

DISEÑOS DE HUERTOS SEMILLEROS

Roberto Ipinza Carmona¹
Rodrigo Vergara Lagos²

INTRODUCCIÓN

Los huertos semilleros son las poblaciones de producción más comúnmente utilizadas en los programas de mejora. Los huertos son esenciales para la producción de semilla de alta calidad genética, ya que la semilla se origina a partir de árboles superiores, seleccionados ya sea de poblaciones naturales, plantaciones o ensayos genéticos de programas de generaciones avanzadas.

Es necesario distinguir los huertos de primera generación y los de generación avanzada. Los huertos semilleros podrían contener progenie seleccionada de una nueva población base (selección hacia adelante), o la selección original de la primera generación (selección hacia atrás), o una mezcla de ambos, por lo tanto esas consideraciones deben ser incluidas en los diseños.

El valor del huerto depende de:

- El tamaño del área y el número de hectáreas reforestadas anualmente.
- De las ganancias genéticas (volumen, rectitud, etcétera) y calidad de las ganancias.
- El valor de la madera.

En el huerto se debe incluir el mejor material disponible y su manejo debe ser el más efectivo posible. Existe la impresión errónea de que los huertos son baratos, pero en la mayoría de los casos son caros de establecer y mantener. La decisión de establecer un huerto no debería tomarse a la ligera, y una vez tomada, debería ir acompañada del compromiso de un manejo intensivo, necesario para una producción eficiente de semilla.

- La productividad del huerto (kilos de semilla por hectárea).
- El costo de manejar el huerto (costo del kilo de semilla producida).

¹ Ingeniero Forestal. Dr. Ingeniero de Montes. Instituto de Silvicultura. Universidad Austral de Chile, Casilla # 567, Valdivia, Chile.
e-mail: ripinza@valdivia.uca.uach.cl

² Ingeniero Forestal. Instituto de Silvicultura. Universidad Austral de Chile, Casilla # 567, Valdivia, Chile.
e-mail: rvergara@valdivia.uca.uach.cl

Los huertos son usualmente una buena inversión, pero el retorno de la inversión depende de un manejo eficiente. En cualquier caso, el establecimiento de un huerto debe ser precedido por un análisis financiero que considere los factores mencionados. En cualquier país los huertos son una inversión apropiada, puesto que ellos proveen una fuente de semilla de una raza local (*Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*) que no estaría disponible de otra forma. En el caso de las exóticas, los huertos sustituyen la necesidad de importar semilla, que además de cara, puede no ser genéticamente mejorada.

En la figura 1, se muestra la localización de los huertos semilleros en un programa de mejoramiento genético. En ella se ilustran los distintos tipos de huertos con sus ganancias genéticas asociadas. (Las flechas continuas indican flujo de material, mientras que las flechas punteadas indican flujo de información)

GENERALIDADES

Se pueden encontrar numerosos ejemplos donde los huertos han sido establecidos ya sea demasiado pronto o demasiado tarde. Un error común es apresurarse a iniciar un programa de mejoramiento genético antes de la selección cuidadosa de las mejores especies y procedencias. Existen muchos huertos que no se utilizan porque los ensayos posteriores mostraron que otra especie o procedencia de la misma especie era mucho más productiva que el material del huerto. En general, las ganancias a partir de la exigencia adecuada de la especie o la procedencia serán mayores de las producidas por una generación de mejoramiento genético dentro de una procedencia. En otras palabras, hay que 'aprender a caminar antes de correr'.

También se debe estar seguro de que existe una base genética suficientemente amplia del material para selecciones de árboles plus para el huerto semillero o especialmente para el establecimiento de una población para un programa de mejoramiento a largo plazo. En muchos casos, puede haber una base genética suficientemente amplia para establecer el huerto semillero, pero no lo suficiente para establecer una población de cruzamiento que prevenga el apareamiento de individuos emparentados en generaciones posteriores. Las especies nativas raramente representan un problema, puesto que se puede seleccionar del bosque nativo, pero en el caso de las exóticas a menudo se debe empezar con cantidades limitadas de semilla. Un ejemplo típico es el caso de *Eucalyptus nitens* en Chile, muchas plantaciones de esta especie se originan de la misma fuente de semilla, o de importaciones desde Australia; un modo más eficiente sería hacer huertos semilleros clonales a partir de árboles seleccionados de acuerdo a su valor genético en los ensayos de progenie y procedencia.

Una vez que las mejores especies y procedencias han sido identificadas a lo largo de varios años de evaluación para crecimiento y adaptación, entonces se puede iniciar la selección para los huertos semilleros, cuando existen varias hectáreas de rodales naturales, plantaciones o ensayos que permitan una alta intensidad de selección.

