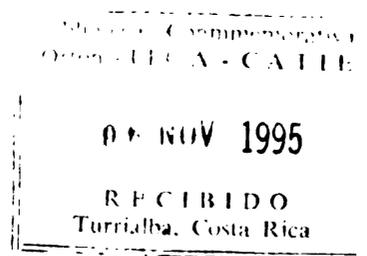


Serie Técnica
Manual Técnico No. 14



MEJORAMIENTO FORESTAL Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES

Tomo II

Compilado y Editado por:
Luis Fernando Jara N.

Danida Forest Seed Centre
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE
Programa Manejo Integrado de Recursos Naturales - MIREN
Proyecto de Semillas Forestales - PROSEFOR

Turrialba, Costa Rica, 1995

CONTENIDO GENERAL

	PAGINA
Prefacio	V
Propagación masiva de material mejorado Nota de clase No. D-7 H. Roulund y K.Olesen	1
Propagación masiva de material mejorado (2) huertos semilleros: conceptos, diseños y papel en el mejoramiento forestal. Nota de clase No. D-8 J. Granhof	19
Estrategias de mejoramiento genético forestal Nota de clase No. D-10 H.Wellendorf	55
Introducción a la conservación de los recursos genéticos forestales Nota de clase No. A-4 H. Keiding y L. Graudal	69
La conservación genética y el mejoramiento forestal Nota de clase No. D-9 H. Keiding	85
Retorno económico del mejoramiento genético forestal en condiciones tropicales y subtropicales. Nota técnica No. 36 R.L. Willan	109

PREFACIO

Este segundo documento relacionado con el mejoramiento genético y la conservación de recursos forestales, constituye una parte de las actividades del Proyecto Semillas Forestales (**PROSEFOR**) del **CATIE**, de su componente de divulgación y disseminación de información técnica. Está orientado principalmente a silvicultores y productores forestales de la región de Centro América y República Dominicana y versa sobre los conceptos y principios básicos y elementales del mejoramiento forestal y sobre algunas técnicas y prácticas de conservación de recursos genéticos forestales.

El libro presentado en dos volúmenes, es el resultado de la traducción y edición de trece notas de clase (**Lecture Notes**) y una nota técnica (**Technical Note**) del Centro de Semillas Forestales del Danida (**Danida Forest Seed Centre**), del Ministerio de Relaciones Exteriores del Gobierno de Dinamarca, la cual se realizó con la aprobación de la Dirección del mencionado Centro.

Las catorce notas de clase fueron agrupadas en dos temas principales: mejoramiento forestal y la conservación de recursos genéticos forestales, con base en temas similares de todo el material editado por el Centro de Semillas Forestales del Danida hasta octubre de 1994. Lo anterior, con el fin de que el lector tenga la oportunidad de revisar y consultar el tema en un sólo documento. Cada nota de clase se presenta en forma separada dando los créditos correspondientes a los autores y al Danida.

El 95% del material es fiel traducción de los documentos originales; la nota de clase A-2 y la nota técnica 36 se fusionaron en una sola, por ser temas muy similares y presentados por el mismo autor. En algunos capítulos y apartes se incluyeron ejemplos e información sobre especies del trópico americano. La traducción general fue realizada por el Ingeniero Forestal Eugenio Corea. La edición técnica estuvo a cargo del Ingeniero Luis Fernando Jara del PROSEFOR-CATIE, los dibujos y gráficos por Sulay Fumero y el levantamiento de textos y la edición final a cargo de Luis Fernando Jara, Julio López y Edith Garita del PROSEFOR - CATIE.

Se desea expresar especial agradecimiento al Centro de Semillas Forestales del Danida, por permitir la traducción y edición de este material, el cual será distribuido y divulgado preferencialmente a los países de la región de habla hispana.

Luis Fernando Jara
Editor Técnico

PROPAGACION MASIVA DE MATERIAL MEJORADO

(Mass propagation of improved material)

NOTA DE CLASE No. D-7

Recopilado por

Hans Roulund y Kirsten Olesen

Humblebaek, Dinamarca. Diciembre 1992

CONTENIDO

	PAGINA
1. INTRODUCCION	3
2. PRODUCCION MASIVA DE MATERIAL NO EVALUADO	3
2.1 Producción masiva de progenies de árboles individuales seleccionados en rodales	
2.2 Huertos semilleros de plántulas sin raleo genético	
2.3 Huertos semilleros clonales sin raleo genético	
3. PRODUCCION MASIVA DE MATERIAL EVALUADO, EL ENFOQUE DE HUERTOS SEMILLEROS	5
3.1 Huertos semilleros de plántulas con raleo genético	
3.2 Huertos semilleros clonales con raleo genético	
4. PRODUCCION MASIVA DE MATERIAL EVALUADO, EL ENFOQUE CLONAL	6
4.1 Envejecimiento	
4.2 Selección, evaluación y propagación	
4.2.1 Consideraciones teóricas	
4.2.2 Selección y propagación de árboles maduros	
4.2.3 Evaluación, selección y propagación sucesivas	
4.3 Efecto clonal	
4.4 Variación genética	
4.5 Variedades multiclonales	
4.6 Propagación masal (en bulto)	
4.7 La técnica de propagación	
4.8 Conclusión	
5. LITERATURA SELECCIONADA	15

1. INTRODUCCION

Un asunto es mejorar especies forestales y documentar la ganancia genética durante una o más generaciones y otro, de importancia similar, es la producción masiva a gran escala de material mejorado para su uso práctico en el establecimiento de plantaciones. Estas actividades pueden ser independientes, pero en mejoramiento forestal generalmente se combinan. En las siguientes secciones se presentarán varios métodos para la producción masiva de material mejorado. Algunos de estos métodos son muy simples y sólo incluyen selección fenotípica, mientras que otros son el resultado de programas intensivos de mejoramiento.

2. PRODUCCION MASIVA DE MATERIAL NO EVALUADO

La reproducción masiva de material seleccionado fenotípicamente y no evaluado es barata y frecuentemente utilizada. En este caso se tiene que confiar en la selección. Esto suena muy riesgoso, pero su uso ha sido justificado por el largo tiempo de evaluación que requieren los ensayos forestales y por la necesidad inmediata de semilla.

2.1 Producción masiva de progenies de árboles individuales seleccionados en rodales

Este método se ha utilizado con algunas variantes en Australia y los Estados Unidos.

Se seleccionan árboles plus de acuerdo a varios criterios. Generalmente se seleccionan en las cercanías de buenos caminos para facilitar la recolección de semilla.

Los árboles se marcan y "mapean" cuidadosamente, en vez de injertarlo y establecerlos en un huerto semillero. Las recolecciones se efectúan en los años semilleros y la semilla se usa directamente y/o se almacena.

Desde el punto de vista del abastecimiento de semillas, la ventaja de este método es que es económico y sólo incluye los costos de recolección. En este caso los costos son un poco más altos que la recolección en rodales corrientes, debido a que los árboles seleccionados se encuentran dispersos.

Las desventajas son varias: la fuente de semilla no es segura debido a que los árboles pueden ser talados o dañados; la ganancia genética es pequeña debido a que

los árboles han sido seleccionados únicamente con base en su fenotipo, lo que no es muy efectivo en caracteres de baja heredabilidad, como el volumen. Los árboles plus son polinizados por otros árboles del rodal, lo que significa que la mitad de los genes contenidos en la semilla tienen un valor igual al promedio del rodal.

2.2 Huertos semilleros de plántulas sin raleo genético.

El establecimiento de huertos semilleros de plántulas es un método simple, relativamente económico y ampliamente utilizado para la producción masiva de material selecto.

La desventaja de huertos establecidos con progenies de polinización abierta es que la ganancia genética es pequeña. Esto se debe primeramente a que sólo se realiza selección fenotípica; segundo porque la mitad de los genes tienen un valor igual al promedio y tercero porque existen restricciones en su diseño para evitar la polinización entre hermanos o entre medio hermanos.

2.3 Huertos semilleros clonales sin raleo genético

Este tipo de huertos se utilizó con frecuencia en los primeros días del mejoramiento genético forestal. Se dio énfasis a la selección de árboles plus y se confiaba mucho en la selección fenotípica. Por este motivo se establecieron huertos con un pequeño número de clones (15 a 20). Con un número tan reducido de clones no es posible realizar una selección fuerte utilizando los resultados de los ensayos de progenie.

Los huertos clonales sin raleo tienen su espaciamiento y diseño final desde el principio. A menudo los propágulos para los injertos se toman de la parte de la copa que produce flores. Por este motivo, estos huertos florecen y producen semilla mucho más temprano que los huertos semilleros de plántulas. La ganancia genética en huertos clonales es el doble que en los huertos de plántulas debido a que los genes provienen todos únicamente de los árboles seleccionados. Aún así, si no se efectúan raleos genéticos la ganancia es todavía moderada.

El concepto general de huertos semilleros y su uso es tratado más detalladamente por Granhof (1991).

3. PRODUCCION MASIVA DE MATERIAL EVALUADO, EL ENFOQUE DE HUERTOS SEMILLEROS

3.1 Huertos semilleros de plántulas con raleo genético.

Este tipo de huertos deben estar acompañados de ensayos de progenie. Generalmente, un ensayo de progenie se debe repetir al menos en cuatro sitios diferentes para obtener un estimado razonable de la capacidad de las progenies para crecer en la variedad de climas y suelos del área de plantación. El huerto semillero en sí puede servir como una repetición del ensayo. Los ensayos de progenie deben establecerse lo más pronto posible y evaluarse antes de cosechar semilla del huerto semillero. El huerto debe ser raleado de tal forma que sólo permanezcan el 20% de las mejores familias.

En cada una de las parcelas que permanecen, se seleccionan los árboles con los mejores fenotipos y se elimina el resto. Este procedimiento implica fuertes restricciones al diseño, para obtener una ganancia razonable, manteniendo un espaciamiento uniforme y una área aceptable de producción de semillas. Las parcelas pequeñas favorecen una mejor distribución.

El siguiente ejemplo ilustra un modelo aceptable:

150 progenies (familias) por bloque
 30 progenies (20%) después del raleo genético
 2 plantas por progenie por parcela (inicial)
 1 planta por progenie después del raleo fenotípico
 Tamaño de parcela 4 x 4 m = 16 m²
 Tamaño de bloque 2600 m²

Un método práctico para realizar los raleos consiste en efectuar primero la selección fenotípica en todas las familias, cuando empieza la competencia entre árboles. Posteriormente, cuando ya se han analizado los ensayos de progenie, se ejecuta el raleo genético.

3.2 Huertos semilleros clonales con raleo genético.

Los huertos semilleros clonales con raleo genético se establecen de manera un tanto similar a los huertos de plántulas. Se considera adecuado empezar con 150 árboles plus. En este caso, debido a que el huerto está formado por clones, no se efectúa selección fenotípica. Por lo tanto, se pueden usar parcelas de un sólo árbol y un tamaño de parcela de 2 x 6 m. Después del raleo genético el espaciamiento

promedio es de aproximadamente 10 x 6 m. Granhof (1991) brinda mayor información sobre este tema

4. PRODUCCION MASIVA DE MATERIAL EVALUADO, EL ENFOQUE CLONAL

La ventaja de la propagación vegetativa de material superior es que los genotipos mejorados se mantienen completamente en los propágulos.

La propagación clonal se ha aplicado con éxito en *Criptomeria japonica*, varias especies de los géneros *Populus*, *Salix* y en algunas tropicales como *Eucalyptus urophylla*, *E. tereticornis*, *Bombacopsis quinata* y *Gmelina arborea*.

Se ha encontrado que las coníferas son difíciles de enraizar y se han desarrollado muchas investigaciones para resolver este problema. Ha habido un interés persistente entre los mejoradores para aprovechar las ventajas de la clonación. Actualmente, varios programas de mejoramiento están fuertemente influenciados por esta nueva posibilidad.

Los principales problemas para resolver son: enraizamiento, envejecimiento, selección, efectos clonales (no genéticos) y evaluación. Varios de estos problemas están fuertemente relacionados e interactúan entre ellos. Estos aspectos se revisan y discuten a continuación.

4.1 Envejecimiento

Este problema juega un papel central en los programas de mejoramiento. Desde el punto de vista de la reproducción sexual, grandes ventajas se pueden obtener si se logra acortar la duración de la fase juvenil (reducir el tiempo necesario para florecer y producir semilla) y realizar así un mayor número de ciclos de mejoramiento en un tiempo dado. Por otra parte, desde el punto de vista de la propagación vegetativa, existen muchos problemas con árboles maduros que prolongan la juvenilidad e incluso la rejuvenilización puede ser mayormente deseable.

Desde hace tiempo se ha observado que en los varios estados del ciclo de vida de los árboles se expresan diferentes características particulares de cada estado. Por otra parte, también se ha reconocido que en un mismo árbol existen zonas con características juveniles y zonas con características adultas.

La edad cronológica se refiere al tiempo que ha pasado desde la germinación, pero no brinda información sobre la fase ontogenética. La edad ontogenética se

refiere al estado de desarrollo. El proceso ontogenético va desde la germinación hasta la completa senilidad. Este proceso frecuentemente se conoce como ciclófisis.

Una plántula no tiene en todas sus partes la misma edad ontogénica. Esta aumenta de la base hacia la punta y de las partes centrales hacia las externas. En las plantas no existe reemplazo continuo de las células como en los animales. Esto explica la paradoja de que las partes más bajas del árbol, que se formaron primero y son más viejas cronológicamente, sean ontogenéticamente más juveniles y que las partes de formación reciente en la punta y la periferia sean ontogenéticamente más maduras. Las partes de la base del tallo de los árboles y de plántulas viejas retienen por largo tiempo muchas características juveniles o las reproducen cuando se forman brotes en su base.

El envejecimiento y los fenómenos relacionados, como la disminución de la capacidad para enraizar, topófisis^{*1} y reducción en el crecimiento, están entre los problemas más serios para usar propágulos vegetativos en mejoramiento.

La velocidad de envejecimiento durante sucesivas "propagaciones" se refleja en crecimiento con apariencia de rama (plagiotropismo) y probablemente en el crecimiento en altura de especies coníferas. Parece que se requiere un periodo mayor para el cambio en la forma en estacas secundarias que en las primarias. También parece que existe una depresión en el crecimiento en altura en estacas terciarias cuando se compara con las secundarias de la misma edad. No parece posible evitar completamente el envejecimiento en propagaciones sucesivas. Todavía no se ha descrito ningún método para prevenir el envejecimiento en coníferas. Se ha sugerido el uso de setos vivos para prevenir o disminuir el envejecimiento. El problema del envejecimiento en especies latifoliadas parece que es menor. Muchas rebrotan de la base y los rebrotes presentan características juveniles.

La meta de lograr rejuvenilización es todavía un asunto de experimentación básica. Sin embargo, en los últimos años se han logrado algunos progresos.

El problema actual se puede formular mediante dos interrogantes relacionadas:

1. ¿ Cuánto es posible retardar el envejecimiento mediante propagación sucesiva o el uso de setos?
2. ¿ De cuántos años se dispone desde la clonación inicial de un individuo hasta su eliminación por envejecimiento?

*1 Es el fenómeno en el que los vástagos, yemas o estacas provenientes de ramas mantienen durante algún tiempo después de propagados vegetativamente los hábitos de crecimiento típicos de rama que tenían cuando eran partes del ortet.

Todavía no es posible responder con precisión a la primera pregunta. Los experimentos con especies del género *Picea* indican que es razonable pensar que en general se puede aceptar una edad ontogenética correspondiente a un ortet de 9-10 años, siempre y cuando algún crecimiento plagiotrópico y reducción en el crecimiento que ocurra a nivel de vivero sea aceptable. En *Pinus radiata* parece que sólo se puede aceptar de 2 a 3 años. Este periodo tan corto sugiere que se puede incluir la capacidad para retener juvenilidad como una característica para seleccionar clones. Este criterio de selección puede reducir en alguna medida la ganancia en producción de volumen.

Los programas que incluyen la propagación "en bulto" de material mejorado están influenciados por las limitaciones que impone el problema del envejecimiento. Un método consiste en seleccionar uno de cada tres árboles (el más alto) en familias o procedencias superiores de 4 años de edad. Otro sistema inicia con la propagación de progenies o procedencias de 3 meses de edad. Luego se plantan los ortets y los ramets en condiciones favorables que permitan seguir propagándolos durante el primer año.

4.2 Selección, evaluación y propagación

4.2.1 Consideraciones teóricas

Desde un punto de vista teórico, es posible obtener mayores ganancias genéticas propagando vegetativamente individuos seleccionados de familias superiores, en vez de usar las familias como un todo. Se puede obtener una selección con efectos aditivos y los individuos pueden ser sobresalientes debido al efecto adicional de dominancia y epistasia. Estos genotipos (combinaciones alélicas) únicos se pierden en la reproducción sexual y puede ser difícil volver a obtenerlos.

Este ha sido el principal argumento de varios programas de mejoramiento que usan propagación vegetativa por estacas. Con mucha frecuencia los procedimientos de selección se describen en términos generales, lo que puede llevar a una sobreestimación de la posible ganancia genética producto de la selección dentro de familia, particularmente cuando las familia son de hermanos completos. En esta situación, a menudo las familias son pequeñas y la varianza genética aditiva es sólo la mitad de una población panmíctica (que cada individuo tiene la misma oportunidad de aparearse con cualquier otro individuo de la población, apareamiento aleatorio). A menos que se esperen grandes ganancias genéticas por medio de selección familiar, la selección masal podría ser casi tan efectiva si se realiza en procedencias bien adaptadas y usando altas intensidades de selección. La selección masal en vivero en procedencias superiores se ha utilizado frecuentemente.

En en otro extremo, la propagación "en bulto" de progenies superiores se ha realizado prácticamente sin ninguna selección dentro de familia.

4.2.2 Selección y propagación de árboles maduros

La experiencia general señala que la precisión en la selección aumenta con la edad de los experimentos de procedencias, progenies o clonales. Sin embargo, la selección masal de árboles maduros para propagación a gran escala ha tenido que ser prácticamente abandonada en muchas especies debido a la topófisis. Desafortunadamente, el fenómeno del envejecimiento y la topófisis en abetos y pinos es tan serio que restringe la selección de clones individuales hasta de una edad de 4-6 años o menos. Esta situación ha llevado a enfrentar el problema de la selección y evaluación tempranas.

El problema del envejecimiento o la topófisis no existe en otras especie como *Criptomeria* y muchas latifoliadas tropicales (*Triplochiton excleroxylon*, *Cordia alliodora*, *Bombacopsis quinata*, *Gmelina arborea*, *Vochysia spp.*, *Cedrela spp.*, *Swietenia spp.*, *Eucalyptus spp.* etc.) que rebrotan satisfactoriamente de la base del tronco. Estos rebrotes tienen características juveniles y generalmente presentan una alta capacidad de enraizamiento. Mediante la aplicación esta técnica se han establecido miles de hectáreas de plantaciones clonales en varios sitios tropicales, principalmente en Suráfrica, Colombia y Brasil.

4.2.3 Evaluación, selección y propagación sucesivas

La mayoría de los programas que utilizan propagación vegetativa masiva mediante estacas, usan como criterio la altura en la primera selección y probablemente también en la segunda. La mayoría de los mejoradores, reconociendo que este carácter tiene una heredabilidad baja, realizan la selección por etapas, efectuando una selección masal de alta intensidad en plantas de cuatro años de edad y selecciones sucesivas basadas en medias clonales a los tres años de edad, obtenidas de ensayos plantados después de la segunda, tercera y cuarta propagación y efectuando la selección final con base en las medias clonales de ensayos de varias edades. En la selección final se pueden utilizar otros criterios como el diámetro, forma del fuste, densidad de la madera, hábitos de ramificación, etc.

Cuando de trabaja con estacas derivadas de la segunda y sucesivas propagaciones, la topófisis y la reducción del crecimiento durante la fase de transición (el periodo de 5 a 15 años de la primera a la última vez que se ha propagado un clon) obviamente van a sesgar los resultados. Por lo tanto, una selección temprana puede ser dudosa. Si el envejecimiento ocurre muy rápido, existe el riesgo de que los resultados de los ensayos no sean válidos para los clones en su fase real de desarrollo.

4.3 Efecto clonal

El efecto clonal es una fuente de variación no genética asociada directamente con los clones. Experimentalmente se ha probado que esta es una importante fuente de variación entre propágulos.

El concepto original estaba restringido a los efectos comunes de los propágulos (ramets) de un ortet, causados por la condición misma del ortet y no por su constitución genética.

En los casos en que los ramets se derivan de varias partes diferentes de la copa de un ortet maduro, la variación asociada con la clonación puede ser tan grande que la variación dentro del clon (intraclonal) puede exceder la variación interclonal de la población. Cuando los ramets se originan de ortets jóvenes, la variación intraclonal y el efecto clonal generalmente son pequeños.

4.4 Variación genética

En agricultura, los clones casi siempre se usan en cultivos monoclonales (de un sólo clon). Con algunas pocas excepciones esta ha sido una práctica exitosa. En silvicultura, se han establecido plantaciones monoclonales con *Criptomeria japonica*, *Hevea brasiliensis* y varias especies de *Populus*. En años recientes, el establecimiento de grandes plantaciones monoclonales de varias especies de *Eucalyptus* también se ha vuelto una práctica común. En este caso se han usado con éxito varios clones superiores (20 a 50) para establecer plantaciones en mosaicos de pequeños bloques monoclonales para evitar los riesgos de una base genética estrecha. Sin embargo, existe la tentación de usar sólo uno o pocos clones (los mejores) para maximizar la productividad. Esta reducción de la variación genética puede causar problemas y producir pérdidas importantes.

El riesgo de disminuir la variación genética en poblaciones artificiales se ha mencionado frecuentemente. Sin embargo, no se debe olvidar que una población con una gran variación genética, como la que se encuentra en poblaciones naturales y en plantaciones derivadas de semilla seleccionada a nivel de procedencia, también está lejos de estar a salvo de catástrofes como las que se teme pueden ocurrir en plantaciones monoclonales.

Cuando la resistencia a alguna plaga o enfermedad está controlada por uno o pocos genes, los agentes patógenos pueden mutar y atacar a las plantas originalmente resistentes. En estos casos, la variación genética puede retardar el desarrollo de líneas mutantes que puedan atacar los clones resistentes.

Una razón biológica de la variación genética es la mayor capacidad de poblaciones altamente variables a adaptarse a cambios climáticos, edáficos y bióticos. Las especies forestales generalmente crecen en suelos muy variables, que no pueden ser artificialmente manejados. Por este motivo, una mezcla de genotipos formando rodales individuales es más estable tanto dentro de una área pequeña como en grandes regiones. Existen pocos estudios sobre interacción genotipo x micrositio, pero se ha observado (y probado) frecuentemente la existencia de interacciones genotipo x macrositio. Esto conlleva a una interrogante central en los programas de mejoramiento: ¿Cual es el número de clones más eficiente en variedades multiclonales? Se dispone de poca información sobre este aspecto. Aunque se han mencionado rangos desde 50-100 hasta 200-2000, en los últimos años se ha recomendado usar mezclas de 10-20 clones.

Kleinschmith (1980) presentó los siguientes argumentos para reducir o no la variación genética de poblaciones artificiales.

Cuando la variación genética es reducida, existe:

Menor riesgo con:

- Plantaciones limitadas
- Ambientes homogéneos
- Posibilidades de manipular el ambiente
- Poblaciones adaptadas
- Amplio conocimiento de plantaciones o ensayos
- Rotaciones cortas (álamos, eucaliptos)
- Conocimiento de correlación juvenil-maduro y parámetros genéticos
- Alta heterocigosis
- Variación clonal
- Población de producción

Mayor riesgo con:

- Plantaciones extensas
- Ambientes heterogéneos
- Sin posibilidades de manipular el ambiente
- Poblaciones exóticas
- Poco conocimiento de plantaciones o ensayos
- Rotaciones largas (muchas latifoliadas)
- Sin información genética básica
- Baja heterocigosis
- Especialización ecotípica
- Población de mejoramiento

4.5 Variedades multiclonales

Las variedades multiclonales se caracterizan por los aspectos siguientes:

- Se basan en la selección y evaluación de clones individuales.
- Contienen un número adecuado de clones para minimizar los riesgos y para optimizar el uso de las diferencias edáficas.
- El periodo de su utilización depende de la tasa de envejecimiento.
- Se puede utilizar la varianza genética no aditiva.
- Se pueden desarrollar fácilmente variedades para regiones específicas.
- Aportan una gran cantidad de información al programa de mejoramiento.

La mayoría de los programas de mejoramiento de coníferas que operan con programas clonales como una posibilidad real, utilizan variedades multiclonales.

4.6 Propagación masal (en bulto)

La propagación masal se caracteriza por:

- Propagación de procedencias o progenies (familias) superiores, sin selección de individuos
- No se evalúan clones individuales
- Gran variación genética
- Altas probabilidades de utilización para producción masiva de híbridos y cruces controlados
- Sin problemas de topósis o envejecimiento
- Sin ganancia genética de la selección dentro de procedencias o familias (por no efectuarla).

La propagación masal (en bulto) en abetos se ha practicado por medio de la tradicional técnica de enraizar estacas de plántulas de cuatro años de edad. Esta segura y bien probada técnica permite producir 10-20 estacas por estaca en *Picea abies*. En *P. mariana* también se ha utilizado una nueva técnica de crecimiento acelerado y propagación repetida de plántula de un año de edad.

4.7 La Técnica de propagación

La propagación vegetativa de muchas especies es descrita por Hartmann y Kester (1983) y Davis, Haissig y Sankhla (1988). Thompson (1992) presenta un resumen de los puntos más importantes:

Normas para el enraizamiento de estacas

Tiempo: Coníferas: use estacas lignificadas del invierno o semilignificadas de mitad del verano (aplica a zonas templadas).

Latifoliadas: use estacas semilignificadas de mitad del verano (aplica a zonas templadas).

Manejo: Se pueden usar estacas basales o distales. Las estacas que no se ponen a enraizar se pueden almacenar en bolsas plásticas hasta por cuatro meses a 0-2°C.

Medio de enraizamiento: Comenzar con una mezcla 1:1 de turba y perlita gruesa (o vermiculita, o gravilla de 5 mm, o corteza molida fina). Si no se obtienen buenos resultados probar una relación 3:1 en condiciones de verano seco y 1:3 para inviernos húmedos. También se puede probar 1:3 para estacas maduras. Se debe usar algún método para mantener el medio uniformemente húmedo.

Hormonas enraizadoras: Probar AIB seguido de ANA o AIB más ANA (relación 2:1), humedeciendo la base de la estaca rápidamente (500 a 10.000 ppm por 5 segundos). Muchas especies enraizan bien sin aplicación de hormonas.

Agua: Comprobar el ph y la conductividad (contenido de sales) del agua que se usa para regar (rociar o nebulizar). Se necesita un análisis completo del agua. Las estacas bajo sistemas de nebulización necesitan irrigación suplementaria.

Fungicidas: Aplicar sólo cuando sea necesario. Usar varios en rotación.

Luz: En el invierno usar niveles bajos de luz natural. Agregar sombra en el verano. Generalmente no se necesita luz suplementaria (16-30 W?).

Temperatura: Mantener el aire fresco (5-25°C). Usar un medio de enraizamiento cálido (20°C).

Regulación del riego: Para regular el rocío o la nebulización se puede usar un "humeostato", un integrador solar o una "hoja electrónica" en lugar de relojes.

Callo: No se debe considerar la aparición de callos como una predicción de enraizamiento.

Con muchas especies tropicales, el enraizamiento de estacas suculentas juveniles (rebrotos de tocón o plántulas) ha dado excelentes resultados (Leakey *et al*, 1990) y en general se obtienen porcentajes mayores que con estacas lignificadas. En condiciones tropicales el uso de arena limpia y colada como medio de enraizamiento y de propagadores con subirrigación que no necesitan agua de cañería ni sistemas eléctricos de riego también a probado ser exitoso con muchas especies.

4.8 Conclusión

Aunque se han logrado muchos avances en la solución de los problemas de la silvicultura clonal, todavía existen aspectos esenciales que no han sido suficientemente explicados.

Sin embargo, los métodos de propagación han sido desarrollados hasta obtener con mucha seguridad porcentajes de enraizamiento de 70-100%, siempre que el material sea juvenil. Para uso práctico esto es suficiente.

Se ha probado que en coníferas el fenómeno del envejecimiento es el problema más serio de la silvicultura clonal y el mayor obstáculo para su uso inmediato a gran escala. Actualmente se conoce y se ha descrito suficientemente bien el fenómeno de la topófisis, así como la importancia de la edad del ortet sobre el enraizamiento. Sin embargo, se necesita un mayor conocimiento sobre la velocidad de envejecimiento de los clones en propagaciones sucesivas. Tampoco se ha investigado suficientemente el envejecimiento en setos vivos de los que se cosechan estacas periódicamente. Para responder estas interrogantes se necesitan varios años, ya que es necesario propagar repetidamente un gran número de clones. El conocimiento disponible indica que el envejecimiento en propagaciones repetidas ocurre con mayor velocidad de la que se esperó inicialmente. Si esto es cierto, entonces resulta peligroso basarse demasiado en la selección temprana de individuos a nivel de procedencia. Esto conlleva también a problemas en la evaluación, debido a que las estacas que se usen para propagación masiva pueden estar en una fase de desarrollo (ontogénico) diferente del material que se usó como material experimental.

El "efecto clonal" tiene una gran importancia en la problemática de la evaluación, debido a que incrementa la variación del error, disminuyendo así la posibilidad de separar los efectos genéticos clonales de otros efectos no genéticos. Si usa material juvenil, el efecto clonal es de menor importancia.

Frecuentemente se menciona el riesgo de una variabilidad genética limitada. Resulta difícil evaluar la magnitud de este riesgo y, por tanto, decidir cuanto se puede reducir la variación genética. El número de clones en una mezcla clonal depende en gran medida de las condiciones y métodos silviculturales, así como de la evaluación subjetiva del mejorador.

Para muchas especies, la propagación por estacas está técnicamente tan avanzada que la propagación "en bulto" se puede recomendar como un método rápido para propagar masivamente material mejorado.

Hoy en día, muchos programas de mejoramiento están en una etapa donde es posible la polinización controlada de individuos seleccionados y evaluados, seguida por la propagación masiva de las progenies. La propagación vegetativa es también

un método útil para producir en grandes cantidades ciertas progenies de huertos semilleros, que de otra manera sólo estarían disponibles en pequeñas cantidades.

Con respecto a las variedades multiclonales, todavía existen algunos problemas que no están suficientemente elucidados. Sin embargo, parece que existen muchas ventajas obvias de las variedades multiclonales basadas en selecciones y evaluaciones sucesivas: rápida disponibilidad de material de varios niveles de mejoramiento, posibilidades de una selección más fuerte, la utilización de combinaciones genéticas específicas, etc. Al mismo tiempo, este sistema contribuye con una gran cantidad de información genética y ayuda a ampliar las poblaciones de mejoramiento, que en muchos casos puede ser muy pequeña. La aplicación de la "clonación" de esta manera puede desempeñar un rol más importante que la simple utilización de la misma como un método de propagación masiva.

Durante los últimos años de investigación se ha acumulado mucha información sobre la "clonación" y su uso en silvicultura. Esta representa una valiosa alternativa para los programas de mejoramiento que se han basado únicamente en huertos semilleros. Su desarrollo ha sido muy importante en muchos programas de mejoramiento.

