe definir la forma de manejo de los recursos conservados. Como esto depende en gran parte de la situación específica y de los diferentes objetivos de conservación, se tratará en detalle en un documento separado.

## **4.2 Especies exóticas**

En general, se espera que las especies exóticas continúen jugando un papel importante en los programas de reforestación.

Para asegurar la adaptación y mejoramiento de las especies exóticas, se deben realizar estudios sobre la historia genética del material introducido, así como del que se planea introducir.

Se debe salvaguardar el material genético que ha sido identificado como promisorio en ensayos de especies y procedencias o en evaluaciones de plantaciones. Este material debe estar disponible en rodales semilleros, rodales de conservación, huertos semilleros clonales o de plántulas, jardines clonales para propagación vegetativa, etc, para su utilización en forma continua.

Las implicaciones de conservar una adecuada base genética en programas de mejoramiento se discutirán en otros documentos.

## **4.3 Consideraciones regionales e internacionales**

Muchas de las especies mayormente plantadas tienen una distribución geográfica amplia que no está relacionada con los límites nacionales. Esto aplica, por ejemplo, a muchas de las especies de *Acacia* originarias de Africa o de cualquier otro lugar. Aunque como medida prudente se recomienda el uso de procedencias localmente

adaptadas, se pueden obtener ganancias genéticas considerables con la introducción y evaluación de procedencias de otras partes del área de distribución natural. Esto ha sido demostrado en ensayos de procedencias de muchas especies.

Sin embargo, para identificar y desarrollar la mejor fuente para uso local, se necesitan efectuar exploraciones, recolecciones y evaluaciones a nivel regional o internacional, así como de una adecuada cooperación internacional entre los centros nacionales de semillas y los programas de mejoramiento genético

#### **4.4 Exploración**

En las fases iniciales de identificación de recursos genéticos es necesario explorar el potencial genético de las especies seleccionadas. En esta etapa se necesita cierta información básica sobre las especies de interés:

- a. Distribución y patrones de distribución.
- b. Factores climáticos promedios y rangos de variación.
- c. Suelos y topografía.
- d. Biología reproductiva de flores y frutos.
- e. Características especiales de importancia para la sobrevivencia.

Parte de esta información se obtiene de institutos botánicos, herbarios y registros de clima y vegetación vía satélite, pero tiene que ser complementada por visitas de campo y el conocimiento local.

Sobre la base de la información recolectada, se planea la recolección de semilla. Esta debe diseñarse de tal forma que se logre la mejor muestra posible de la variación genética existente. El material recolectado se evalúa posteriormente en ensayos de procedencias o de procedencias/progenie si los lotes de semilla de cada árbol se mantienen separados. Con respecto a la metodología de recolección (número mínimo de árboles por procedencia, criterios de selección de los árboles, cantidad de semilla por árbol, etc.) refiérase a otros documentos.

En resumen, una parte sustancial del esfuerzo para identificar los recursos genéticos y sus necesidades de protección se invierte en la exploración y recolección de material para los ensayos de procedencias. Esto aplica especialmente a muchas especies nativas, que en su mayoría han sido investigadas a escala limitada y se encuentran, además en un estado de alta vulnerabilidad.

## 5. ESTUDIO DE CASO

### 5.1 *Pinus merkusii*

La especie se presenta naturalmente en todo el suroeste asiático, desde Filipinas hasta Burma e Indonesia, bajo diferentes condiciones climáticas y más o menos en forma aislada. Debido a la importancia de la especie para su utilización industrial, su potencial genético fue explotado, por ejemplo, con la realización de colecciones de procedencias y establecimiento de pruebas (1969 -1973).

Un ecotipo particularmente interesante y valioso fue identificado mediante las pruebas y el origen se remontó al noroeste de Tailandia, donde su condición como recurso genético en su ambiente natural (*in situ*) fue seriamente amenazado. Mediante esfuerzos conjuntos de Tailandia y Dinamarca, algunas áreas mixtas, en donde se encontraba *P. merkussi*, fueron demarcadas y protegidas en 1979.

De esta forma el motivo para conservar fue causado por el interés económico/genético en un ecotipo particular.

Más tarde, el escenario de conservación se extendió a todo el ecosistema en donde tres tipos diferentes de bosques fueron identificados, debiéndose requerir otros sectores además del forestal, para participar en las exploraciones ecológicas y botánicas y para preparar un plan de manejo para la conservación.

La conservación de este ecotipo particular de *P. merkusii*, formó entonces parte de un objetivo mayor para conservación, de donde algunas especies latifoliadas valiosas asociadas con árboles de pino también se beneficiaron. Sin embargo, el plan de manejo tuvo que tomar en consideración, una adición al objetivo de conservación, manteniéndose el aspecto de la producción de semilla y de la conservación del recurso genético de *P. merkusii*.

Con el fin de utilizar el recurso genético mas ampliamente en el establecimiento de plantaciones, fue necesario combinar los métodos de conservación *in situ* y *ex situ*. El primero porque se mantuvo la evolución de la diversidad genética (sección 3) y el segundo porque la producción y recolección de semilla es más fácil y mejor controlada afuera de su área de conservación *in situ*.

De esta forma, la semilla es cosechada de los rodales originales y utilizada para conservación *ex situ* y para rodales semilleros, protegidos adecuadamente de contaminación de fuentes inferiores. La plantación suplementaria dentro de las áreas de conservación, también se llevó a cabo en áreas donde la regeneración natural estaba dispersa.

Aparte de ser importantes objetivos para la recolección de semillas, la conservación de rodales *ex situ* también es útil como una base para selección y mejoramiento.

## 6. LITERATURA SELECCIONADA

- FAO.** 1969-88. Reports of the 6 sessions of the FAO Panel of Experts on Forest Gene Resources, FAO, Rome.
- FAO.** 1973-1988. Forest Genetic Resources Information. No. 1-16. Published by Forest Resources Development Branch, Forest Resources Division, Forestry Department, FAO, Rome.
- FAO.** 1975. The Methodology of Conservation of Forest Genetic Resources. FAO publication. FO: MISC/75/8, Rome (compiled by L. Roche).
- FAO.** 1985. Status of *in situ* conservation of plant genetic resources. Commission on Plant Genetic Resources, First Session. CPGR/85/5. Rome.
- FAO.** 1986. FAO's Tropical Forestry Action Plan. UNASYLVA. Vol. 38. No. 152, pp. 37-64- See: Section 4: Conservation of tropical forest ecosystem.
- FAO.** 1989. Plant Genetic Resources: their conservation in situ for human use.
- Frankel, O.H.; Bennett, E.** 1970. Genetic Resources in Plants - their exploration and conservation. IBP Handbook No. 11. Blackwell Scientific Publ.
- Frankel, O.H.; Soulé, M.E.** 1981. Conservation and Evolution. Cambridge University Press.
- IUCN, UNEP; WWF.** 1980. World Conservation Strategy - Living Resource Conservation for Sustainable Development.
- Lanly, J.P.** 1982. Tropical Forest Resources. FAO Forestry Paper No.30. FAO, Rome.
- Namkoong, G.** 1986. Genetics and the forest of the future. In: UNASYLVA, Vol. 38. No. 152.
- Pearce, G.O.** 1986. How to save the Zambezi teak forests. In: UNASYLVA, Vol. 38. No. 152.