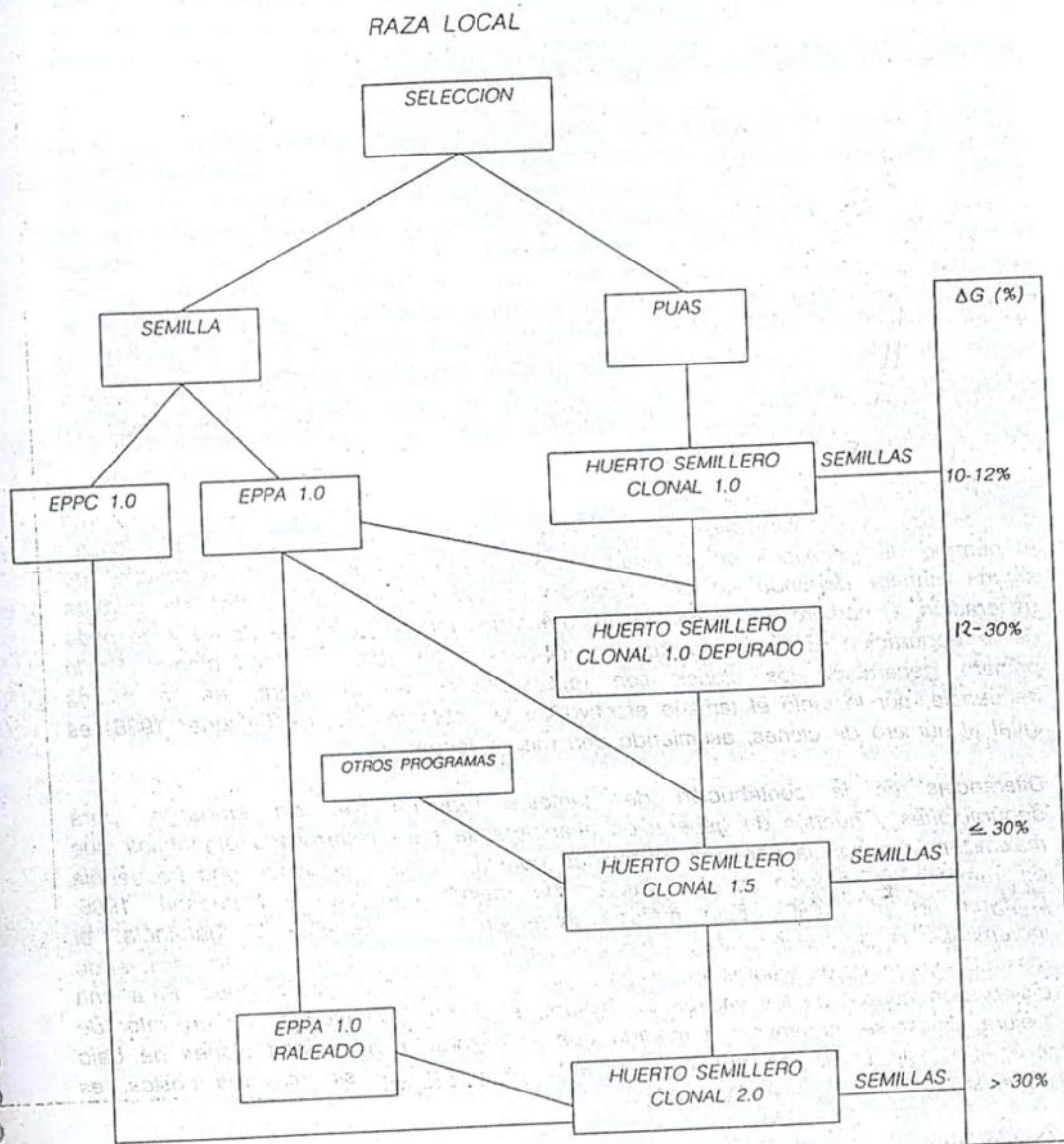


FIGURA 1
ESTRATEGIA GENERAL DE MEJORAMIENTO GENÉTICO
PARA UNA RAZA LOCAL.

CONSIDERACIONES PREVIAS PARA LA PLANIFICACIÓN DE UN HUERTO SEMILLERO

Maximizar la ganancia, manteniendo la diversidad

La maximización de la ganancia es obviamente el objetivo más importante para un sistema de producción comercial, dadas las restricciones de diversidad, endogamia, etcétera. Para el desarrollo de un programa de primera generación normalmente existirán un gran número de candidatos disponibles para los huertos, en esta fase los árboles plus son sobresaliente fenotípicamente. Para programas de generación avanzada, se pueden incluir individuos plus de selección masal de primera generación pero que han sido probados como sobresaliente en las pruebas de progenie (selección hacia atrás) y selecciones hacia delante a partir de cruza de padres superiores. En este caso cada candidato tendrá una medida de su valor de mejora para los rasgos de interés. La selección de clones para utilizar en el huerto, entonces, parece relativamente clara: aquellos clones con el valor de mejora más alto serán incluidos en el huerto.

Debido a la falta de conocimiento sobre los niveles de diversidad necesarios para que los ecosistemas forestales se mantengan sanos en el corto y en el largo plazo, el número de genotipos en el huerto que entrega una diversidad "aceptable" de alguna manera depende de una decisión arbitraria. Para los huertos de primera generación, el número de clones no emparentados es del orden de 25-40 y después de la depuración este número puede reducirse a un 50% o menos clones. En la primera generación los clones son representados en el huerto en la misma frecuencia, por lo tanto el tamaño efectivo de la población (N_e de Falconer 1986) es igual al número de clones, asumiendo una misma fecundidad.

Diferencias en la contribución de gametos reducirá N_e , sin embargo, para depuraciones y huertos de generación avanzada se han desarrollado algoritmos que maximizan la ganancia para una diversidad constante (N_e), asignando una frecuencia de rametos en función de los valores de mejora (Lindgren y Matheson, 1986; Lindgren et al., 1989). Este método incrementa efectivamente la ganancia, al incrementar la proporción de los mejores clones y acumular diversidad incluyendo más clones de bajos valores de mejora, pero en pequeñas proporciones. Para una distribución normal de los valores de mejora, el número de clones con un valor de mejora similar se incrementa a medida que el mejorador selecciona clones de bajo valor. De este modo, se puede incrementar la diversidad sin mayores costos, es decir, sin reducir la ganancia genética.

Panmixia

La panmixia es definida por Falconer (1986) como la igual oportunidad de todos los individuos de cruzarse con otro individuo en la población. En la literatura acerca de huertos semilleros esto ha sido interpretada como la capacidad del diseño para maximizar la oportunidad de que todas las posibles combinaciones de cruza tengan

la misma frecuencia (van Buitjnen, 1971; Giertych, 1975). Aunque la panmixia ha sido considerada un importante criterio para el diseño de un huerto, de hecho, las desviaciones de la panmixia (es decir, la inexistencia o desigual frecuencia de algunas cruzas) tiene poco o ningún efecto sobre el valor genético promedio de la cosecha de un huerto (van Buitjnen, 1971). Asumiendo que las estimaciones del valor de mejora (o estimaciones de la aptitud combinatoria general (ACG)) son calculadas correctamente, y asumiendo igual fecundidad, entonces el valor esperado de la cosecha de un huerto de polinización abierta es simplemente el promedio de los valores de mejora estimados. Hodge y White (1993) establecen que la inexistencia de ciertas cruzas afectaría adversamente la calidad genética total de la cosecha sólo si:

- los efectos de la aptitud combinatoria específica (ACE) son grandes en relación a los efectos de la ACG
- un clon específico se cruza desproporcionadamente con uno o unos pocos clones
- un evento de muy baja probabilidad ocurra, como que el promedio de los efectos de ACE de todas las cruzas que actualmente se realizan sea sustancialmente negativo.

