

PROPAGACION VEGETATIVA Y SILVICULTURA CLONAL EN EUCALIPTO. Braulio Gutiérrez C. y Patricio Chung G., Ingenieros Forestales (e). División Silvicultura INFOR; Roberto Ipinza C., Dr. Ing. de Montes. Coop. Mejoramiento Genético UACH - CONAF - INFOR - Empresas.

RESUMEN

Se entregan antecedentes relacionados con las potencialidades del uso de la propagación vegetativa y la silvicultura clonal en eucaliptos, discutiendo las ventajas y desventajas asociadas a esta forma de propagación.

Se presenta también un esquema de razonamiento para facilitar la toma de decisión al enfrentar la selección de alternativas de propagación, así como también, una detallada descripción de un programa de producción de plantas a través de enraizamiento de estacas y algunas reflexiones de interés relacionadas con la silvicultura clonal.

Se concluye que la propagación vegetativa no representa una alternativa excluyente para la propagación sexual, sino que un complemento en la explotación de los mejores genotipos dentro de un programa continuo de selección y mejoramiento genético.

Palabras clave: *Eucalyptus, Producción, Mejoramiento genético, Propagación vegetativa, Silvicultura clonal.*

ABSTRACT

Antecedents are presented in relation to the potencialities of using vegetative propagation and clonal silviculture with Eucalipts, discussing the advantages and disadvantages associated to this form of propagation.

Also presented is a reasoning squeme that can facilitate decission making when selecting between propagation alternatives, and also a detailed description of the plant production programme through rooting of stakes, and also some reflections of interest concerned with clonal silviculture.

It is possible to conclude that vegetative propagation is not an excluding alternative to sexual propagation but a complement to exploit the best genotypes within a continuous programme of selection and genetic improvement.

Key words: *Eucalyptus*, production, genetic improvement, vegetative propagation clonal silviculture.

Para lograr la mejor estrategia de mejoramiento es conveniente considerar a lo menos dos rasgos que están directamente ligados con la calidad y rendimiento del proceso productivo de la celulosa y el papel. Ellos son la densidad de la madera y su peso seco.

Hills y Brown (1978) indican que la densidad básica (peso seco de la madera por unidad de volumen, g/cm^3) es uno de los aspectos más importantes en la producción de la pulpa y papel.

En la Figura N° 1 se muestra la relación entre la densidad de la madera y las propiedades del papel.

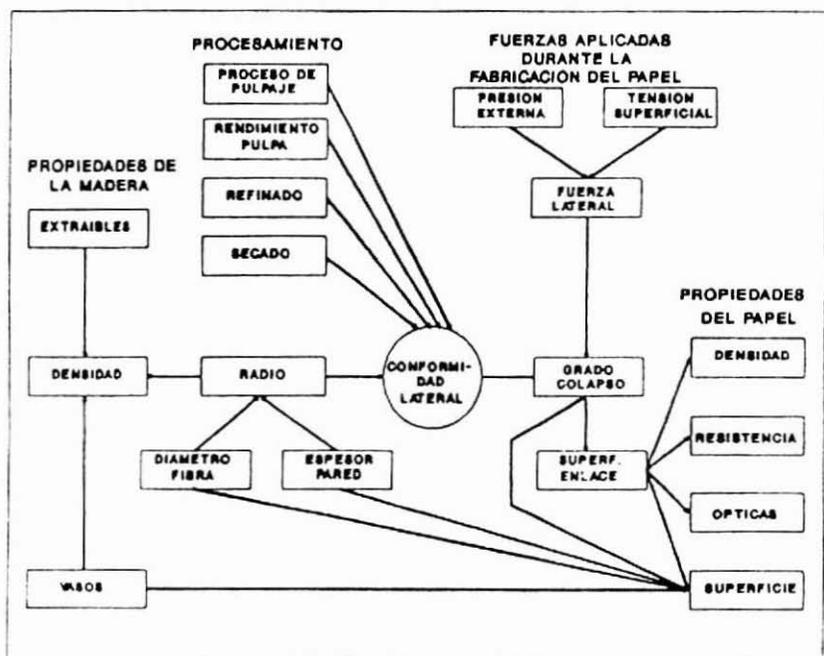


Figura N° 1. ESQUEMA DE RELACIONES ENTRE DENSIDAD DE LA MADERA Y PROPIEDADES DEL PAPEL

Esta característica presenta una importante variabilidad de acuerdo a las procedencias, familias e individuos. También depende de la tecnología silvicultural y de las características del sitio. Paz y Melo (1980), determinaron que en Chile la densidad básica de *E. globulus* fluctúa entre 0,47 a 0,58 g/cm³, variando fuertemente en función de la latitud.

El peso seco es un buen estimador de la producción de pulpa, si se asume que el contenido de celulosa es razonablemente constante para un rango de producción de pulpa por hectárea. Cuando una plantación es talada y la madera entra a la cancha de acopio para ser procesada para pulpa, el criterio de manejo no toma en cuenta el peso seco por hectárea y por año de plantación, pero es vital este conocimiento para saber la cantidad de fibra por unidad de volumen de madera. La capacidad de los digestores es usualmente un factor limitante en la producción y en la eficiencia de los costos de fabricación de pulpa, por lo tanto, es muy importante saber la cantidad de fibras de celulosa por unidad de volumen de madera. La eficiencia de los digestores invariablemente dependerá de la densidad de la madera y del contenido de celulosa (Borralho, Cotterill y Kanowski, 1991).

Los mismos autores indican para *E. globulus ssp globulus* en Portugal, algunas estimaciones de sus parámetros genéticos que se pueden considerar como valores orientadores. La heredabilidad en sentido estricto (varia de 0 a 1) para la densidad es de $0,65 \pm 0,12$ y para el peso seco $0,21 \pm 0,11$. La correlación entre ambas características es $0,17 \pm 0,20$.

Estos valores reflejan que la densidad de la madera es transmitida de padres a hijos, es decir que este carácter es heredable. En cambio el valor para el peso seco es bajo, luego, no es del todo heredable. Además la correlación entre ambos rasgos aunque positiva es baja.

En términos de estrategia de mejoramiento, significa que la reproducción sexual constituye una vía válida para obtener un mejoramiento genético de la densidad de la madera. Pero, lamentablemente este procedimiento no conduce necesariamente a una homogeneización de la madera, aspecto muy anhelado en la producción de la celulosa. En este sentido surge la reproducción vegetativa como la única opción que permite homogeneizar la calidad de la madera de los árboles de una plantación.

En cambio el peso seco manifiesta una baja heredabilidad en sentido estricto, lo que implica que la varianza no aditiva es más importante. Luego, para asegurar una transmisión fiel de este carácter se debe recurrir a una estrategia basada en la reproducción vegetativa.

Esto sugiere que en el futuro se podrían cruzar progenitores con una alta densidad y progenitores con un alto peso seco para de esta forma obtener progenies que integren ambos rasgos. Nuevamente a través de la propagación clonal de estos individuos se podrá optimizar las ganancias genéticas de estas características.

Debido a la importancia que tienen estos aspectos en la industria forestal, se sugiere la tecnología a seguir para optimizar el rendimiento pulpable en el corto plazo.

SILVICULTURA CLONAL

La silvicultura clonal es la utilización masiva de genotipos sobresalientes, a través de plantas obtenidas por enraizamiento de esquejes (estaquillas, estacas) o de plantas obtenidas mediante técnicas de "cultivo in vitro", por medio de cultivo de órganos o de callos o bien mediante plantas derivadas de embriones encapsulados.

El punto de partida es una selección masal basada en el fenotipo, que sirve de estimación del genotipo, lo que conduce a la necesidad de llevarla a cabo en árboles de edades avanzadas, que al menos hayan alcanzado la mitad de su rotación. Aquí surgen algunos inconvenientes debido al estado de madurez de los árboles que proveen los propágulos. Este fenómeno denominado envejecimiento, implica una ausencia o, en su caso, presencia muy reducida (generalmente inhibida por los tejidos circundantes) de células con capacidad organogénica.

La forestación clonal aplicada a algunas especies permitirá reducir la superficie forestal dedicada a la producción o, en su caso, aumentar la producción dedicando la misma superficie en dependencia de la ganancia genética conseguida. Incluso se ha llegado a predecir la desaparición de los huertos semilleros en su concepción actual, que se verían reemplazados por

"huertos de mejoramiento" de tamaño más reducido, en que cada clon seleccionado estaría representado solamente por dos o tres rametos.