**Roche, L.; Dourojeanni, M.J. 1984. A guide to *in situ* conservation of genetic resources of tropical woody species. FAO-publication FORGEN/MISC/84/2. Rome.**

**UNESCO, UNEP, FAO. 1978. Tropical Forest ecosystems. A state of knowledge report prepared by UNESCO/UNEP/FAO. Published by UNESCO.**

# **LA CONSERVACION GENETICA Y EL MEJORAMIENTO FORESTAL**

**(Gene conservation and tree improvement)**

.

**NOTA DE CLASE No. D-9**

**Recopilado por**

**H. Keiding**

**Humlebaek, Dinamarca. Enero 1991**

## CONTENIDO

	<b>PAGINA</b>
<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>87</b>
<b>2. LOS RECURSOS GENETICOS EN UN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO</b>	<b>88</b>
<b>3. MUESTREO Y SELECCION</b>	<b>89</b>
3.1 Efectos del muestreo sobre la variabilidad genética	
3.2 Heterocigosis y homocigosis	
3.3 Importancia de la heterocigosis	
3.4 Endogamia	
<b>4. LA CONSERVACION DE LOS RECURSOS GENETICOS EN RELACION A LA ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO.</b>	<b>95</b>
4.1 Fuentes semilleras en bosques naturales	
4.2 Establecimiento de rodales semilleros	
4.3 Especies y procedencias introducidas	
4.4 Los ensayos de procedencias como unidades de conservación genética	
<b>5. CONCLUSION</b>	<b>101</b>
<b>6. LITERATURA SELECCIONADA</b>	<b>103</b>
<b>7. GLOSARIO - DEFINICIONES</b>	<b>104</b>
<b>8. ANEXO 1:</b>	<b>107</b>
Proyecto FAO/UNEP sobre la conservación de los recursos genéticos forestales (1108-75-05). Resumen de los rodales de conservación <i>ex situ</i> (1895).	

## 1. INTRODUCCION

El objetivo del mejoramiento genético forestal es aumentar la producción y la calidad de los árboles que se plantan. El concepto "mejoramiento" implica que en cada generación aumenta la proporción de árboles que poseen las características que demandan los usuarios. La tasa de mejoramiento se mide inicialmente con respecto del comportamiento de la población base, la cual puede incluir poblaciones naturales de la especie. Se puede considerar también como una medida de la efectividad de la selección o de la habilidad para eliminar genes indeseables de la población original.

El potencial de mejoramiento o las posibilidades de hacer selección dependen fundamentalmente de la variabilidad genética de la especie, tal como ha evolucionado en la naturaleza.

La variabilidad genética es una expresión de las diferencias genotípicas entre individuos de una población (lo que implica que los individuos tienen genotipos diferentes). En general, entre mayor sea la variación de la constitución genética entre individuos (variación genética más amplia) mayores posibilidades tienen las especies o poblaciones para reproducirse, sobrevivir o adaptarse a los cambios en las condiciones ambientales. Para el mejoramiento forestal este hecho también significa un mayor potencial para seleccionar y desarrollar la composición genética definida para la población meta.

Sin embargo, en los programas de mejoramiento sólo se usa una parte de la variabilidad genética. Los mejoradores forestales tratan de seleccionar y favorecer sólo aquellas combinaciones de genes que convienen a sus propósitos particulares. Este proceso implica una reducción de la variabilidad genética o la pérdida de ciertos genes, lo que puede producir consecuencias serias en términos evolutivos o cambios en los objetivos del mejoramiento. En forma extrema, material altamente productivo y pero genéticamente uniforme y vulnerable, puede reemplazar plantaciones más variables y vigorosas, con el riesgo adicional de desastres a gran escala causados por plagas y enfermedades.

Por lo tanto, tal como ocurre con otros recursos naturales renovables, es necesario considerar la sostenibilidad del potencial genético y del componente conservación del mejoramiento forestal.

A continuación se discuten algunos de los efectos principales al trabajar con poblaciones pequeñas (en comparación con la variabilidad genética total).

## 2. LOS RECURSOS GENETICOS EN UN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO

Un "recurso genético" se define como "una unidad" de variación heredable de valor actual o potencial.

Un "recurso" es una reserva que se puede utilizar cuando sea necesario.

En otras palabras, de una u otra forma las unidades de variación genética deben ser accesibles para que puedan cumplir su función.

Los recursos genéticos pueden tener diferentes niveles de selección o intensidad de mejoramiento y, por lo tanto, diferentes grados de variabilidad genética. Algunos ejemplos de recursos genéticos, en orden decreciente de variabilidad genética, son: bosque natural, rodales de conservación *ex situ*, rodales semilleros manejados, huertos semilleros y plantaciones clonales.

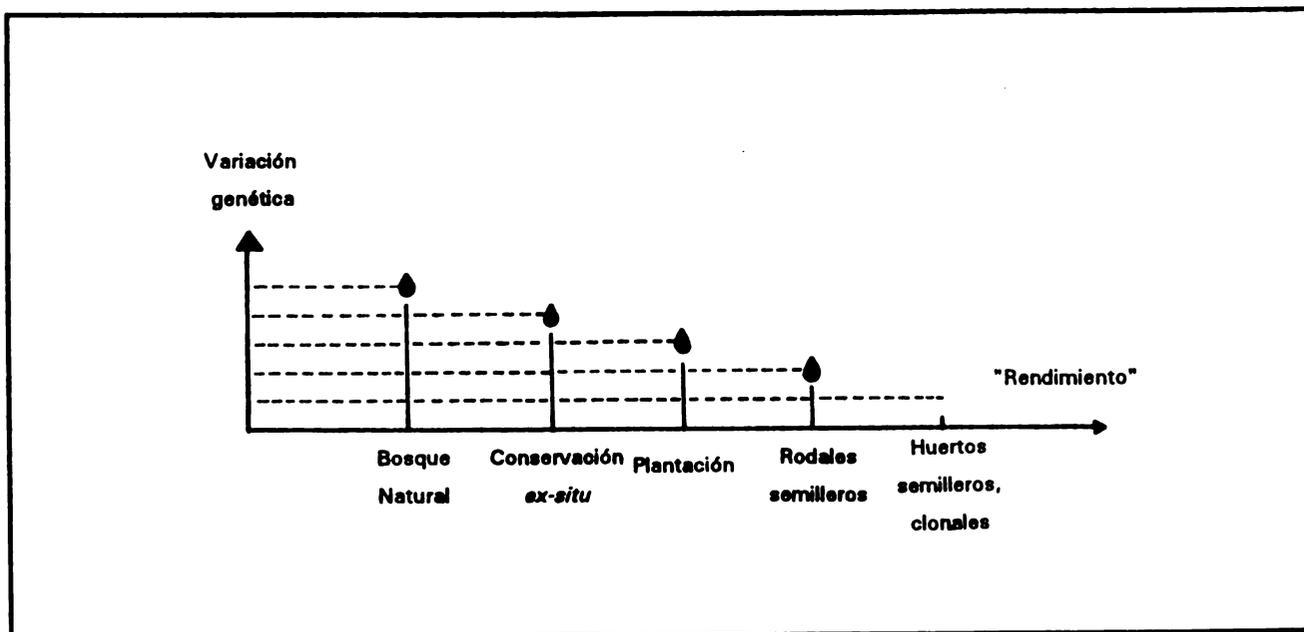


Figura 1. Relación entre "rendimiento" o nivel de mejoramiento y la variación genética de los diferentes recursos genéticos forestales.

La pregunta crucial es entonces: ¿Cuánto de la variabilidad genética original se necesita preservar en programas de mejoramiento a largo plazo, para garantizar suficiente flexibilidad en la utilización del material mejorado?