La necesidad de panmixia en los huertos semilleros ha favorecido el uso de diseños en los que distintos rametos de un clon particular tienen distintos conjuntos de vecinos. La evidencia podría sugerir, sin embargo, que existe una pequeña probabilidad de que los diseños aleatorios ofrezcan mejores oportunidades para la panmixia de lo que pueden hacerlo los diseños sistemáticos, en los que los rametos tienen los mismos vecinos a través de todo el huerto. Para las coníferas, la mayoría del polen que produce una progenie viable con una madre particular viene de fuera de la vecindad más cercana, es decir, desde más allá de 25 metros. Esto no es sorprendente, ya que las estimaciones de contaminación por polen (ajeno al huerto) son de un 50% aun para huertos de coníferas presumiblemente bien aislados. Dentro de la vecindad, la distancia sólo está escasamente relacionada con la frecuencia de cruzas. Diferencias de fecundidad y fenología son sustancialmente más importantes que la distancia, en la determinación de los cruzamientos. En conclusión, la panmixia no parece ser un importante criterio para la elección del diseño del huerto, pero aun si lo fuera, es improbable que los distintos diseños difieran significativamente en su habilidad para promover la panmixia.

Minimizar la endogamia

Evitar la endogamia es una prioridad para las poblaciones de producción de árboles forestales debido a que la mayoría de los árboles son organismos exogámicos que exhiben una severa depresión endogámica (Wright, 1976; Zobel y Talbert, 1988). Estimaciones de los niveles de cruzamiento externo (outcrossing) en huertos semilleros de coníferas desarrolladas a partir de variación aloenzimática multi-locus son extremadamente altas (0.98 a 0.99). Un intento por minimizar la endogamia generalmente ha sido mantener una distancia mínima entre los distintos rametos del mismo clon, o de clones relacionados. Por ejemplo, se considera como regla 27 metros de separación entre parientes o rametos del mismo clon (Zobel y Talbert,

1988). Por las razones discutidas anteriormente, esta práctica probablemente implica sólo un pequeño incremento en la panmixia. Parece razonable esperar una amplia tasa de cruzamientos exogámicos en huertos de polinización por viento, simplemente por un asunto de probabilidades. Un huerto con 20 clones comportándose como una población panmíxica tendría una tasa de cruzas no emparentadas del 95%, mientras que 50 clones tendrían una tasa del 98%. Las desviaciones de la panmixia podrían disminuir esta tasa, sin embargo, la autoincompatibilidad la aumentaría en algún grado.

Del tema de la endogamia, surge una pregunta: ¿deben existir restricciones sobre los tipos de parentescos presentes en un huerto? En huertos de generación avanzada existe la posibilidad de incluir varios tipos de parientes en el mismo huerto, como medios hermanos, hermanos completos o progenie de un clon progenitor. El grado en que la endogamia afectará la calidad genética total de la cosecha del huerto es una función de 1) la depresión endogámica asociada con un tipo particular de cruce emparentado y 2) la proporción de progenie viable resultante de este tipo de cruce. De este modo, la inclusión de múltiples rametos del mismo clon probablemente no disminuirá la calidad genética de la semilla del huerto: aunque la depresión endogámica de las autocruzas es severa, probablemente muy pocas progenies de autocruzas sobrevivirán para llegar a ser parte de la cosecha del huerto. La progenie de cruces de clones emparentados, como por ejemplo, un padre y una progenie, o dos hermanos completos, tendrá una depresión endogámica menos severa, pero una mayor proporción de esta progenie sobrevivirá para ser parte de la cosecha del huerto. Ha habido algunos estudios que examinan el grado al cual la endogamia, particularmente la autocruza, afecta a los rasgos de crecimiento en árboles forestales. Sin embargo, la habilidad relativa del polen de las autocruzas o cruces emparentadas para competir con el polen proveniente de cruces no emparentadas en la fertilización es desconocida y es un potencial campo de estudio para la investigación futura. La creencia actual es que una pequeña tasa de parentesco entre los clones de un huerto probablemente no tiene un impacto significativo en la calidad total de la semilla del huerto.

Flexibilidad para la depuración

Para los huertos semilleros de primera generación es importante tener la opción de mejorar genéticamente el huerto a través de la depuración, ya que los clones no han sido probados. Los diseños que entregan distintos patrones de vecindad entre los distintos rametos de un clon entregarán una mayor flexibilidad para futuras depuraciones. Esto favorece el uso de diseños aleatorios, en oposición a los diseños sistemáticos. En un diseño sistemático es posible que un grupo de clones deficientes se agrupen juntos bloque tras bloque. El resultado podría ser: 1) depurar todo los clones deficientes, dejando un claro improductivo en el huerto, 2) dejar los mejores de los clones deficientes en el huerto. Los diseños aleatorios evitan este problema (en algún grado) produciendo distintos patrones de vecindad no repetibles. Para evitar posibles errores en la selección, un número mayor de clones del que puede ser necesario para la diversidad genética, es incluido en un huerto. En los huertos de generación avanzada, todos los clones (o sus ancestros) estarán probados (al

menos en algún grado). De este modo, el impacto de errores en la selección y la necesidad de depuración disminuye, y los diseños sistemáticos o aleatorios pueden ser adecuados indistintamente con respecto a este criterio.

Huerto de padres versus huertos de la progenie

Reducir el tiempo desde el establecimiento del huerto hasta la producción comercial tendrá un gran impacto sobre el valor económico de un huerto. Tanto la selección de progenitores (hacia atrás) como la selección de la progenie (hacia adelante) están disponibles para ser incluidas en un huerto de generación avanzada. Esto es importante ya que distintos tipos de huertos pueden diferir en el tiempo que requieren para llegar a una producción comercial.

Para muchas especies no se sabe qué tipo de huerto producirá semillas antes. Podría ser un huerto establecido con padres, ya que los rametos son fisiológicamente maduros y florecen más temprano, o podría ser un huerto de progenie ya que crecen más rápido y por lo tanto, producen una copa más grande antes. ¿Podrían combinarse ambos tipos de selección en un huerto? Esto permitiría al mejorador disponer de semilla de cualquiera que la produzca antes que el otro. Podría también permitirse un huerto con la proporción más adecuada como 1/2 padres y 1/2 progenie o 2/3 de padres y 1/3 de progenie, o alguna otra proporción. Así, para algunas especies, el diseño de los huertos debe ser tan flexible que pueda permitir una mezcla de padres e hijos:

HUERTOS SEMILLEROS DE SEMILLAS Y HUERTOS SEMILLEROS CLONALES

Hay básicamente dos tipos de huertos semilleros, los que se establecen con material propagado a través de injertos, comúnmente compuestos de varios rametos por cada ortet, y los que se originan de plántulas de semilla comúnmente a partir de un ensayo genético.