Las exigencias de suministro de material vegetal se alcanzarían con la instalación de huertos especiales, tipo "setos", en los cuales las plantas donantes de los propágulos o plantas madres se rejuvenecen mediante podas continuas y sistemáticas. Los clones empleados se multiplicarían en las repoblaciones cultivando plantas jóvenes provenientes de estaquillas cultivadas en vivero o a través del cultivo *in vitro*. Estas opciones, en opinión de Libby (1983), entrañan una mayor economía y evitan las dificultades inherentes a encontrar grandes superficies adecuadas para la instalación de huertos semilleros clásicos.

El distinto origen y conformación del material obtenido, siempre procedente de clones seleccionados y de comportamiento previamente ensayado, está exigiendo una reestructuración de los viveros actuales, como un invernadero climatizado, con envases especiales y sistema de repicado y de fertilización que configuren buenos sistemas radicales.

Los tratamientos silvícolas de las plantaciones clonales serán más efectivos, al ofrecer los clones una mayor posibilidad de predecir su comportamiento. Los tratamientos podrán acoplarse mejor en el tiempo y ser más específicos para los grupos de clones manejados, pero, al mismo tiempo, la elección del sitio más adecuado para cada grupo exigirá una mayor atención en la caracterización de los lugares de plantación.

A continuación se enumeran los caracteres más relevantes que implica, en opinión de Libby (1983; 1985), una silvicultura clonal, en comparación con las opciones tradicionales:

- Producción en masa de genotipos.
- Obtención de una ganancia mayor, al disponer de una proporción también mayor de la ganancia genética no aditiva y de la variación debida a efectos maternos, es decir, los derivados de la dotación génica de cloroplastos y mitocondrias. También en cierto grado, de la variación debida a genes aditivos y a la capacidad de combinación general, no enteramente recogida en las pruebas de progenie y en el proceso de eliminación de los clones inadecuados en los huertos semilleros.
- Captación mediante la selección de gran parte (50%) de la variación genética aditiva que segrega en las familias de fratrias.

- Eliminación de los efectos negativos de la endogamia en las plantaciones de producción.
- Identificación de clones con gran capacidad de adaptación o, al revés, con gran capacidad de interacción con el ambiente.
- Obtención de clones adaptados a situaciones atípicas.
- Identificación de clones capaces de romper correlaciones negativas entre pares de caracteres deseables y utilización de los mismos.
- Selección de clones con mínima capacidad de floración y fructificación, de modo que los fotosintatos producidos se dirijan a la producción de madera, evitando su parcial uso en la producción de órganos reproductores.
- Control de la diversidad genética en las plantaciones de producción.
- Posibilidad de mejoramiento y uso de mayor número de especies, pudiendo llegarse al establecimiento de mezclas de clones de especies que típicamente no lo hacen.
- Posibilidad de combinar alta producción con seguridad y una gestión efectiva.
- La selección clonal no se convierte en una alternativa a un mejoramiento sexual continuo, sino en un puente entre éste y la producción, que se repite en cada nueva generación (Roulund, 1981). Esto se ilustra en la Figura N° 2.

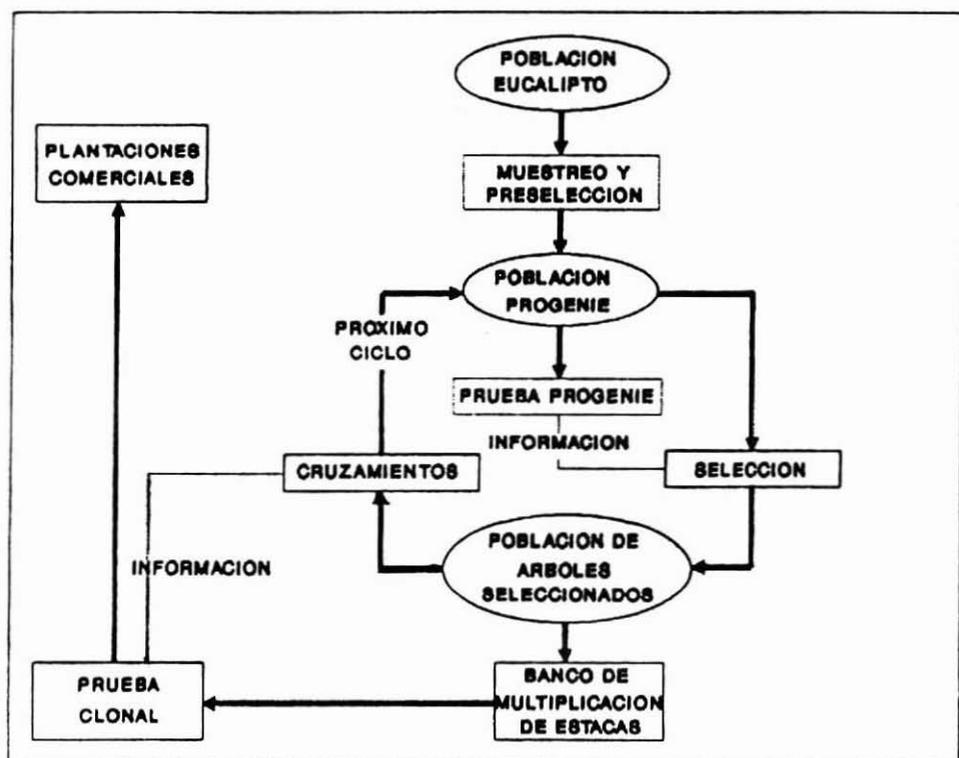


Figura N° 2. DIAGRAMA DE FLUJO MOSTRANDO EL CICLO DE SELECCION Y PROPAGACION ASOCIADO A UN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO QUE CONTEMPLA EN UNA DE SUS FASES A LA PROPAGACION VEGETATIVA

LA PROPAGACION VEGETATIVA EN LA PRODUCCION DE EUCALIPTOS

Todos los métodos de propagación vegetativa, incluido el de micropropagación, han sido probados en eucaliptos, pero el más difundido es el enraizamiento de estacas. La amplia preferencia manifestada a nivel mundial por este método obedece a varias razones, entre las que se cuentan la gran cantidad de descendientes que se puede obtener de un árbol individual, evitando los problemas de incompatibilidad de los injertos, y los costos más bajos en comparación con otros.

La técnica de arraigamiento de estacas se usa en varios países, especialmente para aumentar la producción de pulpa. Los resultados más notables se han conseguido en el Congo y Brasil, donde se han instalado extensas plantaciones clonales a nivel comercial, de muy alta productividad. En Aracruz, Brasil, usando esta técnica se han propagado clones que han permitido establecer plantaciones uniformes, con excelente poda natural, contenidos de celulosa superiores al 50% e incrementos medios anuales por sobre los 70 m³/ha/año, características que en conjunto han significado un aumento en el rendimiento de los bosques del orden del 112% (García, 1984, Zobel et al, 1983).

Actualmente, en el mundo se producen millones de plantas por el sistema de estaquillado, principalmente especies subtropicales, como **E. grandis**, y una proporción menor, aunque creciente, de especies de zonas templadas, como **E. globulus**. La técnica de propagación vegetativa se está desarrollando muy velozmente y ya ha sido adoptada por empresas tan importante como la APPM en Australia, CELBI en Portugal y ENCE en España, las cuales ya exhiben programas operativos con **E. globulus**.

Ventajas

La plantación industrial con especies forestales propagadas vegetativamente ha sido una práctica común en especies fáciles de arraigar

tales como **Populus**, **Platanus**, **Salix** y otras. Ultimamente, varias especies de **Eucalyptus** se han unido a este grupo, después de que se han depurado algunas técnicas para producir masivamente plantas a través de enraizamiento de estacas (Shimizu, 1988b).

Esta forma de propagación permite capturar y transferir al nuevo árbol todo el potencial genético del progenitor, adicionalmente posibilita la pronta utilización de las características genéticas del árbol seleccionado, pues no se requiere esperar a la producción de semillas para obtener los propágulos para establecer una plantación.

La utilidad de la propagación vegetativa en el desarrollo de material genético mejorado se puede expresar en 2 áreas diferentes. En investigación, reduce la variabilidad genética al permitir disponer de material homogéneo para ensayos y experimentos, lo que hace disminuir la variación residual en las pruebas estadísticas; permite disponer las plantas en un área centralizada, como laboratorio o invernadero para estudios intensivos; también preservar genotipos y combinaciones de genes en bancos clonales o arboretos para propósitos científicos y para posibles usos posteriores en programas operacionales. Por otra parte, en el área operacional o productiva propiamente tal, permite el desarrollo de huertos semilleros o bancos clonales para producción de semillas o propágulos a gran escala, así como el uso directo del material vegetativo en el establecimiento de plantaciones comerciales.