No existe una respuesta definitiva debido a que las especies tienen estructuras genéticas distintas y reaccionan de manera diferente a la selección y al mejoramiento. Además, el conocimiento de dichas estructuras genéticas, de los sistemas de cruzamiento y de la biología reproductiva en general, es limitada para la mayoría de las especies tropicales.

Sin embargo, algunas de las observaciones y resultados de la genética de poblaciones suministran información sobre las consecuencias de reducir la variabilidad genética como producto del proceso de mejoramiento para propósitos específicos.

### **3. MUESTREO Y SELECCION**

Un programa de mejoramiento genético forestal implícitamente solo trabaja con una parte de la variabilidad genética total: aquella parte que presenta un comportamiento superior con respecto a la características de interés, en comparación con la población base.

Cuando se toman muestras de la población base, la composición genética del material seleccionado es menos variable que aquella de la población base total desarrollada naturalmente. Esto se debe a que ciertas combinaciones genéticas se pueden perder o excluir deliberadamente en la búsqueda de características favorables seleccionadas por el hombre. Este proceso continúa en subsecuentes generaciones de selección y causa una reducción adicional de la variabilidad genética.

#### **3.1 Efectos del muestreo sobre la variabilidad genética**

La teoría de muestreo es de importancia fundamental en el establecimiento y la planificación de un programa de mejoramiento forestal. ¿Cómo combinar la conservación de la diversidad genética con el mejoramiento de las características cuantitativas y cualitativas de los árboles? ¿Cómo muestrear y manipular las poblaciones de mejoramiento en programas con diferentes horizontes de tiempo?

Para responder a estas interrogantes se necesita conocer la estructura genética de las especies, su sistema cruzamiento, su biología reproductiva y el modo de ocurrencia (por ejemplo, áreas óptimas y marginales) para mencionar algunas de las características más importantes. Como se mencionó antes, para la mayoría de las especies forestales tropicales este conocimiento es limitado.

Por este motivo, en este documento se utiliza la experiencia de otros cultivos con estudios más avanzados en genética cuantitativa y genética de poblaciones.

Cuando se toman muestras de las poblaciones base se pueden reducir las frecuencias de algunos genes y sus alelos. Los alelos raros son los que tienen mayor probabilidad de perderse. La magnitud de las pérdidas depende del tamaño de la muestra (número de individuos por muestra) y de su representatividad de las diferentes condiciones ambientales en que ocurre la especie. Existen otros factores que reducen la variabilidad genética en poblaciones pequeñas, tales como el alto grado de parentesco entre los individuos que se incluyen en la muestra y de los cuales se recolecta la semilla. Este aspecto se discutirá posteriormente en el punto 3.3.

Para poblaciones pequeñas y del mismo tamaño, la reducción de la variación genética es más significativa en las generaciones subsiguientes, tal como se ha demostrado para la mosca *Drosophila* (Cuadro 1).

Tamaño de población (N)	Porcentaje de la variación genética que permanece después de 1, 5, 10 y 100 generaciones sucesivas			
	1	5	10	100
2	75	24	6	<<1
6	91.7	65	42	<<1
10	95	77	60	<1
20	97.5	88	78	8
50	99	95	90	36
100	99.5	97.5	95	60

Cuadro 1. Porcentaje de retención de la varianza genética en poblaciones pequeñas de tamaño constante en generaciones sucesivas de la mosca *Drosophila* (Frankel y Soulé, 1981).

El Cuadro 1 muestra también que entre más pequeña sea la población más rápidamente se reduce la varianza genética en generaciones sucesivas.

Se debe mencionar que estos resultados de *Drosophila* son solamente indicativos. En otros animales y plantas se presentan patrones diferentes de disminución de la variación, pero el principio general es el mismo. Si el tamaño de la población aumenta en la segunda y subsiguientes generaciones, la disminución de la

varianza ocurre más lentamente. Además, cuando se trabaja con especies forestales el cambio de generaciones es más lento, por lo que el efecto en la varianza genética tarda mayor tiempo en mostrarse.

Sin embargo, a pesar de las diferencias entre *Drosophila* y los árboles, se debe tener presente el efecto del tamaño de las poblaciones sobre la variabilidad genética, ya que esta es una parte esencial en cualquier programa de mejoramiento.

### 3.2 Heterocigosis y homocigosis

Con el fin de comprender las consecuencias del muestreo y la selección sobre la conservación de la diversidad genética, es necesario examinar los elementos básicos que determinan la expresión de los diferentes caracteres de un ser vivo: los genes y sus alelos.

Para este propósito se cita el siguiente extracto de "The packing of genetic information" (El "almacenamiento" de la información genética) del "Managing Global Genetic Resources. Forest Trees" (Manejo de los Recursos Genéticos Globales. Árboles Forestales).

"Un gen ... es la unidad básica de la herencia y tiene uno o más efectos específicos sobre el organismo ... el término "locus" se refiere a la posición del gen en el cromosoma, y en ocasiones se intercambia su uso con el término "gen" cuando se refiere a regiones ... que influyen una característica.

Las formas alternativas de un gen que se encuentran en el mismo locus se llaman "alelos". Algunos genes tiene muchos alelos, lo que permite múltiples productos de los genes y por tanto, múltiples fenotipos. Por ejemplo, se han identificado alelos múltiples en muchos de los genes que codifican las proteínas de la sangre humana. Las frecuencias alélicas se refieren a la proporción de loci (loci = plural de locus) en la población que son ocupados por cada alelo ...

La mayoría de las especies son diploides, lo que significa que tienen dos copias de cada gen. Si ambas copias son del mismo alelo, se dice que el individuo es homocigoto. Si las dos copias son de alelos diferentes del mismo gen, se dice que el individuo es heterocigoto, para ese locus.

La variación realmente se puede observar a varios niveles: entre especies, entre las categorías principales (raza, subespecie, etc.), dentro de especies, entre poblaciones dentro de las categorías principales y entre individuos. La composición genética del individuo o genotipo, en conjunto con el ambiente en el que se desarrolla ese individuo, determina el fenotipo o las características observables.

Algunas características son controladas por un gen único y se denominan cualitativas ... Sin embargo, muchas son influenciadas por un gran número de genes; estas se denominan características cuantitativas o poligénicas. La acción acumulada de estos genes influye en la expresión de la característica. En este caso, la acción de cada gen particular es pequeña y no se puede aislar su efecto en el fenotipo. Importantes variables relacionadas con la producción, tales como la tasa de crecimiento y la rectitud del fuste, son características poligénicas. Ocasionalmente se detecta un gen "mayor", uno que tiene mayor influencia en la expresión de la característica, no obstante, los otros genes con efectos menores también modifican la característica."