Huerto semillero de plántulas o de semilla.

Un huerto semillero de semilla (HSS), o también conocidos como huertos semilleros de plántulas (HSP), se crea mediante una depuración intensiva de un ensayo de progenie, para permitir que se crucen individuos no emparentados y permitir que llegue luz a la copa para favorecer la producción de flores y por ende la producción de semilla. Cuando se efectúa este tipo de raleo en rodales naturales o plantaciones, resulta lo que se conoce como rodal semillero o área productora de semilla, como se ha analizado en los capítulos previos.

La ventaja aparente del HSS es que la evaluación de la progenie y la producción de semilla se puede llevar a cabo en el mismo sitio. Sin embargo, los ensayos de progenie se establecen normalmente en sitios típicos de reforestación, los cuales no

siempre son adecuados para la producción de semilla. La otra ventaja del HSS es que la producción de semilla se inicia antes (para una generación dada), puesto que un huerto clonal requiere, además, colección de púas de los árboles plus o elite de un ensayo y el establecimiento posterior en el huerto. Si el ensayo de progenie tiene un área basal alta, pueden pasar varios años para que se formen copas favorables para la producción de semilla, y puede que la producción no se inicie mucho antes que en un huerto establecido por injertos, aunque en ocasiones huertos de alta densidad como en *Pinus radiata* se utilizan para huertos de cruzamientos controlados.

Huertos semilleros clonales.

Los huerto semilleros clonales (HSC) se establecen colocando varios rametos, producidos por injertos o estacas enraizadas, de cada árbol seleccionado en un área escogida para la producción de semilla.

Los HSC tienen dos ventajas principales: los sitios para el huerto no están restringidos a las áreas apropiadas para ensayos y pueden establecerse en áreas que faciliten el manejo y favorezcan la producción rápida de grandes cantidades de semilla. No debe olvidarse que los huertos son cosechadores de clima, por lo tanto su localización puede estar en lugares fuera del área de distribución natural de la especie o fuera del área donde se establecen comercialmente las plantaciones. En los HSC es posible una intensidad de selección mucho mayor, puesto que únicamente un pequeño número de selecciones se incluyen en el huerto (alrededor de 40), mientras que es necesario dejar más árboles por hectárea en los HSS para una polinización adecuada. Aun más, las selecciones para un HSC pueden provenir de varios sitios de prueba o simplemente de selecciones localizadas en sitios diferentes, mientras que los HSS usualmente se crean a partir de sólo uno o dos sitios, para una generación de cruzamiento dada.

Para aquellas empresas u organizaciones que colectan semilla y mantienen la identificación de los árboles individuales, es decir con identificación familiar, para hacer "silvicultura familiar", el HSC hace posible colectar cantidades comerciales de varios rametos. Estas colecciones de semilla de polinización abierta de madres individuales permiten establecer plantaciones monofamiliares más uniformes, con menos pérdidas debidas a la supresión de los árboles más pequeños. Los estudios han mostrado que la mezcla de familias (progenies) producen pérdidas diferenciales de familias en el vivero debidas a sus diferencias aparentes en germinación y curvas de crecimiento. Algunas familias son de rápido crecimiento inicial y pueden dominar a otras que empiezan tarde, pero que podrían ser de más rápido crecimiento en una fase posterior.

Los HSS usualmente son fuentes alternativas de semilla mientras se desarrollan los HSC. El mayor énfasis de este capítulo se dará a los huertos semilleros clonales.

TAMAÑO DEL HUERTO

Un tamaño inadecuado del huerto resultará ya sea en escasez de material plantable de alta calidad, o en altos costos por kilo debido al exceso de tamaño. Sin embargo, es mejor tener un exceso ya que éste probablemente puede ser comercializado. En la mayoría de los nuevos programas de mejoramiento, hay mayor demanda que suministro de semilla de alta calidad. Muchos huertos intencionalmente son de gran tamaño, para poder hacer silvicultura familiar, después que se tengan los resultados de las pruebas genéticas y así no incurrir en los costos de repropagación a través de estacas.

En realidad, algunos huertos están intencionalmente diseñados para abastecer al mercado externo. En algunos casos, la venta de semilla puede ser un negocio lucrativo que puede ayudar a recuperar algo de los costos del establecimiento y mantenimiento del huerto. Además, muchos de los costos del huerto son fijos o varían poco con el número de hectáreas establecidas.

Un huerto manejado intensivamente producirá considerablemente más semilla por hectárea que uno sin manejo intensivo. Por lo tanto, al determinar el tamaño del huerto, se debe decidir el tipo de manejo que se adoptará. Sólo la protección contra insectos dañinos puede duplicar la producción de semilla.

Para muchas especies existen estimaciones de producción de semilla (en kilos) por árbol o por hectárea. Estos pueden utilizarse como un punto de partida si no existen datos locales. Una vez que se tiene las estimaciones de producción, las necesidades de semilla pueden calcularse a partir de la siguiente información:

- Hectáreas que serán plantadas cada año (promedio y máximo anual).
- Densidad de plantación
- Numero de semillas por kilo
- Eficiencia del vivero en términos de números de plántulas plantables producidas por kilo de semilla.
- Factor de imprevistos, en caso de que haya habido imprecisión en las estimaciones.

La mayoría de las organizaciones aumentarán el tamaño del huerto en un 20 a un 50% para una estimación conservadora del número de hectáreas necesarias. En el caso de inseguridad acerca de adquisiciones de terreno en el futuro, puede ser deseable plantar el doble de las hectáreas calculadas.

Cualquiera que sea el cálculo de las hectáreas necesarias para el huerto, debería haber un mínimo de aproximadamente 5 hectáreas en un diseño compacto para asegurar una polinización adecuada en especies de polinización por el viento. Igualmente, no se debería establecer huertos pequeños en diseños de franjas largas, ya que esto puede ocasionar que el polen abandone el huerto con los primeros vientos. La polinización más efectiva se logra con un huerto de una forma tan

cuadrada como sea posible, también es importante en la forma la dirección de los vientos dominantes, si estos son predecibles.