5. LITERATURA SELECCIONADA

- Armson, K.A.; Pérez de la Garza, J.; Fessenden, R.J. 1975. Rooting cuttings of conifer seedlings. Forestry Chronicle 51:109-110p.**
- Armson, K.A.; Fung, M.; Bunting, W.R. 1980. Operational rooting of black spruce cuttings. Journal of Forestry, 78:341-343p.**
- Davis, T.D., B.E. Haissig; Sankhla, N. 1988. Adventitious root formation in cuttings. Advances in Plant Science Series Vol. 2. Dioscorides Press. Portland, Oregon. 315p.**
- Donald, H.P. 1958. Evidence from twins on variation in growth and production of cattle. Proceedings of the Tenth International Congress on Genetics. 1: 25-235p.**
- Dumas, E.; Monteouis, O. 1990. Régénération in vitro de pin maritimes agé par bourgeonnement adventif sur euphyllés. Annales AFOCEL 1989 - 1990. p.43-58.**
- Fortainer, E.; Jonker, H. 1976. Juvenility and maturity of plants as influenced by their ontogenetical and physiological ageing. Acta Horticulturae 56:37-44p.**

- Granhof, J.** 1991. Seed orchards. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. Lecture note No. D-8. 28p.
- Hartman H.T.; Kester, D.E.** 1983. Plant propagation. Printice-Hall, Inc. 727p.
- Kleinschmit, J.** 1974. A programme for large-scale cutting propagation in Norway spruce. *New Zealand Journ. of For. Sci.* 4:359-366p.
- Kleinschmit, J.** 1975. Considerations regarding breeding programs with norway spruce (*Picea abies* Karst.). - *In* Proceedings of the joint IUFRO meeting S.02.04.1-3, Stockholm. p.41-58.
- Kleinschmit, J.** 1980. Limitations for restriction of the genetic variation. *Silvae Genetica* 28:61-67p.
- Kleinschmit, J.; Müller, W.; Schmidt, J.; Racz, J.** 1973. Entwicklung der stecklingsvermehrung von fichte (*Picea abies* Karst.) zur praxisreife. *Silvae Genetica* 22:4-15p.
- Lepistö M.** 1977. Vegetative propagation by cuttings of *Picea abies* in Finland. *In* Vegetative propagation of forest trees: physiology and practice. Stockholm, Swedish. Univ. of Agric. Sci. p.87-95.
- Leakey R.R.B.; et al.** 1990. Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review.* 69(3):247-257p.
- Lindgren, D.** 1976. Möjligheter och svarigheter med stiklings - skogbruk. Granförädling (Breeding Norway Spruce). *In* Proceedings, Konferens på Roskär, Bogesund, Jan. p.20-21.
- Monteuuis, O.** 1991. Rejuvenation of a 100 year old *Sequoiadendron giganteum* through in vitro meristem culture. I. Organogenic and morphological arguments. *Physiologia Plantarum* 81:111-115p.
- Olesen, P.O.** 1978. On cyclophysis and topophysis. *Silvae Genetica* 27:173-178p.
- Rauter, R.M.** 1974. A short term tree improvement programme through vegetative propagation. *New Zealand Journ. of For. Sci.* 4:373-377p.
- Rauter, R.M.** 1979. Spruce cutting propagation in Canada. *In* Proceedings of the IUFRO joint meeting of working parties on norway spruce provenances and norway spruce breeding. Bucharest, Romania. p.158-167.

- Roulund, H. 1974.** Comparative study of characteristics of seedlings and clonal cuttings, *New Zealand Journ. of For. Sci.* 4:378-386p.
- Roulund, H. 1977.** A comparison of seedlings and clonal cuttings of Norway spruce (*Picea abies*, L.Karst). *Forest Tree Improvement, Arboretet, Horsholm*, 10, 1-26p.
- Roulund, H. 1978.** A comparison of seedlings and clonal cuttings of Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr. *Silvae Genetica*, 27:104-108p.
- Roulund, H. 1979.** Topophysis studies on cuttings of Norway spruce. *In* Proceedings of the IUFRO joint meeting of working parties on Norway spruce provenances and Norway spruce breeding. Bucharest, Romania. p.174-185.
- Schaffalitzky de M., M. 1959.** Investigations on ageing of apical meristems in woody plants and its importance in silviculture. *Forstl. Forsgsvaesen y Danmark.* 25:307-455p.
- Schreiner, E. 1939.** The possibilities of the clone in forestry. *Journal of Forestry* 37:61-62p.
- Thompson, D.G. 1992.** Current state-of-the-art of rooting cuttings and view to the future. Proceedings from the AFOCEL-IUFRO Symposium on Mass Production Technology for Genetically Improved Fast Growing Forest Tree Species. Bordeaux 1992.
- Wellendorf, H.; M. Werner; Roulund, H. 1986.** Delineation of breeding zones and efficiency of late and early selection within and between breeding zones. *Forest Tree Improvement, Arboretet, Horsholm.* 19:1-53p.
- Werner, M. 1980.** The use of Norway spruce cuttings in swedish forestry. *Sveriges skogvardsförbunds Tidsskr.* 2: 128-132p.
- Wright, J.W. 1976.** Introduction to Forest Genetics. Academic Press, New York. 463 p.

**PROPAGACION MASIVA DE MATERIAL MEJORADO (2) HUERTOS
SEMILLEROS: CONCEPTOS, DISEÑOS Y PAPEL EN EL
MEJORAMIENTO FORESTAL**

**(Mass production of improved material (2) Seed orchards:
Concepts, design and role in tree improvement)**

NOTA DE CLASE No. D-8

Recopilado por

Jens Granhof

Humblebaek, Dinamarca. Noviembre 1991

CONTENIDO

	PAGINA
1. INTRODUCCION	21
2. DEFINICION	22
3. TIPOS DE HUERTO	23
3.1 Según tipo de material plantado	
3.2 Según el objetivo del huerto	
3.3 Según la función principal del huerto	
4. GENERACIONES DE HUERTOS SEMILLEROS	28
5. EVALUACION Y APROBACION DE HUERTOS	28
6. PLANIFICACION	30
7. LOCALIZACION (UBICACION)	33
8. DISEÑO Y COMPOSICION	37
9. ESTABLECIMIENTO	40
10. MANEJO	42
11. CONCLUSION	47
12. LITERATURA SELECCIONADA	47
ANEXOS	50
1. Desarrollo de huertos semilleros clonales.	
2. Desarrollo de huertos semilleros de plántulas.	
3. Desarrollo de poblaciones de mejoramiento y producción de semillas por selección recurrente en una subpoblación con floración y propagación vegetativa fácil.	
4. Programa de huertos semilleros de poblaciones múltiples	

1. INTRODUCCION

El abastecimiento insuficiente de semillas de especies apropiadas a menudo se considera uno de los "cuellos de botella" más importantes para el desarrollo de programas de plantación. En los últimos años, esto se ha reflejado claramente en el crecimiento del número de "Proyectos de Centros de Semillas" establecidos o que están en preparación.

El costo de la semilla significa sólo una pequeña proporción del costo total de establecimiento y manejo de una plantación. Por otra parte, la calidad de la semilla, especialmente su componente genético, tiene un gran impacto sobre los beneficios que se obtienen de las plantaciones forestales.

Existen muchas razones para hacer los esfuerzos necesarios para asegurar una producción de semilla de buena calidad, en cantidades suficientes para garantizar un abastecimiento estable de plantas bien adaptadas y genéticamente deseables.

El uso de huertos semilleros es un medio para lograr la producción masiva de material mejorado. Otro método que está surgiendo con mucho potencial es el uso de material propagado vegetativamente (injertos, estacas o cultivo de tejidos). En muchos casos, sin embargo, la semilla continuará siendo la fuente primaria de material para plantaciones, especialmente con especies que tienen limitaciones para la propagación vegetativa.

El huerto semillero ha sido el principal medio para hacer efectivas las ganancias genéticas que se obtienen como resultado del esfuerzo combinado de los programas de selección y mejoramiento.

Hasta ahora, la mayor parte de la experiencia con huertos semilleros se circunscribe a coníferas, especialmente pinos. A nivel de latifoliadas tropicales, los programas de mejoramiento con teca (India, Tailandia, Papua Nueva Guinea, Nigeria) y melina (Malasia, Nigeria, Colombia) incluyen huertos semilleros. Con el creciente interés en *Eucalyptus* en muchos países tropicales y subtropicales, la experiencia está aumentando con el avance de los programas de mejoramiento de por ejemplo, *Eucalyptus grandis*, *E. regnans*, *E. tereticornis*, y *E. camaldulensis*.

Con el creciente interés en muchos países tropicales por sus maderas valiosas, las cuales han estado disminuyendo (*Pterocarpus*, *Dalbergia*, *Afselia*, *Bombacopsis*, *Cedrela*, *Swietenia*, *Cordia*, *Albizzia*, etc.), en la próxima década indudablemente habrá un énfasis mayor en estas especies, incluyendo el establecimiento de huertos semilleros.

2. DEFINICION

Inicialmente (antes de 1956), el concepto de huerto semillero estaba ligado a la producción de semillas en plantaciones ordinarias. Los primeros intentos por establecer algún tipo de diferenciación relacionaron el término "huerto" con plantaciones establecidas usando material proveniente de polinización controlada y/o seleccionado para mejoramiento genético.

Zobel *et al.* (1958) concibieron una definición que se ha usado ampliamente desde entonces: "Un huerto semillero es una plantación de árboles genéticamente superiores, aislada para reducir la polinización proveniente de fuentes externas genéticamente inferiores, intensivamente manejada para producir cosechas de semillas frecuentes, abundantes y fácilmente recolectables. Se establece mediante clones (como injertos o estacas) o plántulas de árboles seleccionados por sus características deseables". La importancia del mejoramiento genético así como la documentación de origen de la semilla es claramente manifiesta en esta definición.

Menos rigurosa es la clasificación de la OECD (1974): "Un huerto semillero es una plantación de clones o progenies seleccionadas, aislada o manejada para evitar o reducir la polinización proveniente de fuentes externas, manejada para producir cosechas de semillas frecuentes, abundantes y fácilmente recolectables". Esta definición permite mantener la condición de huerto donde se necesita la mera producción de semillas en grandes cantidades, sin implicar necesariamente alguna superioridad genética de los árboles del huerto.

La diferencia fundamental entre las dos definiciones radica en el grado de evaluación que se requiere:

Concepto Zobel: Huerto compuesto por árboles seleccionados y evaluados, que han demostrado superioridad.

Concepto OECD: Huerto compuesto por árboles seleccionados, pero no necesariamente evaluados.

3. TIPOS DE HUERTO

3.1 Según tipo de material plantado

De acuerdo a este criterio, los huertos semilleros se pueden dividir en tres grupos principales: huertos semilleros clonales (HSC), huertos semilleros de plántulas (HSP) y huertos semilleros de plántulas extensivos (HSPE).

a) Huertos Semilleros Clonales (HSC) (Anexo 1)

Huertos plantados usando material vegetativo (injertos, estacas o plantas derivadas de cultivo de tejidos) de fenotipos seleccionados (árboles plus), establecidos en áreas con buen aislamiento, bajo condiciones favorables para la floración y para la fertilización de las flores y manejadas para la máxima producción de semilla. Es indispensable mantener cuidadosamente la identidad de cada ramet (miembro de un clon) por medio de etiquetas y mapas.

Una característica de los huertos clonales es que se busca maximizar la producción de semilla dando énfasis al desarrollo de las copas, lo que se logra mediante un espaciamiento amplio. Por este motivo, características silviculturales deseables tales como fuste recto, limpio y con ramas finas, las cuales son importantes en los bosques o plantaciones de producción de madera y que a su vez son válidas para la selección de los clones que se incluyen en el huerto, no son un criterio válido de manejo de los huertos semilleros. Por otra parte, frecuentemente se utiliza material de la copa (yemas, estacas) para generar los ramets, el cual es ontogenéticamente maduro. Los individuos producidos a partir de dicho material también presentan características maduras por lo que ramifican y florecen rápidamente. Por ejemplo, en los huertos semilleros clonales de *Bombacopsis quinata* (pochote) establecidos en Costa Rica, los ramets presentan fustes cortos y ramificación temprana, amplia y abundante. En este sentido, estos árboles parecen más una sección de la copa de un árbol adulto que un árbol normal desarrollado a partir de semilla.

El establecimiento de un huerto semillero clonal debe estar precedido, o al menos seguido lo antes posible, por el establecimiento de pruebas de progenie.

El método de establecimiento de HSCs más comúnmente utilizado es mediante injertos (Zobel y Talbert, 1984). La mayor desventaja de los huertos clonales injertados es el laborioso trabajo que involucra la recolección de yemas y la injertación, el mantenimiento de ramets saludables antes de plantarlos y problemas de incompatibilidad^{*} entre el patrón y el injerto, los cuales pueden aparecer varios

* Incompatibilidad: el tejido del patrón rechaza el tejido del injerto implantado en él.

años después del establecimiento. En algunos casos se han usado estacas y el cultivo de tejidos está surgiendo como una posibilidad. Con respecto a este último método, con el tiempo se podrían desarrollar problemas de falta de balance y deformación de raíces, así como de floración (Zobel y Talbert, 1984).

La correcta programación y secuencia del establecimiento de los clones es crucial para el éxito (ver sección sobre establecimiento). Una gran variación de tamaño entre los ramets de un clon es inconveniente, pero no siempre se puede evitar.

b) Huertos Semilleros de Plántulas (HSP) (Anexo 2)

Huertos establecidos usando progenies de polinización controlada o abierta de fenotipos seleccionados, a espaciamiento normal de plantación. El aislamiento y las otras condiciones son como en los huertos clonales. La identidad de las familias se mantiene para poder realizar raleos (aclareos genéticos) entre ellas, basados en la estimación de su valor genético y entre individuos dentro de familias con base en su fenotipo. Este raleo se debe realizar antes de que inicie la producción/recolección abundante de semillas. El diseño del huerto es de gran importancia para la realización de los raleos.

Cuanta mayor sea la intensidad de selección y raleo aplicada entre y dentro de familias en un HSP, el valor genético de la semilla producida será más apropiado para la zona (sitio). La intensidad de selección que se pueda aplicar depende del número de familias y del número de árboles por familia, así como del diseño inicial del huerto.

Una desventaja de los HSP es que su formación y futura calidad se basa en la selección temprana, a una edad cuando la correlación juvenil-maduro puede todavía ser baja (Toda, 1974). Estos huertos tardan por lo general más tiempo en florecer y alcanzar una producción completa de semillas.

En general, se acepta que sólo en circunstancias especiales los huertos de plántulas podrían ser preferibles a los clonales (Barret, 1985), por ejemplo:

1. Cuando existen problemas severos con la calidad de los ramets, debido por ejemplo, a incompatibilidad en injertos o deformación de las raíces en estacas.
2. Cuando el huerto incluye un gran número de fenotipos (árboles seleccionados), por ejemplo más de 100.
3. En especies con floración temprana, como los eucaliptos, acacias y pinos tropicales.

Los HSP en los que se mantiene la identidad familiar son un tanto difíciles de manejar, debido a que se requiere que exista balance entre: a) la necesidad de que los árboles crezcan por varios años a densidades similares a las de plantaciones normales, para evaluar adecuadamente su comportamiento a nivel familiar e individual y b) la necesidad de raleos tempranos suficientemente fuertes para mantener una copa profunda adecuada para una buena producción de semillas (Eldridge, 1986).

Es importante que los resultados de selección en los huertos semilleros de plántulas se refieran exclusivamente al ambiente específico en el cual están plantados, a menos que se complementen con pruebas de progenie en otros sitios, lo que brinda información adicional sobre el comportamiento de las familias en un rango ambiental más amplio.

c) Huertos Semilleros de Plántulas Extensivos (HSPE)

Nikles *et al.* (1984) definió este tipo de huertos como: Rodales establecidos utilizando una mezcla balanceada de semilla de por lo menos 60 buenos progenitores (preferiblemente de una habilidad combinatoria general superior probada) y raleados gradualmente. Se debe asegurar la máxima sobrevivencia en el campo.

En el establecimiento de un HSPE, la identidad de cada familia se debe mantener durante toda la recolección y la fase de vivero. Esto permite formar un lote de plántulas balanceado con igual representación de todas las familias. Sin embargo, en el campo no se retiene la identidad familiar y subsecuentemente los raleos son puramente silviculturales. Los HSPE se están usando cada vez más cuando el número de familias es grande. La pérdida de la identidad familiar es la diferencia con respecto a los HSP normales y puede ser una desventaja seria. Los HSPE no son adecuados para usarlos como huertos para cruzamiento, puesto que es imposible reconocer, y por lo tanto evitar, la sobre-representación de ciertas familias en la nueva población de mejoramiento. Además, tampoco sería posible evitar completamente el cruce de individuos emparentados. Los HSPE desempeñan un papel útil como huertos de producción de duración limitada.

3.2 Según el objetivo del huerto

Los huertos también se pueden describir de acuerdo al objetivo con que se produce la semilla. Un buen ejemplo puede ser una especie agroforestal o una procedencia con potencial para la producción de forraje o de leña. Se pueden desarrollar poblaciones separadas de la misma procedencia adaptadas a los mismos sitios, pero con diferente objetivo de producción: a) maximizar la producción de

forraje (probablemente a costa de la producción de leña), b) maximizar la producción de leña (probablemente a expensas de la producción de forraje), c) máximo valor combinado de la producción de leña y forraje (aceptando probablemente la reducción en cada una de las características individualmente). Otro ejemplo puede ser el desarrollado a partir de la misma especie o procedencia de poblaciones adaptadas a diferentes elevaciones o tipos de suelo.

Algunos objetivos más específicos identificados por Barner (1975) son:

1. Huertos de híbridos de procedencias: Se seleccionan árboles de 2 procedencias de origen muy diferente, las que se sabe que producen un efecto híbrido especial cuando se cruzan (ejemplo: *Pinus merkusii continental x insular*).
2. Huertos de híbridos de especies: Se seleccionan árboles de 2 especies, las que se sabe que producen un efecto híbrido especial cuando se cruzan, tal como vigor híbrido. La hibridación se circunscribe a cruces entre especies o procedencias de orígenes muy diferentes
3. Huertos avanzados: Esta categoría se reserva para la producción masiva de material que ha sido sujeto de mejoramiento más avanzado o específico, tal como la cruce de dos líneas que han sido sometidas previamente a autocruzamiento o mejoramiento para caracteres especiales como resistencia a plagas y enfermedades.

Los ejemplos anteriores dan una buena indicación sobre el rango de posibles objetivos de los huertos semilleros. Sin embargo, no cubren todos los casos o puede ocurrir cierto "traslape" entre los diferentes tipos de huerto. También es posible que no se pueda establecer una clasificación de los huertos que sea viable y cubra todos los casos.

3.3 Según la función principal del huerto

Los huertos semilleros también se pueden categorizar de acuerdo a su función principal en el programa de mejoramiento:

- a) Huertos semilleros de producción: funcionan como una "máquina de producir semillas". Su tamaño depende directamente de la cantidad de semilla requerida. Su vida útil o período activo está relacionado con el envejecimiento y la productividad de los árboles y/o con la accesibilidad a las copas. Sin embargo, en programas dinámicos de mejoramiento, su período activo frecuentemente está limitado por el avance en las generaciones de mejoramiento y la formación de nuevos y genéticamente mejores huertos semilleros de producción. Estos huertos pueden ser clonales o de plántulas.

b) Huertos semilleros de mejoramiento: Estos son el elemento central de los programas de mejoramiento a largo plazo. Son los portadores de las combinaciones de genes más deseables en cualquier momento, obtenidos a través de la selección y recombinación en una población dada. Generalmente, los huertos de mejoramiento son huertos semilleros de plántulas.

En el Anexo 3 se ilustra el desarrollo de generaciones sucesivas a través de selección y recombinación, donde los HSP se usan con especies de floración fácil. Estos huertos se sitúan en sitios representativos de las futuras áreas de plantación comercial, pero al mismo tiempo bien aislados de dichas plantaciones.

Un tamaño operacional usado frecuentemente en huertos de mejoramiento es de 100 PA/PC (familias de polinización abierta (PA) y controlada (PC)), con un diseño experimental que permita una buena comparación entre familias.

En el ejemplo del Anexo 3, el huerto se ralea después de varias evaluaciones sucesivas, de tal forma que se dejan los 100 (99) árboles con el valor genético combinado más alto, a un espaciamiento razonable que permita una floración adecuada. Este debe ser un punto intermedio entre el espaciamiento amplio que se requiere para la floración y el espaciamiento más estrecho de las plantaciones ordinarias. En este "raleo genético" se deben establecer ciertas limitaciones para evitar que permanezcan árboles de sólo unas pocas "familias ganadoras". Esto es necesario para retardar la incidencia de endogamia tanto como sea posible.

Existen varias combinaciones alternativas para seleccionar en las 100 familias del semifratrias (SF) de la unidad de mejoramiento, por ejemplo:

- a) 1 árbol de cada una de las 100 familias SF: total 100 árboles.
- b) 2 árboles en las mejores 50 familias SF: total 100 árboles.
- c) 3 árboles en las mejores 33 familias SF: total 99 árboles.
- d) 4 árboles en las mejores 25 familias SF: total 100 árboles.

¿Cuál es la combinación más adecuada? Esto depende de la importancia que se asigne a los siguientes aspectos:

- Una base genética general amplia: muchas familias diferentes. Esto implica baja selección entre familias (poco mejoramiento) y pocos individuos emparentados.
- Una base genética estrecha: pocas familias. Esto implica alta selección entre familias (mayor mejoramiento) y muchos individuos emparentados.

En el ejemplo del Anexo 3 se elige la alternativa c).

4. GENERACIONES DE HUERTOS SEMILLEROS

Los huertos semilleros generalmente se identifican siempre por la generación (huertos de primera, segunda o de generación avanzada), dependiendo del número de ciclos de mejoramiento que conllevan.

Los huertos de primera generación frecuentemente se derivan de árboles plus seleccionados en rodales naturales o en plantaciones no mejoradas. El aclareo (raleo genético) usualmente se basa en pruebas de progenie complementarias. Normalmente se remueve el 50%-75% del número original de familias con base en los resultados de evaluaciones sucesivas de los ensayos. Esto requiere el establecimiento inicial de un gran número de clones o familias con un espaciamiento reducido.

Ocasionalmente se usa el término "huerto de 1,5 generación". Zobel y Talbert (1984) introdujeron este término para designar los huertos mejorados de primera generación establecidos con los mejores genotipos seleccionados en uno o más huertos de la misma región (zona semillera), logrando así un nuevo huerto de primera generación de calidad genética altamente mejorada. Este proceso no involucra ningún cambio generacional. Un huerto de 1,5 generación es todavía un huerto de primera generación, pero con una composición genética de mayor nivel de mejoramiento.

5. EVALUACION Y APROBACION DE HUERTOS

Los huertos semilleros se establecen con clones o progenies de árboles plus seleccionados, pero que generalmente no han sido probados. El hecho de que los huertos contengan menos árboles madre que los rodales semilleros seleccionados implica un riesgo adicional. Algunos árboles o clones en el huerto producen más flores o polen que otros. La sincronía en la floración frecuentemente es baja por lo que algunos árboles (los más adelantados o atrasados) rara vez se cruzan. Además, la relación de floración masculina:femenina varía de año a año. Por lo tanto, resulta un poco arriesgado establecer huertos semilleros sin información genética. Por otra parte, para ahorrar tiempo frecuentemente los huertos se plantan en la fase inicial, pero se diseñan de tal forma que permitan la eliminación de los componentes (clones o familias) que no muestren (en las pruebas de progenie) un comportamiento satisfactorio.

Los huertos se establecen con varios supuestos que tienen que ser verificados. Para evitar riesgos muy serios, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) ha establecido un esquema de control del material reproductivo

forestal que se comercia en el mercado internacional (OECD, 1974). Este esquema establece los siguientes requisitos mínimos para la aprobación de huertos semilleros:

1. Los objetivos, diseño, componentes, aislamiento y la localización debe ser aprobada y registrada por la Autoridad Designada*. Cualquier cambio significativo posterior debe ser aprobado y registrado por dicha autoridad.
2. Los componentes, clones o progenies, se deben plantar de acuerdo al plan aprobado por la Autoridad Designada y establecido de tal forma que cada componente puede ser identificado.
3. Se deben describir los criterios de selección y los raleos realizados en huertos semilleros de progenie (huertos semilleros de plántulas).
4. Los huertos semilleros se deben manejar y cosechar de manera que se logren los objetivos para los que fueron establecidos.

El punto 4 requiere algunos comentarios. La semilla que se cosecha en los huertos no debe usarse a nivel comercial hasta que se obtenga un balance razonable en la floración. Es un hecho que en los huertos jóvenes la mayor parte de la semilla es producida por unos pocos árboles madre (o sus progenies) lo que resulta en una representación sesgada del huerto y en una reducción de la variabilidad genética del lote de semillas. Aún en huertos que tienen una floración uniforme, se han encontrado diferencias en la descendencia de distintos años de cosecha. La semilla que se use a nivel comercial debe preferiblemente ser recolectada en buenos años de cosecha.

El material reproductivo derivado de huertos establecidos para producir híbridos entre especies o entre procedencias, se pueden aprobar únicamente si existen ensayos previos que demuestren que los objetivos del huerto se cumplen.

La evaluación de los huertos involucra el análisis del huerto como tal y/o la evaluación (genética) de los componentes individuales (clones o familias) del huerto, mediante ensayos de progenie de polinización controlada o abierta.

La única manera cierta de estimar las ganancias de los huertos sobre las plantaciones comerciales no mejoradas es realizar recolecciones cuando ambos hayan alcanzado la completa producción de semilla y establecer ensayos de comparación de campo. Estos deben diseñarse para minimizar el efecto ambiental pero que al mismo tiempo permitan un manejo de tipo operacional (Zobel y Talbert, 1984). Si es

* Una autoridad designada por y responsable ante el Gobierno del país que participa en el esquema de la OECD para material reproductivo forestal, con el propósito de implementar estas reglas en su nombre. La Autoridad frecuentemente es un oficial del Servicio Forestal Nacional o del Servicio Nacional de Investigación Forestal.

posible, la semilla cosechada en diferentes años se debe almacenar y evaluar simultáneamente.

Es importante que la semilla para los ensayos se recolecte en años de buena floración y fructificación, a menos que se realice polinización artificial. Los métodos de recolección que se usen deben garantizar que las muestras que se obtengan sean representativas.

6. PLANIFICACION

Los huertos semilleros son un elemento principal en la mayoría de los programas de mejoramiento forestal que incluyen cruzamiento dirigido. Como se mencionó antes, los huertos son el principal instrumento para realizar las ganancias genéticas que se logren, en tanto que su producto - la semilla - contiene el esfuerzo combinado de la selección y el cruzamiento. La estrategia de mejoramiento es también en gran medida, la planificación de la estrategia del huerto semillero.

La planificación se realiza a nivel nacional, regional (zona semillera) y local. La unidad más pequeña que se planifica es la unidad de recolección de semilla, o un huerto semillero, capaz de llenar las necesidades de una zona específica, dentro de la cual la semilla se puede transferir libremente, manteniendo todavía su adaptabilidad a las variaciones locales de clima y suelo (Zobel y Talbert, 1984).

La estrategia debe tener en vista metas a largo plazo, tomando en cuenta las generaciones avanzadas (2^{da}, 3^{ra}, etc) de mejoramiento. Al mismo tiempo, el programa debe ser flexible, considerando la posibilidad de aumentar o disminuir la intensidad de mejoramiento de acuerdo con los cambios en las condiciones (anexo 4).

Van Buijtenen (1975) señala algunos factores importantes que se deben considerar cuando se planifica un programa de huertos semilleros:

- a. La biología de la especie.
- b. La selección del método de mejoramiento.
- c. El uso de poblaciones de mejoramiento y de producción de semilla en forma combinada o separada.
- d. La combinación de ensayos de progenie con producción de semilla.

a. Biología de las especies

Algunos de los aspectos más importantes de la biología se ilustran en el Cuadro 1, el cual trata de algunos de los grupos de especies más importantes en los programas de plantación en Tailandia.

Las diferencias biológicas de importancia para el establecimiento de huertos semilleros pueden ocurrir a nivel de especie y procedencia, así como a nivel individual.

b. Selección del método de mejoramiento

La selección del método de mejoramiento tiene un claro efecto en el papel que desempeñan los huertos en cualquier proyecto de mejoramiento. En la mayoría de los programas basados en selección y cruzamiento dirigido, los huertos funcionan a la vez como "máquinas de producir semilla" en forma masiva y como bancos para mantener la variación genética. En programas de hibridación, los huertos juegan un papel vital en la creación de nuevas combinaciones genéticas y en el cambio de las frecuencias génicas. Uno de los programas más exitosos que realizan hibridación y selección es el de la Compañía de Reforestación Industrial Unida en Point Noire. Los resultados del mejoramiento se aprovechan mediante la hibridación en F_1 entre varias especies de *Eucalyptus*, mientras que la propagación clonal se usa como método de producción masiva para plantaciones comerciales.

Es necesario comparar los beneficios derivados con los costos adicionales involucrados.

c. El uso de poblaciones de mejoramiento y de producción de semilla en forma combinada o separada

Básicamente, el dilema radica en como balancear el incremento en la ganancia genética aumentando la intensidad de selección (reduciendo el número de familias o clones en la población de mejoramiento), con el mantenimiento de una base genética adecuada para futuros programas de mejoramiento. Si se separan las dos poblaciones, es posible mantener una base amplia en la población de mejoramiento y obtener una mayor ganancia usando solamente las mejores familias o clones para la producción comercial de material mejorado (semillas o estacas). Sin una población de mejoramiento de base amplia puede ocurrir una pérdida severa de germoplasma. Tomando en cuenta el riesgo de ocurrencia de endogamia en pocas generaciones, resulta ventajoso separar las poblaciones de producción y mejoramiento (Van Buijtenen, 1975). La población de mejoramiento debe tener una base amplia mientras que la población de producción (la máquina de producir semillas) puede ser intensamente seleccionada.

Cuadro 1. Aspectos principales de la biología de especies comúnmente usadas en reforestación en Tailandia.

Aspectos biológicos	<i>Pinus kesiya</i>	<i>Tectona grandis</i>	<i>Gmelina arborea</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>Acacia mangium</i>	<i>Pteroc. macroc.</i>
Comportamiento sexual (Perf/imperfec) (bi o unisexual)	BI/IM	PE	PE	PE	PE	PE
Sistema de apareamiento (abierto, mezcla)	AB	ME	ME	ME	ME	ME
Grado de autocruza	bajo	bajo	interm.	interm.	interm.	?
Agente de polinización	viento	insectos	insectos	insectos	insectos	insectos
Aislamiento requerido	> 300 m	> 100 m	> 100 m	> 100 m	> 100 m	> 100 m
Polinización controlada	fácil	difícil	difícil	difícil	difícil	difícil
Respuesta a estimulación - hormonas - fertilizantes	+ +	compleja compleja	compleja compleja	compleja +	compleja compleja	compleja compleja
Hábitos de floración - periodicidad - tiempo polinización- maduración - sincronía - iniciación	1A 24M + 5-7 A	1A 9 M + 7-10 A	1A 5M + 3-7 A	2-3A 14M + 3-7 A	? ? ? ?	? ? ? ?
Floración y ambiente (impacto altitud, lluvia, etc.)	import.	import.	import.	?	?	?
Facilidad de propagación vegetativa - injerto - estacas - cultivo de tejidos	+ (+) +	+ (+) +	+ + +	+ + +	+ + ?	+ + ?
Incompatibilidad en injertos	+	+	?	+	?	?

d. La combinación de ensayos de progenie con producción de semilla

Bajo ciertas condiciones, los ensayos de progenie se pueden convertir en huertos semilleros de plántulas. Esta posibilidad es una ventaja que favorece el uso de este tipo de huertos. Sin embargo, es importante señalar que los ensayos de progenie se deben plantar en sitios representativos de la futuras áreas de plantación que se van a establecer con la subpoblación específica que se está evaluando.

Sin embargo, los sitios no son necesariamente los mejores para una buena producción de semilla o para un manejo eficiente del huerto (Zobel y Talbert, 1984), lo que hace que esta opción pueda ser cuestionable. En tal caso, el enfoque adecuado debe ser establecer por separado los ensayos de progenie en los sitios de plantación y una unidad de producción de semilla bajo condiciones óptimas (ver Anexo 3).

7. LOCALIZACION (UBICACION)

Resulta de gran importancia la adecuada selección de la región y los sitios que promuevan una buena floración y desarrollo de la semilla y se encuentren suficientemente aislados de fuentes contaminantes. Una mala decisión puede significar el fracaso.

El tamaño, el diseño y el aislamiento deben buscar la máxima polinización cruzada, el mínimo riesgo de autogamia y la mínima contaminación de fuentes externas.

Keiding y Barner (1990) resumieron las siguientes condiciones para el establecimiento de fuentes semilleras, las cuales también son relevantes para huertos semilleros:

- i Ubicación en sitios excepcionalmente favorables para la producción temprana, abundante y regular de semilla de buena calidad.
- ii La ubicación fuera del rango de distribución natural se puede justificar si la especie ha demostrado un buen comportamiento en ensayos comparativos y presenta una producción de semilla modesta e irregular en su rango natural.
- iii El acceso al sitio propuesto debe ser adecuado para el establecimiento, protección y manejo del huerto y para la recolección y transporte de la semilla.