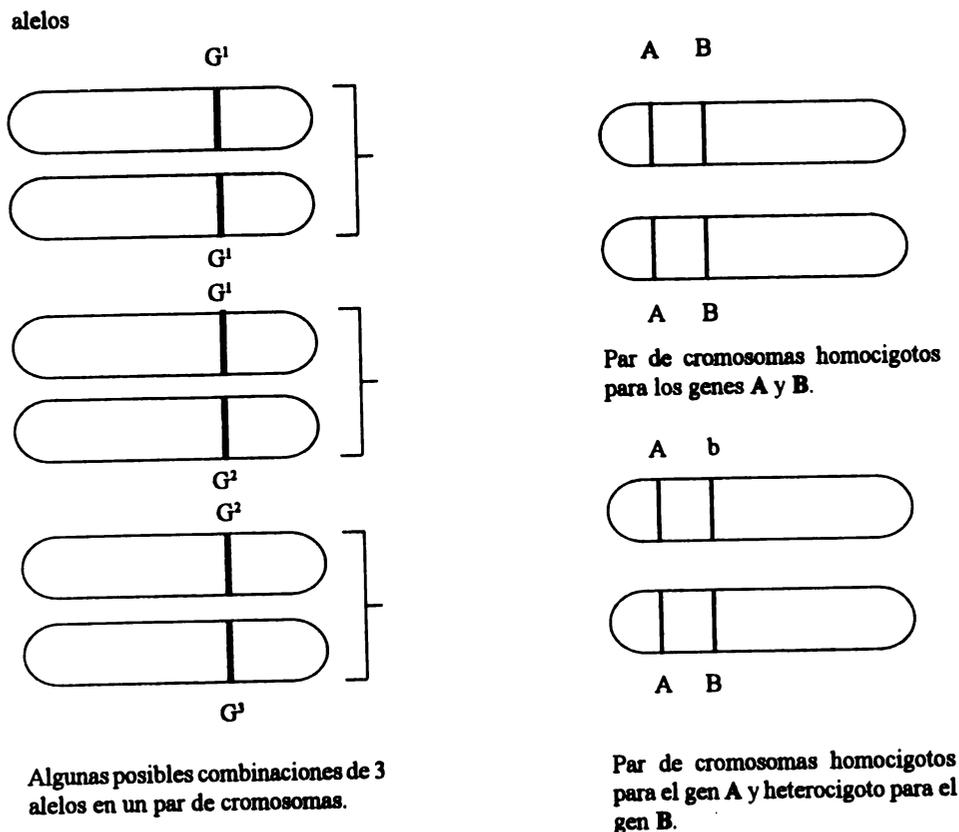


Figura 2. Algunas combinaciones posibles de tres alelos,  $G_1$ ,  $G_2$  y  $G_3$  (izquierda) y el significado de homocigosis y heterocigosis (derecha). Tomado del Diccionario Ilustrado de Botánica de Logman.

### 3.3 Importancia de la heterocigosis

La variabilidad genética se expresa por medio de la heterocigosis por locus. Esta indica la presencia de genes (alelos) dominantes y recesivos en un mismo locus

de un individuo o célula, como se ilustra en la Figura 2. Las formas alternativa con dos alelos iguales, ambos recesivos o dominantes, se denominan homocigotos.

Generalmente, la heterocigosis está asociada a viabilidad o habilidad para reproducirse y es por lo tanto, un aspecto importante a considerar en el muestreo de poblaciones en el contexto de la conservación genética.

"Entre los genetistas y mejoradores existe consenso con respecto a las ventajas de la heterocigosis; existe la creencia, basada en extensos trabajos de laboratorio y campo, que la aptitud (viabilidad, vigor, fecundidad, fertilidad, etc.) es aumentada por la heterocigosis y que cualquier disminución en la variación genética será seguida paralelamente por una disminución de la aptitud. El aumento de la aptitud como consecuencia de la heterocigosis se denomina heterosis, y es virtualmente universal entre animales y plantas domesticadas exógamicas (Frankel y Soulé, 1981).

La homocigosis generalmente tiende a producir una viabilidad menor debido a que los genes recesivos deletéreos están al descubierto, es decir, se presentan en el mismo locus. Los genes deletéreos tienen un efecto negativo sobre la reproducción y las cualidades relacionadas con adaptación y vigor. Por este motivo, los factores que promueven la homocigosis, como por ejemplo la autogamia, se deben mantener al mínimo en el proceso de muestreo y establecimiento de la población de mejoramiento.

### **3.4 Endogamia**

La endogamia se define como el apareamiento de individuos emparentados, o la fusión de gametos en autofertilización, y ocurre cuando hay fertilización entre los miembros de una misma familia (de fratrias o semifratrias) o cuando un individuo es fertilizado por su propio polen. La tasa de endogamia aumenta con el grado de parentesco y se puede expresar como la disminución de la heterocigosis por generación de endogamia. En el caso de la autofertilización, la forma más fuerte de endogamia, la mitad de los loci (no homocigotos) se vuelven homocigotos en cada generación y el coeficiente de endogamia "F" es 0,5.

En la Figura 3 se muestra el efecto de diferentes grados de endogamia expresado como un incremento de la homocigosis.

Tal como se indicó antes, la endogamia puede tener un efecto negativo sobre características importantes en el mejoramiento genético y la conservación de la diversidad genética. Para minimizar el efecto de la endogamia, el grado de parentesco de los individuos de la población base o de mejoramiento se debe mantener lo más reducido posible. En poblaciones naturales, esto se realiza aplicando ciertas reglas para la selección de los árboles progenitores, tanto con respecto a su número como a la distancia entre ellos.

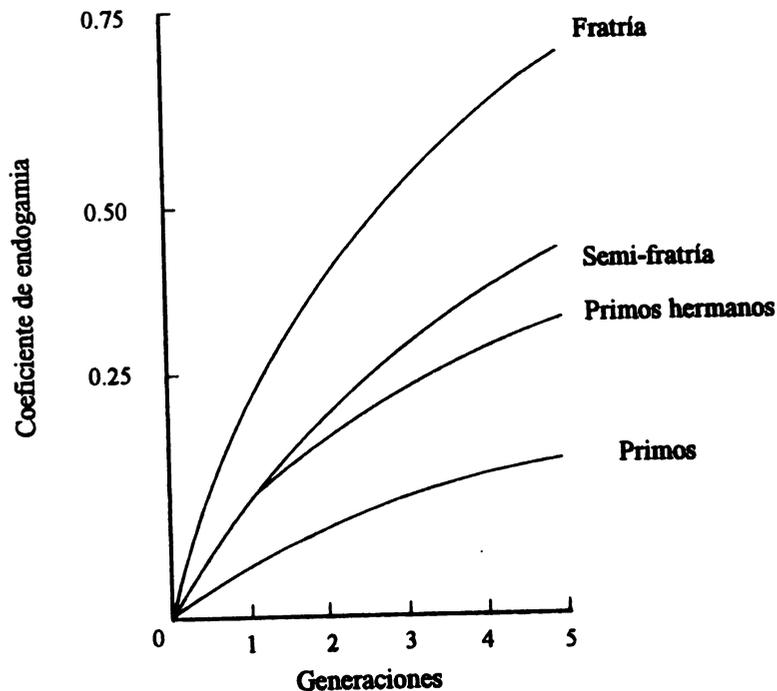


Figura 3. Incremento de la homocigosis por endogamia. De Underwood (1979) citado por Frankel y Solué (1981).

Cuanto más se conozca con respecto a los sistemas de cruzamiento, la forma de ocurrencia (dispersos o en grupos, continuos o discontinuos), y la dispersión de semilla, más posibilidades hay de diseñar un sistema muestreo adecuado. Generalmente, en los países tropicales se recolecta semilla de bosques naturales para establecer rodales semilleros, rodales de conservación *ex situ* y realizar ensayos de procedencias. En este caso se acepta una tasa de endogamia de 1-2% (coeficiente de endogamia  $F = 0.01 - 0.02$ ), cuando se muestrean poblaciones grandes. La justificación de esta "tolerancia" se basa en la experiencia de un amplio número de programas de mejoramiento en los cuales se ha evaluado el tamaño mínimo posible de población para mantener la sobrevivencia y la reproducción. El tamaño de esa población se denomina población mínima efectiva ( $N_e$ ). Se ha estimado que en una población de 50 individuos no emparentados (población efectiva) la endogamia es del 1%. Esta estimación se ha hecho con base en la fórmula  $F = 1/(2N_e)$ .

