

MEJORAMIENTO FORESTAL Y CONSERVACION DE RECURSOS GENETICOS FORESTALES

Tomo II



CATIE

PROSEFOR

CONTENIDO GENERAL

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

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
<u>1. INTRODUCCION</u>	3
<u>2. PRODUCCION MASIVA DE MATERIAL NO EVALUADO</u>	3
<u>2.1 Producción masiva de progenies de árboles individuales seleccionados en rodales</u>	
<u>2.2 Huertos semilleros de plántulas sin raleo genético</u>	
<u>2.3 Huertos semilleros clonales sin raleo genético</u>	
<u>3. PRODUCCION MASIVA DE MATERIAL EVALUADO, EL ENFOQUE DE HUERTOS SEMILLEROS</u>	5
<u>3.1 Huertos semilleros de plántulas con raleo genético</u>	
<u>3.2 Huertos semilleros clonales con raleo genético</u>	
<u>4. PRODUCCION MASIVA DE MATERIAL EVALUADO, EL ENFOQUE CLONAL</u>	6
<u>4.1 Envejecimiento</u>	
<u>4.2 Selección, evaluación y propagación</u>	
<u>4.2.1 Consideraciones teóricas</u>	
<u>4.2.2 Selección y propagación de árboles maduros</u>	
<u>4.2.3 Evaluación, selección y propagación sucesivas</u>	
<u>4.3 Efecto clonal</u>	
<u>4.4 Variación genética</u>	
<u>4.5 Variedades multiclonales</u>	
<u>4.6 Propagación masal (en bulto)</u>	
<u>4.7 La técnica de propagación</u>	
<u>4.8 Conclusión</u>	
<u>5. LITERATURA SELECCIONADA</u>	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 espaciamento 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 $4 \times 4 \text{ m} = 16 \text{ m}^2$
 Tamaño de bloque 2600 m^2

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 $2 \times 6 \text{ m}$. Después del raleo genético el espaciamento

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 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 clones. 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 topofisis. Desafortunadamente, el fenómeno del envejecimiento y la topofisis 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 topofisis no existe en otras especies como *Criptomera* 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 se trabaja con estacas derivadas de la segunda y sucesivas propagaciones, la topofisis 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 topótesis 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 (ontogenético) 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.; Monteuis, O.** 1990. Régénération in vitro de pin maritimes agé par bourgeonnement adventif sur euphyllles. *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. Scie.* 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 sticlings - 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. Scie.* 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*, *Albizia*, 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 asilados 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^{ta}, 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	intern.	intern.	intern.	?
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

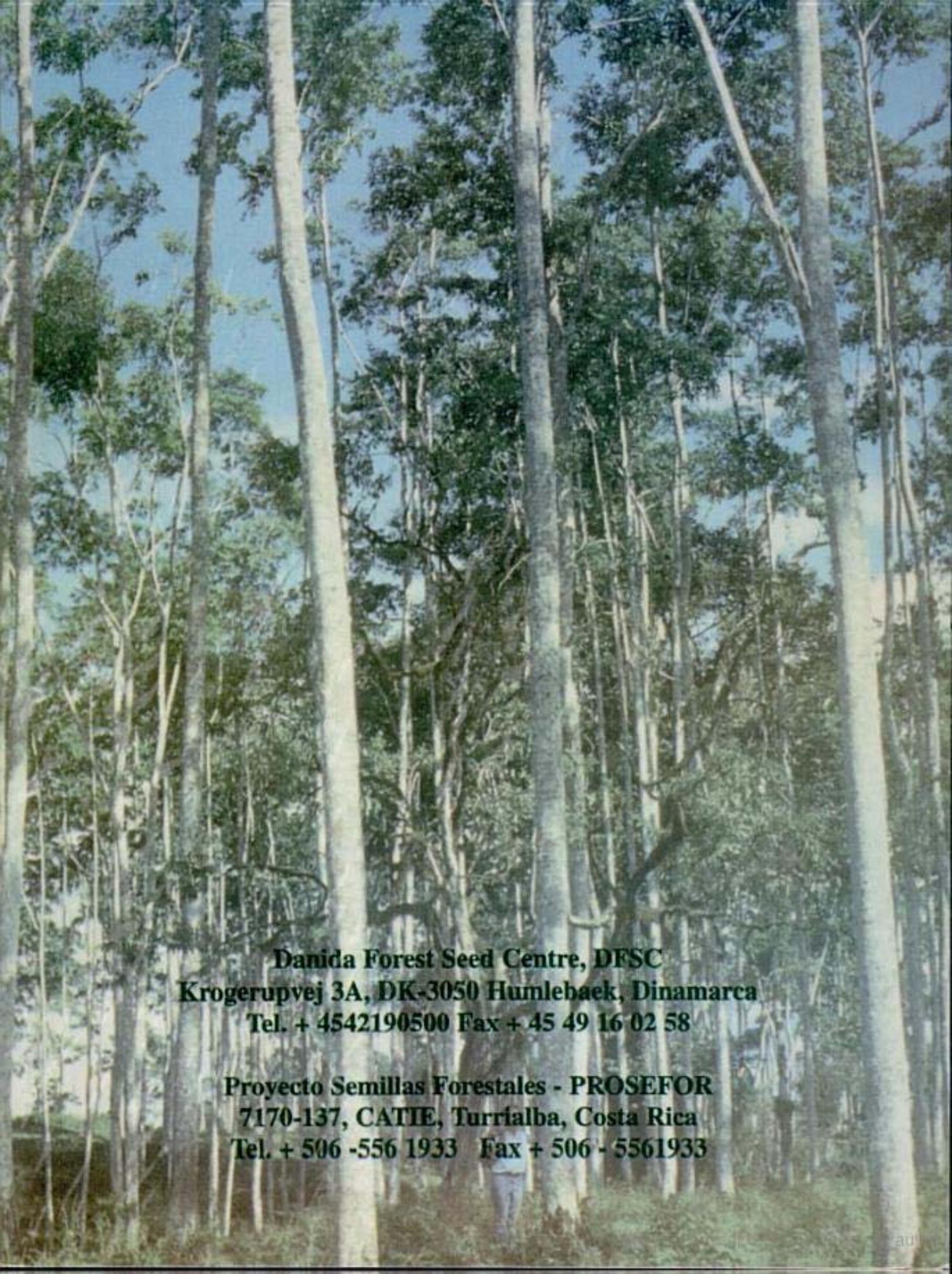
Régimen de temperatura

Los extremos así como las sumas de temperatura durante la época de diferenciación de yemas son extremadamente importantes (Ilstedt, 1982). Se sabe que en la 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



Danida Forest Seed Centre, DFSC
Krogerupvej 3A, DK-3050 Humlebaek, Dinamarca
Tel. + 4542190500 Fax + 45 49 16 02 58

Proyecto Semillas Forestales - PROSEFOR
7170-137, CATIE, Turrialba, Costa Rica
Tel. + 506 -556 1933 Fax + 506 - 5561933