- iv Se deben establecer claramente los derechos legales del uso de la tierra para los propósitos definidos. Los documentos correspondientes deben permanecer con la autoridad de manejo. Por este motivo se prefieren usar terrenos en reservas forestales del gobierno.
- v Antes de aprobar el sitio para el establecimiento del huerto, se debe investigar el uso actual y futuro de otras especies de árboles en el área, para prevenir la contaminación con polen externo indeseable. Esto es particularmente importante para especies polinizadas por viento, en cuyo caso la distancia mínima de aislamiento recomendada es de 300-500 m. El aislamiento se discute adelante en más detalle.
- vi Para prevenir la posible pérdida de los huertos establecidos por causa de fuego, vientos fuertes, plagas, etc, es aconsejable repetir el huerto semillero en dos o más sitios.

En forma más específica se deben considerar los siguientes factores la ubicación de huertos semilleros:

Macro y microclima

Régimen de temperatura

Los extremos así como las sumas de temperatura durante la época de diferenciación de yemas son extremadamente importantes (Ilstedt, 1982). Se sabe que en las zonas templadas los veranos calientes con altas temperaturas afectan la formación de yemas, de manera que aumenta la formación de yemas reproductivas (Sweet, 1975). La longitud del fotoperíodo también es importante para la formación de flores (Werner, 1975). En Tailandia, la ocurrencia de bajas temperaturas durante el tiempo de formación de yemas florales influye sustancialmente el desarrollo de flores masculinas in *Pinus kesiya* y *P. caribaea* (PIC, 1980).

Durante el tiempo de floración, la alta humedad del aire puede tener un efecto negativo sobre la polinización, tal como se ha observado en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en el oeste de Malasia, bajo condiciones de trópico húmedo, donde ha habido ausencia de formación de semilla.

Topografía

Los cambios en la topografía pueden tener un efecto pronunciado en el microclima del sitio. Por ejemplo, la ocurrencia de corrientes de aire frío en climas templados puede producir daños por heladas y reducir la producción de semillas. La diferencia

entre la ubicación en pendiente norte y en pendiente sur puede ser considerable debido a la variación en radiación solar que se recibe.

Exposición

Los efectos del clima pueden aumentar por la exposición. Las bajas temperaturas durante el invierno pueden ser críticas si están acompañadas por vientos fuertes, así como las sequías durante el verano en suelos livianos arenosos. Se sabe que las sequías severas que ocurren durante la formación reduce la producción de semillas. Para la polinización efectiva de especies anemófilas se requiere de condiciones ventosas, pero una dirección constante del viento durante la dispersión del polen puede tener efectos adversos.

Aislamiento

Se necesita un buen aislamiento de fuentes contaminantes de polen indeseable. Sin embargo, en especies polinizadas por viento es muy difícil obtener un aislamiento completo, a menos que los huertos se establezcan fuera de las regiones donde existen rodales naturales o plantaciones. Se sabe que el polen de estas especies puede viajar distancias considerables a grandes altitudes en la atmósfera. Sin embargo, generalmente la mayor parte de la nube de polen en el huerto proviene de polen local (del mismo huerto) (Werner, 1975).

La distancia mínima aceptable para aislamiento varía con el viento, la topografía y la especie. FAO/UNEP recomiendan un mínimo de 300 m para rodales de conservación genética de pinos tropicales. Sin embargo, esta distancia podría ser muy corta para especies polinizadas por viento, dependiendo del tamaño del rodal.

Para especies polinizadas por insectos las distancias recomendables con cierta seguridad son menores. En este caso, el éxito de la polinización depende de varios insectos (abejas, moscas, hormigas, etc.) con diferentes rangos de movilización y distintos patrones de visita a las flores. Se ha descubierto preferencia genotípica (clonal), por ejemplo en el caso de *Prosopis spp.* Entre mayor sea la copa o el espacio entre árboles en el huerto, menor es la probabilidad de polinización cruzada entre clones.

Para eucaliptos se considera que 200 m es suficiente distancia para un aislamiento adecuado. Este es todavía más eficiente si el espacio de aislamiento esta ocupado por especies polinizadas por viento.

El tamaño del huerto también tiene efecto en la eficiencia de la polinización. El polen externo tiene menos efecto contaminante en huertos grandes que en pequeños. Por eso se considera que una buena nube de polen producida por el propio huerto es la mejor protección. Se debe minimizar el efecto de borde en la polinización. Por ejemplo, en el caso de huertos rectangulares de especies anemófilas, se debe orientar

el lado mayor en la dirección del viento prevaleciente durante la polinización (Zobel y Talbert, 1984). Generalmente se considera 5 hectáreas como el área mínima de huerto para una operación efectiva. El tamaño está determinado también por otros aspectos del manejo como la mecanización de operaciones (establecimiento, mantenimiento, protección y cosecha).

Condiciones del suelo

El tipo de suelo, la fertilidad, el drenaje, etc., afectan el crecimiento vegetativo y la floración, así como la cantidad y la calidad de la semilla producida. Se considera que los suelos pesados y con drenaje pobre tienen un efecto negativo sobre la floración. Se recomiendan condiciones que promuevan el buen desarrollo de raíces, así como suelos de fertilidad promedio o ligeramente superior (en vez de suelos con alta fertilidad natural), ya que son más apropiados para manipular la floración y el crecimiento, mediante la aplicación de fertilizantes determinados en el tiempo específico en que se necesitan. En general, se recomienda seleccionar sitios con las siguientes características:

1. Topografía tan plana como sea posible para una fácil operación.
2. Una pendiente leve para facilitar el drenaje.
3. Buena luz, libre de sombras fuertes de rodales vecinos.
4. Suelo adecuado para promover la floración, liviano, de textura franca o limo-arenosa.
5. Fertilidad moderada y bien balanceada.

En resumen, se puede decir que la selección del ambiente correcto para los huertos semilleros tiene un fuerte efecto sobre todos los aspectos relacionados con la floración y el desarrollo de la semilla: inicio y relación de flores masculinas/femeninas, sincronía, edad a la que inicia la floración, regularidad de la floración y de los rendimientos anuales de semilla, cantidad de semilla producida y calidad genética.

La selección del sitio debe ser aun más cuidadosa para especies exóticas que para especies nativas. Por este motivo y para evitar grandes errores, los huertos semilleros nunca se deben establecer fuera del área de distribución natural hasta que el potencial de la especie como exótica en el nuevo ambiente haya sido probado adecuadamente.

La selección de la región y el sitio correctos para establecer un huerto semillero debe entonces recibir siempre una gran atención.

8. DISEÑO Y COMPOSICION

Se han inventado muchos diseños diferentes de acuerdo a las necesidades, las cuales responden en gran medida a varios aspectos considerados dentro de la "Biología de la Especies" (ver Cuadro 1). En el Cuadro 2 se presentan otros objetivos que resumen la adaptabilidad de los distintos diseños. Giertych (1975) describe varios diseños en detalle. Los diseños más comúnmente utilizados son:

Hileras puras

Donde las hileras de árboles contienen ramets del mismo clon (HSC) o progenies de la misma familia (HSP). Este diseño se utilizó particularmente en algunos de los primeros huertos que se establecieron. Algunas de sus desventajas son el aumento en el riesgo de endogamia y problemas con un espaciamiento irregular si se remueven algunos clones indeseables.

Diseño completamente al azar

En el cual todos los ramets disponibles de todos los clones se distribuyen al azar en todo el sitio. El diseño tiene algunas desventajas con respecto al manejo, replante, injertación en el sitio y localización posterior de los ramets, especialmente si los huertos son grandes y contienen muchos clones.

Generalmente la aleatorización no es completa ya que se ponen ciertas restricciones para evitar que se planten ramets del mismo clon muy próximos entre sí. Este diseño se ha usado muy frecuentemente en Australia, Estados Unidos, Canadá y Suecia.

Bloques completamente al azar

En los que el área se divide en bloques de igual tamaño, los cuales son suficientemente grandes para incluir un ramet de cada clon. Los ramets se ubican completamente al azar dentro de cada bloque, ocasionalmente con restricciones en los bordes de los bloques. Este diseño se usa comúnmente en Europa, Australia, Estados Unidos y Canada.

El espaciamiento inicial debe ser suficientemente estrecho para permitir los aclareos; normalmente se usa un espaciamiento de 4x4 m a 6x6 m.

Cuadro 2. Comparación de la adaptabilidad de varios diseños de huertos semilleros con varios propósitos.

	Diseños													
	En hileras	Tablero de ajedrez	Completamente al azar	Bloques completamente al azar	Bloques fijos	Bloque rotativo	Bloque inverso	Bloques incompletos desbalanceados	Bloques incompletos balanceados	Bloques incompletos balance cíclico	Bloques incompletos balance direccional cíclico	Lattice balanceado	Vecindades permutadas	Sistemático
Evitar autofecundación	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	++
Favorecer la panmixia	-	-	+	+	-	-	-	+	+	++	++	+	++	-
Permitir raleos sistemáticos sin alterar la composición clonal.	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	++
Permitir el uso de segmentos del huerto como repeticiones para otros experimentos.	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+
Permitir la comparación del comportamiento de los clones	-	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-
Facilitar la relocalización de clones para recolecciones especiales	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+
Permitir la expansión	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+
Perm. cualq. forma de huerto	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+
Permitir cualquier número de clones o ramets	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+
Utilizar información sobre incompatibilidad, tiempo de floración y habilidades combinatorias	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Simplicidad del diseño para personas no-matemáticos	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+
Diseño de bajo costo	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+

Nota: ++ = Muy adecuado;

+ = adecuado

- = Inadecuado

La posibilidad de efectuar aclareos (raleos genéticos) depende de la disponibilidad de ensayos de progenie. Como se señaló antes, estos se deben establecer antes que el huerto o al menos, inmediatamente después. Sin embargo, frecuentemente este no es el caso y se tienen que efectuar los raleos sin información genética y sin conocimientos sobre floración y productividad de semilla, con el fin de mantener el desarrollo de las copas. Por este motivo, un espaciamiento inicial demasiado estrecho puede resultar en la remoción de injertos costosos antes de que su valor genético sea conocido.

Otro aspecto importante es el número de clones que componen el huerto. Normalmente se considera que en la fase final, 25 clones o genotipos son suficientes para que las plántulas producidas con semilla del huerto tengan una base genética adecuada, tanto para asegurar su adaptación a los sitios normales de plantación, como para evitar problemas serios de endogamia. El Anexo 3 muestra la reducción de 100 clones iniciales a 25 finales (eliminación del 75%).

Sin embargo, lo descrito en el párrafo anterior es cierto sólo si todos los clones florecen simultáneamente y con la misma intensidad, y si la ubicación de los ramets evita la endogamia. Pero frecuentemente la floración no es uniforme. En muchas especies se ha encontrado una gran variación clonal. Por ejemplo, la experiencia en huertos jóvenes y sin raleo con varias especies de pino muestra que un 20% de los clones produce el 80% de la semilla. Conforme aumenta la edad las diferencias se hacen más pequeñas (Lee, 1979).

De esta forma, inicialmente se deben considerar más de 25 clones. También se debe prever la tasa de incompatibilidad entre el injerto y patrón, la cual generalmente es desconocida. Por otra parte, un número mayor de clones ofrece la posibilidad de efectuar raleos genéticos más intensos y, por tanto, de obtener mayores ganancias genéticas.

De los tres tipos de huertos mencionados anteriormente, los diseños "completamente al azar" y "bloques completos al azar" son generalmente adecuados por las siguientes razones principales, mientras que el de "hileras puras" no satisface las dos primeras:

1. Evitan la autofecundación.
2. Permiten la mezcla de todos los genotipos.
3. Permiten la ampliación.
4. Permiten cualquier número de clones.
5. Son simples y fáciles de establecer.
6. Son comparativamente baratos.

Giertych (1975) brinda mayores detalles si los objetivos son más específicos y especializados.

9. ESTABLECIMIENTO

Preparación del sitio

Las tierras con vocación agrícola frecuentemente son adecuadas. Si el sitio ha sido pastoreado por varios años, la labranza de la tierra debe estar precedida por un control químico de malezas con un herbicida sistémico foliar. Ej. Round-up (Glyphosfato) combinado con arado y rastrillado, y una repetición con Round-up antes de plantar. Se debe considerar una aplicación de fertilizante básico (NPK + micronutrientes) para que la fertilidad alcance niveles adecuados. En ocasiones se necesita el control de termitas, de larvas de insectos y de roedores.

En áreas de bosque maduro, se deben remover los tocones o por lo menos cortarlos a nivel del suelo para facilitar posteriormente posibles operaciones mecanizadas. En la preparación del suelo se pueden aplicar tratamientos químicos para prevenir el rebrote de tocones y malezas.

Preparación del suelo

En general, se acepta que la labranza del suelo por arado y rastrillado en la fase inicial es esencial para un buen inicio. En el caso de la presencia de una capa endurecida ("hardpan") - y cuando no se dispone de otra área mejor - se requiere un arado profundo. La preparación del suelo incrementa el efecto de fertilizantes y mejora el balance hídrico. En experimentos realizados en los Estados Unidos han demostrado que el incremento en la cosecha de semilla de *Pinus taeda* fue de cuatro veces y media después de un arado profundo (46 cm) y de una vez y media después de un arado corriente (15 cm), en comparación con el control.

Propagación vegetativa para establecer huertos clonales

La técnica de preparar injertos, estacas y plántulas de cultivo de tejidos es tratada en otros documentos de esta serie y no se detalla en forma adicional aquí. Sin embargo, se presentan algunos puntos importantes:

a. Programación del establecimiento

Frecuentemente la injertación presenta variación en el porcentaje de éxito (prendimiento) debido a diferencias en la habilidad para injertar, variación clonal, incompatibilidad entre clones, etc. Esto puede aplazar el establecimiento del huerto por varios años. La variación resultante en edad y tamaño entre los árboles del huerto causa problemas con competencia, programación, floración, etc.

Como procedimiento se recomienda concentrarse en unos pocos bloques al mismo tiempo y asegurarse que todos los clones estén representados en algunos bloques, en lugar de tratar de llenar muchos bloques, lo que resulta en una gran variación en el número de clones representados. La uniformidad debe ocurrir dentro de bloques y la variación entre bloques.

b. Injertación en el vivero vrs campo

Se debe diferenciar entre los siguientes dos métodos de propagación:

1. Injertación en vivero en patrones con raíz en contenedores.
2. Injertación en patrones establecidos en el campo, usualmente más viejos.

Desde el punto de vista fisiológico el injerto en campo es preferible debido a:

1. El impacto (shock) de la plantación no es un problema.
2. Los ramets crecen más rápidamente.
3. Se elimina el problema de desarrollo restringido de las raíces que ocurre en contenedores.
4. Se evitan los problemas de enfermedades (hongos) que ocurren frecuentemente en invernaderos y camas de injertación.
5. Los ramets florecen más rápidamente.

El principal problema con la injertación en campo es mantener la identidad de los injertos. Se debe asegurar que la injertación se efectúe de acuerdo a un plan de campo preconcebido. Las equivocaciones ocurren fácilmente. Otro problema es que el material vegetativo se tiene que llevar al campo, requiriendo mantenerse fresco (por ejemplo en hieleras) y protegido. También es esencial la protección del injerto contra el viento, insolación fuerte, evaporación excesiva, etc., durante la fase altamente sensible que ocurre inmediatamente después de la injertación en el campo. Las cubiertas protectoras pueden sencillamente ser dañadas o aun hurtadas.

Los árboles plus que se seleccionen deben ser sexualmente maduros para evitar retrasos en el inicio de la producción de semilla y un indeseable crecimiento juvenil de los árboles del huerto.

Espaciamiento

El espaciamiento debe ser lo suficientemente amplio para asegurar que ocurra floración varios años antes de que se requieran raleos.

Un espaciamiento inicial más estrecho que el final permite algunas pérdidas tempranas. Sin embargo, este puede resultar un retardo en la floración y conlleva a la necesidad de raleos más tempranos. Se debe considerar el riesgo de ralear clones antes de conocer bien su valor genético, particularmente cuando los ensayos de progenie no han sido programados adecuadamente.

10. MANEJO

Los huertos semilleros deben producir rápida, abundante y regularmente semilla saludable. Esto requiere la atención de varios factores.

Las normas generales para el manejo de fuentes semilleras descritas por Keiding y Barner (1990) son también aplicables a huertos semilleros. Sin embargo, se debe poner mayor atención a los siguientes aspectos:

Cobertura del suelo

Durante los dos primeros años los árboles, se deben mantener libres de malezas, ya sea mecánicamente o por control químico. Este último requiere de precaución con respecto a la dosis y método de aplicación. Algunos de los herbicidas de uso amplio son potencialmente mortales para los árboles jóvenes del huerto si no se aplican cuidadosamente.

En muchos sitios se usan leguminosas perennes como cobertura. En este caso se debe tener cuidado de que estas plantas no trepen o crezcan sobre los árboles del huerto.

Aplicación de fertilizantes

Existe mucha información que muestra que plantas fuertes y saludables florecen bien. Para obtener constantes y buenas cosechas de semilla, se deben planificar esquemas regulares de fertilización, en combinación con un manejo intensivo del suelo (Lee, 1979). La mayoría de la gente cita al N y P como los elementos principales para la floración, pero aun los microelementos pueden estimular la floración (Sweet, 1975).

Actualmente se aplican fertilizantes en forma rutinaria en varios programas grandes, por ejemplo, en el de *Pinus taeda* y *P. elliotti* de la Cooperativa del Estado de Carolina del Norte (EEUU).

Riego

Frecuentemente se ha informado que el efecto positivo de la combinación del riego y la fertilización sobre la producción de frutos y semillas es considerable y mejor que cualquiera de ellos por separado. Por otra parte, se dice que la inducción de una situación de "stress" por reducción en el agua disponible antes del inicio de la floración tiene por sí misma un fuerte efecto positivo en el desarrollo de las flores (Sweet, 1975).

En pinos, la aplicación de fertilizantes parece aumentar la producción de flores femeninas, mientras que el "stress" hídrico aumenta la producción de flores masculinas (Ilstedt, 1982). En este caso se recomienda seleccionar un sitio con veranos secos con uso de riego después de la diferenciación floral.

Tratamientos con hormonas de crecimiento

Existen varias publicaciones de años recientes sobre el efecto de la aplicación de hormonas en la floración, en particular con especies de Cupressaceae y Taxodiaceae, las cuales producen las flores al final de las ramas.

También existen informes sobre el incremento de la floración en pinos, por ejemplo, por la aplicación de ácido giberélico 4/7 (Ross *et al.* 1980; Siricul y Luukkanen, 1987). Se ha informado de buenos resultados del uso de este ácido en *Pinus caribaea*. Esta investigación muestra que tal aplicación mejora la floración. Sin embargo, el tiempo de aplicación con respecto al estado de desarrollo de las yemas es crucial. Parece que hay consenso en que el tratamiento con hormonas puede ser inefectivo cuando la floración pobre es de origen genético, mientras que puede promover la floración cuando la limitante es ambiental.

El tratamiento con auxinas puede cambiar la relación masculino/femenino (Sweet, 1975).

Sin embargo, en general se puede asumir que el costo de los tratamientos con hormonas es muy alto para aplicarlo a gran escala.

Raleos

Parece claro que los raleos y el desarrollo de una copa adecuada son la mejor forma de estimular la floración y la producción de semilla.

Los primeros raleos son de especial importancia, ya que un cierre temprano de copas tiene un severo efecto en la parte baja de la copa. Estos raleos son particularmente importantes con especies demandantes de luz, en las cuales la pérdida de la parte baja de la copa viva frecuentemente es permanente.

Experimentos con sombra en pinos han mostrado que la floración decrece progresivamente a partir del 50% de luz solar y desaparece completamente con 15% o menos.

Es muy importante establecer la pruebas de progenie antes o al menos al mismo tiempo que los huertos semilleros para poder realizar los raleos genéticos a tiempo y aprovechar cuanto antes las ganancias genéticas. Sin embargo, a menudo estos ensayos (lamentablemente) se retrasan.

Los clones o las familias inferiores se deben eliminar tan pronto como se disponga de suficiente información confiable de los ensayos clonales o de progenie. Sin embargo, en general se debe esperar hasta que se manifieste la capacidad de floración de cada familia o clon.

Se deben eliminar los clones (o progenies) con una floración demasiado temprana o tardía, así como aquellos con una producción de semilla muy baja.

La experiencia muestra que los raleos no influyen en la viabilidad de la semilla y tienen un efecto limitado en años de baja producción general. En buenos años semilleros, la producción aumenta considerablemente como respuesta a los raleos previos.

Formación y poda de copas

Las podas se hacen principalmente para facilitar la recolección. Los informes sobre el efecto de las podas en la floración indican que este depende mucho de la especie. Sin embargo, en coníferas parece que existe consenso en que cuando se remueve la parte superior de la copa se pierden muchos puntos potenciales de floración futura y aumenta la proporción de flores masculinas a femeninas dentro de una zona de la copa donde es más probable que ocurra autofecundación, con un efecto negativo sobre la producción y la calidad de semilla. Por otra parte, el efecto de la poda de la parte superior de la copa generalmente no dura mucho, dado que una de las ramas superiores asume la dominancia, después de lo cual la situación se restablece.

Se han probado con cierto éxito otros métodos como doblar la punta y las ramas de eucaliptos para obtener árboles bajos.

Tratamientos de tallo y raíz

Mientras que el desarrollo de la copa por medio de raleos es un tratamiento estimulante, el cual promueve el crecimiento vegetativo, la floración, la salud y el vigor general, los tratamientos en el tallo o en la raíz pueden tener efectos negativos. Generalmente el objetivo de estos tratamientos es inducir un mayor nivel de carbohidratos, lo que se cree que promueve la floración.

Tales tratamientos pueden ser, por ejemplo, la poda de raíces (por un arado profundo) o el anillamiento externo del tallo (por ejemplo, con alambre). Existen muchos informes sobre esta práctica, especialmente en agricultura. Estos tratamientos pueden tener un efecto positivo a corto plazo, particularmente cuando se aplican en el tiempo correcto del desarrollo de la flor (Sweet, 1975). Sin embargo, pueden haber efectos negativos severos a largo plazo sobre la condición y salud general de los árboles, en particular si se aplican durante períodos largos.

Los tratamientos al tallo o raíz están relacionados con una situación de "stress" forzada en los árboles, los cuales responden en una forma de autopreservación, incrementando la actividad reproductiva para asegurar la "supervivencia de la especie".

Se sabe que las situaciones de "stress" fisiológico, como las sequías (suspensión del riego) y el confinamiento de raíces, incrementan la floración. La explicación podría ser que si se altera el balance entre fotosíntesis y nutrientes, se altera también el mecanismo interno que regula la reproducción sexual (Lee, 1979). Esto provoca un cambio en la diferenciación de yemas de vegetativas a reproductivas como una defensa para la supervivencia.

Protección

Los planes de manejo pueden incluir protección contra mamíferos, incluyendo en particular el hombre (invasión del área del huerto, fuegos provocados, etc). La prevención o tratamiento de ataques de insectos, enfermedades (en raíces, tallos, hojas, flores y frutos) o daños por aves son igualmente importante.

Puesto que la semilla de un huerto semillero es el resultado del esfuerzo acumulado de un programa de mejoramiento, la cantidad de semilla producida se puede tomar como una medida de éxito del programa como un todo. Los programas que no producen suficiente semilla son de poca utilidad, independientemente de cuan grandes sean las ganancias genéticas que se logren por mejoramiento. De esta manera, el principal cometido del manejo de un huerto semillero es mantenerlo saludable y libre de plagas y enfermedades, y en un nivel de alta productividad.

Registros

El mantenimiento de buenos registros es una herramienta esencial para el buen manejo de huertos. Se necesitan los registros para mantener la identidad del material genético, así como para la evaluación del efecto de varias prácticas de manejo y el impacto de las variaciones ambientales.

Básicamente se necesitan dos tipos de registros:

- a. los registros del huerto como un todo, y,

b. los relacionados con las plántulas o clones/ramets individuales dentro del huerto.

El conjunto de información de los dos tipos de registros deben contener los siguientes detalles:

a. Para el huerto como una unidad

Localización: incluye aislamiento de fuentes contaminantes.

Sitio: incluye condición y manejo del suelo.

Composición del huerto: incluye un mapa detallado con la localización e identificación exacta de todos los clones/ramets o plántulas.

Establecimiento: plantación.

Manejo: aplicación de fertilizantes, uso de control químico (tipo, fecha, método, intensidad), podas (fecha, método) y raleos o aclareos genéticos (fecha, no. de la remociones, silviculturales y/o genéticos).

Eventos biológicos o ambientales y acciones tomadas: inundaciones, sequías, heladas tardías, vientos fuertes, etc.

Registros estándar del tiempo: para identificar cambios climáticos a largo plazo: precipitación, humedad relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento, etc.

La información anterior provee el marco general de conocimiento necesario para asegurarse que el manejo del huerto sea el correcto para obtener el máximo retorno del programa de mejoramiento.

b. Para los componentes individuales del huerto

Propagación vegetativa: tipo, fecha, ocurrencia de incompatibilidad, etc.

Floración: edad del inicio de la floración (masc./fem.), regularidad, intensidad, etc.

Producción de conos, frutos y semillas: cantidad, calidad, viabilidad, etc.

Variación en susceptibilidad: a insectos y a enfermedades en frutos, conos, semillas, etc.

La información disponible de estos huertos suministra los antecedentes necesarios para un entendimiento comprensivo del desarrollo de lo que está ocurriendo en el huerto, así como para la decisión de las acciones que se requieren, por ejemplo, los raleos necesarios para obtener la máxima producción de semilla. Aun si los recursos y el tiempo no permiten recolectar esta información con todo detalle, es posible mantenerla en la memoria como una guía para las observaciones generales del desarrollo en el huerto.

Los registros anteriores son de poca utilidad a menos que la identidad de los árboles en el campo sea completamente segura. El etiquetado debe ser continuo y meticuloso, desde la recolección de yemas o semillas de los árboles plus y la siembra o injertación en la etapa de vivero, hasta el transporte al campo y la plantación.

La fase de establecimiento es una etapa notoriamente crítica para la identificación. En esta fase las etiquetas originales puestas durante la injertación en el vivero o durante la transferencia al campo se reemplazan por otras más permanentes. Este reemplazo no se debe retardar debido a que las viejas etiquetas pueden volverse ilegibles o aun desaparecer, en cuyo caso las nuevas etiquetas serían colocadas sin una identificación positiva de la etiqueta anterior. Este etiquetado "final" es crucial puesto que las actividades posteriores (raleos, polinización, etc.), frecuentemente se llevan a cabo de acuerdo a esa identificación.

11. CONCLUSION

Como resumen de la discusión sobre el papel de los huertos semilleros se puede concluir que:

A pesar de algunas limitaciones importantes como:

- a. Dependencia del ambiente, lo que involucra el riesgo de falta de floración y producción de semilla debido a la selección de un sitio equivocado.
- b. La necesidad de aislamiento,
- c. Gran variación en la capacidad reproductiva entre individuos y, como consecuencia, dominancia en la nube de polen por parte de pocos genotipos.
- d. Incompatibilidad entre patrón e injerto manifiesta a avanzada edad.

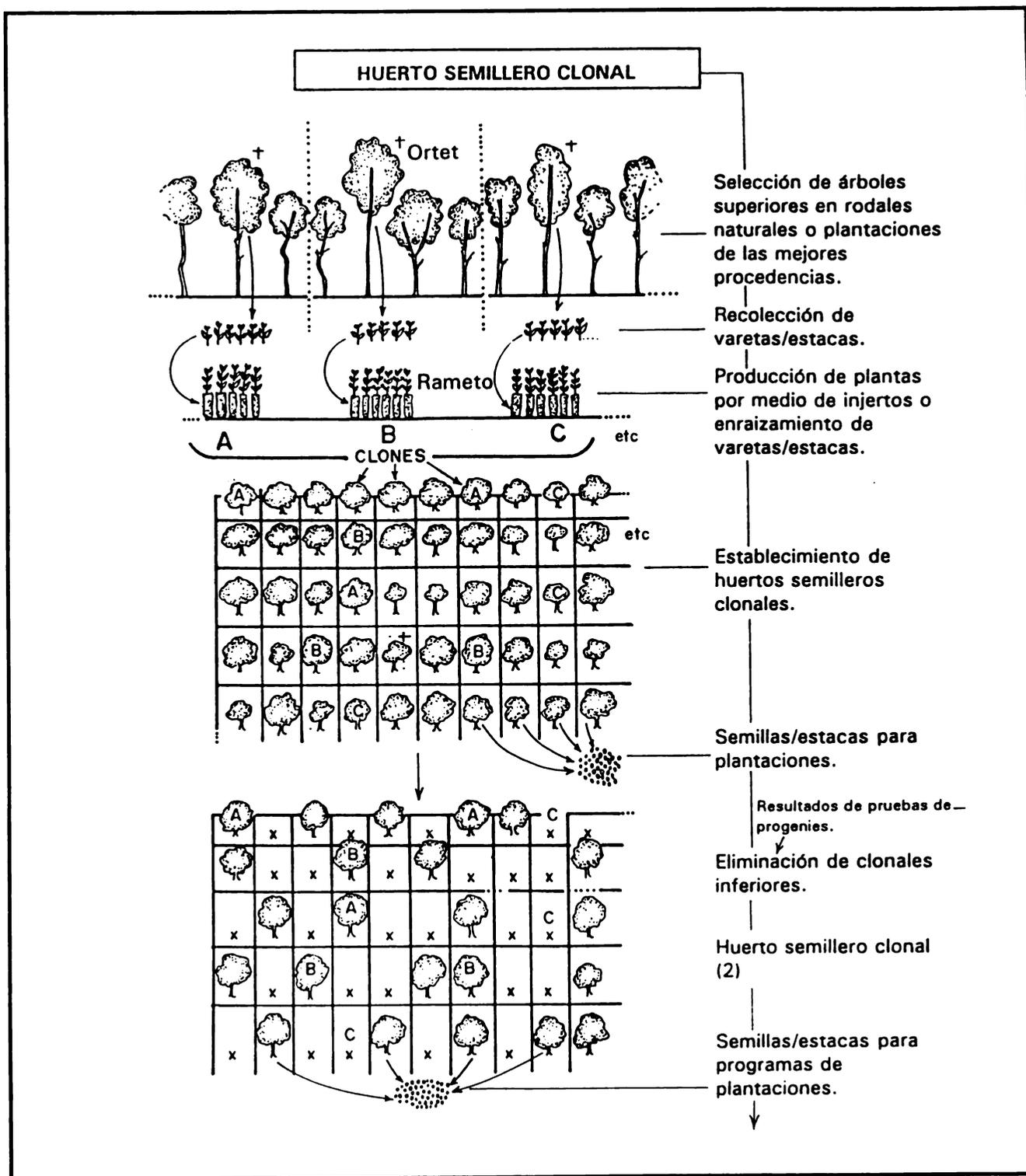
los huertos semilleros seguirán siendo un importante elemento en futuros programas de mejoramiento forestal, aun cuando los sistemas de propagación vegetativa (por ejemplo el cultivo de tejidos) se vuelvan seguros y económicamente viables para la producción a gran escala. La propagación vegetativa es por si misma un "callejón sin salida" en mejoramiento forestal (puesto que es un método de propagación y no un método de mejoramiento), por lo que deberá estar siempre en contacto estrecho con los métodos que utilizan el cruzamiento sexual, ya sea en huertos semilleros de mejoramiento o mediante cruces controlados.