La principal ventaja asociada a la utilización de la propagación vegetativa se encuentra en el campo del Mejoramiento Genético, debido a que permite transferir aquellas características que por su baja heredabilidad no se traspan eficientemente a la descendencia por vía sexual, mientras no se utilicen técnicas especiales como polinizaciones controladas o huertos biclonales (Zobel y Talbert, 1984; Zobel et al, 1983). Por esta razón, resulta particularmente interesante su utilización para lograr ganancias genéticas en características con un alto componente de variación genética no aditiva, como: crecimiento, peso seco, contenido de celulosa y producción de pulpa. Es también especialmente útil para reproducir híbridos de difícil propagación o cuyas progenies resultan muy variadas.

Desventajas

Desventajas a Nivel de Individuos

A pesar de sus múltiples ventajas, la propagación vegetativa exhibe también algunos inconvenientes. El principal lo constituye la dificultad para propagar árboles fisiológicamente maduros. En este sentido, cuando los posibles árboles padres poseen la edad suficiente como para poder ser seleccionados de acuerdo a la característica a mejorar o perpetuar, normalmente ya ha perdido su capacidad de enraizamiento (Chaperon, 1979; 1983; Hartney, 1980), lo que resulta un obstáculo cuando lo que se busca es propagar árboles con genotipos probadamente superiores (Zobel y Talbert, 1984) y obliga a aplicar técnicas de rejuvenecimiento, que demandan un gasto adicional de tiempo y recursos, antes de iniciar la producción y enraizamiento de los propágulos.

Los problemas derivados de aplicar métodos de propagación vegetativa a árboles adultos han sido resumidos por Franclet (1983) de la siguiente manera :

- Calidad heterogénea, en cuanto a regeneración y vigor vegetativo de las estacas tomadas de la copa.
- Reducción de la homogeneidad y capacidad regenerativa de los órganos, lo mismo que reducción en la capacidad para recuperar el vigor vegetativo, aún cuando las estacas se tomen de la zona más adecuada y la técnica de propagación sea la más compleja.
- Transmisión y memorización de la heterogeneidad en las sucesivas generaciones de estacas enraizadas.

La idea que las estacas, por ser genéticamente idénticas al árbol padre, deberían crecer en la misma forma, puede inducir a error. Efectivamente las estacas son idénticas al árbol padre en el sentido que poseen el mismo genotipo, pero obviamente algunos genes son más efectivos que otros, o deben ser activados o desactivados por el medio ambiente, edad y posición dentro de la planta madre o por tratamientos externos. Esto a su vez afectará la

fisiología del árbol y como resultado, los propágulos a veces no crecerán con el mismo patrón o no tendrán la misma forma que el árbol original.

Este fenómeno, conocido como variación dentro del clon, influye directamente en la ganancia genética lograda. Frecuentemente se manifiesta como diferentes comportamientos, dependiendo de características fisiológicas o morfológicas de la fuente de propágulos al momento de realizar la reproducción clonal (efectos "C"), o también a través de la variación por competencia, según la cual los clones no sólo se comportarían de acuerdo a su genotipo y medio ambiente físico, si no que también de acuerdo a los genotipos de aquellos individuos con los cuales competirán por agua, nutriente, luz y espacio (Shimizu, 1988b).

Los efectos "C" comprenden tanto a la ciclófisis o variación dentro del clon debido a la edad de la planta madre, fenómeno muy relacionado con la maduración del meristema apical de ésta, como a la topófisis, o efecto de la localización de la estaca en el árbol madre, fenómeno responsable de que algunas veces los propágulos enraizados mantengan por algún tiempo un hábito de crecimiento igual al del órgano que ellos constituían en el ortet.

Ambos incluyen variación no sólo en el crecimiento sino que también provocan cambios fisiológicos y morfológicos menos perceptibles, los que en su totalidad pueden ser aminorados en la medida que se utilice material más juvenil o se proceda al rejuvenecimiento del ortet antes de su reproducción asexual. (Zobel y Talbert, 1984).

La variación dentro del clon aumenta con la edad del ortet del que proviene y en la medida que se acentúa la diferenciación entre órganos, tejidos y células en el rameto. Esta variación aumenta en cada una de las características individuales y particularmente para la velocidad de enraizamiento de cada estaca. A diferencia de las características genéticas, la variación dentro del clon esta fuertemente influenciada por el medio ambiente y por el estado nutricional de los rametos (Franclet, 1979).

Existen evidencias de inferioridad en el comportamiento de las estacas enraizadas respecto a las plantas de semillas, aspecto sobre el cual hay controversia, lo que acentúa la importancia de desarrollar experimentos que la aclaren definitivamente (Lindgren, 1977). Se ha señalado que en ocasiones los rametos obtenidos mediante enraizamiento de estacas han desarrollado un sistema radicular desbalanceado y superficial, que los hace susceptibles a caídas por el viento. Si el clon de mayor rendimiento resulta ser susceptible al

viento y ha sido plantado en un área amplia como una población monoclonal, las pérdidas debidas a este factor podrían ser desastrosas.

El sistema radicular poco profundo de los eucaliptos producidos por enraizamiento de estacas constituirá un problema grave en regiones con precipitación estacional, o un muy marcado período seco, pues los individuos estarán más expuestos a la sequía, especialmente en suelos arenosos, donde la capacidad de retención de agua es muy baja.

Desventajas a Nivel de Población

La estructura genética de una población influye en su productividad, estabilidad y resistencia a enfermedades. Al usar propagación vegetativa se altera esta estructura con los consiguientes beneficios y riesgos que ello implica.

En teoría, una población genéticamente heterogénea produce más biomasa y otorga una mayor estabilidad a la productividad dentro de un rango de condiciones ambientales. Por el hecho de existir árboles genéticamente distintos, ocupando nichos ecológicos ligeramente diferentes, se produce una utilización más eficiente del espacio ecológico por parte de la población, la que además tendrá una mejor capacidad de respuesta y adaptación frente a cambios producidos en el medio ambiente (Lindgren, 1977). Por el contrario, una población genéticamente homogénea no puede superar bien los cambios en las condiciones ambientales.

La utilización masiva de propágulos vegetativos para establecer extensas poblaciones clonales está sujeta a muchas críticas, especialmente en el caso de plantaciones monoclonales que presentan las ventajas y riesgos de un sistema de monocultivo. Un rodal altamente productivo se puede obtener propagando vegetativamente al clon de mayor rendimiento, debido a la falta de otra variación genética que afecte esta característica. Sin embargo, por la misma razón éste será altamente vulnerable a pérdidas masivas debido a insectos, enfermedades u otros cambios adversos en el medio ambiente (Shimizu, 1988a; 1988b). Esta situación es especialmente grave en los cultivos forestales, donde el largo período de rotación aumenta la potencialidad de las pérdidas.

A pesar de lo anterior, es posible encontrar clones con genotipos que resistan cambios sin afectar su productividad, manteniendo una buena producción en un rango de condiciones ambientales más amplio, pero esta situación se lograría sólo después de intensos y costosos ensayos en sitios distintos (Lindgren, 1977).

Por otra parte, el rápido crecimiento de los árboles hace que se manifiesten tempranamente fenómenos de competencia, lo que puede hacer necesario establecer las plantaciones con un mayor distanciamiento. También existe controversia respecto al número de clones usados en las plantaciones. Como ejemplo en Aracruz, Brasil, se ha decidido usar 15 clones en cada plantación, los que se disponen en forma de bloques monoclonales de 10 a 20 hectáreas cada uno. A pesar de la controversia aún vigente, esta decisión se ha tomado con la mejor información disponible en cuanto a criterios biológicos y operacionales, existiendo además la posibilidad de establecer plantaciones multiclonales con bloques mixtos (Zobel et al, 1984).

Criterios para Seleccionar la Estrategia de Propagación

De las ventajas y desventajas asociadas a la propagación vegetativa, se desprende que esta no constituye un sustituto para la propagación por semillas, sino que por el contrario, es un complemento en la explotación de los mejores genotipos.

La ganancia genética obtenida al capturar la variación genética total en operaciones clonales, es la mayor posible para un clon dado, pues no existe otra variación genética que pueda ser explorada. Aún así, la búsqueda de materia prima de mejor calidad y de mayor rendimiento debe continuar de modo de adaptarla a los cambios que se generen en las exigencias del mercado, o en el medio ambiente en que los árboles serán establecidos. Esta variación sólo se puede obtener a través de la recombinación genética asociada a la reproducción sexual. Por lo mismo, esta técnica debe seguir utilizándose y, combinada con programas de selección y evaluación de los cruzamientos individuales, generará las recombinaciones genéticas de interés que posteriormente podrán ser propagadas por la vía vegetativa.