Cuando se seleccione el sitio, se deberá dejar una barrera de aislamiento sin árboles de por lo menor 200 metros entre el huerto y los rodales cercanos de la misma especie u otras especies con las cuales el huerto podrá hibridizar, de manera que el huerto no sea completamente invadido por polen externo. El aislamiento permite que el polen externo se asiente y no llegue al huerto. Si hay árboles de una especie incompatible creciendo en la zona de aislamiento, entonces la franja debe ser más ancha - 350 metros - para especies de polinización por viento. Es preferible ubicar el huerto bien lejos de rodales contaminantes. Una simple trampa de polen en el área potencial para el huerto puede proporcionar datos sobre el nivel de contaminación potencial. No obstante, la mejor recomendación es establecer el huerto en medio de una plantación de otra especie no relacionada.

Los huertos de vida corta, tales como los utilizados para *Eucalyptus* de rápido crecimiento, además de los huertos rotatorios y de praderas de *Pinus radiata*, pueden ser plantados a un espaciamiento menor. El tiempo de permanencia y el tamaño final de los árboles determinará el espaciamiento inicial. La mayoría de los huertos se establecen a un espaciamiento de 5x5 m ó 10x10 m. También se utilizan espaciamientos menores en los casos en que la información sobre la descendencia de los padres incluidos en el huerto esté disponible poco tiempo después del establecimiento del huerto. La información sobre la progenie puede utilizarse para eliminar a los padres inferiores y reducir efectivamente el número de árboles por hectárea.

Si el huerto fuera una población panmíxica (con todos los rametos de todos los clones teniendo igual fecundidad e idéntica fenología), y no tuviera contaminación de polen. El cálculo del tamaño efectivo de la población es (Falconer, 1986):

$$N_e = 1 / 2\Delta F$$

donde ΔF es el incremento total en el coeficiente de endogamia en la progenie de la población, y es calculado como:

$$\Delta F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_i p_j F_{ij}$$

donde p_i es la frecuencia del clon i , p_j es la frecuencia del clon j y F_{ij} es el coeficiente de endogamia de la progenie de la cruce de los clones $i \times j$. Para huertos donde todo los clones no están emparentados y el clon i está representado con la frecuencia p_i . Ne calculado con la ecuación anterior es equivalente al resultado de una ecuación más común (Muller-Starck y Gregorius, 1986):

$$N_e = 1 / \sum_{i=1}^n p_i^2$$

DISEÑO DEL HUERTO

La siguiente información es necesaria al diseñar un huerto semillero:

- Número de clones
- Espaciamiento inicial, determinado por:
 - Velocidad de crecimiento
 - Edad a la cual el ensayo genético permitirá la depuración o raleo genético.
 - Vida útil del huerto
- Mapa del área con las posiciones marcadas
- Distancia mínima permitida entre rametos del mismo clon
- Un programa computacional si se utiliza un diseño al azar

El diseño de un huerto semillero debería estar dirigido a promover el cruzamiento entre los clones, minimizando la endogamia dentro del huerto y maximizando la flexibilidad de depuración posterior (Kirkman, 1994).

Para maximizar la flexibilidad de la depuración se debe considerar un número adecuado de clones que serán incluidos posteriormente en un bloque dentro del huerto para asegurar la remoción del 50 % de los peores clones. También es importante mantener una frecuencia relativamente equitativa entre los diferentes clones del huerto.

Para evitar la endogamia los rametos del mismo clon deben estar separados unos de otros, mientras más separados se encuentren, menor será la probabilidad de endogamia.

Se necesita un mínimo de 16 clones para el establecimiento de un huerto de eucalipto. Este número es necesario para permitir la distancia mínima entre rametos de un clon pero, principalmente, para proveer un número suficientemente grande de clones después de los raleos, que mantengan suficiente diversidad genética en las plantaciones comerciales derivadas del huerto. Aproximadamente un 50% de los clones deberían ser removidos del huerto como resultado del análisis de los ensayos de progenie. El raleo genético, o la remoción de los clones inferiores del huerto, proporciona el mejor incremento en la ganancia genética del huerto. Un árbol superior en el bosque natural o en una plantación es influenciado grandemente por el microambiente, pero el ensayo de descendencias muestra cuáles son en realidad superiores genéticamente. Un mínimo de 16-20 clones debería permanecer en el huerto después de los raleos, dependiendo de la cantidad de hectáreas reforestadas anualmente. La densidad final de un huerto debería ser aproximadamente de 40-50 árboles por hectárea.

Un gran número de clones en el huerto significa un pequeño número de rametos por clon debido a la mortalidad y los raleos (cuadro 1). Los huertos pequeños con un gran número de clones tendrán pocos rametos por clon, lo cual hará difícil coleccionar y plantar separadamente cada rameto por clon. La mayoría de los huertos deberían

contener no más de 50 a 70 clones antes del raleo a un espaciamiento inicial de 5x10 m, ó 30 a 40 clones a un espaciamiento de 10x10 m.

CUADRO 1
NUMERO DE RAMETOS POR CLON EN UN HUERTO DE 4 HECTÁREAS.

Espaciamiento inicial	Número de Clones					
	20	40	50	60	70	80
5x10 m (800 árboles)	40	20	16	13	11	10
10x10 m (400 árboles)	20	10	8	6	5	5

Se deberían usar espaciamientos menores cuando:

- El huerto tiene una vida útil corta
- La información sobre el desempeño de la progenie se obtendrá en poco tiempo para el raleo del huerto
- Los árboles crecen muy lentamente y producen semilla antes del inicio de la competencia entre copas.

La tendencia en el pasado ha sido plantar los huertos a densidades demasiado altas que requerían demasiados raleos antes de obtener cualquier información de los ensayos de progenie.

A continuación se describen los diferentes tipos de diseños de huertos.

Filas puras

Se coloca un clon en cada fila del huerto; muy fácil de realizar y útil para bancos clonales, o cuando la polinización es controlada. Propicia la endogamia y no favorece la panmixia, por lo que no es empleado para polinización abierta.

Aleatorios con restricción de distancia

La distribución más común de los clones en un huerto es al azar, con una distancia mínima de aproximadamente 30 a 40 metros entre rametos del mismo clon. Este mínimo fue determinado por estudios de distribución de polen alrededor de árboles aislados de coníferas y eucalipto, donde se demostró que la mayoría del polen cae dentro de esa distancia, o que los vectores mueven el polen más frecuentemente bajo este mínimo. Para muchas especies se necesitan estudios de vuelo del polen o el patrón de movimiento de insectos.