LITERATURA SELECCIONADA

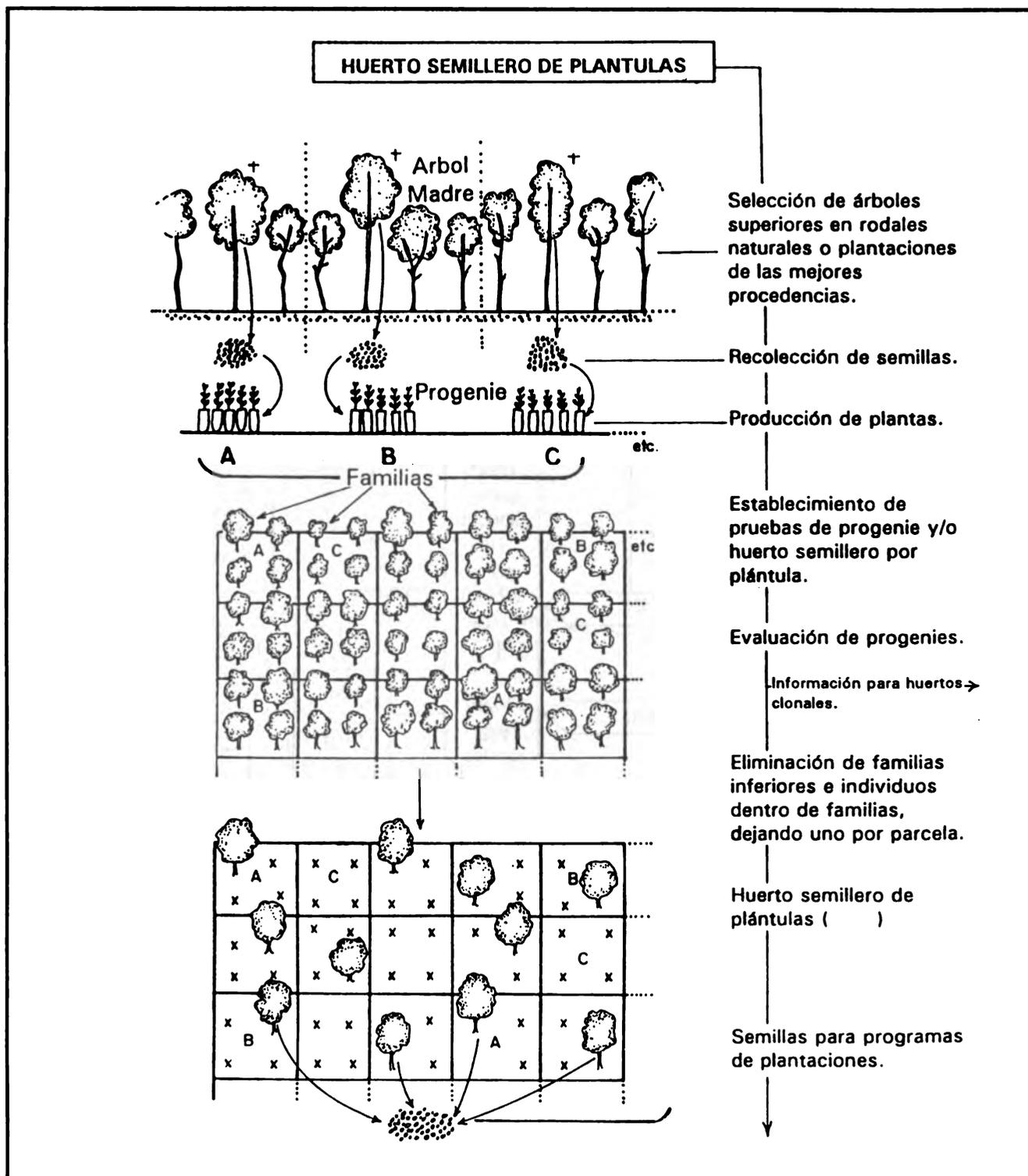
Barner, H. 1975. Classification of sources for procurement of forest reproductive material. *In* Report on the FAO/DANIDA training Course on forest seed collection and handling. Chiang Mai. Thailand, Vol. 2, FAO, Rome.

- Barner, H.; Olesen, K.; Wellendorf, H.** 1988. Classification and selection of seed sources. Lecture Note No. B-1, Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. 33p.
- Barret, W.H.G.** 1985. Seed orchards. *In* FAO/DANIDA Training course on forest tree improvement. FAO, Rome, 1980.
- Ditlevsen, B.; Shrestha, N.B.; Robbins, A.M.J.** 1988. Tree improvement. An outline and plan of action for Nepal. HMGN/EEC/ODA National Tree Seed Project.
- Eldridge, K.** 1986. Managed seed production: Improved sources. *In* Proceedings of a workshop on seed handling and Eucalypt taxonomy, Zimbabwe. 1985.
- Feilberg, L.; Soegaard, B.** 1975. Historical review of seed orchards. *In* Seed orchards. Ed. R. Faulkner. For. Comm. Bull. 54. England. p.1-7.
- Giertych, M.** 1975. Seed orchard design. *In* Seed Orchards. Ed. R. Faulkner. For. Comm. Bull. 54. England. p. 25-33.
- Ilstedt, B.** 1982. Seed production in nordic seed orchards. Research notes nr. 35. Swed Agric. University.
- Keiding, H.; Barner, H.** 1990. Identification, establishment and management of seed sources. Lecture Note B-2. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. 36p.
- Lee, R.F.** 1979. Factors affecting cone initiation of pines-review. Research report of the Inst. of Forest Genetics, Suwon, Korea.
- Nikles, G.** 1973. Seed orchards - concept, design, establishment and management. *In* Report on the FAO/DANIDA Training Course on Tree Improvement. Limuru. Kenya. FAO Rome.
- Nikles, G.; Spidy, T.; Bowyer, P.C.; Newton, R.S.** 1984. Seedlings seed sources of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in Queensland. Proc. Conf. IUFRO on Provenance and Genetic Improvement Strategies in Tropical Forest Trees, Mutare, Zimbabwe 9-14 april 1984 (Ed. R.D. Barnes and G.L. Gibson). p. 579-581.
- OECD.** 1974. OECD Scheme for the control of forest reproductive material moving in international trade. Paris.
- PIC.** 1980. 10 year progress report, Thai Danish cooperation 1969-80. Research papers 4 RFD. Bangkok.

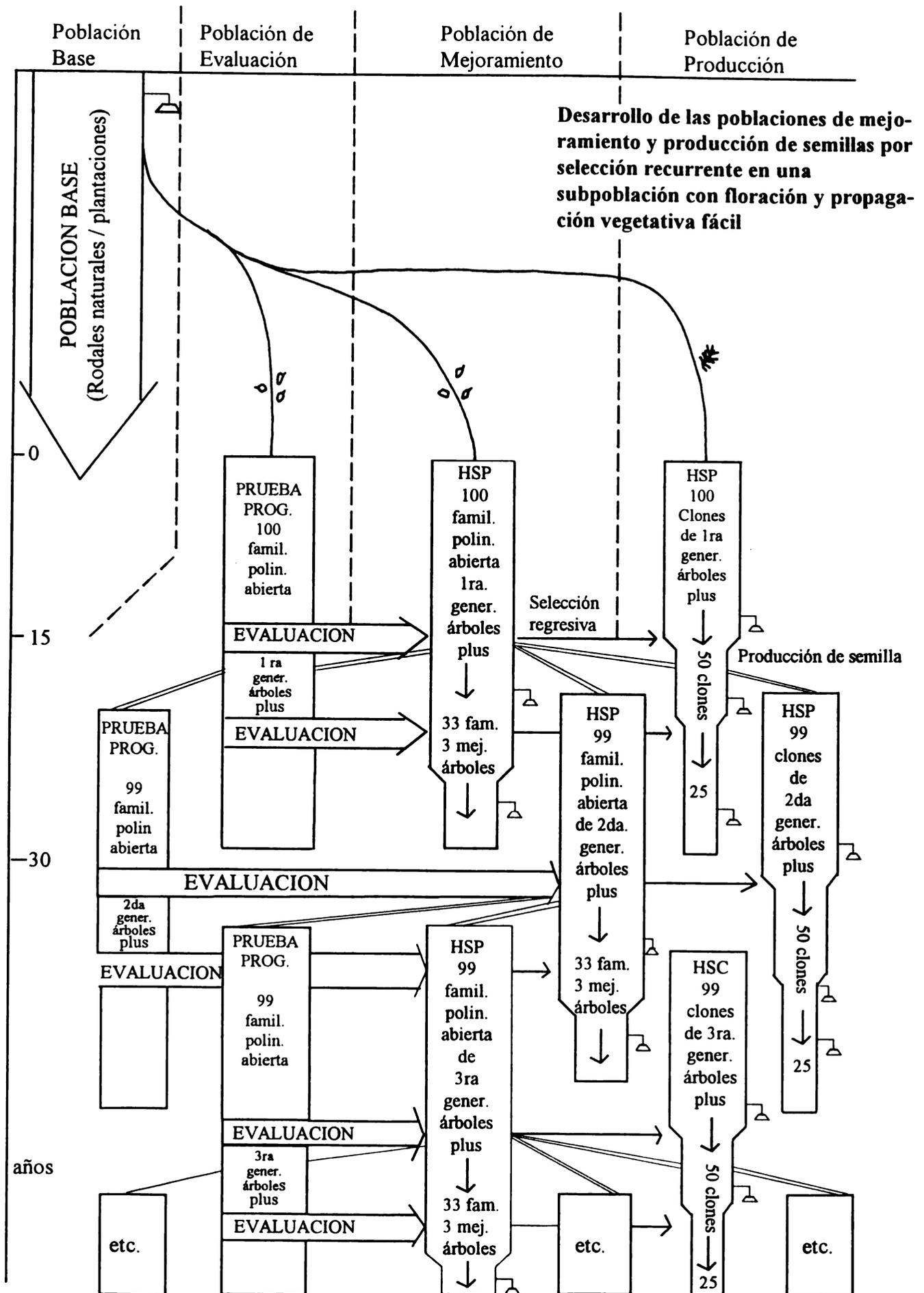
- Ross, S.D.; Pharis, R.P.; Heaman, J.C. 1980.** Promotion of cone & seed production in grafted and seedling Douglas fir seed orchards by application of gibberellic acid GA 4/7. *Canadian Journal of Forestry Research* 10(4).
- Sirikul, W. & Luukkanen, O. 1987.** Promotion of flowering using exogenous plant hormones in tropical pines. *For. Ecol. Management A*:155-161.
- Sweet, G.B. 1975.** Flowering and seed production. *In* seed orchards. Ed. R. Faulkner. *For. Comm. Bull. no. 54.* England. p.72-82.
- Toda, R. 1974.** Notes on Japanese state government forest tree breeding project. *In* Forest tree breeding in the world. Tokyo, Yamatoya Ltd. p.161-169.
- Van Buijtenen, J.P. 1975.** Planning and strategy of seed orchard programmes. *In* Seed orchards. For. Ed. Faulkner. *Comm. Bull. 54,* England.
- Werner, M. 1975.** Location, establishment and management of seed orchards. *In* Seed Orchards. Ed. R. Faulkner. *For. Comm. Bull. no. 54.* England. p. 49-55.
- Zobel, B.J.; Barber J.; Brown, C.L.; Perry, T.O. 1958.** Seed orchards, their concept and management. *Jour. For.* 56.
- Zobel, B.J.; Talbert, J. 1984.** Applied forest tree improvement. Wiley & Sons, New York.



Desarrollo de huertos semilleros clonales
Fuente: Ditlevsen et al. 1988

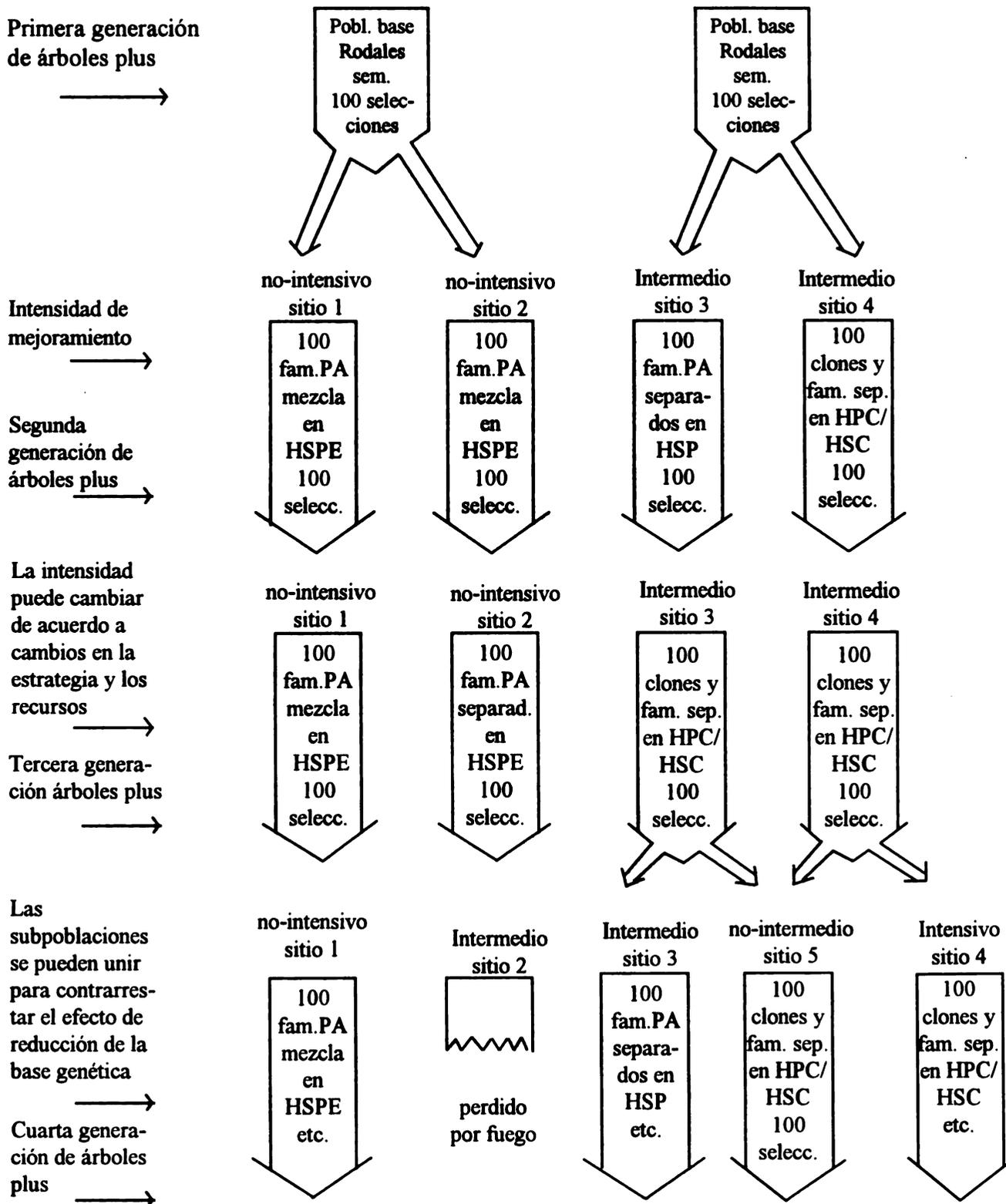
Anexo 2

Desarrollo de huertos semilleros de plántulas
Fuente: Ditlevsen et al. 1988



Simbología: HSP: Huertos Semilleros Plantulas

Programa de Huertos Semilleros de Poblaciones Múltiples mostrando un rango de procedimientos desde baja hasta alta intensidad en diferentes subpoblaciones.



Simbología:

- fam. PA = familias de polinización abierta
- HPC = huertos de propagación clonal
- HSC = huertos semilleros clonales
- HSP = huertos semilleros de plántulas
- HSPE = huertos semilleros de plantación extensiva

ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL

(Tree improvement strategies)

NOTA DE CLASE No. D-10

H. Wellendorf

Humblebaek, Dinamarca. Noviembre 1991

CONTENIDO

	PAGINA
1. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LAS ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL	57
2. INICIO DE UNA ESTRATEGIA NACIONAL DE MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL	58
3. ELEMENTOS PRINCIPALES DEL MEJORAMIENTO FORESTAL	59
3.1 Manejo	
3.2 Investigación y desarrollo	
3.3 Poblaciones forestales	
3.3.1 Poblaciones de conservación genética	
3.3.2 Poblaciones de mejoramiento a largo plazo	
3.3.3 Poblaciones de producción de semillas a corto plazo	
3.3.4 Ejemplos	
4. LITERATURA SELECCIONADA	65
ANEXO. Procedimientos sugeridos para el mejoramiento forestal a diferentes niveles de intensidad	66

1. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LAS ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL

La palabra "estrategia", tal vez un poco ambiciosa, se usa en genética forestal debido a que refleja ciertas semejanzas entre la planificación y ejecución de guerras y la planificación y ejecución de programas de mejoramiento, especialmente de largo plazo.

Una de las semejanzas es que se tiene que planificar con los recursos que están disponibles y lejos de un conocimiento completo del estado real de la naturaleza. En la esfera militar, este estado de la naturaleza se refiere a los recursos y forma de pensar del oponente. En mejoramiento forestal es el conocimiento biológico incompleto junto con la dinámica de la silvicultura y genética del futuro.

Específicamente, el reto de las estrategias de mejoramiento forestal es formular planes a largo plazo que consideren varias generaciones y que, aún así, sean suficientemente flexibles y rígidos para incorporar cambios en la política forestal y en la silvicultura, así como innovaciones en la genética y en los métodos de propagación.

La meta es presentar métodos simples que sean relativamente fáciles de manejar a gran escala. Estos métodos se basan, sin embargo, en ideas recientes del campo de la genética forestal.

Un aspecto básico de considerar es presentado por Cotterill (1986) en la siguiente figura.



**Si el plan puede fallar, fallará.
Hágalo simple.**

2. INICIO DE UNA ESTRATEGIA NACIONAL DE MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL

En un país dado, la existencia de un programa nacional de semillas forestales es un supuesto necesario para el desarrollo de una estrategia de mejoramiento genético forestal.

Un programa nacional de semillas forestales incluye:

- 1) Disponibilidad de recursos económicos.
- 2) Disponibilidad de un centro nacional de semillas, complementado con subcentros regionales.
- 3) La cuantificación de la demanda de semillas, distribuida por:

Especies
Zonas de plantación
Calendarización

Los documentos de Barner y Ditlevsen (1988) y Moestrup (1988) tratan este tema en mayor detalle.

De forma simplificada, una estrategia de mejoramiento forestal contiene dos etapas:

- a) Selección de subpoblaciones (procedencias) para las zonas de plantación y fijación de prioridades para mejoramiento futuro adicional, dentro de esas subpoblaciones (Figura 2).
- b) La identificación o creación de fuentes de semilla a corto y largo plazo, dentro de estas subpoblaciones.

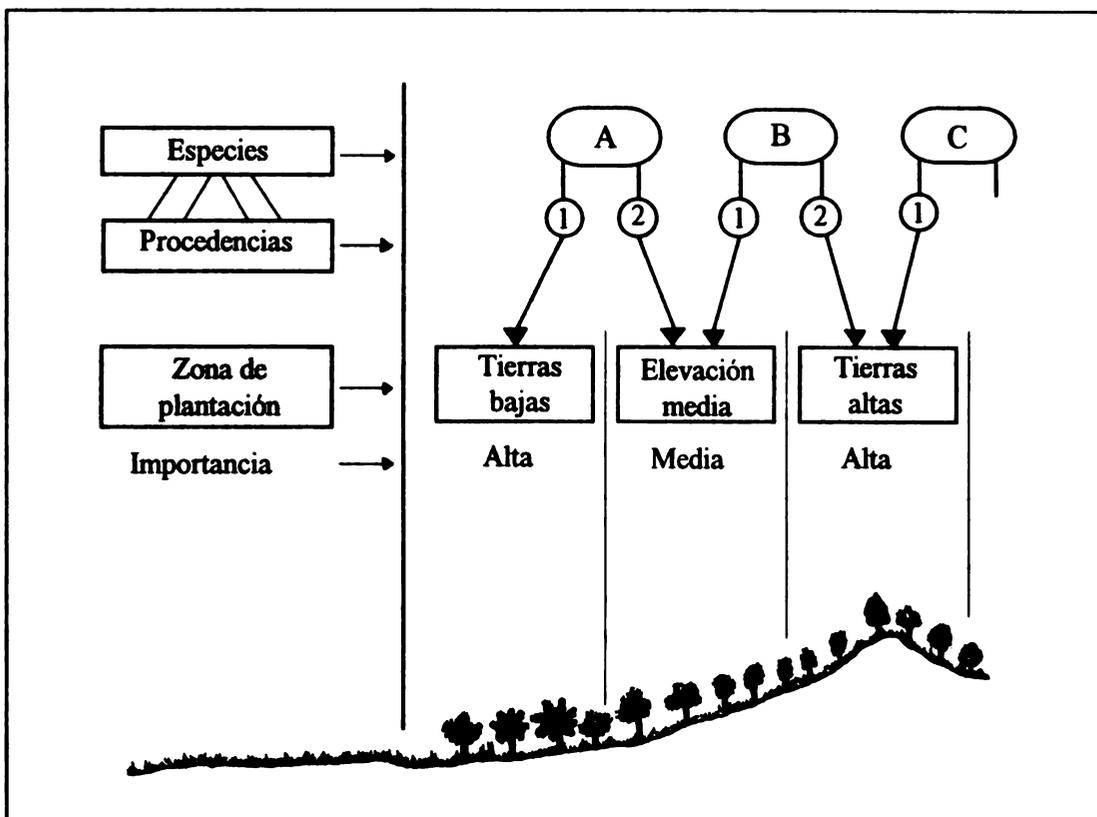
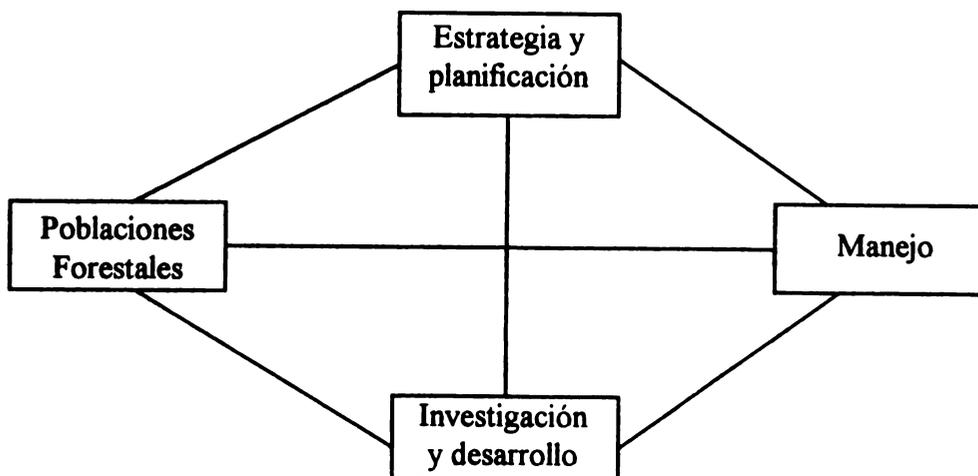


Figura 2. Ejemplo de selección de subpoblaciones (procedencias) para las zonas de plantación.
La importancia de los rodales está dada por área, índice de sitio y valor de los productos.

3. ELEMENTOS PRINCIPALES DEL MEJORAMIENTO FORESTAL



En el diagrama anterior se indican, además de la estrategia, otros tres elementos importantes del mejoramiento forestal:

1. Poblaciones forestales: Estas poblaciones representan el recurso básico. Su estructura y manejo son la esencia del mejoramiento forestal.
2. Manejo: La base humana y organizativa para las actividades del mejoramiento forestal.
3. Investigación y desarrollo: La investigación y el desarrollo son elementos necesarios para resolver ciertos problemas fundamentales del mejoramiento forestal.

3.1 Manejo

Se requiere de una buena base organizativa para estar en capacidad de realizar cualquier programa de mejoramiento.

Esta organización debe manejar las actividades de mejoramiento, tanto a corto como a largo plazo y con suficiente cobertura geográfica.

Namkoong, Barnes y Burley (1980), presentan una revisión sobre aspectos importantes de manejo relacionados con los programas de mejoramiento genético forestal en los trópicos. Los elementos claves son estabilidad y continuidad, capacitación del personal y estructura de carrera profesional definida, y finalmente, programas nacionales y cooperación internacional.

Es evidente que la estrategia de mejoramiento que se seleccione no debe ser más ambiciosa de lo que la estructura organizativa puede manejar a corto y a largo plazo.

3.2 Investigación y desarrollo

Existen ciertos problemas específicos del mejoramiento genético forestal que sobrepasan la capacidad de los programas individuales.

La elaboración de métodos genético-cuantitativos para el análisis de ensayos de campo y el desarrollo de métodos de propagación vegetativa para ciertas especies; para citar dos ejemplos de problemas específicos, deben ser realizados por un número restringido de centros de investigación y la información generada puede ser usada de manera general.

Por otra parte, es deseable que ciertas áreas específicas de la investigación se ejecuten localmente. Por ejemplo, la evaluación y selección del propio material en el ambiente local.

3.3 Poblaciones forestales

Después de que se han seleccionado las subpoblaciones (procedencias) para cada área de plantación, se puede iniciar el mejoramiento forestal a diferentes niveles.

La Figura 3 muestra el concepto de mejoramiento en poblaciones múltiples, con base en la situación de la Figura 2.

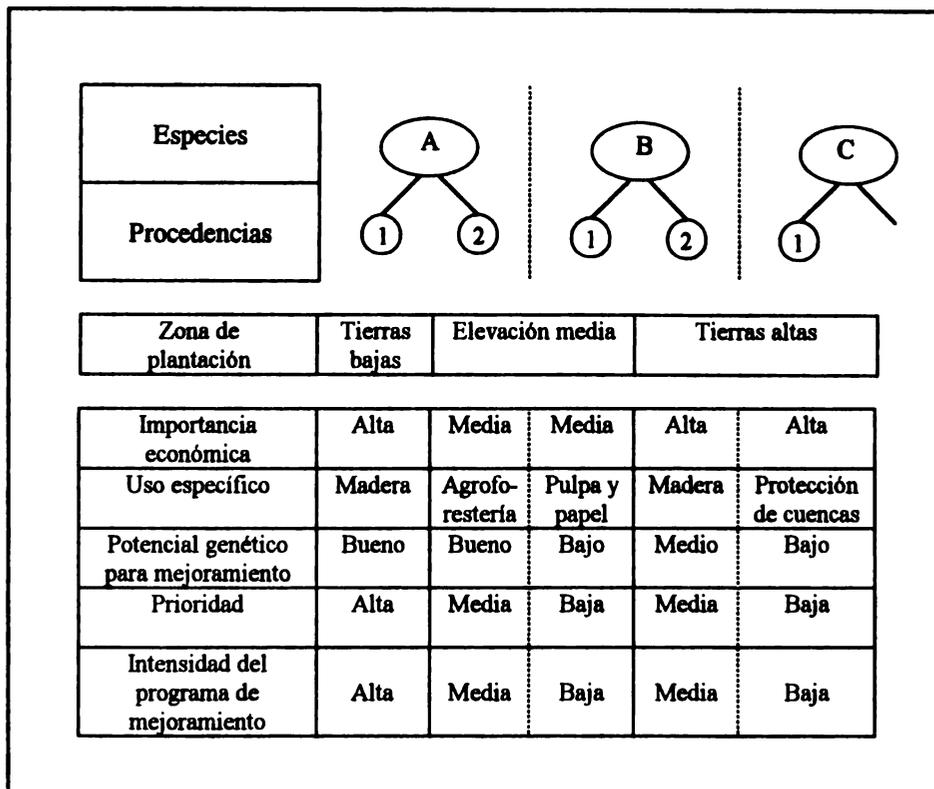


Figura 3. Mejoramiento en poblaciones múltiples.

En cada columna se relaciona la población base, con cada zona de mejoramiento. Se identifican cinco subpoblaciones.

Se pueden iniciar programas de mejoramiento de diferente intensidad, lo cual depende de la prioridad de las varias poblaciones. En todo caso, se recomienda plantear programas a largo plazo, inclusive con subpoblaciones de baja prioridad. Aún los métodos a largo plazo pueden ser simples y baratos, por ejemplo, la selección masal en generaciones recurrentes.

La Figura 4 muestra las poblaciones funcionales que existen dentro de cada columna de la Figura 3.

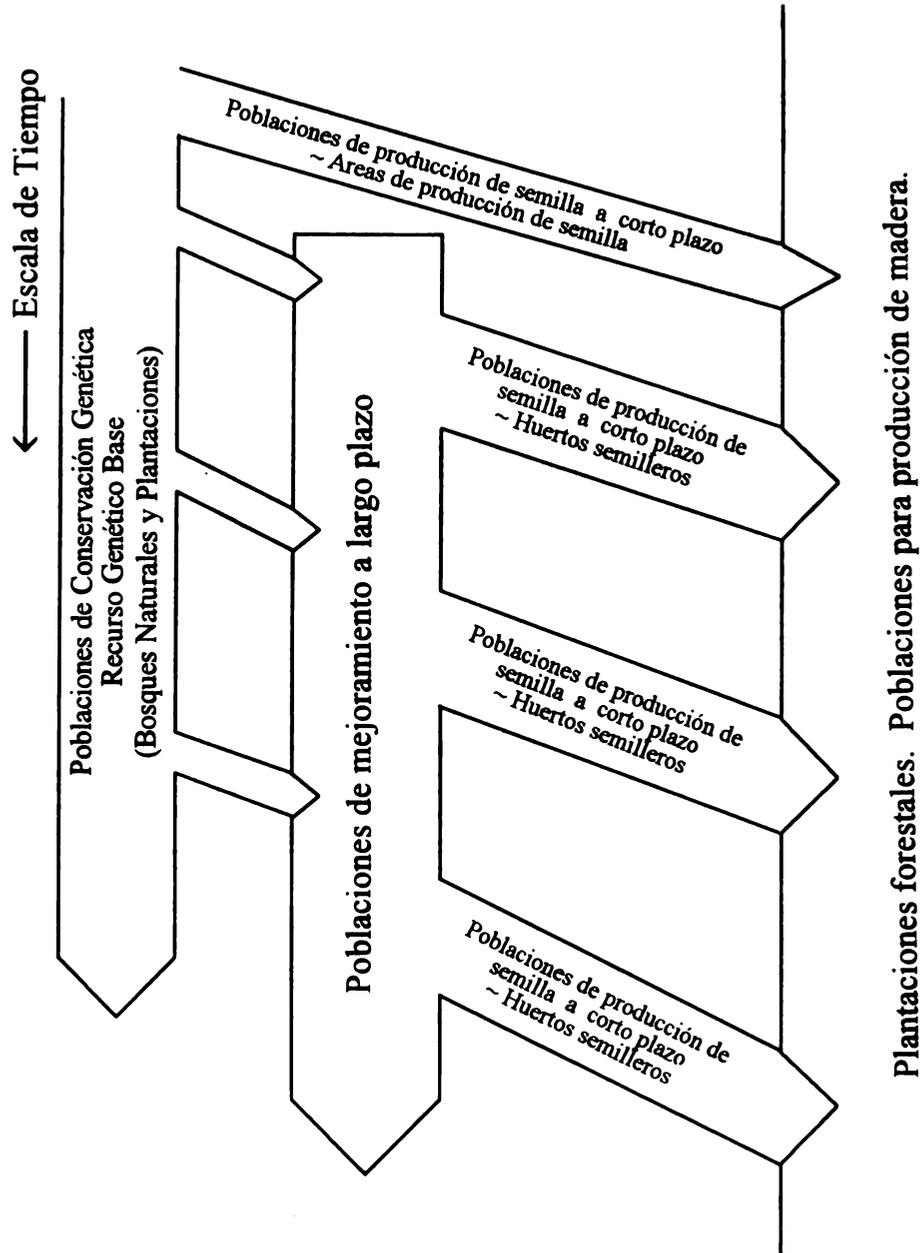


Figura 4. Poblaciones funcionales dentro de un programa de mejoramiento forestal. (En la parte izquierda de la figura existe una escala vertical de tiempo, que va de arriba a abajo)

3.3.1 Poblaciones de conservación genética

Las poblaciones de la izquierda en la Figura 4 son las poblaciones base del mejoramiento y se deben considerar como unidades de conservación de genes. Están formadas por rodales naturales y plantaciones. La característica principal de estas poblaciones es que mantienen, mediante las sucesivas generaciones, la variación genética de las poblaciones silvestres no alteradas.

Las principales razones para conservar estas poblaciones son:

- a) Cuando desaparecen los bosques naturales también lo hace el recurso genético básico.
- b) El acceso a los recursos genéticos base originales es esencial para el mejoramiento forestal, aún cuando se disponga de programas de plantación intensivos. De otra manera, los mejoradores y administradores forestales no podrán disponer de amplia variación genética y, por ejemplo, podrían presentarse plagas y enfermedades. Cuando se aplica silvicultura clonal a gran escala estos riesgos pueden ser mayores.