En silvicultura, especialmente en la investigación de procedencias, se considera que el número mínimo de árboles requerido para representar una población es de 25, con una tasa teórica de endogamia del 2%. Es importante que los árboles semilleros progenitores incluidos en la muestra estén suficientemente distantes para evitar que exista parentesco entre ellos. La distancia mínima adecuada difiere considerablemente de una especie a otra, dependiendo de la capacidad para trasladar polen de los

agentes de polinización (viento, insectos, etc). Los mecanismos para evitar la autofertilización también influyen en este aspecto.

Se debe enfatizar que estas reglas son muy generales. Sin embargo, a menudo son las únicas disponibles con alguna base en genética de poblaciones y se deben usar hasta que se obtenga mayor conocimiento sobre la estructura genética de las especies forestales.

Por otra parte, las nuevas técnicas para estimar el grado de heterocigosis, como la electroforesis empleada en la evaluación sistemática de ensayos de procedencias, están empezando a arrojar más luz sobre la complejidad de la constitución genética de las especies forestales. Existe evidencia de un alto grado de homocigosis en la mayoría de las especies, la cual se podría explicar, en parte, por el inicio comparativamente reciente del mejoramiento forestal.

#### **4. LA CONSERVACION DE LOS RECURSOS GENETICOS EN RELACION A LA ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO.**

Por definición, los recursos genéticos tienen el claro objetivo de poseer un valor actual o potencial para proveer o desarrollar material mejorado. Para garantizar la permanencia de dicho valor y posibilitar su uso continuo, los recursos se deben conservar o preservar.

A pesar de que frecuentemente los términos "conservación" y "preservación" se usan como sinónimos, su significado es un poco diferente.

Se usa el término "conservación" para denotar políticas y programas de retención a largo plazo de comunidades naturales bajo condiciones que permitan su evolución continua. En contraparte el término "preservación" implica el mantenimiento de individuos o grupos, pero no necesariamente en condiciones que permitan su evolución (Frankel y Soulé, 1981).

El recurso genético de las especies domesticadas se encuentra en gran medida, en una situación estática. Como excepción existen los parientes silvestres de los cultivos y las plantas silvestres que usa el hombre, como las especies forestales y de pastizales que se encuentran en comunidades naturales. Algunas variedades locales de ganado también mantienen una situación dinámica. El resto de los recursos genéticos se mantienen "congelados", lo cual en muchos casos es literalmente cierto. Su potencial evolutivo es enorme, pero debe ser aprovechado a través de recombinación, mutación y selección, lo cual está, por supuesto, en manos de los mejoradores de plantas y animales (Frankel y Soulé, 1981).

De esta forma y de acuerdo con lo antes establecido, la conservación del recurso genético en un programa de mejoramiento forestal aplica sólo a fuentes (rodales) semilleras en bosques naturales y rodales de conservación *ex situ*. La inclusión en esta categoría de rodales semilleros selectos establecidos en plantaciones, incluyendo razas locales, y otros tipos de áreas de producción de semillas, en los cuales se da el intercambio libre de gametos, es un asunto de opinión. Cuando se almacena semilla, polen o cultivos de tejidos, los recursos genéticos que contienen son fijos y preservados de esta forma para futuras aplicaciones.

Las siguientes cuatro secciones (4.1-4.4) ilustran la relación que existe entre las estrategias de mejoramiento y la conservación de la variación genética.

#### **4.1 Fuentes semilleras en bosques naturales**

Las poblaciones del rango de distribución natural de una especie contienen la totalidad de su variación genética, tal como ha sido desarrollada por las fuerzas evolutivas. Esta es la base genética a partir de la cual se desarrollan los programas de abastecimiento de semilla y de mejoramiento forestal. Solamente una parte limitada de la base genética total se utiliza en las estrategias de mejoramiento, ya sea por razones técnicas relacionadas con la recolección de semillas o debido a limitaciones de alcance o de tiempo del programa de mejoramiento.

De esta manera, la identificación de rodales semilleros de especies nativas en bosques naturales, práctica común en muchos países tropicales, tiene que tomar en cuenta tanto aspectos de factibilidad técnica (acceso, edad, tamaño, etc) como la representación genética. Esta última puede ser determinada, nuevamente, por las condiciones en que se va a plantar la especie.

En una estrategia de mejoramiento se deben sopesar la "factibilidad técnica" y la "representación genética" de acuerdo a las perspectivas en la escala de tiempo, expectativas de plantación e importancia relativa de la especie. En el corto plazo, se debe hacer énfasis en la accesibilidad y otros aspectos técnicos para la obtención de semilla. También se debe poner atención a las medidas de protección, debido a que muchos rodales naturales son vulnerables, si no es que están amenazados.

En la planificación de un programa de mejoramiento se debe considerar, tan pronto como sea posible, la perspectiva a largo plazo y el mantenimiento de una representación genética más amplia. Entre otras cosas, esto puede implicar una extensa búsqueda (exploración) e identificación de fuentes semilleras.

La demarcación y manejo de unidades semilleras en bosques naturales mixtos corresponde en términos metodológicos a "conservación *in situ*". Aunque este es considerado el método de conservación más adecuado, puede no ser una forma

práctica para la recolección de semillas. La protección de una especie o procedencia puede depender de la interacción con otras especies, es decir, de la conservación, por ejemplo, del ecosistema completo en el cual ocurren. Por este motivo, puede ser necesaria la transferencia del recurso genético a una forma más accesible a través de la plantación de rodales semilleros.

#### **4.2 Establecimiento de rodales semilleros**

Como se mencionó antes, frecuentemente resulta difícil dar una protección continua y producir una cantidad razonable de semillas en rodales semilleros en bosques naturales. Por este motivo, se hace necesario establecer rodales semilleros vía plantación. El método más común es recolectar semillas del rodal natural y plantar un rodal para la producción posterior de semillas. Este procedimiento implica la transferencia del material genético, lo cual se puede considerar una forma de conservación *ex situ* y como tal, involucra una serie de consideraciones genéticas y técnicas, así como su mutua interdependencia.

El método de muestreo que se aplique es de vital importancia, considerando que se debe transferir el máximo de variación genética. Este aspecto ha sido descrito en las Secciones 2 y 3, donde se enfatizó que el número de individuos progenitores no emparentados no debe ser menor de 25 o 50, dependiendo de cuanto se permita como coeficiente de endogamia (2% o 1% respectivamente).

Además del número y el parentesco, otro criterio que a menudo se usa en la selección de árboles madre es su valor fenotípico en términos silviculturales. Esto implica que puede ocurrir una cierta reducción en la diversidad genética. Sin embargo, es dudoso que la selección fenotípica en rodales naturales disetáneos influya mucho en la calidad de la descendencia. Por este motivo, es muy ventajoso realizar este tipo de selección en plantaciones, rodales semilleros o rodales de conservación coetáneos.

Las consideraciones "técnicas" relacionadas con el efecto de las diferencias ambientales entre los rodales semilleros plantados y los rodales naturales sobre la floración y la producción de semilla, igualmente pueden afectar la constitución genética de la descendencia (segunda y siguientes generaciones). Antes de establecer un rodal semillero, resulta de mucha utilidad seleccionar un sitio con condiciones ambientales adecuadas para la producción de semilla. Sin embargo, frecuentemente no se dispone de este conocimiento. Otros aspectos que influyen en la constitución genética de la descendencia son el tamaño y el manejo del rodal semillero. Estos aspectos son tratados más detalladamente por Keiding y Barner (1990). En lo que a manejo se refiere, se debe considerar en forma especial el régimen de raleos, tomando en cuenta que la conservación y el mejoramiento tienen objetivos aparentemente contrapuestos.