Un diseño al azar es generalmente preferible para evitar patrones repetidos de proximidad en ciertos grupos clonales, como ocurre en los diseños sistemáticos. Los patrones de vecindades repetidas son indeseables porque, al momento del raleo

genético o depuración de los clones más pobres, se pueden encontrar grupos de clones muy buenos o muy malos que producirán un espaciamiento irregular después del raleo. Cuando hay grupos de clones buenos, puede ser necesario remover algunos rametos simplemente para dejar entrar la luz. Esto ocurre con menos frecuencia en los diseños al azar. Para este diseño se requiere un programa de computador que revise sistemáticamente la restricción de distancia. En programas comerciales de *Pinus radiata*, en Chile, en la generación 1.5 se ha utilizado normalmente este diseño.

Completamente aleatorio

Todos los rametos disponibles de todos los clones están completamente al azar a través de toda la superficie de plantación del huerto. Este es el diseño más simple de planificar en el papel, pero puede producir dificultades posteriores cuando el huerto es muy grande y contiene muchos clones. Este diseño tiene ciertas restricciones, como por ejemplo, que dos rametos del mismo clon queden juntos en una fila, en una columna o diagonalmente, las restricciones son usualmente arregladas mediante la manipulación de la posición de los rametos en el diseño. En la figura 2 letra a), se muestra un diseño completamente aleatorio con 10 clones y 4 rametos por clon.

Bloques completos al azar

En este tipo de diseño, primero se divide toda el área destinada para el huerto semillero en bloques equivalentes, cada uno con una superficie suficiente para contener un rameto de cada clon o un múltiplo de este número. La posición de los rametos en cada bloque es completamente aleatoria y se puede manipular para que dos rametos del mismo clon queden separados adecuadamente, especialmente en las fronteras entre bloques.

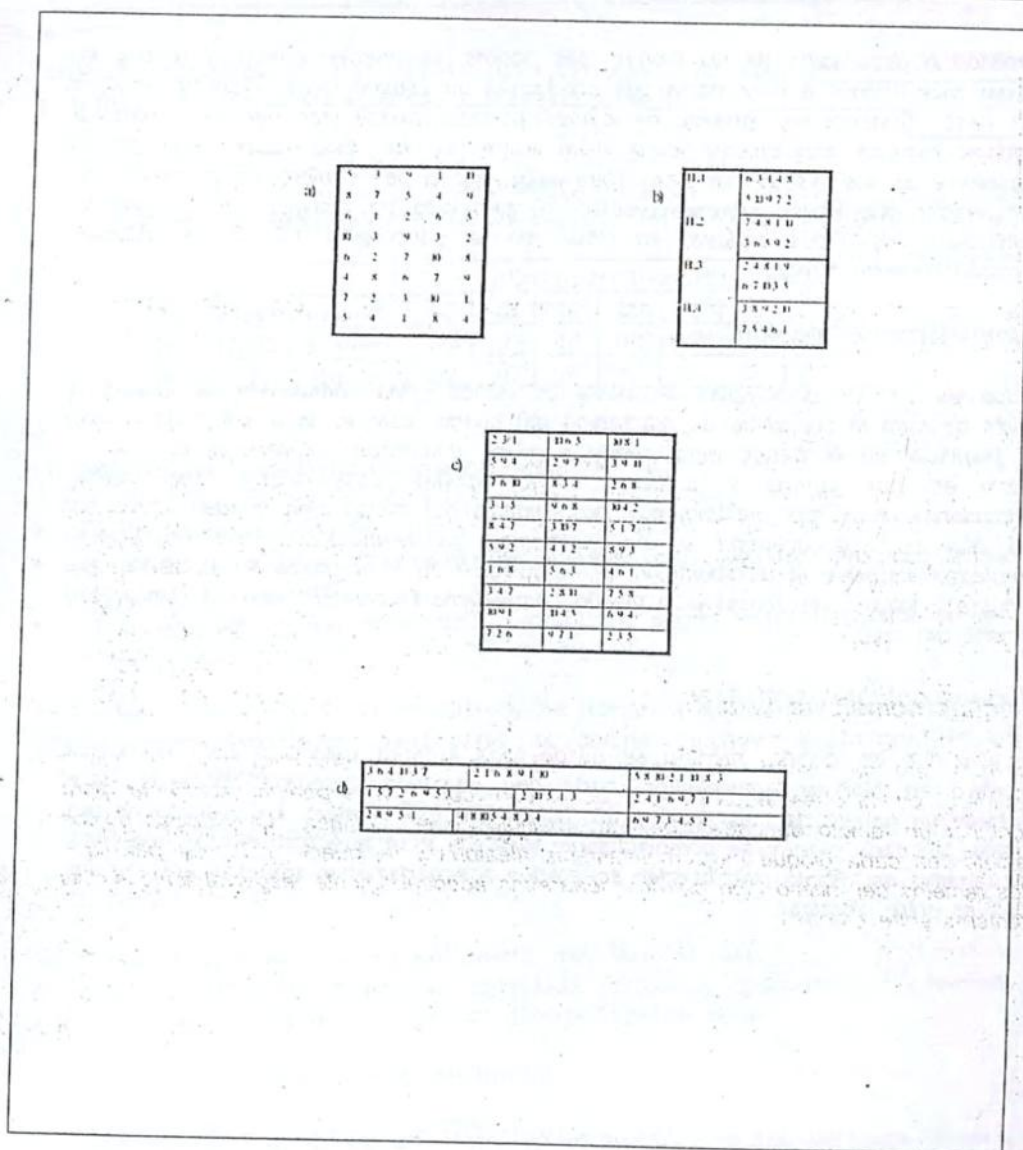


FIGURA 2
TIPOS DE DISEÑO DE HUERTOS SEMILLEROS MÁS COMUNES

Cada bloque es aleatorizado independientemente, tomando en cuenta las restricciones impuestas. En la figura 2 letra b), se muestra un diseño de bloques completos con 4 bloques, 10 clones y 4 rametos por clon. Este tipo de diseño es muy fácil de establecer, existen programas que permiten la aleatorización con (o sin) bloques, tal como el PROC.PLAN de SAS. Cuando en el huerto, además de producir semilla, se realizan experimentos de fertilización o de inducción floral entre otros, se recomienda un diseño en bloques aleatorizados con restricción de distancia.