3.3.2 Poblaciones de mejoramiento a largo plazo

Estas poblaciones son el eje central de los programas de mejoramiento. A diferencia de las poblaciones de conservación, en estas poblaciones la selección de características deseables cambia las frecuencias genéticas. Sin embargo, esta selección se restringe de tal forma que la variación genética se mantiene aproximadamente al mismo nivel que el de las poblaciones silvestres. Esto significa que después de muchas generaciones de selección, la base genética de la población de mejoramiento debe ser todavía suficientemente amplia como para poder continuar con el programa y realizar mejoramiento aún en nuevas direcciones (nuevos objetivos).

3.3.3 Poblaciones de producción de semilla a corto plazo

Los beneficios reales del mejoramiento genético se transfieren a la silvicultura operacional a través de las poblaciones de producción de semilla. Típicamente se diseñan huertos semilleros para este propósito. A nivel más básico, se pueden seleccionar cuidadosamente rodales naturales o plantaciones para convertirlos en rodales semilleros. En el otro extremo, se pueden usar propágulos vegetativos de genotipos superiores con el mismo propósito. En este caso se pueden lograr ganancias genéticas adicionales a través de una selección intensiva en ciertas características específicas. Sin embargo, al mismo tiempo se puede restringir la variación genética del material que se planta a gran escala.

La diferencia entre las poblaciones antes mencionadas es principalmente funcional.

3.3.4 Ejemplos

En la práctica, un rodal puede tener más de una función:

Ejemplo 1.

Una área de bosque natural que ha sido declarada "rodal de conservación genética *in situ*" puede tener una doble función (Keiding y Graudal, 1989):

1. Conservación genética a largo plazo.
2. Producción de semilla a corto plazo: un rodal que produce semilla masivamente para uso directo.

Ejemplo 2.

Un huerto semillero de plántulas (Barner; *et al* (1988) y Granhof (1991)) puede tener las siguientes funciones:

1. Huerto (población) de cruzamiento: un huerto en el cual se genera la próxima generación para mejoramiento a largo plazo.
2. Producción de semilla a corto plazo: un huerto que produce semilla masivamente para uso directo.

Estos dos ejemplos muestran que, aún con recursos limitados, se pueden satisfacer la demanda de semillas a corto y largo plazo por métodos simples.

Lo importante en todo programa es eliminar la falta de flexibilidad y solidez. Por ejemplo, no se debe depender de un único huerto que puede ser destruido o que se pruebe que no es confiable o adecuado. La idea básica del concepto de poblaciones múltiples es "nunca poner todos los huevos en una sola canasta" y aprender siempre a pensar en términos de generaciones.

4.- LITERATURA SELECCIONADA

- Barner, H.; Ditlevsen, B.** 1988. The strategies and procedures for an Integrated National Tree Seed Programme for Seed Procurement, tree improvement genetic resources. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. Lecture Note No. A-1. 15 p.
- Barner, H.; Wellendorf, H.; Olesen, K.** 1988. Classification and selection of seed sources. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. Lecture Note No. B-1. 33p.
- Barner, H.; Keiding, H.** 1990. Identification, establishment and management of seed sources. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. Lecture Note No. B-2. 36p.
- Cotterill, P.** 1986. Breeding strategy: Don't underestimate simplicity. Proc. IUFRO Conference on breeding theory, progeny testing and seed orchards. Williamsburg, Virginia, USA. p. 8-23.
- Granhof, J.** 1991. Seed orchards. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. Lecture Notes D-8. 28p.
- Keiding, H.; Graudal, L.** 1989. Introduction to conservation of forest genetic resources. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. Lecture Note No. A-4. 13p.
- Moestrup, S.** 1988. Planning national seed procurement programmes. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. Lecture Note No. C-1. 28 p.
- Namkoong, G.; Barnes, R.D. ; Burley, J.** 1980. A philosophy of breeding strategy for tropical forest trees. Tropical Forestry Papers, No. 16. University of Oxford. 67 p.
- Namkoong, G.; Kang, H.C.; Brouard, J.S.** 1989. Tree breeding: principles and strategies. Monographs on theoretical and applied genetics II. Springer - Verlag.
- Wellendorf, H.; Kaosa-Ard, A.** 1988. Teak improvement strategy in Thailand. Forest tree improvement. Arboretum, Horsholm, Denmark. Vol. 21, 43 p.
- Willan, R.L.; Barner, H.** 1989. Matching seed source to planting site. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. Lecture Note No. B-3. 26p.

PROCEDIMIENTOS SUGERIDOS PARA EL MEJORAMIENTO FORESTAL A DIFERENTES NIVELES DE INTENSIDAD

1. Baja intensidad

1.1 Mejoramiento sin manejo del árbol individual y sin pruebas de campo.

Poblaciones base:	Bosques naturales locales Razas locales	Muestras representativas de ambos tipos se deben convertir en el recurso genético base.
Abastecimiento de de semilla a corto plazo:	Zonas de recolección de semilla Rodales identificados Rodales seleccionados Áreas de producción de semilla	No se requiere de ensayos de procedencias

Población de mejoramiento a largo plazo: Los rodales mencionados antes

Población de mejoramiento a largo plazo en generaciones sucesivas: Nuevas áreas de producción de semilla

1.2 Mejoramiento con selección masal

Como en 1.1, pero en este caso la siguiente generación es creada a través de la mezcla de la descendencia de (100-200) árboles plus (selección masal). Estas nuevas generaciones de rodales semilleros se plantan en varios sitios (repeticiones) y preferiblemente aislados de la contaminación de polen indeseable.

Este es un procedimiento recurrente, adecuado para el desarrollo de razas locales.

* Refiérase a los documentos de Barner et al. (1988), Keiding y Barner (1990) y Willan y Barner (1989).

2. Intensidad media

2.1 Selección masal en procedencias selectas

Poblaciones base:	<ul style="list-style-type: none"> - Bosques naturales locales - Razas locales - Fuentes exóticas - Rodales semilleros de procedencias 	En todos los casos identificados a través de ensayos de procedencias
Abastecimiento de semilla a corto plazo:	Importación de fuentes exóticas Fuentes locales Rodales semilleros de procedencia de, por ejemplo, tres procedencias superiores	
Población de mejoramiento a largo plazo:		Rodales semilleros de procedencia con selección masal para generar las nuevas generaciones (selección de 100-200 árboles en cada generación). Selección recurrente.

3. Intensidad alta

3.1 Selección masal seguida de huertos semilleros de plántulas

Como en 2.1 hasta el establecimiento de población de mejoramiento a largo plazo. En este caso se establecen huertos semilleros de plántulas con familias (mantenidas separadas) de polinización abierta de 100-200 árboles plus.

Las familias se prueban en ensayos en varios sitios representativos del área de plantación.

La siguiente generación se origina a partir de descendencias (árboles) seleccionadas de las mejores familias del huerto. Se establecen algunas restricciones en el pedigree para evitar una reducción fuerte en la base genética.

El abastecimiento de semilla a corto plazo en las siguientes generaciones se realiza a través de rodales semilleros y/o huertos semilleros de plántulas y/o huertos semilleros clonales.

**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

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

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 continúa. 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.

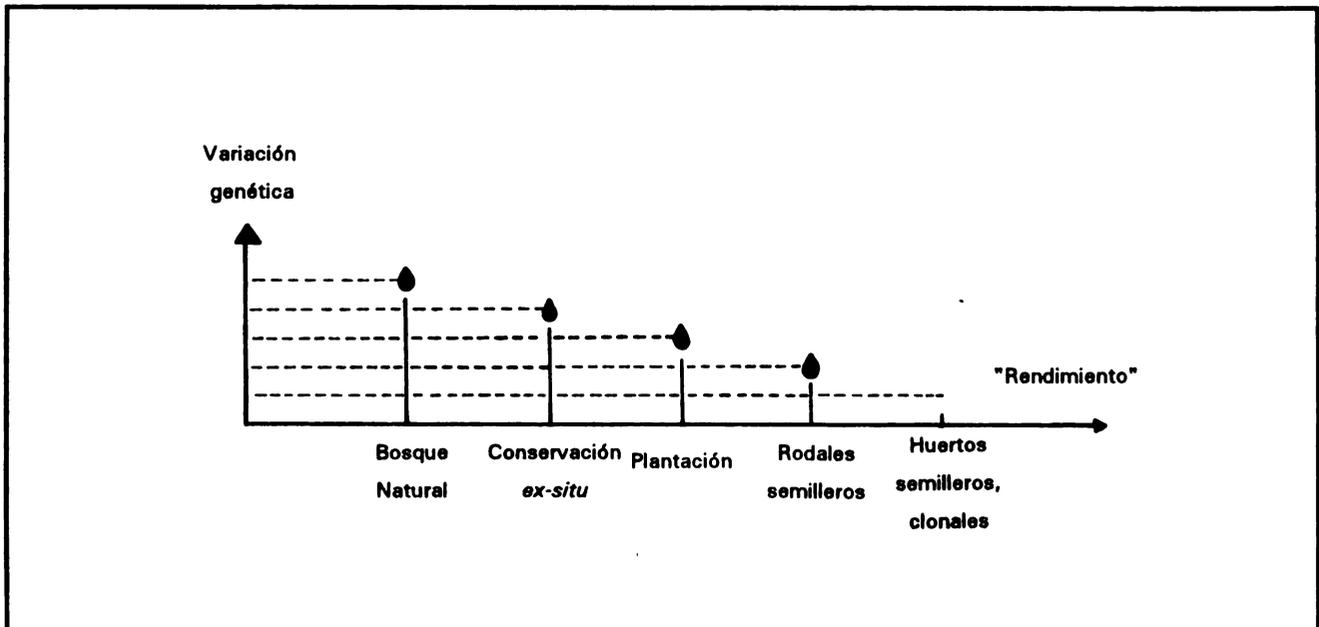


Figura 1. Reducción de la variación genética durante un proceso de mejoramiento forestal

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

	PAGINA
1. INTRODUCCION	87
2. LOS RECURSOS GENETICOS EN UN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO	88
3. MUESTREO Y SELECCION	89
3.1 Efectos del muestreo sobre la variabilidad genética	
3.2 Heterocigosis y homocigosis	
3.3 Importancia de la heterocigosis	
3.4 Endogamia	
4. LA CONSERVACION DE LOS RECURSOS GENETICOS EN RELACION A LA ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO.	95
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	
5. CONCLUSION	101
6. LITERATURA SELECCIONADA	103
7. GLOSARIO - DEFINICIONES	104
8. ANEXO 1:	107
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.

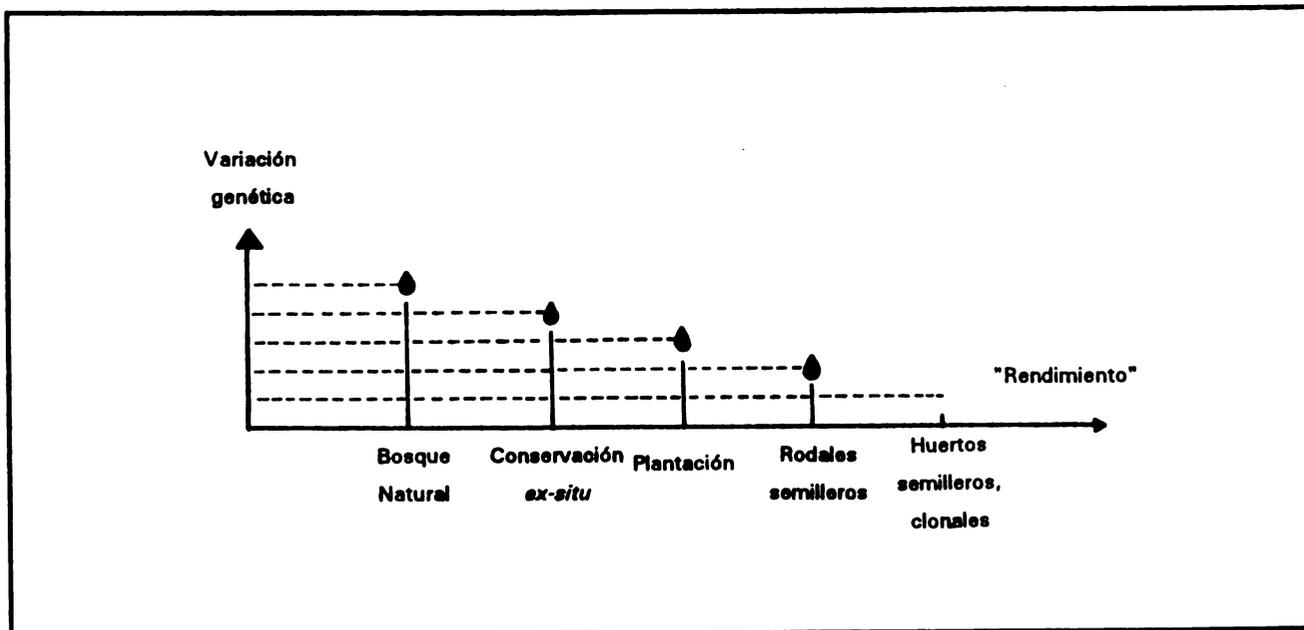


Figura 1. Relación entre "rendimiento" o nivel de mejoramiento y la variación genética de los diferentes recursos genéticos forestales.

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."

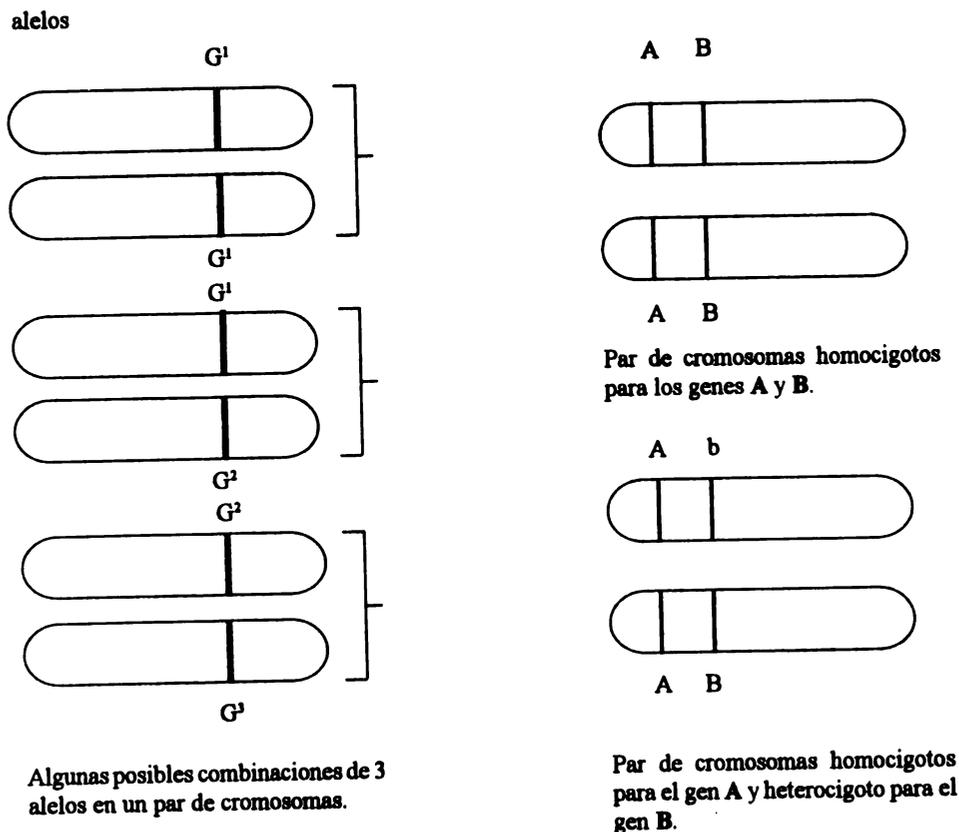


Figura 2. Algunas combinaciones posibles de tres alelos, G_1 , G_2 y G_3 (izquierda) y el significado de homocigosis y heterocigosis (derecha). Tomado del Diccionario Ilustrado de Botánica de Logman.

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.

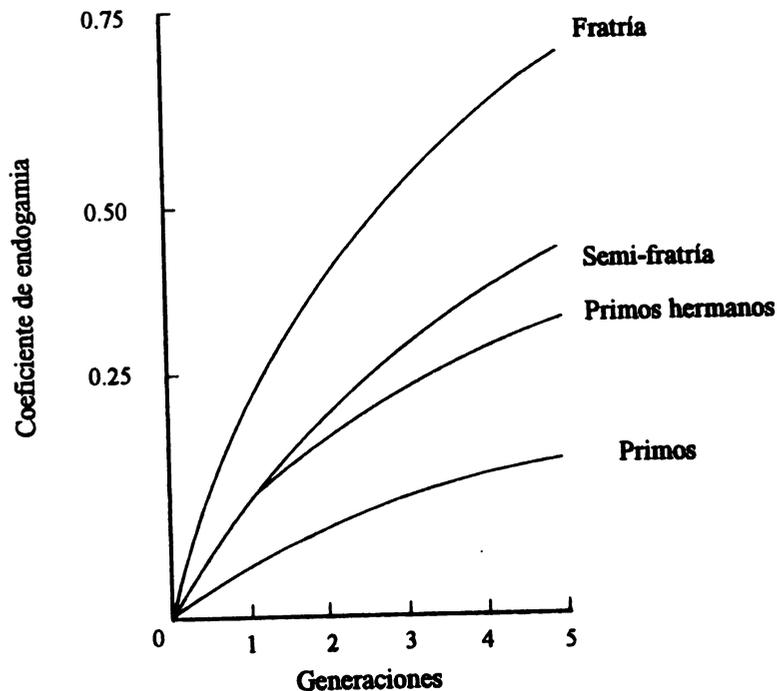


Figura 3. Incremento de la homocigosis por endogamia. De Underwood (1979) citado por Frankel y Solué (1981).

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.

Coefficiente 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
Total Eucaliptos	19,8			8,6	30,0	24,0		41,9		123,4	
<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
Total Pinos	94,8	33,5	7,5	73,0	50,0	56,8	44,5	69,5	20,0	449,6	
Gran Total	113,7	33,5	7,5	81,6	80,0	80,8	44,5	111,4	20,0	573,0	

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

**RETORNO ECONOMICO DEL MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL EN
CONDICIONES TROPICALES Y SUBTROPICALES**

**(Economic returns from tree improvement in tropical and
sub-tropical conditions)**

**NOTA TECNICA No. 36
(Complementada con Nota de Clase A-2)**

Por

R.L. Willan

Humblebaek, Dinamarca. Junio 1988

CONTENIDO

	PAGINA
RESUMEN	111
1. INTRODUCCION	113
2. SELECCION ENTRE ESPECIES	115
3. INVESTIGACION EN PROCEDENCIAS	116
4. SELECCION DENTRO DE PROCEDENCIAS	124
5. RESUMEN DE LAS GANANCIAS ESPERADAS EN LAS PRIMERAS ETAPAS DEL MEJORAMIENTO FORESTAL	129
6. ASPECTOS ECONOMICOS	130
7. LITERATURA SELECCIONADA	137
8. ANEXOS	141
1. Ejemplos de resultados de ensayos de procedencias en los trópicos y subtrópicos	
2. Cálculo de los costos, ingresos y rentabilidad de un programa hipotético de investigación de procedencias	

RESUMEN

La evidencia disponible sugiere que los beneficios derivados del mejoramiento genético forestal en los trópicos y subtropicos, debe ser por lo menos como los obtenidos en las regiones templadas. Un estimado razonable de las ganancias genéticas que se pueden lograr en la selección entre procedencias y en el primer ciclo de selección individual dentro de procedencias (huertos semilleros no raleados genéticamente), aplicables a plantaciones comerciales a gran escala, se resumen a continuación:

GANANCIA EN EL VALOR DE LAS PLANTACIONES COMERCIALES DERIVADA DE LAS PRIMERAS ETAPAS DE MEJORAMIENTO

Grado de variación entre procedencias	Ganancia esperada de la selección de procedencias (%)	Grado de variación dentro de procedencias	Ganancia esperada de la selección individual *	Ganancia total esperada (%)
Alto	10-20	Alto moderado bajo	15-30	25-50
	10-20		5-15	15-35
	10-20		1-5	11-25
Moderado	5-10	Alto moderado bajo	15-30	20-40
	5-10		5-15	10-25
	5-10		1-5	6-15
Bajo	1-5	Alto moderado bajo	15-30	16-35
	1-5		5-15	6-20
	1-5		1-5	2-10

El retorno económico, en términos de la Tasa Interna de Retorno (TIR), debe exceder el 10% para la selección de procedencias y alcanzar entre el 12% y 15% para el primer ciclo de selección dentro de procedencias, en especies con una variabilidad alta o moderada. Cuando las ganancias del mejoramiento forestal se aplican a grandes áreas, los beneficios económicos pueden alcanzar millones de dólares.

* Huerto semillero no genéticamente raleado

Los costos de ciertas operaciones (Ej: alta intensidad de selección de árboles plus en grandes áreas de bosque), son en gran medida independientes de la escala de plantación del material mejorado. Por esta razón, sólo las empresas que efectúan reforestación a gran escala pueden normalmente realizar sus propios programas de investigación y desarrollo.

Las empresas pequeñas pueden obtener beneficios similares de la compra de semilla genéticamente mejorada por las empresas mayores. Debido a que la semilla representa sólo un pequeño porcentaje de los costos de reforestación, los proyectos de plantación pueden permitirse pagar por semilla genéticamente superior hasta 20 veces el precio de la semilla comercial estándar.

El aumento en los rendimientos ofrece varias alternativas para los planificadores forestales, tales como:

1. Llenar la creciente demanda con la misma semilla del área de plantación.
2. Llenar una demanda estática con una área más reducida, ya sea con mayor calidad de sitio o mejor accesibilidad promedio.
3. Llenar una demanda estática con la misma área pero con una rotación más corta.

El retorno de la inversión puede aumentar ya sea por reducción de los gastos o por aumento de los ingresos. La mayoría de los análisis económicos publicados han evaluado los beneficios derivados del incremento en el rendimiento en las cosechas, y por lo tanto, de los ingresos. También se pueden obtener beneficios económicos significativos de, por ejemplo, la reducción de los costos por limpiezas debido a un cierre de las copas más temprano por el uso de genotipos de crecimiento más rápido, o de la reducción en los costos de los raleos por la utilización de métodos mecánicos sistemáticos, aplicables por la mayor uniformidad de las plantaciones.

1. INTRODUCCION

En el pasado se han publicado varios artículos sobre el retorno económico esperado del mejoramiento forestal. La mayoría se refiere a la experiencia en las regiones templadas. La presente nota intenta resumir la evidencia existente con respecto al retorno esperado del mejoramiento forestal en condiciones tropicales y subtropicales.

El mejoramiento genético consiste en la manipulación de la variación natural existente. Debido a que la mayoría de las especies arbóreas son predominantemente exógamas (fecundación cruzada), los bosques del mundo han desarrollado durante miles de años una base genética con una variación impresionante, que brinda a los genetistas forestales una perspectiva alentadora. Los mejoradores deben seleccionar dentro de esta variación, aquel material genético que sea útil para aumentar la calidad de los nuevos bosques, al mismo tiempo que conservar lo máximo posible de la variación genética total para uso de las generaciones futuras. Esta variación genética se encuentra ahora amenazada como nunca antes por la actividad de hombre.

La variación fenotípica (variación total) es el resultado del efecto combinado de:

1. Variación en el estado de desarrollo (edad). Por ejemplo, un árbol maduro es más grande que una plántula de vivero de la misma especie.
2. Variación ambiental. Por ejemplo, un árbol en un sitio fértil es más grande que un árbol de la misma especie y de la misma edad en un sitio infértil.
3. Variación genética. Un árbol genéticamente superior tiene un mayor desarrollo que otro genéticamente inferior de la misma especie, de la misma edad y creciendo en la misma calidad de sitio.

El arte del mejorador forestal consiste en identificar el elemento de la variación genética que deba pasar de los padres a la progenie (los hijos) y separarlo de los efectos aleatorios del desarrollo y del ambiente. Este puede ser un proceso difícil y largo, e involucra un sistema completo de ensayos de especies, procedencias y de progenie; pero la base del mejoramiento forestal descansa en la posibilidad de seleccionar árboles que posean, en una o varias características de interés, una superioridad heredable.

Las etapas del proceso de selección y mejoramiento son:

1. Selección entre especies.
2. Selección entre poblaciones dentro de una especie (subespecies o razas, variedades, procedencias, fuentes de semilla, etc.).
3. Selección entre individuos dentro de poblaciones superiores.
4. Cruzamiento controlado, incluyendo recombinación e hibridación entre especies, poblaciones, padres y progenies selectas.

El mejoramiento debe ser complementado por el desarrollo de técnicas adecuadas de propagación masiva, sexuales o vegetativas, que aseguren que los genotipos superiores se puedan usar en plantaciones a gran escala.

En general, la madera es el producto más importante de los árboles. Para la producción de madera, la tasa de crecimiento, en altura, diámetro, área basal o volumen, es la característica considerada con mayor frecuencia en programas de mejoramiento. Tiene la ventaja de que se puede cuantificar fácilmente. Por lo general, el volumen se evalúa en rodales maduros y la altura y diámetro en rodales jóvenes.

La medición de la gravedad específica de una muestra de árboles permite convertir el volumen producido por hectárea en producción en peso. En el caso de madera para pulpa se incluyen otras características importantes tales como longitud de fibra, diámetro de las células, grosor de la pared celular y proporción de madera de reacción.

La rectitud del fuste y los hábitos de ramificación (incluyendo incidencia de bifurcación) afectan los costos de manipulación y el porcentaje de pérdidas en la conversión a madera industrial. La producción de volumen se puede convertir fácilmente a valores de producción, mientras que la conversión a términos monetarios de estimados de calidad, los cuales normalmente se evalúan en una escala de grados, a menudo representa un problema. Esto se agrava si el mercado local de la madera no ha desarrollado una gradiente claro de precios dependiente del diámetro de la troza o del grado de defectos.

La relación seguridad/riesgo está estrechamente relacionada con la adaptabilidad al clima y los suelos del sitio y con la susceptibilidad a las plagas y enfermedades locales. En algunos casos la aplicación de tratamientos químicos baratos puede ser un método de control más eficiente que un largo programa de mejora (*Dothristoma* en *Pinus radiata* en Nueva Zelanda). En otros casos, el descubrimiento o desarrollo de genotipos resistentes puede o podría ser crítico para el éxito o fracaso de programas importantes de plantación (resistencia a *Hypsipyla* en Meliáceas). Un problema particular de adaptabilidad es la necesidad de sobrevivir a condiciones climáticas anormalmente severas que pueden ocurrir solo a intervalos

largos. En algunos casos, una procedencia no nativa puede ser la de mejor crecimiento por varios años pero puede sufrir pérdidas catastróficas en un año excepcionalmente seco o frío.

Poco se sabe acerca de los patrones de variación de caracteres importantes en especies usadas en forestería social (producción de forraje, contenido químico, sombra o mejoramiento del suelo, etc.), pero no existe razón para dudar que su potencial de mejoramiento en producción y calidad sea tan grande como el de las especies maderables.

2. SELECCION ENTRE ESPECIES

Es obvio que existe una gran variación entre las especies en muchas características. Aunque el clima y las condiciones de suelo sean ideales y uniformes, el potencial de crecimiento varía enormemente, aún entre especies de un mismo género. Por ejemplo, *Eucalyptus regnans* puede crecer hasta 90 m de altura, con fuste recto y cilíndrico, mientras que el *E. pyriformis* presenta árboles con tallos múltiples y casi nunca crece más de 6 m. La producción de volumen también varía mucho entre especies que están igualmente bien adaptadas al sitio y que sobreviven y se mantienen perfectamente saludables.

El tipo y la calidad de la madera también presenta una variación enorme. La teca (*Tectona grandis*) y el genízaro (*Albizia saman*) tienen madera de mejor calidad para muebles que, por ejemplo, la ceiba (*Ceiba pentandra*). Los eucaliptos son mejores productores de leña que los pinos tropicales. Otras especies tienen gran valor para la producción de otros productos que no sean leña o madera. Las especies más adecuadas para la producción de forraje, mejoramiento del suelo, sombra o protección, a menudo no son las mismas que aquellas para madera de aserrío, aunque en ocasiones existen algunas que pueden ser aptas tanto para silvicultura social como para uso industrial.

Por las enormes diferencias existentes entre especies en muchos aspectos, resulta claro que la adecuada selección de las mismas es un requisito esencial y crucial para todas las etapas posteriores de mejoramiento forestal. El proceso de selección se debe guiar por los siguientes principios:

1. Definir claramente el objetivo de producción o beneficio deseado antes de iniciar el programa de selección de especies. Un crecimiento rápido y vigoroso no tiene ningún valor si el producto final no es el apropiado. Existen pocas especies que son realmente de uso múltiple, por lo que se deben identificar los grupos de posibles especies con diferentes propósitos para los ensayos de selección de especies.

2. Por definición, las especies nativas deben ser las mejores adaptadas al sitio, a menos que este haya sido fuertemente alterado. Las especies nativas siempre se deben considerar en el programa de ensayos.
3. Las especies exóticas pueden estar tan bien adaptadas como las especies nativas, si provienen de ecosistemas y sitios con condiciones similares al lugar de introducción.
4. Algunas especies se comportan mejor como exóticas que en sus hábitats naturales, probablemente debido, entre otras razones, a que la introducción de la semilla se hizo sin importar ninguna de sus plagas naturales. *Pinus radiata* es un ejemplo de una especie de poca relevancia en su rango natural pero que presenta un comportamiento sobresaliente cuando se planta como exótica.
5. Aunque algunas especies son menos específicas que otras respecto al sitio, no existen especies adecuadas para todos los sitios y climas. Por esta razón, las pruebas de selección deben estar dirigidas hacia la evaluación del comportamiento de las especies en un determinado tipo de sitio y se debe tener cuidado de no extrapolar los resultados a sitios con características diferentes.
6. La selección de procedencias se considera posteriormente. Su importancia fue reconocida por los forestales hace más de 50 años. Por esta razón, aún en los ensayos de especies, la fuente de semilla de cada especie probada se debe conocer y registrar. De esta forma, el ensayo no sólo compara la especie A con la especie B sino que compara la fuente X de la especie A con la fuente Y de la especie B, cuando ambas se plantan en el tipo de sitio del ensayo.

3. INVESTIGACION EN PROCEDENCIAS

La mayoría de los primeros ensayos de procedencias se realizaron en las regiones templadas. Uno de los más viejos es la serie de IUFRO con *Picea abies* que se inició en varios países en 1938. En términos de producción de volumen durante todo el periodo (41 años), la mejor procedencia produjo cerca de tres veces más que la peor (de las que estaban bien representadas en el ensayo) (Stahl, 1986). La superioridad de la mejor procedencia sobre el promedio de todas las demás fue de 46% y sobre la población local no mejorada fue de 39%.

Otras conclusiones de este ensayo fueron:

- a.- Las mejores procedencias pueden ser seleccionadas sobre la base de crecimiento en altura a los 8 años de edad o a un octavo de la rotación de esta especie.
- b.- Una diferencia de 0.5 m en altura (13 % del promedio) a los 14 años de edad, corresponde a una diferencia en la producción de volumen de 100 m³ de madera sólida de los fustes (21 % del promedio) a la edad de 41 años. Sin embargo, las diferencias en producción de volumen son en cierta manera exageradas debido al pequeño tamaño de las parcelas y a la buena calidad de sitio.
- c.- Las mejores procedencias producen continuamente volúmenes más altos que el promedio de las demás procedencias. Por lo tanto, el efecto de una correcta selección puede ser comparada al incremento en calidad de sitio.
- d.- Los rodales semilleros y las denominadas "razas locales" figuran predominantemente entre las procedencias más productivas.

En ensayos con *Picea sitchensis* (8-10 años) en Dinamarca y Escocia las mejores procedencias superaron en crecimiento en altura en 11-16% al promedio general (Madsen, 1984; Lines y Samuel, 1984)). En Canadá, con *P. glauca* evaluada en 15 sitios, las procedencias más rápidas en crecimiento en altura superaron en un 20% al promedio y en 17% a la procedencia local (Carlisle y Teich, 1971).