La conservación *ex situ* está dirigida a mantener el máximo posible de la variación genética de la fuente original. Por este motivo, los raleos dirigidos a mejorar las condiciones para la floración y producción de semilla (mayor espacio entre árboles) debe ser estrictamente objetiva. Esto implica la aplicación de raleos sistemáticos (por ejemplo, un árbol de por medio en cada fila), sin tomar en cuenta la calidad (vigor, rectitud, producción de semilla) a nivel individual. Cuando la selección natural ha eliminado algunos árboles, el espaciamiento se vuelve irregular y causa algunos problemas en la aplicación de raleos sistemáticos.

Para propósitos de mejoramiento y producción de semilla se puede realizar un raleo "genético" en el que se combina la remoción de los peores fenotipos con un espaciamiento adecuado. La adaptación de un rodal de conservación *ex situ* al lugar donde se establece (primera generación) es causada por la selección natural. La constitución genética del rodal a la edad reproductiva (madura) es diferente a la del momento del establecimiento de plantación. Aunque puede ocurrir alguna pérdida de variabilidad, también puede ocurrir un aumento en la adaptación de las siguientes generaciones.

Los raleos genéticos también pueden aumentar en forma adicional la calidad de la descendencia. En este proceso se debe ponderar la conservación de la máxima variabilidad posible con el mejoramiento en adaptabilidad y calidad.

Los documentos "Identificación, establecimiento y manejo de fuentes semilleras" de Keiding y Barner (1990) y "Rodales semilleros de procedencia y rodales de conservación de procedencia" de Willan (1984) suministran información más amplia sobre este tópico.

#### **4.3 Especies y procedencias introducidas**

Los programas de plantación han utilizado (y todavía utilizan) ampliamente especies exóticas. Inicialmente el principal interés fue la producción industrial de madera, utilizando especies de relativamente pocos géneros (*Eucalyptus*, *Pinus*, *Cupressus* y *Tectona*). Más recientemente, muchas otras especies y géneros se han probado y utilizado. También se han diversificado los objetivos de plantación (agroforestería, barreras de protección, control de erosión, etc.).

La introducción de especies para su utilización a gran escala, debe seguir un procedimiento cuidadoso que incluye ensayos de especies, ensayos combinados de especies y procedencias y ensayos de procedencias de especies promisorias. En algunas ocasiones, después de los ensayos de especies y antes de establecer las plantaciones, se realizan ensayos de crecimiento a mediana escala (plantaciones piloto).

Sin embargo, frecuentemente la introducción de una especie y la subsiguiente plantación a gran escala se basa en una pequeña población de origen desconocido o dudoso. La introducción de teca (*Tectona grandis*) al este y oeste de África y a Trinidad es un buen ejemplo de esta situación. El éxito aparente en crecimiento y rendimiento ha hecho que no se tomen medidas de conservación. Por otra parte, se debe iniciar el mejoramiento de características de calidad mediante la selección de árboles individuales y su establecimiento, vía reproducción vegetativa, en huertos semilleros clonales.

Cuando se formula una estrategia de mejoramiento se debe considerar la introducción y evaluación de nuevas fuentes (procedencias) de un rango amplio de la distribución natural de la especie, lo cual permite aumentar las posibilidades de lograr un mayor nivel de mejoramiento. Por este motivo, se establecen ensayos de procedencias de muchas de las especies exóticas más utilizadas, como medio para aumentar la base genética de mejoramiento. Como ejemplos de esta situación se tienen los ensayos internacionales de procedencias de varias especies de pinos nativos de América Central, de teca, melina del sureste asiático y de varias especies de eucaliptos.

Frecuentemente, se incluyen en los ensayos de procedencias las primeras introducciones como "procedencias locales" o razas locales, tanto fuera como dentro de sus países de domesticación. En muchos ensayos, si no es que en la mayoría, las procedencias locales califican entre las mejores en crecimiento y adaptación, pero presentan desventajas en las características cualitativas. Sin entrar en detalles en este fenómeno, las razas locales no se deben ignorar en las acciones de conservación de los recursos genéticos. Como ejemplo se tienen buenas líneas domesticadas de teca en Tanzania y melina en Brasil.

#### **4.4 Los ensayos de procedencias como unidades de conservación genética**

Cuando algunas procedencias han sido identificadas como promisorias o superiores después de la evaluación de ensayos, su utilización se amplía considerablemente.

Inicialmente se trata de obtener mayores cantidades de semilla de la fuente original para el establecimiento de rodales semilleros o de conservación. Generalmente no existe la certeza de contar con un abastecimiento seguro y continuo de semilla de la fuente original. Si se obtiene o se dispone de un lote "en bulto", se deben establecer rodales semilleros aplicando los mismos procedimientos descritos para especies nativas del bosque natural. El proyecto de conservación *ex situ* de procedencias de *Pinus caribaea*, *P. oocarpa*, *Eucalyptus camaldulensis* y *E. tereticornis*, iniciado en 1975 y coordinado por UNEP y FAO (FAO/UNEP Project on Conservation of Forest Genetic Resources 1108-75-05) es un ejemplo de la integración de esfuerzos para combinar el mejoramiento y la conservación. La causa

para promover un proyecto de conservación *ex situ* a nivel mundial fue el deseo de conservar los genes de las fuentes más valiosas y en alguna medida fuentes amenazadas de estas especies. Su comportamiento fue evaluado en un gran número de ensayos de procedencias distribuidos en las regiones tropicales. Con el propósito de hacer el programa manejable, sólo se incluyeron unas pocas (2-4) procedencias de cada especie. Se realizaron recolecciones "en bulto" de las fuentes originales y se distribuyeron a los países interesados en el establecimiento de rodales de conservación, de acuerdo con ciertos requisitos técnicos de establecimiento, manejo y distribución de semilla.

Como resultado del programa se estableció un gran número de rodales de conservación *ex situ* en Africa y el sureste de Asia, cuyos detalles se brindan en el Anexo 1. Desde el punto de vista del abastecimiento de semillas y mejoramiento forestal, los países participantes obtuvieron sus propias fuentes de semilla y poblaciones base para el mejoramiento, a partir de las cuales se pueden establecer extensos programas de plantación y aumentar la base genética de las procedencias más valiosas.

Se espera que un rodal de conservación de 10 ha con una densidad inicial de 1100-2500 árboles por hectárea (espaciamiento 3x3 m o 2x2 m) transfiera la mayor parte de la variación genética. Con el tiempo y el desarrollo de los árboles, las fuerzas de la selección natural que actúan en el sitio probablemente cambien la composición genética del rodal y su descendencia, la cual se volverá gradualmente más "especializada" o "domesticada". Esto puede ser satisfactorio dentro de un rango estrecho (por ejemplo, para las condiciones locales), pero por otra parte puede reducir la variación genética con respecto a la fuente original, cuya conservación era el objetivo principal programa.

Sin embargo, debido a que cada procedencia se establece en un gran número de sitios con diferentes condiciones ambientales, el recurso genético tendrá una variación muy semejante a la fuente original, si se consideran colectivamente todos los rodales de conservación *ex situ* existentes. Asumiendo que se puede intercambiar libremente semilla de todos los rodales, la comunidad internacional puede todavía disponer de la mayor parte de la variación genética original.