Es un error tomar la decisión de invertir en silvicultura clonal en base a los beneficios potenciales de un clon determinado, pues los riesgos de pérdidas por factores ambientales serán también de gran envergadura.

Al tener una población con mayor diversidad genética, esta estará mejor protegida contra los cambios adversos del medio ambiente, si bien el valor medio de aquellas características de valor económico, como consecuencia de la variación, será menor. Por esta razón, la decisión de invertir en silvicultura clonal no deberá realizarse antes de efectuar un análisis cuidadoso de los beneficios potenciales esperados y de los riesgos involucrados.

En términos teóricos, el comportamiento de un árbol o una familia (Y) está determinado por cuatro fuentes de variación, las que se expresan en la siguiente ecuación:

$$Y = G_a + G_{na} + E + EG$$

Donde;

G_a = Varianza genética aditiva.

G_{na} = Varianza genética no aditiva.

E = Varianza del medio ambiente.

EG = Varianza de la interacción genotipo ambiente.

La varianza genética aditiva es aquella porción de la varianza genética que los padres transmiten a su descendencia, en forma análoga, la varianza genética no aditiva corresponde a aquella porción que no se traspa a la siguiente generación.

Una medida de la transmisibilidad de una determinada característica es la heredabilidad. Este parámetro genético, que varía entre cero y uno, corresponde a la relación entre la varianza genética y la varianza fenotípica total y puede ser expresado en sentido restringido (h^2) o en sentido amplio (H^2).

$$h^2 = G_a / (G_a + G_{na} + E + EG)$$

$$H^2 = (G_a + G_{na}) / (G_a + G_{na} + E + EG)$$

Dado que en propagación sexual la ganancia genética para una determinada característica dependerá de la proporción de la variación que es efectivamente transmitida a la descendencia, el componente fundamental es la

varianza genética aditiva. En esta situación, si se conoce con anterioridad que el carácter que se pretende mejorar posee una gran proporción de varianza aditiva, la propagación por vía sexual puede ser la estrategia adecuada. Por el contrario, si la mayor proporción de la varianza genética la constituye el componente no aditivo, entonces la mejor estrategia deberá considerar el uso directo de los genotipos seleccionados, a través de propagación vegetativa.

En forma similar, la varianza genética total normalmente se compone de varianza aditiva y no aditiva en proporciones variables, por lo que las estimaciones de heredabilidad mostrarán que H^2 es siempre igual o mayor que h^2 , y dados los mismos diferenciales de selección, las estimaciones de ganancia genética lograda a través de propagación vegetativa serán casi siempre superiores a aquellas logradas con el uso de su descendencia por medio de semillas.

Dentro de estos planteamientos, se puede afirmar que mientras exista varianza genética aditiva, los cruzamientos entre padres superiores tienden a producir una descendencia superior y que las ganancias genéticas serán mayores en la medida que los árboles progenitores sean genéticamente sobresalientes. Sin embargo, esta ganancia esperada no siempre se obtiene con los eucaliptos y tampoco con la mayoría de las especies forestales, pues normalmente un monto importante de la varianza es de carácter no aditivo.

Desde el punto de vista económico, no se debe olvidar que existen grandes diferencias en la capacidad de arraigamiento de los clones de una especie y puede ocurrir que los individuos de mayor rendimiento no permitan ser propagados en la forma más eficiente (beneficio menor que el máximo). Por tal motivo, el costo de las plantas obtenidas por enraizamiento de estacas varía ampliamente y es por lo general significativamente mayor que el costo de las plantas de semilla. Como ejemplo, Shimizu (1988b) señala que en operaciones de producción de plantas a gran escala en Brasil, el costo de aquellas obtenidas por enraizamiento de estacas es de 5 a 10 veces mayor que el de plantas normales producidas en bolsas o tubetes, respectivamente.

En resumen, la decisión de usar en el corto plazo las opciones vegetativa o sexual para la producción de plantas, dependerá en última instancia de una evaluación económica. Esta evaluación deberá considerar las ganancias genéticas esperadas asociadas a cada alternativa, su valoración económica y su relación con las inversiones en infraestructura y costos de operación necesarias en cada caso. Sólo después de efectuado este análisis y en función de la relación costo beneficio, se podrá determinar cual alternativa de propagación utilizar.

En el largo plazo es poco probable que una opción prime sobre otra, pareciendo más lógico que ambas se complementen. Así, utilizando la propagación sexual se podrán obtener nuevas recombinaciones genéticas y, por medio de la propagación clonal, reproducir aquellas de mayor interés.

DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE ESTAQUILLADO

Selección del Ortet

Una vez adoptada la propagación clonal como estrategia de reproducción, se deberá enfrentar como primera actividad la evaluación y selección de los árboles padres (Figura N° 3).

La selección normalmente se efectúa en base a la expresión fenotípica de los individuos y considera al menos los siguientes caracteres:

- Desarrollo en volumen
- Densidad básica de la madera
- Morfología
- Resistencia a plagas y enfermedades

Posteriormente se les evalúa la capacidad para rebrotar de tocón, la calidad de los brotes producidos y la aptitud de enraizamiento de sus estaquillas (Cañas, 1990; Celbi, 1982).

En esta etapa la selección suele ser muy intensa y normalmente sólo el 2% de los árboles plus seleccionados cumplirá adecuadamente todas las restricciones impuestas para llegar hasta la etapa de propagación masiva (Celbi, 1982).

De acuerdo con Potts y Potts (1986), el período de tiempo transcurrido desde la selección de los árboles plus hasta su utilización en plantaciones industriales de clones probados, es de al menos 5 años.

Movilización

Esta etapa equivale a la primera propagación del ortet seleccionado en la fase anterior y tiene por objeto obtener las copias vegetativas iniciales que aseguren la transferencia del clon al área de producción de estacas (Chaperón, 1983).

El ortet fue seleccionado en una etapa de desarrollo en que ya ha manifestado sus características fenotípicas (madurez) y, como consecuencia de las dificultades existentes en el enraizamiento de material adulto, se debe recurrir a alguna técnica especial para proceder a la movilización. Al respecto existen dos opciones posibles, una de carácter destructivo, que implica el volteo del árbol, denominado técnica de la retoñación o técnica Congo - Brasil, y otra que hace uso de la injertación.

Vía Retoñación

Esta es una técnica de carácter destructivo, pero que presenta la ventaja de simplificar la siguiente fase del proceso o prepropagación.

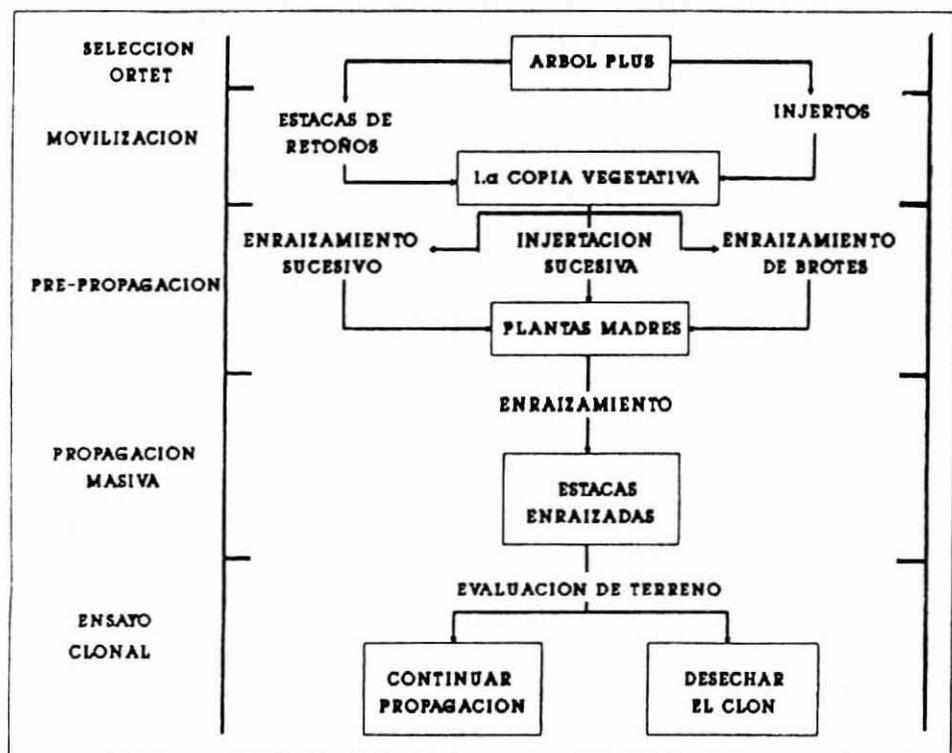


Figura N° 3. SECUENCIA DE PASOS CONTEMPLADOS EN UN PROGRAMA DE ESTAQUILLADO

Consiste en cortar los árboles plus a fines de invierno o comienzos de primavera, dejando un tocón de 15 cm de altura. A longitudes de 40-80 cm son cortados los brotes para obtener de sus tercios inferiores 2 o 3 estacas de 10 a 15 cm de largo y con 2 pares de hojas.