En condiciones templadas más cálidas o subtropicales se han obtenido ganancias de magnitud similar. Tal es el caso reportado por Kraus, Wells y Sluder (1984) sobre *Pinus taeda* en el sureste de los Estados Unidos, en donde encontraron grandes diferencias a temprana edad (15 a 20 años) del orden del 10 al 15 %, mientras la diferencia en producción de volumen entre la mejor y el promedio de las procedencias, a la edad de 25 a 35 años, varió entre 30 y 80 %.

En general, los ensayos en los trópicos son mucho más recientes que en las zonas templadas. Sin embargo, los resultados publicados de ensayos en el trópico y subtropical indican que las diferencias entre procedencias son tan grandes como las de las especies de zonas templadas. Debido a que las tasas de crecimiento generalmente son mucho mayores y las rotaciones más cortas en los trópicos, una ganancia genética dada es más valiosa, tanto en términos de producción de volumen por hectárea como en valor descontado (valor actual neto - VAN).

En el caso de *Eucalyptus camaldulensis*, especie de amplia distribución en Australia, la relación en producción de volumen entre la mejor y peor procedencia es de 3:1 a los 6 años en Nigeria y de 8:1 a los 10 años en Israel (FAO, 1981). Sin embargo, una comparación más útil es la que se realiza entre la mejor procedencia y

el promedio de todas las del ensayo. Cuando la especie es nativa, es valiosa la comparación con la procedencia local. También es de gran interés, cuando la especie es exótica y con disponibilidad de semilla limitada, la comparación de la "nueva" mejor procedencia con la que ha estado realmente disponible (ej. Mountain Pine Ridge, para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*).

En Costa Rica, se han presentado resultados similares y aún mejores con varias especies tropicales de rotación corta, tales como *Acacia mangium*, *Eucalyptus urophylla*, *Cordia alliodora*, *Gmelina arborea*, *Pinus caribaea* var *hondurensis* y *Pinus oocarpa/tecunumanii*, entre otras, en donde las diferencias entre procedencias también son notables. La superioridad en producción de volumen total entre la mejor procedencia y el promedio de todas las demás evaluadas fue generalmente mayor del 75% y pudo alcanzar en algunos casos más del 200% (Corea *et al*, 1992).

En los últimos años ha aumentado la preocupación sobre los efectos a largo plazo de la reducción del acervo (pool) genético de las especies de plantación que puede resultar como consecuencia del uso de unos pocos genotipos superiores de una sola procedencia. Por esta razón, resulta prudente mantener una base genética amplia usando una proporción de varias procedencias superiores (tres, por ejemplo) según los resultados de los ensayos, en vez de concentrarse sólo en la mejor procedencia. La ganancia inmediata puede ser un poco más pequeña, pero esto se compensa con una disminución en el riesgo de una reducción excesiva de la base genética.

En el Anexo 1 se presentan ejemplos sobre resultados de ensayos de procedencias en los trópicos y subtrópicos, incluyendo pinos, eucaliptos y varias latifoliadas tropicales. Cuando se dispone de datos se hacen las siguientes comparaciones:

- a) La mejor procedencia con la media de todas las procedencias en el ensayo.
- b) La media de las "mejores" tres procedencias con la media de todas las procedencias en el ensayo.
- c) La mejor procedencia con la procedencia local o la procedencia en uso.

La mayoría de los resultados se refieren a la tasa de crecimiento en altura, diámetro, área basal o volumen, pero se incluyen algunas comparaciones de rectitud del fuste y gravedad específica de la madera.

A menos que se especifique otra cosa, las ganancias citadas en los siguientes párrafos se refieren a la comparación entre la media de las tres procedencias más rápidas y la media de todas las procedencias evaluadas.

Para la media de las tres mejores procedencias, la ganancia genética más alta en crecimiento inicial en altura ocurrió en *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Eucalyptus camaldulensis*, *E. cloeziana* y *Pinus taeda*. El mejoramiento de estas especies varía de 15% a 34% a edades de 4.5 a 7 años. En *Eucalyptus tereticornis*, *Pinus oocarpa/tecunumanii*, *Pinus elliottii* y *Terminalia superba* las ganancias fueron de 10 a 14%. Algunos ensayos individuales de *P. caribaea* var. *hondurensis* mostraron diferencias de 5-6%, pero el promedio de 15 sitios de ensayos internacionales de esta especie fue de 4% y en un ensayo fue de solamente 1%. En ensayos de *P. patula* en Zimbabwe, la mejor procedencia fue 3% superior al promedio.

En ensayos donde se evaluó el incremento en diámetro y altura, el mejoramiento en diámetro fue similar o un poco inferior al de la altura. En los ensayos de *Tectona grandis*, el mejoramiento varió entre 6% y 12% para incremento diamétrico (tres ensayos) y entre 3% y 14% para el incremento en área basal por hectárea (otros 4 ensayos). En *Gmelina arborea*, los valores respectivos fueron 8% a 15% para diámetro (5 ensayos) y 6% a 18% para incremento en área basal (otros 3 ensayos). Los valores para teca y melina son estimados de las diferencias genética (Keiding *et al.*, 1986; Lauridsen, *et al.*, 1987), mientras que para las otras especies son expresiones de diferencias fenotípicas.

En ensayos en los que se midió el área basal o el volumen por hectárea, así como la altura, el mejoramiento en área basal (tres mejores procedencias) fue de 1,5 a 5 veces el obtenido para incremento en altura, mientras que el aumento en producción de volumen fue de 2 a 6 veces mayor. Algunas de las diferencias en volumen se deben descontar debido a varias razones: influencia de tamaño pequeño de la parcela, sobrevivencia variable e influencia creciente de la competencia diferencial conforme crecen los rodales.

La magnitud de las diferencias entre procedencias varía considerablemente de especie a especie en los trópicos, tal como ocurre en las regiones templadas. En Norte América, *Picea glauca*, la cual tiene un rango amplio de distribución natural que abarca diferentes condiciones climáticas y de suelo, ha mostrado diferencias de al menos un 20% entre la procedencia más rápida y el promedio, mientras que en *Pinus resinosa*, el cual tiene un rango restringido, esta diferencia es de menos del 10% (Carlisle y Teich, 1975). En la zona templada cálida o subtropical *Pinus taeda*, con un rango amplio de distribución, muestra mayor variación en la tasa de crecimiento que *Pinus elliottii*, que tiene un rango de distribución más restringido. Ensayos en África han confirmado los resultados de ensayos similares con estas dos especies en Estados Unidos. *Eucalyptus camaldulensis* es una especie con un gran rango de distribución natural en Australia y también exhibe grandes diferencias entre procedencias en ensayos comparativos. En resumen, con base en estos y otros resultados en el trópico y subtrópico, y considerando las diferencias en crecimiento inicial en altura entre las tres mejores procedencias y el promedio, las especies se pueden clasificar en:

1. "Muy variables": pueden mostrar un mejoramiento de 15-30%
2. "Moderadamente variables": mejoramiento posible de 5-15%
3. "Poco variables": mejoramiento posible de 1-5%

La clasificación anterior es arbitraria y, para la mayoría de especies tropicales, todavía no se posee una buena estimación de su variabilidad genética total. Sin embargo, los resultados muestran que los beneficios de la selección de procedencias son mayores en unas especies que en otras, dependiendo de su variabilidad.

En los ensayos evaluados, las especies *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus cloeziana* y *Pinus taeda*, entre otras, se pueden clasificar como especies "muy variables", mientras que especies como *Pinus caribaea* var. *hondurensis* y *P. patula* califican como especies "poco variables". Sin embargo, no se debe olvidar que diferencias aparentemente pequeñas en altura, diámetro y sobrevivencia representan grandes diferencias en volumen total producido por hectárea. En Costa Rica se ha encontrado para varias especies tropicales, que la superioridad en producción de volumen total entre la mejor procedencia y el promedio de todas las procedencias evaluadas es generalmente mayor del 75% y puede alcanzar en algunos casos más del 200% (Corea, 1992).

Sin embargo, es importante señalar que no es conveniente menospreciar diferencias aparentemente pequeñas (grupo 2 y 3) en altura, diámetro y sobrevivencia ya que pueden representar en suma grandes diferencias en volumen total producido por hectárea.

Por otra parte, permanece la interrogante de si las diferencias que se presentan en los ensayos se repetirán en plantaciones a gran escala. La extrapolación de los resultados de ensayos a plantaciones comerciales depende de varios factores:

1. La disponibilidad de semilla de la misma fuente que la procedencia (o procedencias) que probó su superioridad en los ensayos. Es inevitable que exista alguna variación entre la recolección de pequeñas cantidades de semilla para investigación provenientes de una muestra de pocos (25-100) árboles y la recolección "comercial" de grandes cantidades de un mayor número de árboles dispersos en una área más amplia. En algunos casos, la recolección "comercial" puede presentar una ventaja para las siguientes generaciones si la mezcla de semillas de una área mayor reduce el grado de endogamia en las generaciones posteriores. Este efecto pueden contribuir a mejorar el comportamiento de "razas locales" derivadas de la procedencia original, en comparación con el que se obtiene cuando se usa semilla directamente de la procedencia original, tal como se ha informado en varios ensayos. Sin embargo, es muy importante que la recolección "comercial" se efectúe en la misma área semillera que la recolección original (la misma o similar latitud, altitud, precipitación, exposición, suelo, etc.).

2. Qué tanto de la aparente superioridad fenotípica expresada en los ensayos se deba a superioridad genética (qué se repetirá en otras plantaciones), o a superioridad ambiental (que no se pueden repetir). Los experimentos bien diseñados permiten estimar qué proporción de las diferencias fenotípicas se atribuyen a diferencias genéticas (i.e. la heredabilidad, h^2 , de las diferencias observadas). En las series de ensayos de teca y melina (Keiding, *et al.*, 1986; Lauridsen *et al.*, 1987) se calculó " h^2 " en cada experimento para la media del diámetro y se encontró que por lo general se encuentra entre 0,5 y 0,9. El producto de " h^2 " multiplicado por las diferencias fenotípicas se usan para estimar las diferencias genéticas (Anexo 1).

Un ejemplo particular de como los factores ambientales pueden afectar las diferencias reales en los ensayos es el efecto de borde entre parcelas pequeñas (en líneas o árbol único). Los árboles de las mejores procedencias pueden crecer al lado de árboles de procedencias inferiores y ser sometidos a menor competencia que cuando crecen en plantaciones puras junto a árboles de la misma procedencia. El efecto de borde puede aumentar con la edad del ensayo y afectar en mayor proporción al diámetro y el volumen que a la altura. En alguna medida, este problema particular es un defecto del diseño experimental ya que existe dependencia entre tratamientos. Este problema se puede reducir sustancialmente por el uso de parcelas grandes rectangulares o cuadradas con una o dos líneas de borde, que no se miden, de la misma procedencia.

3. La correlación entre las diferencias en altura en el ensayo y las diferencias en las plantaciones operacionales a la edad de rotación (correlaciones juvenil-maduro). Si los ensayos se miden a la edad de rotación, la correlación es 1. Sin embargo, en la mayoría de los casos es necesario seleccionar el material a plantar cuando los ensayos son todavía relativamente jóvenes. Lambeth (1980) evaluó la correlación entre altura juvenil y altura madura para varias especies de coníferas a diferentes edades y encontró que ésta crece de 0,5, cuando la edad de evaluación es un 20% del turno, a 0,8, cuando la edad de evaluación es un 50% de la rotación. Se puede llegar a un posible balance entre hacer una selección prematura que puede ser riesgosa y esperar demasiado tiempo hasta el turno. En este sentido se pueden dar los siguientes consejos:
- a. Base la decisión sobre una evaluación hecha a una edad mínima de un tercio de la edad de rotación o al menos cuatro años aproximadamente para especies con rotaciones cortas. La evaluación a una edad de 33% del turno da una correlación esperada de 0,7 en los estudios de Lambeth, pero su aplicación a especies tropicales todavía debe ser comprobada.
 - b. Si es posible, se debe corroborar que exista estabilidad en la posición que ocupan las procedencias en las dos últimas evaluaciones, especialmente las procedencias más sobresalientes.

- c. Como se recomendó anteriormente, seleccionar material de las mejores procedencias y no sólo de la más sobresaliente, y establezca rodales semilleros de ellas con área suficiente para prevenir las necesidades futuras. Si es necesario se pueden hacer algunas modificaciones en la selección antes de que se recolecte la primera semilla para plantaciones comerciales. Mientras crecen los rodales semilleros se puede corroborar si las procedencias inicialmente promisorias mantienen su superioridad y rechazar alguna que haya modificado negativamente su comportamiento.
4. La conversión de las diferencias en altura a las diferencias en productividad total en la edad de rotación. La revisión de las tablas de crecimiento para diferentes clases de calidad de sitio (a los cuales las procedencias estables se pueden considerar análogas) sugiere que diferencias de un 10% en altura a la edad madura entre clases de sitio adyacentes se asocian con diferencias en producción de volumen de 15-20%. Si se consideran las clases diamétricas superiores, existe un incremento adicional en la diferencia en la producción de volumen.
5. La correlación entre la productividad esperada a la edad de rotación de las mejores procedencias en los ensayos y la productividad cuando se planta en áreas extensas. Esto depende de cuan representativos son los sitios de los ensayos del área total de plantación. Por ejemplo, los resultados de un ensayo plantado en un suelo arcilloso mal drenado tienen poco valor si posteriormente se descubre que un 80% del área de plantación tiene un suelo arenoso bien drenado.

La eficiencia con que los sitios experimentales representen la variabilidad ambiental existente en el área de plantación, depende de la eficiencia de los estudios preliminares que se hagan sobre la variación edáfica y topográfica. A menudo estos estudios revelan la existencia de varios tipos de sitios en el área de plantación. El comportamiento de las procedencias debe ser evaluado en cada uno de los tipos de sitio independientemente. Nunca se puede justificar la extrapolación de los resultados de un ensayo a otro sitio o clima contrastante, sin evaluación adicional. Sin embargo, se pueden esperar correlaciones satisfactorias entre varios sitios dentro de una zona de plantación razonablemente homogénea. Por ejemplo, Wellendorf (1986) encontró una correlación de 0,8 para una especie en Suecia dentro de una zona de plantación representativa.

Para la mayoría de las especies tropicales no se han estudiado todos los aspectos mencionados anteriormente. En el caso de que no se cuente con información, es preferible usar estimaciones conservadoras del grado de mejoramiento (ganancia genética) que se puede obtener de los programas de investigación sobre procedencias. Por ejemplo, algunas estimaciones conservadoras arbitrarias del porcentaje de superioridad promedio de las tres procedencias con mayor crecimiento sobre la media de todas las procedencias son:

1. Especies "muy variables": 10-20%.
2. Especies "moderadamente variables": 5-10%.
3. Especies "poco variables": 1-5%.

La discusión anteriormente presentada se refiere sólo a la cantidad y tamaño de trozas producidas. También es posible mejorar la calidad del fuste (rectitud, bifurcaciones, circularidad, tamaño de los nudos, etc.) y de la madera (gravidad específica, longitud de fibra, etc). En ocasiones, las variables de crecimiento y vigor pueden estar correlacionadas inversamente con las de calidad del fuste y la madera. Por lo tanto, es prudente no agregar ganancias por el mejoramiento de estas variables en la estimaciones iniciales. En algunas especies, sin embargo, el aumento de las ganancias puede depender del mejoramiento de las características de calidad en vez del crecimiento. Por ejemplo, la selección de las procedencias que presentan mayor rectitud del fuste puede producir un mayor aumento en el valor final de la cosecha que la selección de las procedencias de mayor producción de volumen bruto.

Aunque rara vez la misma procedencia es la mejor en todos los sitios, algunos ensayos internacionales han identificado ciertas procedencias que consistentemente se encuentran entre las primeras en un rango amplio de condiciones de sitio. La procedencia Albacutya de *Eucalyptus camaldulensis* ha sido la de mejor comportamiento en la región mediterránea, mientras que Petford y Katherine han sido consistentemente las mejores en las regiones tropicales semihúmedas (estacionales) y secas, respectivamente (Lacaze, 1978). Otro ejemplo se presenta con las procedencias Guanaja, Alamicamba y Santa Clara de *P. caribaea* var. *hondurensis* (Gibson, Barnes y Berrington, 1983). Por otra parte, la procedencia Yucul, Nicaragua de *Pinus tecunumanii* que ocupa el primer lugar en producción de volumen en la gran mayoría de los ensayos internacionales de procedencias de pinos centroamericanos, coordinados por el Instituto Forestal de Oxford (Greaves, 1980).

La procedencia Mountain Pine Ridge (MPR) de Belice fue la fuente de semilla más usada en las plantaciones iniciales de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. En recientes ensayos internacionales de procedencias con esta especie, esta fuente tuvo generalmente un comportamiento cercano al promedio de todas las procedencias en estudio (Gibson, Barnes y Berrington, 1983). Tal como se muestra en el Anexo 1, en varios ensayos la mejor procedencia produce 20% más volumen (y en ocasiones hasta 30% más) que la procedencia no mejorada de MPR.

Por otra parte, las razas locales manejadas o las procedencias locales algunas veces figuran entre las mejores procedencias evaluadas. La semilla del huerto de clones de *P. caribaea* var. *hondurensis* establecido en Byfield, Australia, derivado de la procedencia Mountain Pine Ridge (MPR), Belice, produjo en promedio 12% más volumen que la fuente MPR no mejorada. En varios sitios el mejoramiento fue de 20%. Las razas locales y los huertos semilleros produjeron aún más volumen que la mejor nueva introducción no mejorada en el caso de *Eucalyptus cloeziana* en Costa de Marfil, *Pinus patula* en Zimbabwe y *P. taeda* en Malawi, *Tectona grandis* en

Nigeria y Papua Nueva Guinea, *Bombacopsis quinata*, *E. tereticornis*, *E. grandis*, *P. patula*, *Cupressus lusitanica* en Colombia y *Gmelina arborea* en Costa Rica. Niveles de mejoramiento similares se han obtenido a través de la selección y manejo de plantaciones de fuentes nativas de *Tectona grandis* en India y Tailandia. Aunque varios de los ensayos de procedencias incidentalmente han demostrado el valor de las razas locales, esta situación no cambia el hecho de que las mayores ganancias a largo plazo se obtienen identificando, a través de ensayos bien diseñados, las procedencias mejor adaptadas y de mejor comportamiento en las condiciones locales y seleccionando, propagando y cruzando posteriormente los mejores genotipos de esas procedencias.

4. SELECCION DENTRO DE PROCEDENCIAS

Los resultados de la investigación han demostrado que, en muchas especies, existe también una considerable variación genética entre individuos dentro de poblaciones o procedencias. Después de que se han identificado una o más procedencias con un comportamiento superior en las condiciones ambientales locales, se puede continuar seleccionando rodales o plantaciones superiores dentro de esas procedencias para manejarlos y convertirlos en rodales semilleros y/o seleccionando árboles superiores para establecer huertos semilleros clonales o de plántulas, en donde se concentre el material genético de los individuos seleccionados.

Con la selección y manejo de rodales semilleros se obtiene alguna ganancia genética. Esto implica la realización de raleos fuertes y tempranos, en los cuales se eliminan los fenotipos inferiores y se promueve el desarrollo de las copas de los mejores árboles, estimulando así una buena producción de semilla. La intensidad de selección en rodales semilleros es aproximadamente de 1:10 con respecto a la densidad inicial de plantación y de 1:4 a 1:5 con respecto a rodales comerciales manejados de la misma edad. Estos valores son pequeños si se comparan con la intensidad de 1:1000 que frecuentemente se usa en la selección de árboles plus utilizados para establecer huertos semilleros. Cuando el área requerida para un rodal semillero es sólo una pequeña proporción del área total de plantación, la selección del rodal en sí misma podría producir algún grado de mejoramiento genético adicional, siempre y cuando exista, por cualquier motivo, alguna variación genética entre los rodales candidatos y esta se manifieste en diferencias fenotípicas observables. La selección, por ejemplo, de las mejores 20 ha de un total de 1000 ha es significativamente mejor que la selección de 20 ha de un total de 50 ha. Sin embargo, el mejoramiento que se logra por la selección y manejo de rodales semilleros probablemente no sea mayor del 25%-50% del que se logra inicialmente con un huerto semillero. La principal ventaja de los rodales semilleros radica en su simplicidad y bajo costo y en la posibilidad de cosechar semilla mejorada en pocos años una vez aplicado el tratamiento.

La mayor parte de la evidencia sobre el mejoramiento genético que se obtiene en huertos semilleros proviene de las zonas templadas. Existe mucho menos información sobre coníferas y especies latifoliadas tropicales. Aún en el caso de las coníferas de zonas templadas, la mayoría de las comparaciones entre el material mejorado y las fuentes comerciales comúnmente utilizadas se han realizado a edades iguales o inferiores a la mitad de la edad de rotación. Aún así, la evidencia disponible es bastante consistente. Carlisle y Teich (1978) la han resumido de la siguiente manera: "En la mayoría de las especies se puede esperar por lo menos un 10% de ganancia en crecimiento y en algunas hasta 15-25%". Se pueden obtener ganancias adicionales en la calidad del fuste y de la madera, así como en la resistencia a plagas y enfermedades. El cuadro resumen de ganancias en crecimiento preparado por Nikles (1970) en varias especies de coníferas a edades de 6 a 15 años, confirma la anterior estimación. Las ganancias en volumen varían desde 10% para selección fenotípica con polinización por viento hasta 20% para selección basada en pruebas de progenie, combinada con polinización controlada. Eldridge (1982) encontró que la semilla de un huerto no raleado de *Pinus caribaea*, fenotípicamente seleccionado, establecido en Australia, produjo un promedio de cerca del 15% mayor en incremento en volumen por hectárea a la edad de 10-12 años que la fuente de semilla comercial estándar. También se duplicó el porcentaje de árboles sobresalientes en el rodal. Hollowell y Porterfield (1986) sugirieron una ganancia en volumen a la edad de rotación de 8-15% en *Pinus taeda*, con un solo ciclo de selección y un aclareo del 30-55% en el huerto semillero. También sería posible obtener una ganancia adicional del 5% para gravedad específica y calidad del fuste (Porterfield, 1974). Para la misma especie en Texas, van Buijtenen y Saitta (1972) estimaron una ganancia en volumen de 15% más un 15% adicional por forma del fuste, forma de la copa y gravedad específica, producto de un ciclo de selección y producción de semilla en un huerto semillero no aclareado establecido por injertos. También predijeron una ganancia adicional de 25% como consecuencia de la prueba de progenies y del establecimiento de un huerto semillero de segunda generación. En *Pinus elliotii*, una especie menos variable, la ganancia en la producción de volumen total a los 20 años (incorporando los beneficios de la resistencia al herrumbre y el aumento en crecimiento), estimada en un estudio sobre huertos semilleros en el sureste de los Estados Unidos, fue de 7% para huertos no raleados y 13,2% después del raleo (Universidad de Florida, 1988). En el caso de *P. radiata* de un huerto semillero clonal establecido con clones seleccionados a una tasa de 1:1000 en Nueva Zelanda, Shelbourne (1969) predijo que el porcentaje de ganancia en rectitud excedería el del diámetro; las ganancias fueron estimadas en 11% para el diámetro y 47% para rectitud. En el Reino Unido, se ha reportado para el primer ciclo de selección una ganancia en altura de 15% en *P. palustris* a la edad de 10 años y de 18% en *Picea sitchensis* a la edad de 6 años (Forestry Commission, 1985 a y b). La ganancia de los siguientes ciclos de selección varió entre 5 y 30%, dependiendo del grado de control de la polinización, evaluación de la progenie, reselección de familia y aclareo de huertos.

El género *Populus* es un buen ejemplo del uso de propagación vegetativa en mejoramiento forestal. En Italia, el mejoramiento en este género para resistencia al hongo *Marssonina brunnea* es uno de los objetivos más importante del mejoramiento. El conocido clon I 214 produjo como promedio anual un 32% más de dinero (sin descuento) que el clon I 488 en áreas sin *Marssonina*, aumentando dramáticamente este valor a 367% cuando el hongo está presente y no se trata químicamente (Castellani y Prevosto, 1970). En contraste, la superioridad del clon I 214 con respecto al clon "Canadian" fue relativamente constante (56-60%), independientemente de la presencia o ausencia de *Marssonina*.

La información sobre el efecto de la selección individual en especies tropicales y subtropicales se encuentra dispersa. El efecto de la selección natural, silvicultural y genética sobre el desarrollo de razas locales se trató en la sección previa en relación con los resultados de ensayos de procedencias de *Eucalyptus cloeziana*, *P. patula*, *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. taeda* y *Tectona grandis*. La selección deliberada de árboles individuales superiores en poblaciones introducidas puede producir un mejoramiento adicional significativo. En este sentido se han reportado las siguientes ganancias:

Especie	Referencia	Detalles	Ensayo y Edad	Mejoramiento
<i>Eucalyptus grandis</i>	Wallenberg 1984	"Nuevo Sistema" = plantación a escala comercial de estacas enraizadas de 31 árboles élite seleccionados de 36.000 ha combinado con métodos intensivos de establecimiento, comparado el "Viejo Sistema" = uso de plántulas de semillas de plantaciones comerciales, con métodos de establecimiento menos intensivos	Prod. Vol/ha, 7 años Rendimiento en pulpa/unidad de volumen Total	112% 23% 135%
<i>Eucalyptus grandis</i>	van Wyk 1985	72 familias (fratria completos), incluyendo 18 hembras y 19 machos como progenitores, comparados con testigos comerciales: Media de las 72 familias Media de las mejores 10 familias Media de la mejor familia	Volumen/árbol 9 años 9 años 9 años 9 años	 47% 76% 132%
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Beilly y Nikles 1978	Mejoramiento "mínimo" con huertos semilleros clonales no aclareados, comparados con el testigo comercial Ditto, posiblemente mejorado	Area basal/ha 8 años Area basal/ha 8 años Altura dominante 25 años	10% 10% 1m

Especie	Referencia	Detalles	Ensayo y Edad	Mejoramiento
<i>Pinus patula</i>	Barnes 1978	Media de policruce de 24 familias de árboles plus, comparada con testigos comerciales.	Volumen/árbol 5 años, Volumen/árbol 8 años	17% 32%
		Huerto de segunda generación, incluyendo los mejores individuos de las "mejores" familias (mejoramiento total) Retención 50% de las mejores familias Retención 25% de las mejores familias	Rectitud de fuste 8 años, Tamaño de ramas 5 años, Volumen/árbol 5 años	8% 13% 38% 50%
<i>Pinus elliottii</i>	Barnes 1978	Media de 6 cruces (fratrias) de arboles plus, comparada una procedencia introducción recientemente de Louisiana	Volumen/árbol 7 años Rectitud del fuste	107% 4%
<i>Pinus taeda</i>	Barnes 1978	Media de 4 cruces (fratrias) de arboles plus, comparada una procedencia introducida recientemente de Louisiana	Volumen/árbol 7 años Rectitud del fuste	535% 13%

En el caso de porcentajes de mejoramiento muy altos, es difícil distinguir entre el efecto de la selección individual y otros efectos. Con *Eucalyptus grandis* en Brasil, una parte significativa del mejoramiento en la producción de pulpa se puede asumir como consecuencia de la intensificación de las técnicas de establecimiento. En este caso, además, las rotaciones relativamente cortas (7 años) y el éxito en la propagación vegetativa de esta especie han ayudado a obtener rápidos progresos. Es interesante que Shelbourne (1969), comparando diferentes estrategias de mejoramiento para *Pinus radiata*, estimó que la selección de árboles plus y la propagación vegetativa a escala comercial de solamente los mejores árboles (genotipos), si fuera posible, daría las mayores ganancias en el menor tiempo.

En los ejemplos de *P. elliottii* y *P. taeda* citado por Barnes (1978), los árboles plus fueron seleccionados en la bien adaptada raza local de Zimbabwe, mientras que los lotes de control fueron introducidos de Louisiana, Estados Unidos. Parte de las diferencias se pueden atribuir entonces al efecto de procedencias: la diferencia entre una raza local adaptada y mejorada y una procedencia exótica posiblemente mal adaptada. Además, los cruces controlados (fratrias completos) son más típicos de una etapa más avanzada y sofisticada de un programa de mejoramiento que de la primera fase de selección individual en procedencias adecuadas.

Para los propósitos de la presente nota, se da mayor énfasis a las ganancias esperadas en etapas iniciales de selección individual, esto es, selección fenotípica de

árboles plus dentro de una población dada a una intensidad de cerca de un árbol en mil (aproximadamente 3 desviaciones estándar de la media de la población) y la concentración de los genotipos fenotípicamente superiores en un huerto semillero injertado o en un huerto semillero de plántulas establecido a través de la recolección de semilla de polinización abierta de dichos árboles superiores. A partir de estos procedimientos relativamente simples se puede esperar que los mejoramientos para el valor de la producción total de biomasa en plantaciones a gran escala (considerando los puntos 1-5 de la sección 2) sean de las magnitudes siguientes:

1. Procedencias con variación "alta" : 15-30%.
2. Procedencias con variación "moderada" : 5-15%.
3. Procedencias con variación "baja" : 1-5%.

Mejoramientos adicionales se pueden obtener en aspectos tales como la calidad de la madera, rectitud del fuste, resistencia a plagas y vientos, etc. Plumptre y Barnes (1982), estimaron que, en teoría, el mejoramiento en características de calidad en pinos tropicales pueden ser por lo menos tan grande como en volumen. Sin embargo, debido a una posible correlación negativa entre las características deseables ellos adoptaron un nivel de mejoramiento conservador, equiparando la ganancia en valor total con la mitad de la ganancia teórica de volumen + calidad. En algunas especies, como *Pinus kesiya* y otras con problemas de forma, la ganancia por selección individual en producción de volumen puede ser baja, pero se compensa con las ganancias sustanciales que se pueden obtener en calidad, especialmente en rectitud del fuste. El valor del mejoramiento puede ser entonces tan grande como en otras especies que naturalmente tienen excelente forma (*Eucalyptus grandis*, *Vochysia guatemalensis*, *Araucaria spp.*, etc), en las cuales el mayor efecto de la selección ocurre en el volumen.

Es importante que los métodos de evaluación de la características de calidad, como rectitud del fuste, se relacionen estrechamente con los valores de utilización (Barnes y Gibson, 1986). En algunos países es difícil realizar una evaluación realista debido a que el mercado no reconoce suficientemente la importancia de la calidad del fuste y de la madera, fijando precios diferenciales adecuados a la calidad de la troza. Donde existen sistemas de precios de la madera bien desarrollados, es posible adaptar las escalas de evaluación de calidad para lograr los criterios adecuados. Para los varios tipos de especies se pueden necesitar diferentes escalas. En Dinamarca, por ejemplo, existe un gradiente marcado de precios para latifoliadas y otro relativamente menos fuerte para coníferas. La relación entre la primera y la tercera clase de precios es 3,3 en *Quercus*, 2,3 en *Fagus* y 1,2 en coníferas (Skoven Nyt, 1986).

Davis (1970) señaló que los costos de aprovechamiento en el sureste de los Estados Unidos constituyen el 60-70% del costo total de la madera puesta en el aserradero. Por tanto, cualquier aumento porcentual en la eficiencia del

aprovechamiento puede ser 2-3 veces más efectivo en aumentar la rentabilidad, que el mismo aumento en la producción de volumen de trozas. La rectitud del fuste afecta de forma importante la eficiencia del aprovechamiento. Davis también calculó que un aumento porcentual relativamente pequeño en la eficiencia de aserrío (5% de reducción en el tiempo de aserrío más 5% de aumento en la tasa de conversión) incrementaría las utilidades del aserradero en un 15-41%. Nuevamente, la forma de la troza y la calidad de la madera ejercen una gran influencia y es probable que el efecto de ambas características hayan sido hasta ahora subestimado cuando se consideran los beneficios del mejoramiento genético forestal.