Desafortunadamente, después de que los ensayos de procedencias se evalúan, a menudo resulta difícil, sino imposible, obtener semilla de las fuentes originales. Esto se debe a la desaparición o deterioro de la fuente, a restricciones estatales a la exportación de semilla o a la imposibilidad logística o técnica para su recolección. Por esta razón, se recomienda enfáticamente recolectar y almacenar lotes en "bulto" para conservar las procedencias individuales, paralelamente a la recolección de semilla para ensayos. De hecho, esta práctica se realizó en algunos de los ensayos internacionales de procedencias *Pinus kesiya* 1988-1989. Cuando por cualquier razón no se puede obtener semilla de la fuente original, la población de fundación se

reduce al rodal o parcela establecida (incluyendo bordes) y se deben adoptar medidas para su conservación.

En los ensayos de procedencias las parcelas individuales en el experimento constituyen un recurso genético en sí mismo. Por este motivo, tienen que ser separadas de las otras procedencias del ensayo si se quiere evitar la contaminación con polen de procedencias inferiores o hibridación no intencional. Si se desea aislar una procedencia se puede establecer un huerto semillero de clones no seleccionados a través de la propagación vegetativa de los árboles de esa procedencia que se encuentran en los ensayos. Recientemente se ha utilizado este método en los ensayos internacionales de procedencias de teca y melina.

## 5. CONCLUSION

Dentro del contexto del mejoramiento forestal, la conservación comprende la provisión y protección de una base de variación genética o de un buen número de recursos genéticos, en los cuales se puede aplicar selección para obtener material mejorado.

La "provisión" involucra la búsqueda e identificación de recursos genéticos a través de la exploración (en poblaciones naturales) y el estudio de sistemas de cruzamiento y la estructura genética de las especies individuales. Generalmente, este último aspecto implica el estudio de la variación entre y dentro de poblaciones en ensayos de procedencias. Las técnicas desarrolladas recientemente para estudios de aloenzimas, como la electroforesis, se pueden utilizar más ampliamente para estimar niveles de heterogeneidad.

La "protección" o las medidas de conservación son esenciales para asegurar un abastecimiento constante de variación genética. Esto es aún más importante dentro del mejoramiento puesto que el avance en la selección conlleva a una reducción de la variación genética, tal como se ilustra en la Figura 1. Si se dispone del recurso genético base, se pueden enfrentar los problemas que se presenten en cultivos altamente productivos y genéticamente uniformes, mediante la incorporación de genes que brindan resistencia a plagas y enfermedades. En otras circunstancias, cuando cambian los objetivos del mejoramiento y se requieren nuevas combinaciones genéticas, es necesario disponer de una base genética amplia.

En mejoramiento forestal, la conservación de los recursos genéticos está enfocada hacia especies o poblaciones individuales. En condiciones naturales, éstas se encuentran en asociación con otras especies o constituyen parte de un ecosistema en el cual todos los organismos vivos interactúan entre sí y con el ambiente. De esta manera, el componente de conservación de un programa de mejoramiento

frecuentemente se tiene que considerar en una perspectiva más amplia, por ejemplo, incorporado a una conservación de la naturaleza donde la sostenibilidad de la diversidad de la flora (incluyendo especies arbóreas) y la fauna es el criterio principal. Es probable que esta situación ocurra más frecuentemente en los años venideros como consecuencia de la creciente necesidad de identificar y garantizar fuentes semilleras de especies nativas (Keiding y Barner, 1990).

Por los motivos expuestos, es importante definir claramente los diferentes objetivos de la conservación y desarrollar planes de manejo en los cuales se considere, tanto como sea posible, los diferentes intereses existentes.

Finalmente y considerando la discusión presentada en las secciones anteriores, resulta claro que la conservación efectiva de la variabilidad genética depende del conocimiento de la ocurrencia, modo de reproducción, sistema de cruzamiento, estructura genética y varios otros aspectos relacionados con la biología reproductiva de las especies. Se requiere de la información generada por la ecología, la botánica y la genética para obtener un cuadro completo de los factores que influyen la estructura genética de las especies individuales y su respuesta a la selección y mejoramiento.

En el caso de las especies utilizadas más ampliamente se dispone de parte de este conocimiento. Sin embargo, todavía se requiere de un conocimiento mucho más preciso para la planificación y justificación de la conservación, el mejoramiento y, en consecuencia, para los programas de abastecimiento de semillas.

En ausencia de suficiente conocimiento a nivel de especies individuales, situación común en la mayoría de los programas de mejoramiento y abastecimiento de semillas actuales, se deben observar al menos tres campos importante de acción:

1. Aplicar las reglas (empíricas) básicas y generalmente aceptadas para el muestreo de poblaciones base para el establecimiento de ensayos, áreas semilleras y poblaciones de mejoramiento (Capítulo 3)
2. Describir y registrar las acciones relacionadas con la identificación y establecimiento de áreas de conservación (ver Keiding y Barner, 1990).
3. Implementar, mejorar y apoyar estudios y evaluaciones de los factores relacionados o influyentes en el mantenimiento de la variabilidad genética, por ejemplo, biología reproductiva y sistemas de cruzamiento.

## LITERATURA SELECCIONDA

- Barner, H.; Kelding, H.** 1990. Identification, establishment and management of seed sources. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. Lecture note No.B-2. 36p.
- FAO.** 1974. Proposal for a global programme for improved use of forest genetic resources. FO:MISC/74/15. Rome.
- FAO.** 1985. FAO/UNEP Project on the conservation of forest genetic resources. Final report 5106-75-05/1108-7505.
- FAO.** 1989. Plant genetic resources, their conservation in situ for human use. Issued jointly with IUCN, UNESCO, UNEP. Rome.
- Forest Genetic Resources, Work group.** 1991. Managing global genetic resources: Forest trees. National Academy Press, Washington, D.C.
- Frankel, O.H.; Soulé, M.E.** 1981. Conservation and evolution. Cambridge University Press.
- Keiding, H.** 1991. Genebanking at Danida Forest Seed Centre. *In* International Workshop on ex situ conservation and the Botanical Garden, Copenhagen, May 1990 (En prensa).
- Keiding, H.; Wellendorf, H.; Lauridsen, E.B.** 1986. Evaluation of an international series of Teak provenance trials. Arboretum, Horsholm. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. 81 p.
- Lauridsen, E.B.; Wellendorf, H.; Keiding, H.** 1987. Evaluation of an international series of Gmelina provenance trial. Arboretum, Horsholm. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. 110p.
- Danida Forest Seed Centre.** 1989. Introduction to conservation of Forest Genetic Resources. Compiled by H.Keiding and L.Graudal. Humlebaek, Denmark.
- Schonewald-Cox; et al.** 1983. Genetics and conservation. A reference for managing wild animal and plant populations. The Benjamin/Cummings Publishing company, N.Y.
- Sugden, A.** 1984. Longman illustrated dictionary of botany. Longman, York Press.

- Willan, R.L.** 1984. Provenance seed stands and provenance conservation stands. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Dinamarca. Technical note no.14. 43p.
- Underwood, J.H.** 1979. Human variation and human evolution. Prentice-Hall, Eaglewood cliffs, New Jersey.

## 7. GLOSARIO - DEFINICIONES

**Alelos:** formas alternativas de un gen que se encuentran en el mismo locus. (Ver Figura 2).

**Aloenzima:** Cualquiera de las múltiples formas de una enzima multimérica cuyas subunidades son codificadas por los alelos del mismo gen.