Normalmente se seleccionan los brotes con buena pigmentación clorofílica y preferentemente sin ramificación axilar, observando la precaución de dejar prevalecer un retoño sobre el tocón de modo que su desarrollo equilibre a la planta y evite el agotamiento de la cepa por las sucesivas extracciones de brotes. La estaquilla confeccionada con retoños se somete a un proceso

de enraizamiento como, por ejemplo, el propuesto por Ipinza y Gutiérrez (1992), el que se resume en la Figura N° 4.

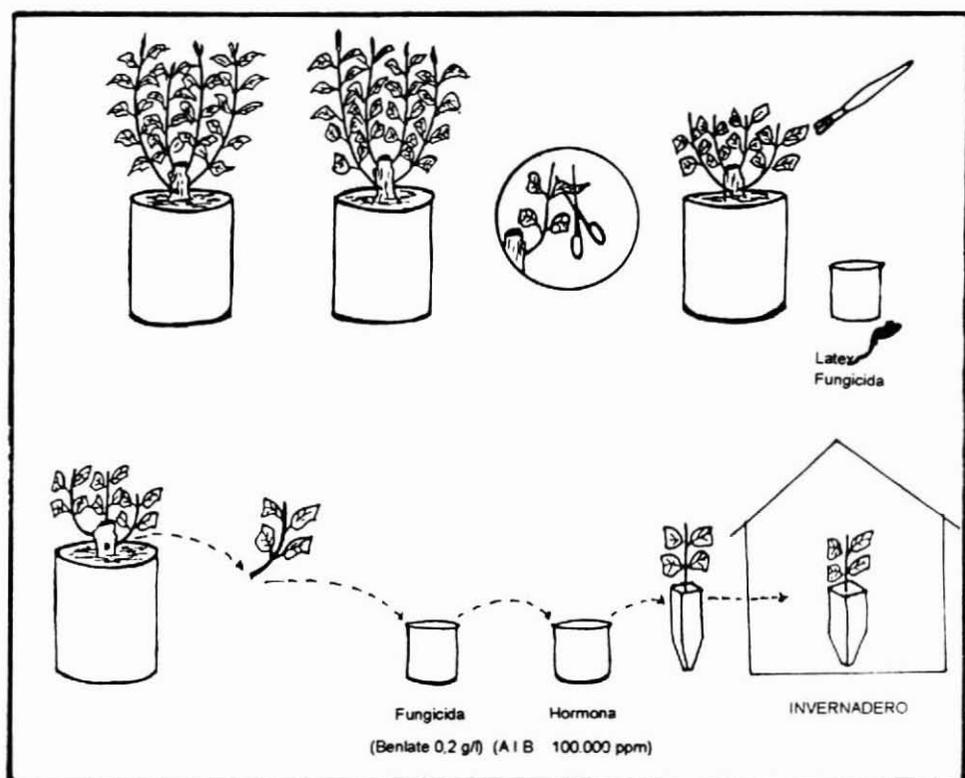


Figura N° 4. ESQUEMA DE LA METODOLOGIA EMPLEADA PARA LA CONFECCION DE ESTACAS

Vía Injerto

Esta alternativa presenta la ventaja de conservar al ortet, pero como contrapartida demanda una manipulación más intensa y especializada para cumplir con la movilización.

Existen diversas alternativas de injertación, obteniéndose buenos resultados con la técnica de hendidura. Ello requiere efectuar una hendidura en el extremo superior del patrón, e introducir en esa hendidura una púa biselada.

Los patrones se producen en invernadero y son cortados a una altura en que la sección de su tallo equivale a la de la púa a utilizar. Por su parte, las púas se extraen del ortet en invierno, desde las zonas en que se manifieste crecimiento activo.

Las plantas injertadas se mantienen en invernadero hasta que se verifique la unión púa patrón (aproximadamente 15 días) y se produzca crecimiento en los brotes de la púa (aproximadamente 30 días).

Pre-propagación

El objetivo de esta etapa es manipular las primeras copias del ortet seleccionado, obtenidas en la fase de movilización. Pretende obtener nuevas réplicas vegetativas de mayor juvenilidad, más reactivas y preparadas para la fase siguiente o de propagación masiva (Chaperon, 1983). En resumen, en esta fase se producen las plantas madres que se utilizarán en la propagación a gran escala del árbol seleccionado. Es también en esta fase donde se elimina, momentáneamente, del proceso de producción masiva a todos aquellos clones difíciles de enraizar o que presentan porcentajes de enraizamientos menores a un mínimo previamente determinado, usualmente el 70%. De acuerdo con Potts y Potts (1986) los clones de este tipo totalizan del orden del 50% de los ortets movilizados. Esta eliminación no es definitiva, pues debido a las características favorables de estos árboles no se aconseja desecharlos, resultando más adecuado estudiar con mayor detalle un protocolo que permita su enraizamiento en forma más eficiente.

Esta etapa del proceso presenta diferentes características, dependiendo de si el clon se movilizó a través de injertos o mediante el volteo del árbol.

Pre-propagación después de Movilización por Volteo

El enraizamiento de los retoños de tocón permite obtener copias juveniles idénticas al ortet. Estas copias normalmente presentan una buena capacidad de enraizamiento, por lo mismo, el enraizamiento de estacas obtenidas a partir de las primeras copias vegetativas generará excelentes plantas madres para las sucesivas propagaciones que demande la multiplicación masiva del árbol selecto.

Este tipo de propagación entrega los mejores resultados, debido a que los porcentajes de enraizamientos mejoran de generación en generación, como consecuencia del rejuvenecimiento progresivo que se produce con los enraizamientos sucesivos, y se mejoran aún más en la medida en que se seleccione en cada generación a la planta madre de mejor calidad.

Pre-propagación después de Movilización por Injerto

En esta situación el árbol selecto está representado por algunas copias injertadas, en las cuales la púa ha experimentado cierto rejuvenecimiento. Este rejuvenecimiento es de escasa magnitud y muy fugaz, por esta razón los brotes desarrollados en el injerto no constituyen buen material para confeccionar estacas enraizables y se hace necesario iniciar el rejuvenecimiento del clon.

El rejuvenecimiento puede efectuarse a través de injertos sucesivos o por inducción de rebrote.

Injertos Sucesivos

Aplicando injertos en forma sucesiva se logra una ganancia en la recuperación de las características juveniles, por cada vez que se injerta (Chaperon, 1979; Franclet, 1983).

Este procedimiento en general es poco apropiado, pues requiere mucho tiempo y una manipulación intensiva y costosa del material vegetal.

El método consiste en obtener un brote desde la púa de una planta injertada, antes que esta reasuma sus características adultas, y practicar con ella un nuevo injerto. Este nuevo injerto exhibirá un efecto de rejuvenecimiento más duradero que el anterior, seguido de una nueva reversión al estado adulto.

Al repetir esta operación en forma sucesiva se obtendrán grados de rejuvenecimiento progresivos, de modo que en la 4^o a 5^o repetición se habrá conseguido un nivel de rejuvenecimiento compatible con el requerido para producir estacas enraizables a partir de los brotes de la planta injertada.

En *E. camaldulensis* después de un tercer injerto sucesivo, a intervalos de 2 - 3 meses, los clones de más de 80 años recuperan las características juveniles, pudiendo ser posteriormente propagados por estacas (Franclet, 1983).

Inducción de Brotes

Este método, al igual que el anterior, no produce un completo rejuvenecimiento del clon y, aunque posibilita el enraizamiento, este es dificultoso y las estacas enraizadas pueden no exhibir un crecimiento satisfactorio.

El procedimiento para originar las plantas madres consiste, en este caso, en cortar la planta injertada a 15 cm sobre el punto de unión púa - patrón, con el objeto de inducir en ella nuevos brotes. El corte se efectúa a comienzos de primavera, después que el injerto ha estado creciendo por 1 ó 2 años. El

proceso termina con el enraizamiento de los nuevos brotes iniciados sobre la púa.

Propagación Masiva

En esta etapa se reproduce a gran escala al árbol seleccionado, de modo de disponer de las copias suficientes como para establecer las plantaciones industriales y disponer los ensayos clonales.