5. RESUMEN DE LAS GANANCIAS ESPERADAS EN LAS PRIMERAS ETAPAS DEL MEJORAMIENTO FORESTAL

En resumen, el aumento en el valor total de la cosecha en una rotación debido a la aplicación de mejoramiento genético forestal en el trópico, no debería, en promedio, ser menor que en las zonas templadas. Las ganancias genéticas que se puede obtener en las primeras etapas (selección entre procedencias seguida por el primer ciclo de selección individual y la producción de semilla en huertos semilleros no raleados), se pueden estimar conservadoramente como sigue:

Grado de variación entre procedencias	Ganancia esperada de la selección de procedencias (%)	Grado de variación dentro de procedencias	Ganancia esperada de la selección individual *	Ganancia total esperada (%)
Alto	10-20	Alto	15-30	25-50
	10-20	moderado	5-15	15-35
	10-20	bajo	1-5	11-25
Moderado	5-10	Alto	15-30	20-40
	5-10	moderado	5-15	10-25
	5-10	bajo	1-5	6-15
Bajo	1-5	Alto	15-30	16-35
	1-5	moderado	5-15	6-20
	1-5	bajo	1-5	2-10

* Huerto semillero no genéticamente raleado

Es probable que las ganancias que se obtengan en las fases posteriores de mejoramiento (pruebas de progenie, polinización controlada, propagación vegetativa, etc) sean del mismo orden de magnitud que las esperadas en la primera fase de selección dentro de procedencias. Sin embargo, dichas ganancias están fuera del alcance de esta nota.

6. ASPECTOS ECONOMICOS

Las ganancias genéticas discutidas anteriormente se deben considerar en conjunto con los costos incurridos en la investigación y el desarrollo necesarios para obtenerlas. El método de la tasa interna de retorno (TIR) o rendimiento financiero, ha sido uno de los más usados en el análisis económico de programas de mejoramiento. Este método consiste en estimar la tasa de interés en la que los ingresos totales igualan los costos totales, descontados todos a un mismo instante en el tiempo.

Recientemente Stier (1986) resumió los resultados de varios estudios económicos sobre la selección de árboles y el establecimiento y manejo de huertos semilleros. La mayoría de los estudios se realizaron en Norte América y la TIR varió entre el 6 y 20%, con excepción de un caso. La excepción se dio en un programa de *Picea abies*, en el cual la TIR estuvo entre 2,3% y 6,9% (Carlisle y Teich, 1971). En especies de crecimiento lento en climas fríos o templado-fríos, la tendencia fue a obtener TIRs menores de 10% (*Picea glauca*, *Pinus resinosa*). En climas templado-cálidos a subtropicales, donde ocurren mejores crecimientos, la TIR tendió a ser superior al 15% (*P. taeda*, *P. elliotii*). Como regla general, cuando se evalúan proyectos a nivel económico nacional, la TIR se puede considerar satisfactoria si es mayor de 8% y altamente satisfactoria cuando supera el 12%.

Existe poca información sobre los costos y beneficios económicos del mejoramiento de especies tropicales, incluyendo la selección de procedencias. En el Anexo 2 se muestra un intento por evaluar la investigación en procedencias en el caso hipotético de un pino tropical, tal como *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Para los supuestos y condiciones del caso de estudio, la TIR varió de 9,7% a 15,2% con un mejoramiento del 2,5% y 20%, respectivamente.

Reilly y Nikles (1978) analizaron los costos y beneficios de un huerto semillero clonal no raleado de *P. caribaea* en Queensland. Ellos se basaron en los costos reales del Huerto Semillero Kennedy, incluyendo costos de operación:

- Año 1: Inicio de la selección de árboles plus
- Año 4: Injertación de la sección 1 del huerto semillero
- Año 10: Primera recolección de semilla del huerto

- Año 10-22: Recolección anual de semilla del huerto
- Año 22: Cesa la recolección de semilla, se libera el crecimiento del huerto para producir madera.
- Año 11-23: Plantación anual de material mejorado, un año después de cada recolección.
- Año 46-58: Aprovechamiento anual de la cosecha mejorada después de una rotación de 35 años.

Se estimó que una hectárea de huerto produce una cosecha promedio anual de 28 kg de semilla, suficiente para plantar unas 380 ha. También se consideraron cuatro diferentes posibilidades de mejoramiento del valor de la cosecha y se estimó la TIR para cada uno de ellos, tal como sigue:

El hecho de que la TIR en C. (mejora en área basal y rectitud) sea sólo un poco mejor que en A (solamente mejora en área basal) se podría deber a alguna posible correlación negativa entre área basal y rectitud. Este fenómeno no se debe asumir como cierto automáticamente y se debe verificar en cada caso.

Posibilidades de mejoramiento	Ganancia sobre testigos comerciales (%)	TIR (%)
A. <u>Mínimo</u> = 10% de incremento en área basal/ha a 8 años de edad (estimado conservador basado en resultados de ensayos de progenie)	10,4%	13,9
B. <u>Probable</u> = 10% de incremento en área basal/ha a 8 años de edad más un incremento de 1 m en la altura dominante a los 25 años.	10,7%	15,2
C. <u>10%</u> de incremento en área basal/ha a 8 años de edad más mejoramiento en la rectitud: 1% mejor en los primeros tres raleos y un 2% en el cuarto raleo y la cosecha final.	?	14,6
D. <u>Sin</u> mejoramiento en área basal. Mejoramiento en rectitud como en C.	?	9,9

Las tasas de retorno anteriores corresponden a la producción de semilla de huertos no aclareados genéticamente. Los autores encontraron que, para una tasa de descuento del 8% la selección inicial de árboles plus significa un 36% del costo descontado de mejoramiento, el establecimiento del huerto semillero un 30% y el mantenimiento del mismo un 34%. Aunque los costos de establecimiento y mantenimiento de huertos semilleros son proporcionales al área del huerto necesaria para producir la semilla mejorada requerida y, por tanto, al área total de plantación anual, los costos de búsqueda y selección de árboles plus son bastante independientes del área a plantar. Esto conlleva al hecho importante de que la rentabilidad de un programa de mejora forestal depende no solo del porcentaje de incremento en el valor de la cosecha sino también de la escala de plantación (área a plantar). En el siguiente ejemplo hipotético se asume la misma proporción de costos (36%-30%-34%) como en el anterior ejemplo de Queensland:

AREA DE PLANTACION ANUAL (ha)	10.000	1.000	100
COSTO DESCONTADO TOTAL (\$)			
Selección de árboles plus	18.000	18.000	18.000
Establ. huerto semillero	150.000	15.000	1.500
Manejo huerto semillero	170.000	17.000	1.700
	-----	-----	-----
Costo total operaciones de mejoramiento	338.000	50.000	21.200
	-----	-----	-----
COSTO DESCONTADO/ha (\$)			
Selección de árboles plus	1,8	18	180
Estab. huerto semillero	15	15	15
Manejo huerto semillero	17	17	17
	-----	-----	-----
Costo total/ha operaciones de mejoramiento	33,8	50	212
	-----	-----	-----
INGRESOS DESCONTADOS/ha (\$) (ingresos adicionales producto del mejoramiento genético)	100	100	100
GANANCIA O PERDIDA/ha DESCONTADA (\$)	66,2	50	(112)
GANANCIA O PERDIDA TOTAL DESCONTADA (\$) DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO	662.000	50.000	(11.200)

Se puede ver que la fuerte inversión inicial que genera la selección de árboles plus sólo se justifica si la tasa anual de plantación es considerable. Los programas de plantación muy pequeños no pueden realizar sus propios programas de mejoramiento en forma rentable. Sus acciones deben estar orientadas hacia la compra de pequeñas cantidades de semilla mejorada de programas de mejoramiento de otros proyectos mayores de los servicios nacionales forestales, cooperativas o grandes compañías privadas. Como requisito se debe conocer el grado de mejoramiento esperado (intensidad de selección, resultados de ensayos de progenie, etc.) y del grado de adaptación (correspondencia ambiental) de las poblaciones en las que se realizó la selección con respecto al área de plantación en cuestión. Puesto que el costo de la semilla es sólo una pequeña parte del costo total de plantación, cualquier incremento modesto en la productividad justifica el pago de un precio mucho mayor por la semilla mejorada. Reilly y Nikles (1978) estimaron para *Pinus caribaea*, que con el incremento en rendimiento descrito antes y una tasa de interés de 8%, los compradores de semilla pueden permitirse pagar por semilla mejorada cerca de cuatro veces el precio que pagan por semilla no mejorada. Davis (1967) encontró que un pequeño aumento del 2,5 al 4% en la producción en plantaciones de *P. taeda* justifica pagar por semilla mejorada de 2 a 3 veces el precio de la semilla comercial. Barner (1986), citando cálculos de P.H. Andersen, menciona un caso de *Picea abies* en Dinamarca, donde con un mejoramiento del 10 al 15% y una tasa de descuento del 5%, si un empresario se decidiera invertir todo el incremento del valor actual neto (VAN) en semilla mejorada, podría permitirse pagar por ésta, hasta 20 veces el precio de la semilla comercial no mejorada.

El mejoramiento genético que se obtiene en la primera etapa de un huerto semillero se puede aumentar a través de la realización de raleos genéticos. Esto se logra con la eliminación de los clones o familias que han demostrado inferioridad genética en las pruebas de progenie. Varios autores han presentado evidencia de que un raleo genético de alta intensidad (remoción del 50-70% de los peores clones o familias) puede aumentar en un 50% la ganancia genética con respecto al huerto no raleado. Esta ganancia adicional tiene que ser cotejada con los costos adicionales debidos a la realización de las pruebas de progenie y de los raleos, así como con la reducción temporal en la cantidad de semilla producida por el huerto. En este sentido y dependiendo de la situación, podría ser preferible producir 100 kg/año de semilla con una ganancia genética del 10% que producir 50 kg/año con una ganancia de 15%. Por este motivo, van Buijtenen y Saitta (1972) concluyeron que, en las condiciones locales de los huertos semilleros de *P. taeda*, el raleo genético tiene un valor dudoso. Sin embargo, las pruebas de progenie continúan siendo esenciales para la selección de los clones o familias que formarán el huerto semillero de segunda generación. En otras especies, con una selección cuidadosa del distanciamiento inicial y del tiempo del raleo, puede ser que la operación se pague por sí misma.

Los ejemplos anteriores sugieren que, para un pino tropical como *Pinus caribaea*, la selección de árboles plus y su correspondiente establecimiento y manejo en un huerto semillero debe rendir una TIR de 12-15%.

Algunos autores han evaluado los proyectos de mejoramiento forestal no en términos de la TIR sino del Valor Actual Neto (VAN) o Renta Neta Descontada. Para aplicar este método se asume una tasa de interés realista (generalmente la "Tasa Real" basada en la tasa nominal menos la inflación). El VAN representa el valor total de los ingresos menos el valor total de los egresos, todos descontados a tiempo presente, usualmente al inicio del proyecto. En general, el VAN es en la actualidad el método preferido.

Carlisle y Teich (1971), calcularon que el trabajo de mejoramiento en *Picea glauca* en Canadá debe rendir un incremento en la renta descontada de US\$ 832.000, comparado con un gasto anual de US\$ 123.000. Se asumió una tasa de interés del 6%, un valor de mejoramiento de 15%, suelos moderadamente fértiles y un programa de plantación de 40.000 ha anuales.

En el Anexo 2, el caso promedio, 6% de interés y 10% de mejoramiento, muestra un VAN de US\$ 594.000 al año 58, con un programa de plantación de 1000 ha anuales. En este caso particular, los costos totales descontados se recuperan en el tercer año de cosecha (año 45 del proyecto), los excedentes de los años posteriores serán entonces utilidad.

Todos los cálculos mostrados en el Anexo 2 se refieren a la rentabilidad al final de la primera rotación comercial. En la práctica, las procedencias superiores se continúan usando en las rotaciones subsecuentes, aún y cuando no se hagan inversiones adicionales en mejoramiento. Los beneficios adicionales recibidos en las rotaciones subsecuentes se pueden estimar calculando el "multiplicador infinito", el cual se puede aplicar al VAN de la primera rotación, asumiendo que el mejoramiento de esta se mantiene a perpetuidad en todas las subsiguientes rotaciones. Para una tasa de interés del 6% y una rotación de 16 años, el "multiplicador infinito" es de 1,65 y el VAN al infinito es de $\$ 594,000 \times 1,65 = \$ 980.000$.

Las Figuras 1-3 ilustran, para una sola rotación, las relaciones entre el valor porcentual de la ganancia, varias tasas de interés, el TIR, el VAN y la relación costo/beneficio. La Figura 2 muestra las relaciones del valor actual neto y la línea "equilibrio", en la cual la relación beneficio/costo es 1,0. En esta línea los ingresos decontados igualan a los costos descontados. En el ejemplo del Anexo 2, se puede ver que para un valor porcentual de la ganancia de 2,5% se requiere una tasa de interés del 10% para alcanzar la línea de equilibrio, mientras que para una tasa de interés de sólo 2%, un valor de la ganancia de 0,2% será suficiente.

Castellani y Prevosto (1970) calcularon que para una inversión anual en investigación y desarrollo de alrededor de \$ 250.000, la utilización del clon de álamo

I 214 en sustitución de los dos clones inferiores I 488 y el "Canadian" sobre un área total de 75.000 ha resulta en un aumento en el ingreso anual (sin descuento) entre 3,25 y 3,75 millones de dólares, dependiendo de la incidencia del hongo *Marssonina brunnea*.

Van Wyk y van der Sijde (1983) estimaron que, para un mejoramiento de 5% en pinos y 30% en eucaliptos, un programa de plantación anual de aproximadamente 50.000 ha (20.000 ha en pino y 30.000 ha en eucalipto) y un gasto de cerca de 0,5 millón de dólares, el eventual incremento en el valor de la cosecha (sin descuento) será de unos 20 millones de dólares anuales.

Plumptre y Barnes (1982) calcularon que, para los pinos de rápido crecimiento de tierras bajas tropicales (principalmente *Pinus caribaea* y *P. oocarpa*), la combinación de la selección entre y dentro de procedencias puede mejorar como mínimo la producción del volumen en un 20% y en un 5% la calidad, y que este mejoramiento, si se aplicara a 1,5 millones de hectáreas (el área total predicha para estas especies en el año 2000), significaría un incremento en el valor de la cosecha de principios del siguiente siglo de más de cien millones de dólares anuales.

En todos estos casos, es probable que los beneficios adicionales que se obtengan en el procesamiento y mercadeo de los productos de la madera sean varias veces el aumento del valor de la madera no procesada. Cuando se trata de grandes áreas de plantación, es claro que pequeñas inversiones en investigación y desarrollo pueden producir beneficios financieros muy grandes.

El incremento de la producción derivado del mejoramiento genético forestal puede ser utilizado de diversas formas. Por ejemplo, un aumento de un 15% en el rendimiento por ha, permite a los planificadores llenar un aumento de un 15% en la demanda. Por otra parte, si la demanda permanece estática, se podría llenar con un área de plantación un 15% menor. La reducción en el área se puede lograr rechazando los sitios de menor calidad, aumentando así el rendimiento promedio del área plantada, o excluyendo los sitios de menos accesibilidad, disminuyendo el costo promedio de aprovechamiento y transporte. Cualquiera de estas opciones produce beneficios económicos adicionales. Como una alternativa, también se puede plantar toda el área y reducir la edad de corta. Cualquier reducción en la rotación mejora la TIR del proyecto, pero esta ventaja se podría perder si la calidad de la madera, y por tanto su valor, es inferior al usual en la "rotación normal". Se necesita entonces información detallada de las características de las especies para valorar correctamente las posibilidades que el mejoramiento forestal ofrece.

Además de aumentar los ingresos, el mejoramiento forestal puede reducir los costos. Si el material mejorado tiene un mayor crecimiento inicial, el dosel se cerrará más rápido, reduciendo el tiempo en que se necesita el control de malezas. Por ejemplo, es posible reducir el número de limpiezas de 5 a 4 y el ahorro en los costos al inicio de la rotación que tiene un efecto significativo en el éxito económico del

proyecto. Al mismo tiempo, un incremento en la uniformidad de las plantaciones puede cambiar los métodos de raleos selectivos por raleos sistemáticos más baratos. La evaluación cuantitativa de la reducción en los costos de manejo generalmente no se incluye en los análisis económicos, pero los ahorros pueden ser sustanciales.

Es abrumadora la evidencia existente de que, dondequiera que exista un programa de plantación importante, el mejoramiento forestal (selección de procedencias y selección individual) en los trópicos será capaz por lo menos de autofinanciarse. Es muy probable que los beneficios económicos sean excelentes en la mayoría de las especies. Mirándolo desde otro punto de vista, nadie puede correr el riesgo de sufrir las pérdidas sustanciales que resultarán de no implementar programas de mejoramiento realistas.

7. LITERATURA SELECCIONADA

- Andersen, K.F.** 1966. Economic evaluation of results from provenance trials. Lecture to FAO/DANIDA. Seminar on forest seed and tree improvement, Denmark July-August 1966. Mimeo. 8p.
- Barner, H.** 1986. Economic aspects of tree improvement. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denamrk. Mimeo. 5p.
- Barnes, R.D.** 1978. Population improvement through selection and hybridization in *Pinus patula*, *Pinus elliottii* and *Pinus taeda* in Southern Africa. Paper FO-FTB-77-3/3 for Third World Consultation on For. Tree Breeding, Canberra, Vol. 2:489-505p.
- Barnes, R.D.; Mullin, L.J.** 1984. *Pinus patula* provenance trials in Zimbabwe - seventh year results. *In* Provenance and genetic improvement strategies in tropical forest trees. Ed. R.D. Barnes and G.L. Gibson. Proc. Jt. Work Conf. IUFRO, Mutare, Zimbabwe 1984. p.151-152.
- Barnes, R.D.; Gibson, G.L.** 1986. A method to assess stem straightness in tropical pines. *Commonw. For. Rev.* 65(2):168-171p.
- Bouvet, J.M.; Delwaulle, J.C.** 1983. Introduction d'*Eucalyptus cloeziana* á Congo. *Bois et For. Trop.* 200, 7-20. Div. 2, Vol. II: 600-613p.
- Buijtenen, J.P.; Saitta, W.W.** 1972. Linear programming applied to the economic analysis of forest tree improvement. *J.Forestry* 70(3):164-167p.

- Carlisle, A.; Teich, A.H.** 1971. The costs and benefits of tree improvement programs. Canadian For. Serv. Publs. No. 1302. 34p.
- Carlisle, A.; Teich, A.H.** 1975. The economics of tree improvement. Symp. Applied genetics in forest management. Proc. 15th Meeting Can. Tree Improv. Assoc., Chalk River, Ontario. 25 p.
- Carlisle, A.; Teich, A.H.** 1978. Analysing benefits and costs of tree-breeding programmes. *Unasyuva* 30, 119/120. p34-37.
- Castellani, E.; Prevosto, M.** 1970. Effects of research on the economy of poplar culture. Paper FO-FTB-69-13/4, Proc. Second World Consultation on For. Tree Breeding, Washington D.C., August 1969. FAO Rome.
- Chagala, E.M.; Gibson, G.L.** 1984. *Pinus oocarpa* Schiede international provenance trial in Kenya at eight years. *In* Provenance and genetic improvement strategies in tropical forest trees. Ed. R.D. Barnes and G.L. Gibson. Proc. Jt. Work Conf. IUFRO, Mutare, Zimbabwe 1984. p.191-199.
- Corea, E.; Cornelius, J.; Mesén, F.** 1992. Resultados del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE, sus aplicaciones y efectos esperados. II Congreso Forestal Nacional. Resumen de Ponencias. 25-27 nov.1992. San José, Costa Rica. p.4-6.
- Darrow, W.K.** 1983. Provenance-type trials of *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus tereticornis* in South Africa and South-west Africa: eight year results. *South Afr. For. J.* 124: 13-22p.
- Davis, L.S.** 1967. Investments in loblolly pine clonal seed orchards; production costs and economic potential. *J.Forest.* 65: 882-887p..
- Davis, L.S.** 1970. Economic models for program evaluation. Paper FO-FTB-69 13/2, Second world consultation on For. Tree Breeding, Washington D.C. August 1969. FAO Rome.
- Delaunay, J.** 1978a. Resultats d' un essai international de provenances de *Cedrela*, sept ans et demi après sa mise en place en Cote d'Ivoire. *In* Third World Consultation on For. Tree Breeding. Canberra, documents (FO-FTB-77-2/14) Vol. 1:259-265p.
- Delaunay, J.** 1978b. Les essais de provenances de *Terminalia superba* six ans apres leur mise en place en Cote d'Ivoire. *In* Third World Consultation on For. Tree Breeding. Canberra, documents (FO-FTB-77-2/18) Vol. 1: 291-298p.

- Eldridge, K.G.** 1982. Genetic improvements from a Radiata pine seed orchard. New Zealand. J. of For. Sci. 12(2): 404-411p.
- FAO.** 1981. *Eucalyptus* for planting. FAO. Forestry Series No. 11. 677p. Rome.
- Forestry Commission.** 1985a. Scots pine breeding programme. Information Sheet No.13 (Revised Jan. 1985). Genetics Branch, Forestry Commission, Edinburgh.
- Forestry Commission.** 1985b. Sitka spruce breeding programme. Information sheet no.15 (Revised Jan. 1985). Genetics Branch, Forestry Commission, Edinburgh.
- Gibson, G.L.; Barnes, R.D.; Berrington, J.** 1983. Provenance productivity in *Pinus caribaea* and its interaction with environment. Comonw. For. Rev. 62(2):93-106p.
- Giertych, M.** 1976. Summary results of the IUFRO 1938 Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) provenance experiment. Height growth. Silvae Genetica 25, 5-6: 154-164p.
- Greaves, A.** 1980. Review of *Pinus caribaea* Morelet and *P. oocarpa* Schiede. International Provenance Trials, 1978. Commonwealth Forestry Institute. Ocacional Paper No. 12. Oxford, England. 89 p.
- Hollowell, R.R.; Porterfield, R.L.** 1986. Is tree improvement a good investment?. J. Forestry 84(2): 46-48p.
- INDERENA.** 1985. Ensayo de procedencias de *Cordia alliodora* (Ruize and Pavon) Oken, en Tumaco (Nariño) y Sautata (Chocó), Colombia. Serie Técnica 13, CONIF, INDERENA, Bogotá.
- Ingram, C.L.** 1984. Provenance research on *Pinus elliottii*. Engelmann and *P.taeda* Linnaeus in Malawi. *In* Provenance and genetic improvement strategies in tropical forest trees. Ed. R.D. Barnes and G.L. Gibson. Proc. jt. Work Conf. IUFRO, Mutare, Zimbabwe 1984. p.265-277.
- Jackson, J.K.; Ojo, G.O.A.** 1973. Provenance trials of *Eucalyptus camaldulensis* in the savanna region of Nigeria. Res. Paper No. 14, Savanna For. Res. Station, Samaru, Zaria.
- Keiding, H.; Wellendorf, H.; Lauridsen, E.B.** 1986. Evaluation of an international series of teak provenance trials. Arboretum, Horshom. DANIDA Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. 81p.

- Kraus, J.F.; Wells, O.O.; Sluder, E.R.** 1984. Review of provenance variation in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in the southern United States. *In* Provenance and genetic improvement strategies in tropical forest trees. Ed. R.D. Barnes and G.L. Gibson. Proc. Jt. Work Conference IUFRO, Mutare, Zimbabwe 1984. 281-317p.
- Lacaze, J.F.** 1978. Etude de l'adaptation écologique des Eucalyptus, étude de provenances d'*Euclayptus camaldulensis*. *In* Third world consultation on For. Tree Breeding, Canberra, documents (FO: FTB-77-2/29), Vol. 1: 393-409p.
- Lambeth, C.C.** 1980. Juvenile-Mature correlations in Pinaceae and implications for early selection. Forest Sci. 26 (4): 571-580p.
- Lauridsen, E.B.; Wellendorf, H.; Keiding, H.** 1987. Evaluation of an international series of gmelina provenance trials. Arboretum, Horsholm. DANIDA Forest Seed Centre, Humlebaek, Denmark. 110p.
- Lines, R.; Samuel, C.J.A.** 1984. The international sitka spruce top ten seed origin experiments in Great Britain. Forestry Commission Northern Research Station, Scotland. Mimeo. 10 p.
- Madsen, S.F.** 1984. Increment, frost damages and death in the IUFRO S2.02-12 international ten-provenance experiment with sitka spruce, established in spring 1975 in Denmark. Danish Forest Experiment Station. Mimeo. 6p.
- Morris, A.R.** 1984. International provenance trial of *Pinus kesiya* at age 10 at the Isutu Pulp Company, Swaziland. *In* Provenance and genetic improvement strategies in tropical forest trees. Ed. R.D. Barnes and G.L. Gibson. Proc. Jt. Work Conf. IUFRO, Mutare, Zimbabwe. 1984: 362-367p.
- Mullin, L.J.; Quaile, D.R.; Mills, W.R.** 1984. *Pinus kesiya* provenance trials in Zimbabwe. *In* Provenance and genetic improvement strategies in tropical forest trees. Ed. R.D. Barnes and G.L. Gibson. Proc. Jt. Work Conf. IUFRO, Mutare, Zimbabwe 1984. p.390-403.
- Nikles, D.G.** 1970. Breeding for growth and yield. Unasylva 24, 97/98, 9-22.
- Plumptre, R.A.; Barnes, R.D.** 1982. Economic significance of research and training in the Unit of Tropical Silviculture at the Commonwealth Forestry Institute, Oxford. Mimeo. 9p.
- Porterfield, R.L.** 1974. Predicted and potential gains from tree improvement programs - a goal programming analysis of program efficiency. Tech. Rep. No.52, School of For. Resources, North Carolina State Univ., Raleigh NC. 112p.

- Quaile, D.R.; Mullin, L.J.** 1984. Provenance and progeny testing in *Eucalyptus camaldulensis* in Zimbabwe. *In* Provenance and genetic improvement strategies in tropical forest trees (Ed. R.D. Barnes and G.L. Gibson), Proc. Jt. Work Conf. IUFRO, Mutare
- Reilly, J.J.; Nikles, D.G.** 1978. Analysing benefits and costs of tree improvement: *Pinus caribaea*. Paper FO-FTB-77-5/3 for Third World Consultation on For. Tree Breeding, Canberra, Vol. 2: 1099-1124p.
- Shelbourne, C.J.A.** 1969. Tree breeding methods. Tech. Paper No. 55. Forest Research Institute, New Zealand Forest Service.
- Skoven Nyt.** 1986. Vejledende priser for Ratrae. Danske skoves handelsudvalg, Danske Traeindustrier. Skoven Nyt Nr. 10d, Dansk Skovforening, Frederiksberg.
- Stahl, E.G.** 1986. Provenance and plus tree selection at different age of trees: an analysis of a 41 years old provenance trial with *Picea abies* (L.) Karst. in South-western Sweden. Rep. no.16, Dept. of For. yield research, Swedish. Univ. of Agric. Sciences, Garpenberg.
- Stier, J.C.** 1986. Economics of tree improvement. Proceedings, 18th World Congress of IUFRO. Yugoslavia, Div. 2, Vol. II: 600-613p.
- University of Florida.** 1988. Thirtieth Progress Report, Cooperative Forest Genetics Research Program. Department of Forestry, University of Florida, April 1988.
- Wallenberg Foundation, The Marcus.** 1984. The new eucalypt forest. Lectures by 1984 prize-winners, Marcus Wallenberg Foundation Symposio Proceedings, Sweden.
- Webb, D.B.; Wood, P.J.; Smith, J.** 1980. A guide to species selection for tropical and sub-tropical plantations. Trop. For. Paper No.15, Commonw. For. Inst. Oxford.
- Wellendorf, H.; Werner, M. Roulund, H.** 1986. Delineation of breeding zones and efficiency of late and early selection within and between zones. Forest Tree Improvement No.19, Arboretet, Horsholm. Denmark.
- Wyk, G.van.** 1985. Tree breeding in support of vegetative propagation of *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. South Afr. For. J. 135: 33-39p.
- Wyk, G. van and Sijde, H.A. van der.** 1983. The economic benefits of forest tree breeding. South Afr. For. J. (1983) No. 126: 48-54p.

Anexo 1

Ejemplos de resultados de ensayos de procedencias en los trópicos y subtropicos

1	2	3	4	5	6	7
Especie	Sitio, número de procedencias	Edad	Carácter	Porcentaje de mejoramiento fenotípico		
				La mejor sobre el promedio	Las tres mejores sobre el promedio	La mejor sobre la local o estándar
<i>Cedrela spp</i>	La Séguié, Costa de Marfil Lat. 6°15'N. 7 procedencias Ref: Delaunay, 1978 a	78 meses	h	44**	34	
<i>Cordia alliodora</i>	Tumaco, Colombia Lat. 1°38'N, 12 procedencias Ref: INDERENA 1985	73 meses	h	22**	22	
			d	30**	26	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Afaka, Nigeria Lat. 10°37'N. 16 procedencias Ref: Jackson y Ojo, 1973	56 meses	h	29	15	
			v/ha	71	57	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Mtao, Zimbabwe Lat. 19°22'S. 30 procedencias Crecimiento en la primera rotación (después de la primera rotación de plántulas) Ref: Quaile y Mullin, 1984.	66 meses	h	41**	28	
			d	25**	25	
			ab/ha	45**	51 (a)	
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	Pointe Noire, Costa de Marfil Lat. 4°49'S. Una raza local + 18 procedencias australianas ⁽¹⁾ Ref: Bouvet y Delwaulle, 1983	66 meses	h	22	15	-18
			ab/ha	54	48	-17
			v/ha	76	61	-29

⁽¹⁾ Las comparaciones en las columnas 5 y 6 son únicamente entre las 18 procedencias australianas. Las comparaciones en la columna 7 son entre la mejor procedencia australiana y la raza local, que probó ser todavía mejor.

1	2	3	4	5	6	7
Especie	Sitio, número de procedencias	Edad	Carácter	Porcentaje de mejoramiento fenotípico		
				La mejor sobre el promedio	Las tres mejores sobre el promedio	La mejor sobre la local o estándar
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	Frankfort, Sur Africa Lat. 25°02'S. (PMA 1620 mm) 23 procedencias Ref: Darrow, 1983	82 meses	h ab/ha	13 41	13 30	
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	Roodewal, Sur Africa Lat. 23°01'S (PMA 810 mm). 23 procedencias Ref: Darrow, 1983	90 meses	h ab/ha	17 89	14 41	
<i>Gmelina arborea</i>	Edea, Camerún, Lat. 04°00'N. Alt. 30m. (PMA 2630 mm) 10 procedencias, Ref: Lauridsen, Wellendorf y Keiding, 1987	55 meses	d	12 ⁺⁺	10	
<i>Gmelina arborea</i>	Subri, Ghana, Lat. 05°10'N. Alt. 150m. (PMA 2030 mm). 11 procedencias. Ref: Lauridsen, Wellendorf y Keiding, 1987.	56 meses	ab/ha	21 ⁺⁺	18	
<i>Gmelina arborea</i>	La Gloria, Colombia. Lat. 10°40'N. Alt. 25m. PMA 1200 mm. 11 procedencias. Ref: Lauridsen, Wellendorf y y Keiding, 1987.	35 meses	d	10 ⁺⁺	8	
<i>Gmelina arborea</i>	Mancherial, Jaipur, India. Lat. 18°52'N. Alt. 200m. PMA 1100 mm. 6 procedencias. Ref: Lauridsen, Wellendorf y y Keiding, 1987.	55 meses	d	17 ⁺⁺	10	

1	2	3	4	5	6	7
Especie	Sitio, número de procedencias	Edad	Carácter	Porcentaje de mejoramiento fenotípico		
				La mejor sobre el promedio	Las tres mejores sobre el promedio	La mejor sobre la local o estándar
<i>Gmelina arborea</i>	Poitete, Islas Salomón. Lat. 07°50'S. Alt. 100m. PMA 3500 mm. 11 procedencias. Ref: Lauridsen, Wellendorf y Keiding, 1987.	52 meses	d	8 ⁺	8	
<i>Gmelina arborea</i>	Gambari, Nigeria. Lat. 07°12'N. Alt 600m. PMA 1300 mm. 19 procedencias. Ref: Lauridsen, Wellendorf y Keiding, 1987.	52 meses	ab/ha	17 ⁺	13	
<i>Gmelina arborea</i>	El Tormento, México. Lat. 18°36'N. Alt. 50m. PMA 1070 mm. 11 procedencias. Ref: Lauridsen, Wellendorf y Keiding, 1987.	58 meses	d	24 ⁺	15	0 ¹²
<i>Gmelina arborea</i>	Opro, Ghana. Lat. 07°10'N. Alt. 200m. PMA 1400 mm. 8 procedencias. Ref: Lauridsen, Wellendorf y Keiding, 1987.	55 meses	ab/ha	9 ⁺	6	
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Jari, Brasil. Lat. 0°52'S. 11 procedencias. Ref: Gibson, Barnes y Berrington, 1983	75 meses	h d vsc/árbol	6 6 19	4 3 13	4 6 23
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Nabou, Fiji. Lat. 17°59'S. 15 procedencias. Ref: Gibson, Barnes y Berrington, 1983.	82 meses	h d vsc/árbol	4 13 24	5 (b) 7 17	5 15 38

¹² La raza local fue mejor en crecimiento y salud, pero no en calidad.