Bloques fijos

Este consiste en un bloque base fijo, en que los clones están distribuidos aleatoriamente y que es repetido en toda el área del huerto semillero. Este diseño no es recomendado en huertos de polinización abierta de primera generación.

Bloques rotatorios

Corresponde a una modificación del anterior; en que se realiza una rotación sistemática de los rametos del bloque en cada repetición. Este tipo de huerto es recomendado en generaciones avanzada de polinización controlada.

Sistemáticos

Los diseños sistemáticos son útiles cuando no hay acceso a programas computacionales. Es muy difícil hacer un diseño al azar manualmente sin violar la regla de la distancia mínima de 30 metros entre rametos del mismo clon. Otra ventaja del diseño sistemático es que logra un balance casi perfecto en términos del número de rametos por clon. Es deseable el balance en el número de rametos porque al momento del establecimiento no existe información sobre las descendencias para saber cuáles son las mejores. En el caso de huertos de generación avanzada, con este tipo de diseños pueden convivir árboles emparentados de varias generaciones, es decir selecciones hacia atrás y hacia delante.

En la figura 3 se muestra un ejemplos de diseños sistemáticos para un huerto semillero con 30 clones con espaciamiento de 10 m x 10 m y un distanciamiento mínimo de 30 m entre rametos del mismo clon. Cada número representa un clon diferente. Repeticiones del mismo número (clon) representan los varios rametos del clon en cuestión

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7
22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7
22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3

FIGURA 3
HUERTO CON DISEÑO SISTEMÁTICO

Bloques incompletos

Simétricos

Este diseño permite combinar aleatoriamente los clones y también comparar el comportamiento de varios clones en forma más efectiva. El diseño es considerado incompleto si el número de rametos por bloque es más pequeño que el número total de clones disponibles.

La posición de los rametos dentro del bloque y de los bloques dentro del área se asigna aleatoriamente, pero en la práctica el azar ha sido usualmente modificado para satisfacer restricciones de proximidad entre rametos del mismo clon. Este diseño tiene la ventaja de que la combinación de rametos dentro del bloque siempre cambia, por lo tanto se favorece la panmixia. También es un buen método para comparaciones experimentales de tratamientos dentro del huerto y para estudios clonales comparativos.

Las principales desventajas radican en que sólo es adecuado para una cantidad fija de combinaciones de números de clones y número de rametos por clon (repeticiones), de este modo son repetidos varias veces sobre el área del huerto. Además es inadecuado para un raleo sistemático, ya que puede estropear el diseño. En la figura 2 letra c), se muestra un diseño de bloques incompletos de 10 clones, 9 y 8 rametos por clon, 3 rametos por bloque y 30 bloques en total.

Asimétricos

A veces el diseño en bloques al azar es usado con un número fijo de rametos por clon, indiferente del número de clones disponibles para el huerto. En este tipo de diseño cada bloque contiene un conjunto de clones diferente, y por lo tanto los bloques no son tratados como repeticiones para comparaciones experimentales dentro del huerto, lo cual es una ventaja de un diseño de bloque completo.

Un segundo planteamiento del diseño en bloques incompletos asimétricos es usar bloques en los cuales algún clon está representado por uno o varios rametos, pero con un tamaño de bloque variable, de acuerdo a la disponibilidad de rametos de los clones usados. En la Figura 2d, se muestra un diseño de bloques incompletos de 10 clones, con un número de rametos por clon variable y 9 bloques de tamaño variable.

Vecindades permutadas

Este tipo de diseño prescinde de la aleatorización como medio de acercamiento a la panmixia y tratando de situar a cada individuo en la posición más adecuada en base a ciertos criterios. La manera de alcanzar la panmixia consiste ahora en hacer sucesivas permutaciones de los vecinos más próximos de cada clon. La restricción referente a la endogamia suele concretarse mediante la fijación de una distancia mínima entre rametos de un mismo clon; y la referente a la panmixia mediante la condición de que el número de veces que dos clones sean adyacentes en el huerto sea el mismo para cualquier par de clones; esta última no siempre puede cumplirse estrictamente. En definitiva todos estos modelos se basan en un algoritmo que sitúa, uno a uno, todos los rametos del huerto de manera que al final cada clon resulte adyacente a todos los demás, mediante la sucesiva permutación de sus vecinos.

Estos diseños requieren un computador y programas que empleen información sobre procedencias, compatibilidad, floración y aptitud combinatoria general. Estos programas son más útiles en huertos de un solo bloque.

DISEÑOS SISTEMÁTICOS VERSUS DISEÑOS ALEATORIOS

El diseño sistemático posee una ventaja total sobre los diseños aleatorios para huertos de generación avanzada. Los dos diseños son equivalentes en su habilidad para cumplir con los requerimientos de diversidad genética y los requerimientos de una mínima distancia de separación para reducir la endogamia. La panmixia no es un problema en cualquiera de los dos diseños. Minimizar el impacto de los errores de selección será menos importante en huertos de generación avanzada donde están disponibles las pruebas genéticas. Sin embargo, el diseño sistemático permitirá el uso de un número mínimo de genotipos o la máxima frecuencia de los mejores genotipos mientras aún se cumple con los requerimientos de distancia mínima. Esto permite una intensidad de selección más alta sobre los clones en el huerto, produciendo un incremento marginal en la ganancia genética. Además, un diseño sistemático

probablemente es más fácil de tratar operacionalmente y permite la fácil replicación de bloques para experimentos en el huerto.

A continuación se establecen las ventajas y desventajas de los distintos diseños de acuerdo a los objetivos del huerto.

CUADRO 2
COMPARACIÓN DE DIFERENTES DISEÑOS EN BASE A LOS OBJETIVOS DE UN HUERTO SEMILLERO (Giertych, 1975).

