

II. LA ESTRATEGIA DE MEJORA EN *Eucalyptus globulus* DE EUFORES

Gabriel Algorta⁶

Antecedentes

En 1982, ENCE inició las primeras acciones de Investigación Forestal con la selección árboles superiores de *E. globulus* en las masas de Huelva, que junto con la reproducción “in-vitro” de la especie, cubrieron las actividades de este campo hasta 1988. De esta primera etapa se obtuvieron los primeros clones resistentes a la sequía en el S.O. español. Posteriormente, en 1989, se pusieron en marcha nuevos proyectos tanto en el noroeste como en el suroeste español, encaminados a la obtención de planta genéticamente mejorada del género *Eucalyptus*, y muy especialmente *Eucalyptus globulus*, adaptada a las condiciones ecológicas del Norte y Suroeste de España, con sus propios factores limitantes. Se incrementó la base genética de las especies ensayadas con la instalación de diversas parcelas de especies y procedencias de *Eucalyptus* y de procedencias y familias de *E. globulus*. En este mismo año se inician los proyectos de investigación en el Norte de España. En 1996, se iniciaron los trabajos de investigación en Uruguay, iniciando el programa de selección fenotípica de árboles superiores en las masas forestales de la empresa en el litoral y los trabajos de propagación vegetativa en el vivero de Fray Bentos, además de la instalación de una red de ensayos de procedencias y familias del género, fertilización y de laboreos de suelo.

Todo ello dio origen al Plan ENCE de Innovación y Mejora Forestal donde se refleja la estrategia de Mejora Genética y Selvícola del Género *Eucalyptus*, así como, los hitos y desarrollo de cada uno de los proyectos encaminados a la obtención de planta mejorada genéticamente.

Como toda planificación de un trabajo ésta no es estática sino dinámica y versátil respetando siempre las directrices básicas de ejecución y desarrollo del mismo. El Programa de Mejora Genética del Género *Eucalyptus* define y desarrolla una serie de proyectos encaminados a la mejora continua del género. Los resultados o logros de algunos de estos dan origen a la creación de nuevos proyectos que se suman a los ya definidos. Algunos de estos proyectos se dan por concluidos, en otros se han introducido modificaciones, como en el caso de los modelos matemáticos establecidos que debido al desarrollo tecnológico de los ordenadores y la aparición de nuevas técnicas de computación de datos proporcionan resultados más precisos.

Los principales logros obtenidos hasta el momento pueden resumirse en:

- Más de 800 árboles plus seleccionados en Huelva
- Más de 150 árboles plus seleccionados en Galicia
- Más de 100 árboles plus seleccionados en Uruguay
- Desarrollo de tecnología propia de reproducción clonal de *Eucalyptus globulus* a escala comercial
- Producción clonal de *E. globulus* en el Suroeste de España: más 2.000.000 plantas/año
- Producción clonal de *E. globulus* en Uruguay: más 500.000 plantas/año
- Más de 12.000 ha de plantaciones clonales en el S.O.
- Incremento del 30% de la producción forestal en el S.O. con el nuevo material genético.
- Incremento del 12% de la producción forestal en el S.O. gracias a la mejora silvícola (acumulable al logro con la mejora genética)
- Desarrollo de tecnología propia de reproducción in vitro, a partir de explantos nodales de *Eucalyptus globulus*.
- Desarrollo de la tecnología de embriogénesis somática

⁶ Bachiller. Departamento de Investigación y Desarrollo de EUFORES.