1 Especie	2 Sitio, número de procedencias	3 Edad	4 Carácter	5 Porcentaje de mejoramiento fenotípico		
				6 La mejor sobre el promedio	7 Las tres mejores sobre el promedio	8 La mejor sobre la local o estándar
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	San Pedro, Costa de Marfil. Lat. 4°44'N. 15 procedencias. Ref: Gibson, Barnes y Berrington, 1983.	105 meses	h	8	6	11
			d	4	3	9
			vsc/árbol	21	15	35
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Loudima, Congo. Lat. 4°13'S. 9 procedencias. Ref: Gibson, Barnes y Berrington, 1983.	100 meses	h	2	1	4
			d	1	1	1
			vsc/árbol	11	6	18
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Chati, Zambia. Lat. 13°S. 7 procedencias. Ref: Gibson, Barnes y Berrington, 1983.	86 meses	h	7		
			d	2	3	
			vsc/árbol	12	3 (a)	11
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Anasco, Puerto Rico. Lat. 18°20'N. 13 procedencias. Ref: Gibson, Barnes y Berrington, 1983.	69 meses	h	3	5 (a)	3
			d	9	5	7
			vsc/árbol	25	20	23
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Mejoramiento promedio de 17 procedencias en 15 sitios, usando medias corregidas de procedencias Ref: Gibson, Barnes y Berrington, 1983.		h	5**	4	2
			d	3	3	1
			vsc/árbol	15**	10	12
<i>Pinus eliottii</i>	Luwawa, Malawi. Lat. 12°11'S. 25 procedencias. Ref: Ingram, 1984.	15 años	h ab/ha	15* 13*	10 17 (a)	
<i>Pinus kesiya</i>	Usutu, Suazilandia (alta elevación) 10 años 9 procedencias Ref: Morris, 1984	10 años	h	7*		
			d	2		
			v/ha	16		
<i>Pinus kesiya</i>	Usutu, Suazilandia (baja elevación) 10 años 9 procedencias Ref: Morris, 1984.	10 años	h	4*		
			d	1		
			v/ha	8		

1	2	3	4	5	6	7
Especie	Sitio, número de procedencias	Edad	Carácter	Porcentaje de mejoramiento fenotípico		
				La mejor sobre el promedio	Las tres mejores sobre el promedio	La mejor sobre la local o estándar
<i>Pinus kesiya</i>	Media de 6 sitios en Zimbabwe 21 procedencias. Ref: Mullin, Quaile y Mills, 1984.	11.5 años	h d rectitud	4* 5* 15*		
<i>P. oocarpa/tecunumanii</i>	Nzoia, Kenya. Lat. 0°56'N. Alt. 1700 m. 15 procedencias. Ref: Chagala y Gibson, 1984.	8 años	h d vsc/ha rectitud	16* 8* 79* 26*	13 8 52 36 (b)	
<i>Pinus patula</i>	Media de 6 sitios en Zimbabwe Alt. 990-1925. PMA 885-2000 mm 8 procedencias mexicanas + 2 razas locales mejoradas de Zimbabwe. ¹³ Ref: Barnes y Mullin, 1984.	7 años	h d vsc/ha GE	3* 0 6* -1		-5 -1 -10 -3
<i>Pinus taeda</i>	Nthungwa, Malawi. Lat. 11°44'S. 36 procedencias. Incluye 7 razas locales de Zimbabwe y Malawi, y 29 procedencias nativas de Estados Unidos. ¹⁴ Ref: Ingram, 1984.	15 años	h ab/ha	27* 52	23 45	-9 -18

¹³ La comparación en la columna 5 es sólo entre las 8 procedencias mexicanas. La comparación en la columna 7 es entre las mejores procedencias mexicanas y la semilla mejorada de un huerto local. El huerto semillero es superior en todas las características excepto en gravedad específica.

¹⁴ Las comparaciones en las columnas 5 y 6 son sólo entre las 29 procedencias de Estados Unidos. Las comparaciones en la columna 7 entre la mejor procedencia de Estados Unidos y la mejor raza local la cual es superior en altura y área basal.

1	2	3	4	5	6	7
Especie	Sitio, número de procedencias	Edad	Carácter	Porcentaje de mejoramiento fenotípico		
				La mejor sobre el promedio	Las tres mejores sobre el promedio	La mejor sobre la local o estándar
<i>Tectona grandis</i>	Huey Som Poi, Tailandia. Lat. 18°40'N. 8 procedencias Ref: Keiding, Wellendorf y Lauridsen, 1987.	81 meses	d	18 + +	12	0 ¹⁵
<i>Tectona grandis</i>	Aracruz, Brasil. Lat. 19°46'S. 12 procedencias. Ref: Keiding, Wellendorf y Lauridsen, 1987.	121 meses	d	10 + +	9	
<i>Tectona grandis</i>	Maredumilli, India. Lat. 17°36'N. 11 procedencias. Ref: Keiding, Wellendorf y Lauridsen, 1987.	104 meses	ab/ha	18 + +	11	0 ¹⁶
<i>Tectona grandis</i>	Gambari, Nigeria. Lat. 7°12'N. 12 procedencias. Ref: Keiding, Wellendorf y Lauridsen, 1987.	93 meses	ab/ha	4 +	3	0 ¹⁷
<i>Tectona grandis</i>	Afaka, Nigeria. Lat. 10°37'N. 10 procedencias. Ref: Keiding, Wellendorf y Lauridsen, 1987.	93 meses	ab/ha	19 +	12	20

¹⁵ La fuente local, un rodal superior seleccionado y manejado para la producción de semilla, fue el mejor en el ensayo.

¹⁶ La fuente local fue la mejor en crecimiento y salud, pero fue inferior en calidad de fuste.

¹⁷ La raza local es una de las dos mejores procedencias.

1	2	3	4	5	6	7
Especie	Sitio, número de procedencias	Edad	Carácter	Porcentaje de mejoramiento fenotípico		
				La mejor sobre el promedio	Las tres mejores sobre el promedio	La mejor sobre la local o estándar
<i>Tectona grandis</i>	Black River, Papua Nueva Guinea. Lat. 9°04'S. Ref: Keiding, Wellendorf y Lauridsen, 1987.	117 meses	ab/ha	23 + +	14	0 ¹⁸
<i>Tectona grandis</i>	Tract 105, Puerto Rico Lat. 18°15'N. 9 procedencias. Ref: Keiding, Wellendorf y Lauridsen, 1987.	83 meses	d	13 +	6	
<i>Terminalia superba</i>	Mopri, Costa de Marfil. Lat. 5°50'N. 16 procedencias. Ref: Delaunay, 1978 b.	69 meses	h d	13 + 6	10 6	

¹⁸ La fuente local fue la mejor en crecimiento, pero no en calidad del fuste.

- * Mejoramiento fenotípico significativo (P = 0,05)
- ** Mejoramiento fenotípico significativo (P = 0,01)
- + Estimado de mejoramiento genético, con heredabilidad = h^2 entre 0,35 y 0,8
- + + Estimado de mejoramiento genético, con heredabilidad = h^2 entre 0,8 y 1,0

- (a) La "mejor" procedencia para altura no fue necesariamente superior en diámetro o área basal. Esto contribuye al hecho de que a veces la media de "las mejores tres procedencias" es mayor que el de la "mejor" procedencia.
- (b) La "mejor" procedencia individual se seleccionó por su superioridad en producción de volumen. Por este motivo en algunos casos mostró un menor crecimiento en altura que "la media de las mejores tres", o un valor menor de rectitud que "la media de las mejores tres".

Abreviaturas

Lat.	Latitud	ab/ha	Área basal por hectárea
Alt.	Altitud	v/ha	Volumen por hectárea
PMA	Precipitación media anual	vsc	Volumen sin corteza
h	Altura media	GE	Gravedad específica
d	Diámetro medio		

CALCULO DE LOS COSTOS, EL RETORNO Y LA RENTABILIDAD DE UN PROGRAMA HIPOTETICO DE INVESTIGACION EN PROCEDENCIAS

Supuestos

1. Un país desea encontrar e introducir procedencias superiores de un pino tropical para la producción de pulpa de fibra larga, para uso local o para exportación.
2. Se planea un modesto esquema de plantación, con un área anual de 1.000 ha.
3. El país ya tiene plantaciones o poblaciones nativas de la especie (o de una especie comparable) dentro de sus fronteras. Se dispone de forma real semillas de una procedencia nativa o de una procedencia "estándar" introducida, como Mountain Pine Ridge de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.
4. Se planea una rotación de 16 años para la producción de pulpa. La procedencia que se usa produce un incremento medio de pulpa utilizable 15 m³/ha/año a la edad de rotación. Se espera un precio promedio de \$30 por m³, puesto en el puerto de exportación o en el mercado local. En promedio, no más de la tercera parte de este precio (\$8-10) compone el (precio de la madera en pie). Este anexo trata de los beneficios globales del programa de investigación descrito. Se requieren cálculos adicionales para separar el beneficio de la empresa entre el crecimiento, cosecha, transporte y las operaciones de mercadeo. Si el programa es de carácter nacional, es importante entonces considerar los beneficios totales al país, en lugar de únicamente las utilidades a los sectores forestal e industrial de la madera.
5. El análisis económico consiste en comparar los costos adicionales, relacionados con la obtención de semillas de las procedencias necesarias, su evaluación en varios sitios dentro del país y el establecimiento de áreas de producción de semillas de las mejores procedencias, suficientes para plantar 1000 ha anuales), con los ingresos adicionales esperados al utilizar las procedencias superiores. Todos los costos y beneficios se descuentan al año 0 del proyecto.
6. Se utilizan cinco tasas de descuento "reales": 2%, 4%, 6%, 8% y 10%. Estas equivalen a la tasa nominal de interés menos la tasa de inflación. El análisis económico cubre los costos e ingresos adicionales hasta el año 58 del proyecto, cuando toda el área plantada con las procedencias superiores hayan completado una rotación de 16 años.

7. La evaluación principal de los ensayos de procedencias se efectuará a la edad de 8 años, o sea, la mitad de la rotación comercial. Posteriormente se obtendrán cantidades adicionales de semilla en "semibulto" de las procedencias superiores para el establecimiento de áreas de producción semilla (APS).
8. La producción de semilla comenzará a la edad de 8 años, pero la producción en cantidades comerciales se alcanzará sólo a partir del año 12. De los 12 a los 30 años cada hectárea de las APS debe producir anualmente suficiente semilla para establecer 150 ha de plantación comercial. Las pequeñas cantidades de semilla que se cosechen entre los 8 y los 12 años servirán para establecer nuevas APS para expandir o reemplazar a las APS iniciales, conforme estas se vuelvan sobremaduras.
9. Debido a la variación ambiental existente en el país y a la necesidad de mantener una base genética amplia, no se plantará sólo una procedencia superior en las APS. Se espera que habrá dos APS de 5 ha de cada una de las tres mejores procedencias identificadas en los ensayos. Esta área producirá tres veces más semilla mejorada de la que se necesita. Los excedentes se reservarán para enfrentar imprevistos.
10. Los costos se pueden dividir en costos de obtención de semilla y los costos de establecimiento y mantenimiento.
11. En el caso del abastecimiento de semilla, tanto en cantidades de investigación para los ensayos como en lotes en "semibulto" para establecer APS, un sistema de esfuerzo cooperativo internacional brinda los mejores beneficios a la mayoría de los países. En el presente caso, se asume que la exploración y recolección de lotes de procedencias se extiende por 3 años (años 0-2 del proyecto), mientras que las recolecciones en "semibulto" continúan por dos años (años 12 y 13 del proyecto). Se asume además, que 20 países participan de los beneficios del proyecto internacional, por lo tanto el país del caso de estudio sólo necesita aportar 1/20 del costo total de las operaciones de exploración, recolección y distribución.
12. En la práctica, las operaciones internacionales de recolección de semillas algunas veces son financiadas por agencias donantes (DANIDA, a través del Centro de Semillas Forestales de DANIDA, ODA, a través del Instituto Forestal de Oxford, etc.). En tales casos el costo del país participante se reducirá. Quienquiera que pague por las varias operaciones, el hecho es que una modesta inversión inicial produce grandes retornos económicos.

13. Se asumen los siguientes costos sin descuento de la obtención de semillas:

<u>Año</u>		<u>Costo Total (\$)</u>	<u>Costo para el país (\$)</u>	<u>Escala</u>
0	Explorar, recolectar	80.000	4.000	Cantidades para investigación
1	Explorar, recolectar	80.000	4.000	
2	Recolectar, distribuir	120.000	6.000	
12	Recolectar para APS	180.000	9.000	Cantidades semi-bulto
13	Recolectar para APS	200.000	10.000	

14. Se asume que los ensayos de procedencias se usarán eventualmente para la producción de madera, así como para la generación de información. Así también, las APS producirán madera además de semilla. En ambos casos se considera que los rodales son sustitutos de plantaciones normales de área equivalente. Por esta razón no se usan todos los costos de establecimiento, sino solamente los costos adicionales necesarios para el manejo especial de este tipo de plantaciones. Estos costos adicionales se estiman como un 50% de los costos normales del establecimiento y manejo de plantaciones comerciales.

15. Se asume que el costo de establecimiento de plantaciones comerciales de procedencias superiores (a partir del año 27 del proyecto) es igual al costo de establecimiento con procedencias locales o estándar, comúnmente utilizadas. No se considera ningún costo adicional. De hecho, los costos podrían incluso ser menores si, por ejemplo, el magos crecimiento inicial reduce el número de limpiezas (ver texto p. 19 **revisar al final de la edición**).

16. El aumento de los ingresos por el uso de procedencias superiores se ha calculado para cinco porcentajes de mejoramiento, 2,5%, 5%, 10%, 15%, 20%. Estos porcentajes, se refieren al aumento del valor monetario de la cosecha, el cual puede incluir rendimiento en volumen bruto, calidad de la madera y de la pulpa, y resistencia a plagas y enfermedades.

17. Los ingresos se recibirán del año 43 del proyecto en adelante, puesto que las plantaciones comerciales mejoradas se establecerán a partir del año 27 y se talarán a la edad de 16 años. No se han planeado raleos y por lo tanto no hay ingresos intermedios.

18. Los ingresos monetarios esperados por el uso de procedencias locales o "estándar" no mejoradas es de \$7.200 anuales a partir del año 43 (IMA 15 m³ x rotación de 16 años x \$30/m³).

19. Los ingresos adicionales en dinero a la edad de rotación por el uso de procedencias superiores son:

% de mejoramiento	2,5%	5%	10%	15%	20%
Ingresos adicionales/ha (\$)	180	360	720	1.080	1.440
Ingresos adicionales (\$.000) (por cosechar 1.000 ha/año)	180	360	720	1.080	1.440

20. No se toma en cuenta cualquier mejoramiento que se obtenga del manejo cuidadoso (incluyendo raleos tempranos y fuertes) de las áreas de producción de semillas, debido a que esto aplica tanto a las procedencias superiores como a las locales o las de uso "estándar".

Anexo 2

A- COSTOS ADICIONALES DESCONTADOS DE LA INVESTIGACION DE PROCEDENCIAS (US\$).

		0 %		2 %		4 %		6 %		8 %		10 %	
Año	Operación	Costo básico/ha	Costo básico total	Multiplicador	Costo descontado								
1. Obtención de semilla para los ensayos de procedencias													
0	Explorar y recolectar semilla		4,000		4,000		4,000		4,000		4,000		4,000
1	Explorar y recolectar semilla		4,000	1,000	4,000	1,000	3,770	1,000	3,770	1,000	3,700	1,000	3,640
2	Recolectar y distribuir semilla		6,000	0,980	5,770	0,962	5,550	0,943	5,340	0,926	5,140	0,909	4,960
				0,961		0,925		0,890		0,857		0,826	
	Total		14,000		13,690		13,400		13,110		12,840		12,600
2. Establecimiento de ensayos (2,5 ha/ sitio x 6 sitios = 15 ha)													
3	Vivero, prep. del sitio, plant.	320	4,800	0,942	4,520	0,889	4,270	0,840	4,030	0,794	3,810	0,751	3,600
4	Limpiezas	100	1,500	0,924	1,390	0,854	1,280	0,792	1,190	0,735	1,100	0,683	1,020
5	Limpiezas	60	900	0,906	820	0,822	740	0,747	670	0,681	610	0,621	560
4	Protección	20	300	0,924	280	0,854	260	0,792	240	0,735	220	0,683	200
5-11	Protección anual	20	2,100	0,924	1,790	0,854	1,540	0,792	1,330	0,735	1,150	0,683	1,000
				x 6,472		x 6,002		x 5,582		x 5,206		x 4,868	
11	Medición y evaluación	200	1,600	0,804	1,290	0,650	1,040	0,527	840	0,429	690	0,350	560
	Total		11,200		10,090		9,130		8,300		7,580		6,940
3. Obtención de semilla para los rodales semilleros													
12	Recolección de semilla		9,000	0,788	7,090	0,625	5,630	0,497	4,470	0,397	3,570	0,319	2,870
13	Recolección de semilla		10,000	0,773	7,730	0,601	6,010	0,469	4,690	0,368	3,680	0,290	2,900
	Total		19,000		14,820		11,640		9,160		7,250		5,770
4. Establecimiento de rodales semilleros (10 ha/procedencia x 3 procedencias = 30 ha)													
14	Vivero, prep. del sitio, plant.	320	9,600	0,758	7,280	0,577	5,540	0,442	4,240	0,340	3,260	0,263	2,520
15	Limpiezas	100	3,000	0,743	2,230	0,555	1,670	0,417	1,250	0,315	950	0,239	720
16	Limpiezas	60	1,800	0,728	1,310	0,534	960	0,394	710	0,292	530	0,218	390
15	Protección	20	600	0,743	450	0,555	330	0,417	250	0,315	190	0,239	140
16-41	Protección anual	20	15,600	0,743	8,970	0,555	5,320	0,417	3,250	0,315	2,040	0,239	1,310
				x 20,121		x 15,983		x 13,003		x 10,810		x 9,161	
	Total		30,600		20,240		13,820		9,700		6,970		5,080
5. Establecimiento de rodales comerciales													
26-41	Recolección anual de los rodales semilleros.												
27-42	Plantación anual. No hay incremento en costos en comparación con el uso de semilla comercial no mejorada												
	Costos totales descontados		74,800		58,840		47,990		40,270		34,640		30,390
			0%		2%		4%		6%		8%		10%

B- INGRESOS ADICIONALES DESCONTADOS DE LA INVESTIGACION DE PROCEDENCIAS (US\$), CON VALOR ACTUAL NETO (VAN) Y RELACION BENEFICIO/COSTO

		0 %		2 %		4 %		6 %		8 %		10 %	
Año	Operación	Ingreso básico (\$/ha)	Ingreso básico total (1000 \$)	Multiplicador	Ingreso descontado (1000 \$)	Multiplicador	Ingreso descontado (1000 \$)	Multiplicador	Ingreso descontado (1000 \$)	Multiplicador	Ingreso descontado (1000 \$)	Multiplicador	Ingreso descontado (1000 \$)
1. Valor del mejoramiento por procedencia mejorada 2.5%													
43	Aprovechamiento	180	180	0.427	76.9	0.185	33.3	0.082	14.8	0.0365	6.6	0.0166	3.0
44-58	Aprovechamiento anual	180/año	2,700	0.427 x 12.849	987.6	0.185 x 1.118	370.2	0.082 x 9.712	143.7	0.0365 x 8.559	56.5	0.0166 x 7.606	22.7
	Total (año 58)		2,880.0		1,064.5		403.5		158.5		63.1		25.7
	Menos los costos descontados		74.8		58.8		48.0		40.3		34.6		30.4
	Renta descontada = VAN		2,805.2		1,005.7		355.5		118.2		28.5		- 4.7
	Relación beneficio/costo		38.5		18.1		8.4		3.9		1.8		0.9
2. Valor de mejoramiento por procedencia mejorada 5%													
	Total (año 58)		5,760.0		2,129.0		807.0		317.0		126.2		51.4
	Menos los costos descontados		74.8		58.8		48.0		40.3		34.6		30.4
	Renta descontada = VAN		5,685.2		2,070.2		759.0		276.7		91.6		21.0
	Relación beneficio/costo		77.0		36.2		16.8		7.9		3.6		1.7
3. Valor del mejoramiento por procedencia mejorada 10%													
	Total (año 58)		11,520.0		4,258.0		1,614.0		634.0		232.4		102.8
	Menos los costos descontados		74.8		58.8		48.0		40.3		34.6		30.4
	Renta descontada = VAN		11,445.2		4,199.2		1,566.0		593.7		217.8		72.4
	Relación beneficio/costo		154.0		72.4		33.6		15.7		7.3		3.4
4. Valor del mejoramiento por procedencia mejorada 15%													
	Total (año 58)		17,280.0		6,387.0		2,421.0		951.0		378.6		154.2
	Menos los costos descontados		74.8		58.8		48.0		40.3		34.6		30.4
	Renta descontada = VAN		17,205.2		6,328.2		2,373		910.7		344.0		123.8
	Relación beneficio/costo		231.0		108.6		50.4		23.6		10.9		5.1
5. Valor del mejoramiento por procedencia mejorada 20%													
	Total (año 58)		23,040.0		8,516.0		3,228.0		1,268.0		504.8		205.6
	Menos los costos descontados		74.8		58.8		48.0		40.3		34.6		30.4
	Renta descontada = VAN		22,965.2		8,457.2		3,180.0		1,227.7		470.2		175.2
	Relación beneficio/costo		308.0		144.8		67.2		31.4		14.6		6.8

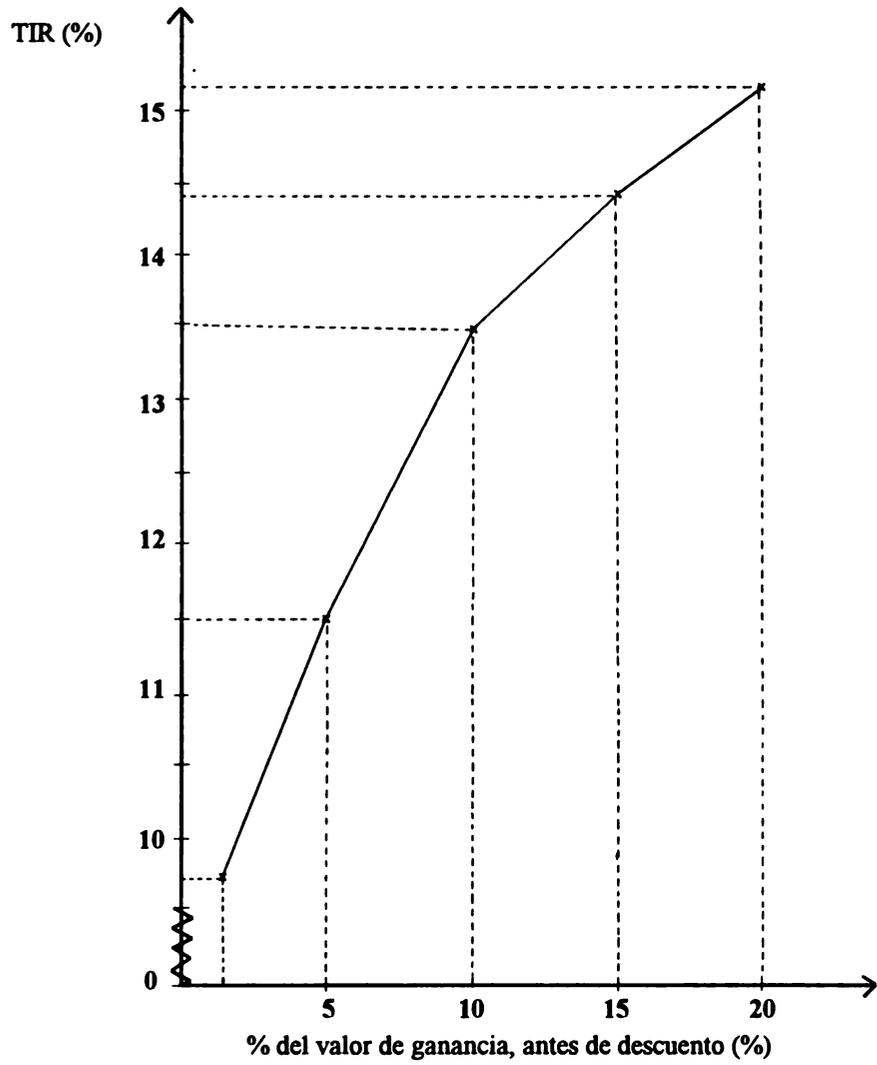


Figura 1: Relación entre la TIR (%) y % del valor de ganancia (antes de descuento).

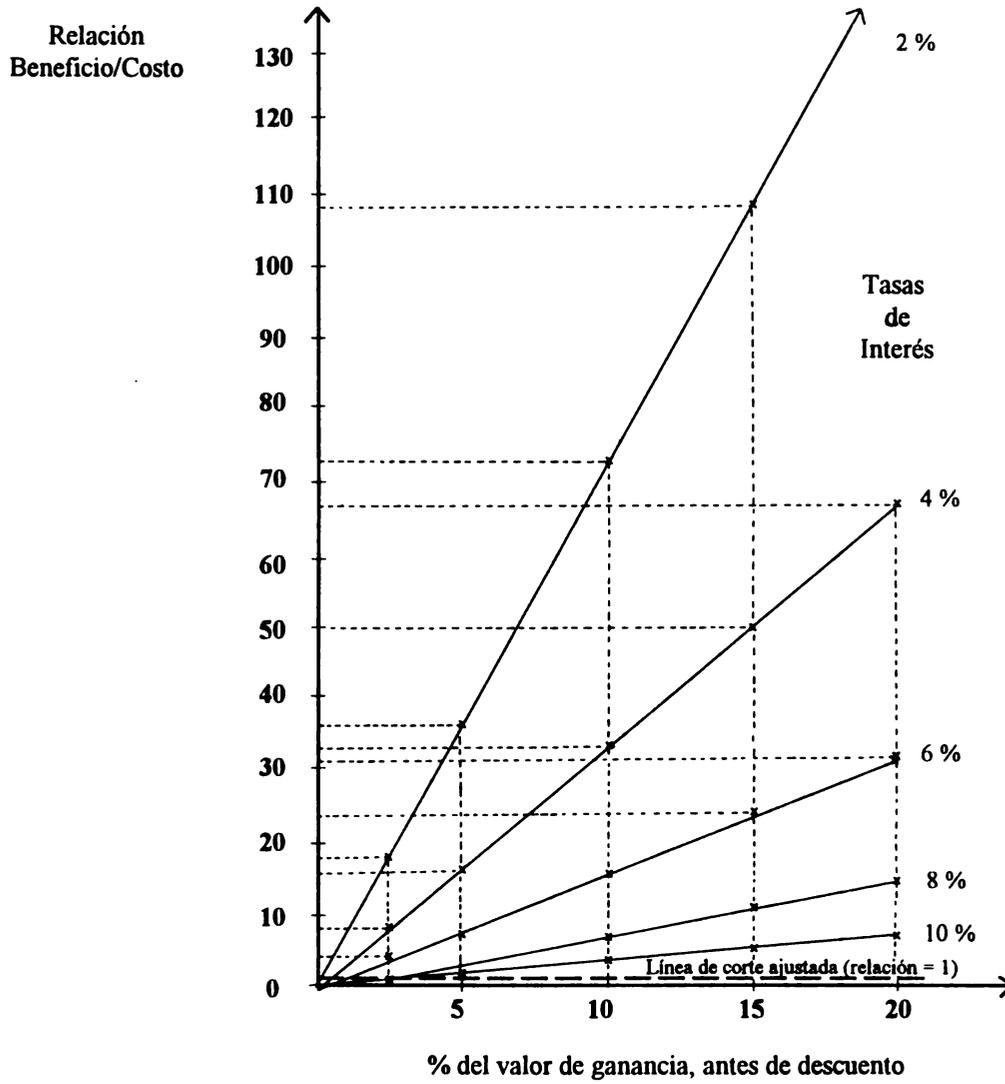


Figura 2: Relación entre Beneficio/Costo y el % del valor de ganancia (antes de descuento).

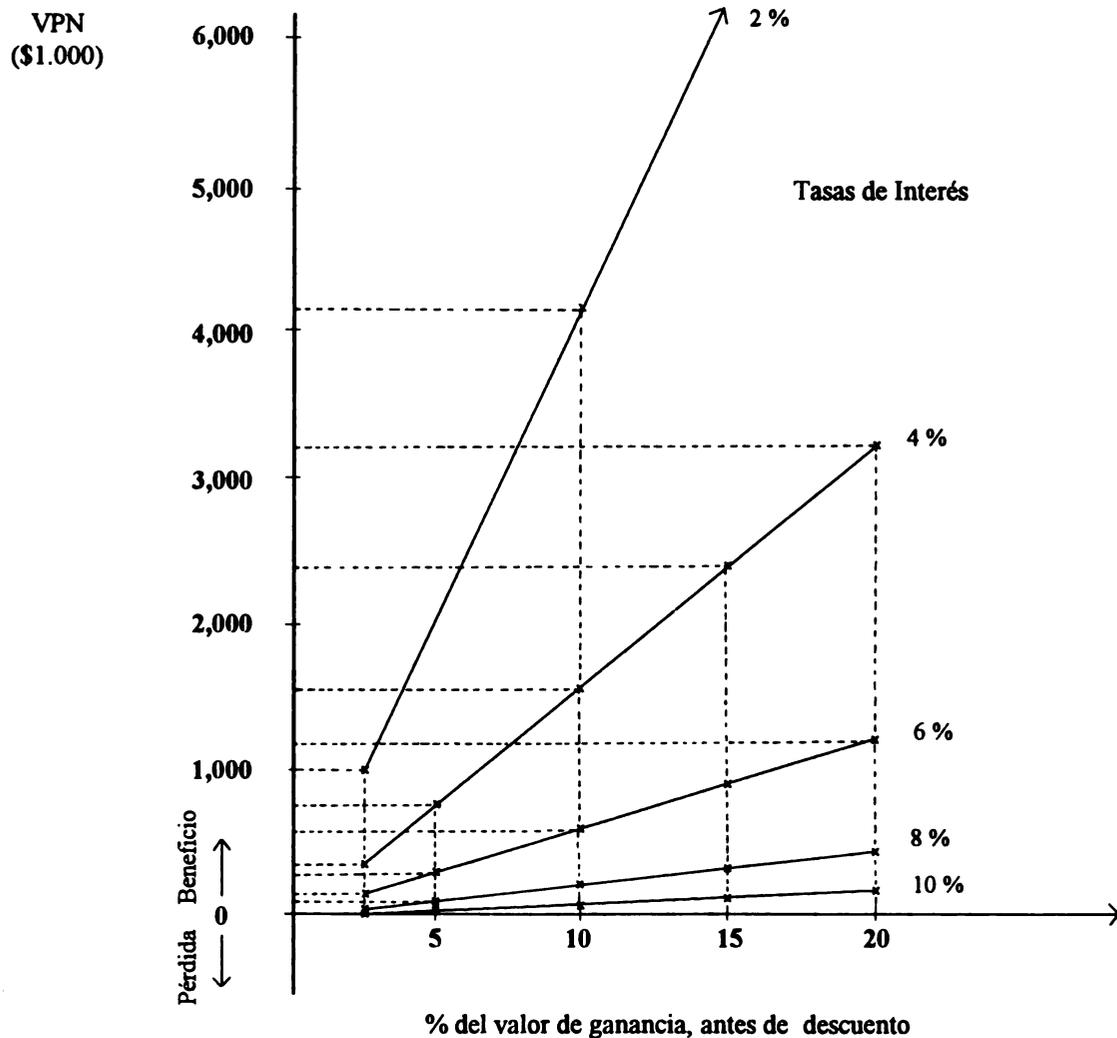


Figura 3: Relación entre Valor Presente Neto (VPN) y el % del valor de ganancia (antes de descuento).