Requisitos	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Evitar endogamia	-	+	+	+	+	+	+	+	++
Favorecer panmixia	-	+	+	-	-	+	+	++	-
Permitir raleos sistemáticos sin alterar el diseño	+	-	-	+	-	-	-	-	++
Permitir la utilización de porciones de huerto como réplicas para experimentos	-	-	+	+	+	-	-	-	+
Permitir la comparación del comportamiento de los clones	-	-	+	-	-	-	+	+	-
Facilitar la relocalización de los clones	+	-	-	+	-	-	-	-	+
Permitir la expansión	+	+	+	+	+	+	-	-	+
Ajustarse a cualquier forma del terreno	+	+	-	-	-	-	-	-	+
Permitir la utilización de cualquier número de clones y rametos por clon	+	+	+	+	+	-	-	+	+
Permitir su modificación en base a la información obtenida acerca de compatibilidades, épocas de floración y capacidad de combinación	+	-	-	+	-	-	-	-	+
Simplicidad del diseño	+	+	+	+	+	-	-	-	+
Bajo costo de diseño	+	+	+	+	+	+	+	-	+

++ muy adecuado; + adecuado; - no adecuado

- (1) Filas puras
- (2) Completamente aleatorios
- (3) Bloques completos al azar
- (4) Bloques fijos
- (5) Bloques rotatorios
- (6) Bloques incompletos asimétricos
- (7) Bloques incompletos simétricos
- (8) Vecindades permutadas
- (9) Sistemático

REFERENCIAS

- Arnold, R. 1990. Control pollinated radiata pine seed. A comparison of seedling and cutting options for large-scale deployment. *N.Z.Forestry*. Nov.1990. pp 12-17.
- Balocchi, C. y Delmastro, R. 1992. *Principios de Genética Forestal*. Impreso de la Central de Publicaciones. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 180 p.
- Burdon, R., Shelbourne, A. y Wilcox, M. 1978. *Advanced Selection Strategies*. En: Proc. Third World Consultation on Forest Tree Breeding. FO-FTB-77-6/2. Canberra, Australia.
- Carson, M. 1986. Control-pollinated seed orchards of best general combiners. A new strategy for radiata pine improvement. *Agronomy Society of New Zealand. Special Publication Nº5*. pp 144-149.
- Dorman, K. 1976. *The genetics and breeding of the southern pines*. USDA Forest Service Agricultural Handbook No. 471).
- Eldridge, K. 1991. *Plan conceptual de Mejoramiento Genético de eucalipto*. CSIRO. Australia. 50 p.
- Falconer, D. 1986. *Introducción a la genética cuantitativa*. Nueva Edición. CECSA. 383 p.
- FAO. 1981. *El Eucalipto en la repoblación forestal*. FAO: Montes Nº 11, Roma. 723 p.
- Giertych, M. 1975. *Seed Orchard Designs*. En: *Seed Orchards*, edited R. Faulkner. Forestry Commission. Bulletin. 54. pp. 25-37.
- Hodge, G. y White, T. 1993. *Advanced-generation wind-pollinated seed orchard design*. *New Forest* 7:213-236.
- Ipinza, R. 1993. *Consideraciones básicas para la instalación de Huertos Semilleros clonales de eucaliptos*. CMG/UACH/CONAF/Empresas Forestales. Circular Nº 264. 14 p.
- Ipinza, R., Lafayette E. y Apiolaza, L. 1993. *Curso de actualización de cruzamientos controlados con énfasis en Eucalipto*. CMG/ UACH/ CONAF/ Empresas Forestales. Serie Técnica. Universidad Austral de Chile. Fac. de Cs. Forestales. Valdivia, Chile. 110 p.
- Ipinza, R., Pérez, E., Apiolaza, L., Crespell, P. 1993. *Décimo Informe Anual, (1993)*. CMG/ UACH/ CONAF/ Empresas Forestales. Serie Técnica. Universidad Austral de Chile. Fac. de Cs. Forestales. Valdivia, Chile. 78 p.

Ipinza, R., Pérez, E., Apiolaza, L., Crespell, P. y Morales, E. 1994. Informe Anual Décimoprimer, (1994). CMG/UACH/CONAF/Empresas Forestales. Serie Técnica. Universidad Austral de Chile. Fac. de Cs. Forestales. Valdivia, Chile. 82 p.

Ipinza, R., Apiolaza, L., Morales, E., Pérez, E., Vergara, R. y Alvear, C. 1995. Curso: Aspectos Cuantitativos para el Mejoramiento Genético. Concepción, 24 al 26 de abril de 1995. Cooperativa de Mejoramiento Genético. UACH/CONAF/ EMPRESAS FORESTALES. 188 p.

Kirkman, P. 1994. Short Course on Tree Breeding Techniques. 2 - 20 Mayo 1994. Forestek, Nelspruit. Division of Forest Science and Technology. Volumen I. 22 p.

Lindgren D. y Matheson, C. 1986. Increasing the genetic quality of seed from seed orchards by using the better clones in higher proportions. *Silvae Genetica* 35:173-177.

Lindgren, D., Libby, W. y Bondesson, F. 1989. Deployment to plantations of numbers and proportions of clones with special emphasis on maximizing gain at constant diversity. *Theoret. Appl. Genet.* 77:825-831.

Müller-Sratak, G. y Gregorius, H. 1986. Monitoring genetic variation in forest tree populations. En: *Proc. 18th IUFRO World Congress, Division 2, Vol II, Yugoslavia*, pp. 589-599.

Potts, B. 1993. Biología reproductiva del género *Eucalyptus* y su aplicación en la mejora genética. Texto presentado en el curso realizado en la Universidad Austral de Chile entre el 6 y 8 de septiembre de 1993. Traducido al castellano por la Cooperativa de Mejoramiento Genético. Serie Técnica. Universidad Austral de Chile. Fac. de Cs. Forestales. Valdivia, Chile. 106 p.

Sweet, G. y Krugman, S. 1977. Flowering and seed production problems. A new concept of seed orchard. *Proceedings, Third World Consultation on Forest Tree Breeding, Canberra, Australia, 1977.*

Sweet, G.; Bolton, P. y Litchwark, H. 1991. A meadow orchard in radiata pine. research and reality. *Proceedings, IUFRO Congress, Montreal, Canadá, 1991.*

Van Buijtenen, J. 1971. Seed orchard design, theory and practice. En: *Proc. 11th South Forest Tree Impro. Conf., Atlanta, Georgia, June 15-16.* pp. 197-205.

Wright, J. 1976. *Introduction to forest genetics.* Academic Press, Inc., New York. 463 p.

Zobel, B. y Talbert, J. 1988. *Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales.* Editorial Limusa S.A. de C.V. México. 545 p.