**Sistema de cruzamiento:** término usado para referirse a todas aquellas variables, excluida la mutación, que afectan las relaciones genéticas de los gametos que se unen en la reproducción sexual. Las variables del sistema de cruzamiento son numerosas y frecuentemente no son fáciles de estimar. Se pueden distinguir dos grupos principales: (1) aquellas que afectan la habilidad de gametos particulares para unirse o de los progenitores para aparearse, y (2) aquellas que afectan la probabilidad (de ocurrencia) dentro de los límites establecidos por las del primer grupo. Las variables del grupo (1) conforman una parte del sistema de cruzamiento conocido como el sistema de apareamiento.

El sistema de cruzamiento puede ser un factor esencial en el control de la estructura poblacional y de la divergencia evolucionaria (tasa de evolución).

**Ecotipo:** grupo de plantas dentro de una especie genéticamente adaptadas a un hábitat particular y que presentan al mismo tiempo la capacidad de cruzarse libremente con otros ecotipos de la misma especie.

**Ecosistema:** Un sistema ecológico en el cual los organismos interactúan entre sí y con su ambiente no vivo y en el que existe un ciclo de nutrientes más o menos cerrado.

**Tamaño efectivo de población ( $N_e$ ):** Es el tamaño de una población ideal que tendrá la misma tasa de crecimiento endogámico (o decrecimiento en la diversidad genética) por deriva genética (al azar) que la población real estudiada. El tamaño efectivo de población de una población real es generalmente mucho menor que su tamaño total.

**Electroforesis:** técnica para separar moléculas basada en su movilidad diferencial en un campo eléctrico. Cada tipo de molécula tiene atracción específica a la solución en que se encuentra, así como carga eléctrica, forma y peso molecular específicos. Todas estas características identifican (como huellas digitales) los compuestos que se encuentran en una solución por lo que estos pueden ser separados de otras moléculas, principalmente con base en su carga eléctrica.

**Evolución:** la transformación en forma y modo de existencia de un organismo de manera que los descendientes difieren de sus predecesores. Los cambios evolucionarios son causados por las fuerzas evolutivas primarias que producen y ordenan la variación genética y operan en el espacio y el tiempo.

Las principales causas de la evolución biológica son: (1) **las mutaciones** que suministran la materia prima, (2) **la selección** que convierte esta materia prima en los genotipos biológicamente adaptados que conforman las razas y la especies, (3) **la deriva genética** aleatoria que pueden producir cambios rápidos en las frecuencias génicas en poblaciones pequeñas, (4) el diferencial de **migración y flujo genético** que puede cambiar las frecuencias génicas a través del intercambio de individuos e información genética entre poblaciones, (5) el **aislamiento y anidación** que actúa en una forma similar a la selección como una fuerza que dirige la evolución y evita la mezcla de las "diferenciaciones" que surgen en la población.

**Aptitud:** en genética de poblaciones, medida cuantitativa del éxito reproductivo de un genotipo dado. Por ejemplo, el número promedio de descendientes de un genotipo comparado con el número promedio de otros genotipos competidores (valor adaptativo o valor selectivo). La contribución proporcional de descendientes a la siguiente generación.

**Gameto:** una célula sexual haploide, cuya función es juntarse con un gameto del sexo opuesto para formar un cigoto diploide.

**Variabilidad genética:** la formación de individuos que difieren en el genotipo o la presencia de individuos genéticamente diferentes, en contraposición con las diferencias inducidas por el ambiente, las cuales causan sólo cambios temporales no heredables en el fenotipo. La variación genética es un aspecto universal de la población de mejoramiento y una condición necesaria para el cambio evolutivo. Normalmente se mide mediante el grado de heterocigosis promedio por locus.

**Deriva genética:** (1) Cualquier cambio, directo (deriva regular) o indirecto (deriva aleatoria), en la frecuencia genética de una población. (2) Fluctuaciones irregulares (aleatorias) en las frecuencias génicas de una población de generación a generación debido al tamaño finito de la población (en poblaciones con tamaño "efectivamente" pequeño cuyo tamaño de cruzamiento efectivo se mantiene pequeño o se vuelve pequeño periódicamente) o a intensidades de selección aleatoriamente fluctuantes (deriva genética en el sentido aleatorio únicamente). Estas fluctuaciones en las

frecuencias génicas pueden causar la fijación (aleatoria) de un alelo y la extinción de otro, independientemente de su valor adaptativo. La deriva aleatoria es un factor evolutivo potencial conocido como el "efecto Sewall Wright".

**Genotipo:** la composición alélica de un locus, de varios loci o del conjunto completo de cromosomas de un individuo.

**Coeficiente de endogamia:** la probabilidad de que dos alelos de un locus particular de un individuo sean idénticos por ascendencia.

**Fenotipo:** las características observables de un organismo considerado como el resultado de la interacción entre el genotipo y el ambiente.

Para definiciones y explicaciones adicionales de términos genéticos y biológicos se pueden consultar las siguientes dos publicaciones:

1. Rieger, R., A. Michaelis, M.M. Green. 1991. *Glosario de Genética, clásica y molecular*. 5ta edición, Springer-Verlag.
2. Sugden, A. 1994. *Longman Illustrated Dictionary of Botany*. York Press.

## ANEXO 1

**Proyecto FAO/UNEP sobre la Conservación de los Recursos Genéticos Forestales  
(1108-75-05)**

**Resumen de los rodales de conservación *ex situ* (1985)  
(Area en hectáreas)**

Especies y procedencias	Países										
	Congo	Costa de Marfil	Kenya	Nigeria	Zambia	Tanzania	India	Tailandia	Filipinas	Total	No. de sitios
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>											
Petford				2,6		22,0				24,6	2
Katherine				1,4	8,0					9,4	2
Gibb River								19,9		19,9	1
<i>Eucalyptus tereticornis</i>						8,0				8,0	1
Cooktown	9,1			1,6	19,0					29,7	3
Mt. Garner	9,8			3,0	11,0	8,0				31,8	4
<b>Total Eucaliptos</b>	<b>19,8</b>			<b>8,6</b>	<b>30,0</b>	<b>24,0</b>		<b>41,9</b>		<b>123,4</b>	
<i>Pinus caribaea</i>						7,0					1
Alamicamba (Nicaragua)	16,4	7,0		1,4		19,8	5,0	10,2	10,0	69,8	7
Los Limones (Honduras)	20,0		7,5	8,0		20,0	8,2	12,6	10,0	86,3	7
Poptum (Guatemala)	8,2	8,1					7,2	13,1		36,6	4
<i>Pinus oocarpa</i>											
Bonete (Nicaragua)	20,0			18,4	20,0		9,2			67,6	3
M. P. R. * (Belice)	10,1	9,4		14,7	20,0		10,9	14,9		80,0	6
Yucul * (Nicaragua)	8,2	9,0		30,5	10,0	10,0	4,0	18,7		102,3	7
<b>Total Pinos</b>	<b>94,8</b>	<b>33,5</b>	<b>7,5</b>	<b>73,0</b>	<b>50,0</b>	<b>56,8</b>	<b>44,5</b>	<b>69,5</b>	<b>20,0</b>	<b>449,6</b>	
<b>Gran Total</b>	<b>113,7</b>	<b>33,5</b>	<b>7,5</b>	<b>81,6</b>	<b>80,0</b>	<b>80,8</b>	<b>44,5</b>	<b>111,4</b>	<b>20,0</b>	<b>573,0</b>	

\* Las procedencias M.P.R y Yucul actualmente son consideradas *Pinus tecunumanii*