La técnica utilizada es la llamada propagación "en cascada" o de propagaciones sucesivas por estacas. Ella consiste en reproducir a través de enraizamiento a los árboles madres producidos en la fase de pre-propagación y, posteriormente, utilizar estas estacas enraizadas como madres de una nueva generación, repitiendo el proceso en forma reiterativa.

En esta etapa es importante no propagar a las plantas agotadas por excesivas cosechas de material, así como también ir eliminando de inmediato a aquellas que entregan estacas de pobre enraizamiento, con el objeto de evitar la inclusión de líneas con mala capacidad rizogénica en el clon.

Las plantas madres se pueden manejar en un área especialmente acondicionada para este fin, o se les puede mantener dentro del invernadero bajo las mismas condiciones usadas para el enraizamiento (Chaperon, 1983).

La cosecha de brotes desde las plantas madres se puede realizar cortando las plantas a pocos centímetros sobre el suelo, de modo de obtener rebrotes que se podan para permitir el desarrollo equilibrado de sólo 4 de ellos por planta, o alternativamente, extrayendo los brotes desde arriba de su primer par de hojas, de modo de inducir a ese nivel la formación de 2 nuevos brotes, e ir conformando con la planta madre un seto donante de estacas.

La rotación para la cosecha de estacas desde la planta madre debe ser la más corta posible, extrayendo los brotes tan pronto alcanzan un nivel de desarrollo compatible con la propagación por estacas. Este tiempo es muy variable. Chaperon (1983) sostiene que 2 meses después de haber puesto la estaca a enraizar, ya está disponible para coleccionar de ella material para una nueva estaca. Heth et al. (1986) afirman que se requieren cerca de 6 meses de crecimiento y podas para desarrollar tallos vigorosos y comenzar la producción de brotes uniformes para generar nuevas estacas. Por su parte, Cauvin (1982)

determina que el tiempo óptimo es de 2 a 3 meses, para producir estacas que enraicen bien.

La metodología empleada para confeccionar las estacas e inducir las al enraizamiento presenta algunas variaciones, aunque las consideraciones principales ya están establecidas y se encuentran ampliamente comentadas en la bibliografía, existiendo una detallada descripción en Ipinza y Gutiérrez (1992).

Ensayos Clonales

La última fase en la descripción de este proceso la constituye el establecimiento de los ensayos clonales, de los cuales se pueden desprender algunas consideraciones para las posteriores plantaciones clonales comerciales.

El ensayo consiste en probar la superioridad de los genotipos seleccionados, mediante su establecimiento a nivel experimental en una variada gama de sitios, los cuales deben ser representativos de las condiciones en que se pretende utilizar masivamente a esos clones.

La prueba clonal se realiza mediante un diseño estadístico, en que además de los clones se considera un testigo con plantas provenientes de semilla de uso comercial.

REFLEXIONES SOBRE LAS PLANTACIONES CLONALES

La aplicación de una silvicultura clonal intensiva y extensiva implica hacer un cuidadoso análisis de los beneficios y riesgos potenciales involucrados. El realizar una selección de los árboles superiores para su posterior propagación implica una reducción de la base genética, que lleva por consiguiente a una disminución de la capacidad de respuesta frente a cambios del medio, así como también a una menor adaptabilidad ante las futuras exigencias del mercado de productos forestales. Otro fenómeno que además ha cobrado

importancia en este tipo de plantaciones, tanto en Chile como en otros países, es la posibilidad de ataques de plagas y enfermedades, tanto de organismos exóticos como nativos.

En principio, el uso de las plantaciones clonales tiene como objetivo la formación de poblaciones de alta productividad, mejorar la calidad de la madera y de sus productos, mejorar la uniformidad de los bosques, multiplicar híbridos interespecíficos altamente productivos, mejorar el rendimiento de las plantaciones en áreas con limitaciones específicas, multiplicar individuos resistentes a enfermedades y plagas y aumentar los porcentajes de retoñación de tocones, tanto para obtener material utilizable en estaquillado como para el manejo de los bosques en monte bajo (De Assis, 1986).

Aspectos Fitosanitarios

El éxito alcanzado por los eucaliptos fuera de su distribución natural actual, se debe en parte a la ausencia en los lugares de plantación, de una amplia gama de enfermedades y plagas, las que abundan en su hábitat natural. Por otra parte, el riesgo derivado de la eventual aparición de algunas plagas se va acrecentando debido a la ausencia de los agentes de control biológico y natural que existen en las poblaciones nativas, que normalmente no se presentan en los lugares donde los eucaliptos son introducidos.

Esta situación merece especial atención en el caso de las plantaciones clonales, las cuales al poseer una estrecha o escasa variabilidad genética pueden ser fácilmente diezmadas por los agentes dañinos.

De lo anterior se desprende la necesidad e importancia de reunir una mayor variabilidad en las plantaciones clonales, así como también el adoptar estrategias de silvicultura clonal que tiendan a minimizar los efectos negativos, tanto de los factores bióticos como abióticos.

En Nueva Zelanda *E. globulus* presenta una extrema susceptibilidad al insecto *Paropsis charybdis* (Coleoptera: Chrysomelidae), el cual ha retardado la incorporación al sector productivo neozelandés tanto de *E. globulus* como de *E. nitens*.

Métodos de Control Genético

Las plantaciones monoclonales de eucalipto (conformadas por un solo clon) exhiben una menor susceptibilidad a plagas y enfermedades cuando se usan clones de corta rotación. El daño provocado por los agentes bióticos depende del tamaño de la población sobre la que actúan. Resulta apropiado utilizar pequeñas plantaciones constituidas por un clon, recomendándose un mosaico de parcelas monoclonales, más que una mezcla individual de clones.

Si un clon individual es atacado, este puede ser fácilmente reconocido en el mosaico, eliminado y reemplazado. Este método de manejo es más caro, pues la identificación de los clones se debe mantener dentro de la plantación, aunque por otra parte, la ganancia que se obtiene a través de una mejor utilización del sitio con los clones menos susceptibles, es mayor.

En los programas de mejoramiento genético más avanzados, se pueden disponer clones específicos sobre los sitios más apropiados. Si hay una significativa variación de micrositos, se puede optar por una mezcla clonal, la cual podría ser más efectiva.

Una plantación multiclonal tiene una mayor diversidad genética que una monoclonal, lo que implica estar mejor protegidos en contra de los cambios adversos del ambiente, pero como contrapartida, el valor medio de sus características de interés económico es menor.

Dentro de cualquier programa de producción clonal se debe mantener una variabilidad tal que permita coordinar las distintas condiciones ambientales con las características específicas de cada clon. Por esta razón es necesario tener un gran número de clones en un banco clonal, incluso cuando sólo se considere un número pequeño de estos en un programa de producción. Como algunos clones son eliminados de estos programas, otros deben ser incorporados. Eventualmente, estas nuevas adiciones llegarán de generaciones de producción avanzadas, por lo tanto, se deben establecer reglas para controlar el número de clones y de rametos por clon que aseguren la diversidad genética apropiada (Rauter, 1983).

Martin (1987) en Aracruz, establece que en varios clones e híbridos existen grandes diferencias con respecto a la sensibilidad a plagas y enfermedades.

Debido a esto, es conveniente ordenar todos los clones desde los más sensibles hasta los menos vulnerables para su selección. En algunos casos las plantaciones jóvenes son más vulnerables a los ataques, siendo en su fase adulta menos susceptibles.

La sensibilidad de un clon al ataque de patógenos es difícil de medir cuando este se presenta en pequeñas superficies dispersas, siendo las pruebas de terreno indispensables pero difíciles de realizar e interpretar. La disposición geográfica de los clones es muy importante sobre el grado de ataque. Hoy existen tecnologías, como la selección precoz, que pueden conseguir buenas estimaciones en invernadero. Estas estimaciones serán más precisas en la medida en que exista una buena correlación juvenil-adulto del genotipo a estudiar.

El número apropiado de clones a usar dependerá de la especie, la longitud de la rotación, las características del sitio, la pureza genética y la variación y amplitud de adaptabilidad dentro del clon (Zobel, 1992).

Métodos de Control Químico

Este sistema de control se puede desarrollar, pero implica un costo adicional que será solventable sólo en la medida que el análisis financiero del proyecto lo permita y exista un adecuado conocimiento respecto de esta forma de control. Es conveniente realizar exhaustivas vigilancias periódicas, las que debe efectuarlas un equipo especializado en problemas fitosanitarios. Los tratamientos deben realizarse sistemáticamente para los clones sensibles y de gran valor (Martin, 1987).

Este método es vulnerable en el sentido de que no elimina del todo al agente patógeno, solo disminuye su población, pudiendo volver a atacar cuando se restablece su nivel poblacional o disminuye el poder residual del compuesto químico. Por otro lado, el patógeno puede conseguir adaptarse a mayores dosis del agente químico y desarrollar mecanismos de protección o cepas resistentes a este método de control.

Determinación del Material Superior

Antes de empezar un programa a gran escala, se debe asegurar que el material mantendrá su superioridad desde su establecimiento hasta su cosecha.

Muchos de los éxitos o fracasos en este campo se deben principalmente al estado de madurez de los tejidos utilizados en la propagación vegetativa. El dominio de las técnicas de rejuvenecimiento permitirá incorporar efectivamente a este material en los programas de silvicultura clonal.

La evaluación precoz del material propagado implica un gran riesgo en aquellos individuos seleccionados que no mantienen la superioridad al final de la rotación. Para minimizar los riesgos de esta evaluación y selección tempranas, se sugiere usar poblaciones adaptadas, mantener una alta variación genética combinada con una selección recurrente, seleccionar bajo condiciones de campo típicas y reducir el espacio de plantación (Kleinschmit y Schmidt, 1977).

Con el conocimiento presente de las tecnologías de enraizamiento, el problema de la poca aptitud rizogénica de algunos genotipos de **E. globulus** puede ser superado en la medida que exista un esfuerzo de investigación. La única forma de hacer la madera más uniforme es a través de la propagación clonal (Zobel, 1988).

Los esperanzadores resultados derivables de la multiplicación vegetativa y del rejuvenecimiento de **E. globulus**, posibilitan el acceso a un cultivo clonal muy intensivo a partir de los individuos de mayor rendimiento.

Una práctica muy habitual en el uso de árboles superiores es la selección de individuos plus o líderes y emplearlos para las plantaciones masivas. El comportamiento de estos individuos es una respuesta al efecto combinado de las características genéticas de los árboles, de la calidad del medio ambiente y de la interacción entre estos. Por lo tanto, no necesariamente los individuos propagados tendrán el mismo comportamiento (Shimizu, 1988).

Beneficios versus Costos

Generalmente, todos los métodos de reproducción clonal incrementan los costos de producción de plantas en más de 3 veces en relación a las plantas producidas por semilla. Esto implica que los proyectos clonales exhiben una tasa interna de retorno baja, razón por la cual, actualmente en Chile los métodos de estaquillado de **E. globulus** no permiten una aplicación a gran escala. A juicio de los autores, esta situación amerita una revisión mundial de los métodos de enraizamiento y valorizar en el análisis económico una unidad de investigación, que permita alcanzar en los clones selectos un porcentaje adecuado de enraizamiento.

En CELBI, Portugal, la ganancia total de peso seco después de dos generaciones de selección en **E. globulus** es de 60%. En el caso particular de esta especie, la maximización de las ganancias genéticas del peso seco aparece alrededor de los 10 años, que es el común denominador en cuanto al período de rotación que alcanzan estas plantaciones (Borralho, Cotterill y Kanowski, 1991).

Los costos de un proyecto clonal están estrechamente ligados a la tecnología silvicultural. Los árboles forestales responden espectacularmente al mejoramiento del sitio y, en especial **E. globulus**, que con tratamientos culturales como preparación del suelo, drenaje, irrigación y fertilización alcanza rendimientos muy interesantes. El alto costo en que se incurre en el establecimiento de este cultivo, se compensa con los altos retornos, más aún si se emplean árboles genéticamente mejorados.

En la Figura N° 5 se presentan algunos valores representativos de la zona de Aracruz, Brasil, los cuales muestran claramente las ventajas en cuanto a volumen, productividad y densidad de la madera, en los bosques mejorados (Martin, 1987).

La mecanización de todas las faenas involucrados en los procesos clonales permitirá a los programas a gran escala reducir substancialmente los costos, haciéndolos más convenientes.

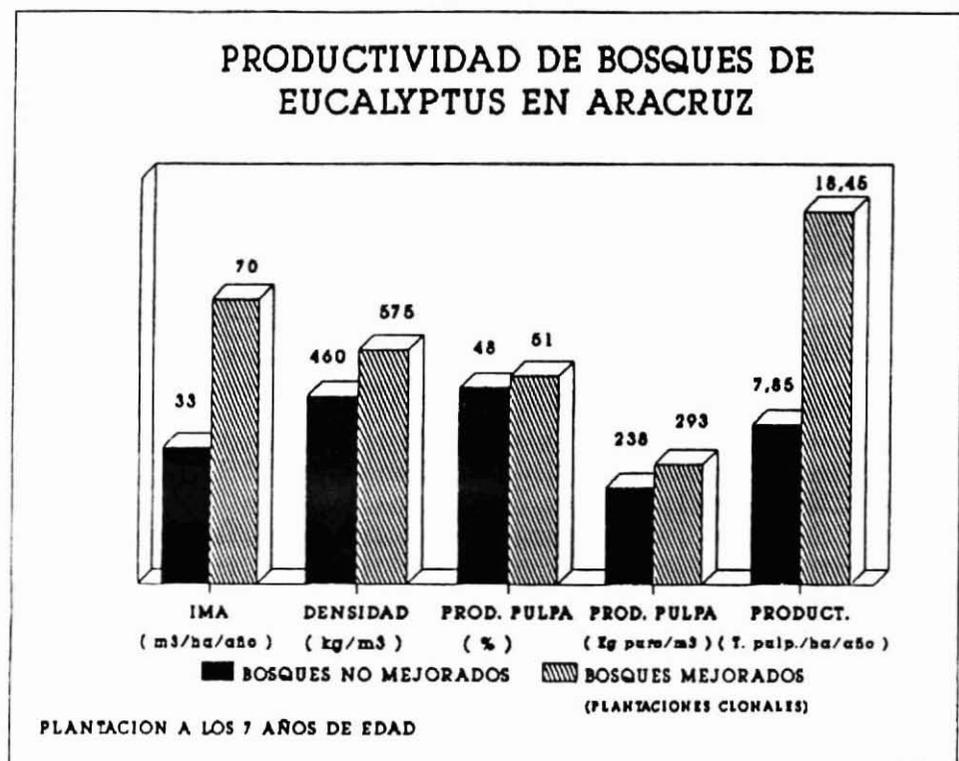


Figura N° 5. EFECTOS DE LA SILVICULTURA CLONAL SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL BOSQUE

Diversidad versus Monocultivo

Existe consenso entre los diversos autores respecto de que el monocultivo lleva a una estrechez de la base genética, que no permite una gran habilidad en la capacidad de adaptación de los árboles frente a cambios ambientales y a ataques de enfermedades y plagas. La gran duda que aún persiste es cuantos clones se deberían usar para contrarrestar estos cambios que ocurren en el ambiente.

La primera consideración para confeccionar un programa operacional de implementación de plantaciones clonales es determinar el número de clones que la conformarán. El objetivo es plantar sólo los mejores clones mientras aún mantengan bastante variabilidad para limitar los riesgos de pérdidas a un nivel aceptable. La respuesta a la pregunta del párrafo anterior dependerá de la edad de rotación, la intensidad de manejo del bosque, la variabilidad genética de las especies y clones involucrados, los probables riesgos y los niveles aceptables de pérdidas (Zobel y Talbert, 1984).

Se ha determinado que las plantaciones con mezclas de clones son más eficientes que aquellas conformadas por descendientes de un solo ortet. Kleinschmit (1977) menciona el uso de 100 a 500 clones entremezclados pie a pie. En cambio otros autores, entre ellos Zobel y Talbert (1984) y Libby (1983), plantean el uso de mosaicos de clones puros de 10 a 20 hectáreas cada uno.

Los argumentos que fundamentan la utilización de plantaciones en mosaico de bloques monoclonales se resumen en los siguientes puntos (Zobel y Talbert, 1984):

- Cada clon tendrá una curva de crecimiento y patrones de desarrollo diferentes. Algunos clones serán fuertemente suprimidos, por competencia con otros clones, y no serán capaces de desarrollarse en mezclas. Habrán diferencias en tamaño y calidad de los árboles, reduciendo la gran ventaja de la propagación vegetativa, que es la uniformidad.
- Las operaciones de plantación y de viverización serán más simples cuando se realiza la plantación en bloques clonales (mosaico).
- La uniformidad de la madera entre árboles es máxima dentro del bloque, existiendo la posibilidad de destinar la madera de los distintos bloques a objetivos específicos de producción, tales como contrachapado, madera aserrada o calidades especiales de papel.
- Si existen problemas en el rendimiento o comportamiento de un clon dado, el bloque puede ser eliminado y reemplazado de modo de no afectar la productividad de la plantación. En una mezcla individual de clones esta operación no se puede efectuar eficientemente, pero incluso si se pudiese, los árboles faltantes no podrían ser reemplazados y el resultado sería un bosque con menores existencias volumétricas.

Competencia

El establecimiento de plantaciones clonales de **Eucalyptus globulus** podría manifestar efectos negativos sobre el balance de nutrientes en el suelo, pues por tratarse de árboles idénticos y con altas tasas de crecimiento, sus demandas nutritivas importarán un agotamiento más marcado de ciertos minerales esenciales.

Los miembros genéticamente idénticos de un mismo clon tienen demandas similares sobre su medio ambiente en un tiempo similar. Así, la competencia entre tales plantas genéticamente idénticas será más severa que la competencia entre plantas genéticamente disímiles. Cuando se ha acumulado información suficiente, los clones que poseen demandas complementarias sobre su medio pueden ser dispuestos como vecinos y así maximizar la productividad de tales plantaciones. Los experimentos para identificar tales secuencias son difíciles y costosos, por lo que es poco probable que tal maximización se pueda obtener en el corto plazo.

Esta competencia acentuada puede hacer necesario que las plantaciones se establezcan con un distanciamiento inicial mayor al convencional, o alternativamente adelantar el momento de aplicar la primera intervención silvícola, de esta forma se superarían los inconvenientes derivados de la competencia más acentuada que se observa en las plantaciones clonales.

Concluyendo, el impacto de la propagación vegetativa en el futuro de la silvicultura es indiscutible. La clave radica en cuando y como se logrará la masificación de esta forma de reproducción hasta hacerla compatible con el establecimiento de plantaciones clonales, pues existe un período variable de tiempo entre el desarrollo de una técnica y su uso a escala operacional. Por el momento, las técnicas de enraizamiento actualmente disponibles sólo esperan el desarrollo de metodologías que permitan obtener material juvenil en términos económicos. Así, el desarrollo de un método simple para inducir juvenilidad significará un enorme y rápido vuelco hacia los métodos vegetativos de propagación, de modo que el diferencial de costo entre estacas enraizadas y plantas de semilla disminuirá acentuadamente, como ya ha sucedido en algunos programas de producción de eucaliptos, hasta que las estacas enraizadas se produzcan a un costo similar al de las plantas de semilla.

Por otra parte, los problemas biológicos ligados a la silvicultura clonal serán resueltos probablemente muy pronto, debido al enorme énfasis que actualmente adquiere la biotecnología y los métodos de propagación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Borralho, N.M.; Cotterill, P.P. y Kanowski, P.J., 1991.** Genetic Parameters and Gains Expected from Selection for Dry Weight in **Eucalyptus globulus ssp globulus** in Portugal. *Forest Science*. 38(1): 80 - 94.
- Cañas, I., 1991.** Selección Individual y Multiplicación Clonal del **Eucalyptus globulus** Labill. Jornadas Técnicas Forestales "Materiales Forestales de Reproducción en España". Huelva, España. 8 y 9 de Febrero, 1990.
- Cauvin, B., 1982.** Réjuvénilisation - Multiplication d'ortets séniles **Eucalyptus**. *Annales AFOCEL*. Pp 74 - 105.
- Celbi, 1982.** Propagacao Vegetativa do **Eucalyptus globulus** Labill. Enraizamiento de Estacas. Celulosa Beira Industrial. Dpto. Florestal. Figueira da Faz, Portugal. 7 p.
- Chaperon, H., 1979.** Maturation et Bouturage des Arbres Forestiers. *AFOCEL. Etudes et Recherches* 12 (6): 19 - 31.
- Chaperon, H., 1983.** Clonal Propagation of Eucalypt by Cutting in France. En: *Proceeding of a Workshop on Eucalyptus in California*. Sacramento, California. June, 14 - 16, 1983. Pp 108 - 114.
- Clarke, F. y Slee, M., 1984.** Prospects for Clonal Forestry with Radiata Pine. *Aust. For.* 47(4):266-271.
- De Assis, F., 1986.** Melhoramento Genético de Eucalipto. *Inf. Agropec.* Belo Horizonte. 12(141):36-46.
- FAO., 1979.** Eucalypts for Planting. Rome. *Fao Forestry Series* N° 11. 677 p.
- Francllet, A., 1979.** Rejeunissement des Arbres Adultes en Vue de Leur Propagation Vegetative. *AFOCEL. Etudes et Recherches* 12 (6): 1 - 18.

- Franclet, A., 1983.** Rejuvenation: Theory and Practical Experiences in Clonal Silviculture. En: Proceeding of the 19° Meeting of the Canadian Tree Improvement Asociation. Part 2: Symposium on Clonal Forestry. Its Impact on the Improvement and Our Future Forest. Toronto, Ontario. August, 22 - 26, 1983. Pp 96 - 134.
- García, L., 1984.** The New Eucalypt Forest. Lectures Given by the 1984 Marcus Wallemberg Prize Winners at the Symposium in Falun Sweden on September 14, 1984. 13 p.
- Hartney, V., 1980.** Vegetative Propagation of Eucalypts. Aust. For. Res. 10 (3): 191 - 211.
- Heth, D.; Fanger-Vexler, L. y Reuveni, O., 1986.** Mass Production of Cutting of *Eucalyptus camaldulensis*. Commonwealth Forestry Review 65 (3): 215 - 225.
- Hillis, W. y Brown, A., 1978.** Eucalypts for Wood Production. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia. 434 p.
- Infante, P.; Ipinza, R. y Prado, J., 1991.** Bases para la Mejora Genética de las Especies del Género *Eucalyptus* en Chile. Ciencia e Investigación Forestal 5(1): 96 - 150.
- INFOR-CORFO., 1986.** Especies Forestales Exóticas de Interés Económico para Chile. Santiago, Chile. Gerencia de Desarrollo Corfo, A.F. 86/32. 167 p.
- Ipinza, R. y Gutierrez, B., 1992.** Resultados Preliminares de un Ensayo de Enraizamiento de Estaquillas de *Eucalyptus globulus ssp. globulus*. Ciencia e Investigación Forestal 6(1) Junio 1992. Instituto Forestal.
- Kleinschmit, J. y Schmidt., 1977.** Experiences with *Picea abies* Cuttings Propagation in Germany and Problems Connected with Large Scale Application. Silvae Genetica. 26:197 - 203.
- Lindgren, D., 1977.** Possible Advantages and Risks Connected with Vegetative Propagation for Reforestation. En: Symposium, Vegetative Propagation of Forest Tree. Physiology and Practices. Uppsala, Sweden. February, 16 - 17, 1977. pp. 9-16.
- Martin, B., 1987.** Amelioration genetique des *Eucalyptus* Tropicaux. Contribution Majeure a la Foresterie Clonale. Tesis para Optar al Título de Doctor en Ciencias de la Universidad de París. Universite de Paris Sud Centre D'orsay. París Francia. 218 p.
- Potts, B. and Potts, W., 1986.** Eucalypt Breeding in France. Aust. For. 49 (4): 210 - 218.

Rauter, R.M., 1983. Current Status of Macropropagation. Proceedings of the 19^o Meeting of the Canadian Tree Improvement Association. Part 2: Symposium on Forestry: Its Impact on the Improvement and our Future Forests. pp 58 - 74.

Schimizu, J., 1988 a. Vegetative Propagation for Tree Improvement and Operational Plantings. En: Actas del Simposio de Manejo Silvícola del Género *Eucalyptus*. Viña del Mar, Chile. 9 - 10 de Junio, 1988. 10 p.

Schimizu, J., 1988 b. La Propagación Vegetativa en el Mejoramiento de Plantaciones Industriales. Ciencia e Investigación Forestal 2 (2): 27 - 33.

Zobel, B., 1988. Eucalyptus in the Forest Industry. Tappi Journal. pp. 42 - 46.

Zobel, B., 1992. Vegetative Propagation in Production Forestry. Journal of Forestry. 90(4): 29-33.

Zobel, B.; Ikemori, I. y Campinhos, E., 1983. Vegetative Propagation in *Eucalyptus*. En: Proceedings of the 19^o Meeting of the Canadian Tree Improvement Association. Part 2: Symposium on Clonal Forestry; its Impact on the Improvement and our Futures Forest. Toronto, Ontario. August, 22 - 26, 1983. Pp 136 - 144.

Zobel, B. y Talbert, N., 1984. Applied Forest Tree Improvement. Ed. John Wiley & sons. New York, USA. 505 p.