- Aplicación de la tecnología de marcadores moleculares que permiten asegurar los pasos de la mejora de múltiples caracteres y determinar la variabilidad genética de la especie
- Cerca de 250 ha de parcelas de ensayos genéticos repartidas por el N. y el S. O. Español.
- Mecanización de preparación de suelos
- Mejora de las técnicas de implantación de masas
- Mejora de las técnicas selvícolas de las masas de eucaliptos.
- Desarrollo de un plan de lucha biológica
- Mecanización de los aprovechamientos forestales
- Desarrollo de técnicas de evaluación de indicadores de Gestión Sostenible

Programa de mejoramiento genético

Objetivo

El Programa de Mejora Genética del Género *Eucalyptus* cuyo objetivo para cada Zona de Mejora y de acuerdo con sus características climáticas y edáficas es aumentar la producción de materia prima industrial por unidad de superficie, en términos cuantitativos y cualitativos (mayor crecimiento volumétrico, mayor densidad básica de la madera, mayor contenido en celulosa, mejores características técnicas de la madera y resistencia a factores limitantes específicos de cada Zona de Mejora), en los montes de eucaliptos situados en las zonas de influencia de ENCE y mantener al mismo tiempo una reserva de genes con una amplia variación genética que sirva de soporte de las poblaciones mejoradas futuras y actuales.

La estrategia de mejora genética se articula en dos vías de actuación. Una vía rápida que implica la selección y clonación y evaluación de árboles superiores y el cruzamiento controlado entre los mejores individuos para producir progenies y así poder realizar un nuevo ciclo de selección recurrente, donde prima la maximización de las ganancias genéticas por unidad de tiempo y una vía más lenta que parte de una base genética mucho más amplia, con ciclos de selección recurrente, donde se utiliza la polinización abierta como sistema de cruzamiento para pasar a la siguiente generación y procesos de selección menos intensos, intentando mantener una amplia variabilidad genética.

Selección

Se seleccionan los árboles fenotípicamente superiores que destacan por su volumen maderable, densidad básica, rectitud y limpieza del fuste, poda natural, espesor de corteza, porcentaje de copa y en perfecto estado sanitario. La selección comienza cuando las masas tienen 4 años de edad y en algunos casos a turno final, esta selección se realizó en predios pertenecientes a la empresa EUFORES.

La selección se basa en la comparación del árbol candidato dentro de una masa monoespecífica y coetánea, frente a cuatro testigos elegidos entre los mejores dentro de un círculo de 20 m de radio.

Las variables a comparar son: diámetro, excentricidad, altura total, ángulo de inserción de la primera rama viva, porcentaje de copa, porcentaje de corteza, coeficiente mórfo y resistencia a la penetración.

Se hace mucho hincapié en el tema sanitario como un indicador de la adaptación de las subespecies, de modo que un árbol por mas superior que sea si posee algún signo de enfermedad o ataque se lo descarta.

Procedimiento

Los diámetros normales se miden sobre cada uno de los testigos y candidatos en mm., y en cruz. El primero de ellos por la parte superior de la pendiente y el segundo a la misma altura que el anterior y perpendicular al mismo.

La altura total se mide con Blume-Leiss o Vertex, desde la base del tronco, por la parte superior de la pendiente del terreno hasta la parte más alta de la copa.

La altura de la 1° rama viva, se mide desde la base del árbol, su diámetro en las proximidades de la inserción con el tronco, con forcípula finlandesa y el ángulo de inserción de “visus” con la siguiente escala: 30°, 45°, 60° y 90°.

El espesor de la corteza se mide con un calibrador de corteza, introduciéndolo a la altura de 1.30 m en dos posiciones opuestas 180°.

La penetración se mide con penetrómetro Pilodyn, siguiendo las instrucciones del aparato, a 1,30 m de altura y en dos posiciones opuestas del tronco 180°.

Una de las medidas usadas para la determinación del coeficiente mórfico, es el diámetro a 4 m de altura del suelo, que se mide en mm y por el lado superior de la pendiente del terreno con forcípula finlandesa.

Normas para la selección de árboles plus

1° Diámetro normal medio.- Se obtendrá por la semisuma de los diámetros normales medios en cada árbol. El porcentaje de superioridad se obtendrá de la siguiente manera:

$$\% S_{\text{DIAMETRO}} = (D_{\text{árbol candidato}} - d_{\text{medios testigos}}) * 100 / d_{\text{medio testigo}}$$

2° Excentricidad.- Se obtendrá dividiendo el diámetro normal menor, de los medios en cada árbol, por el mayor. El porcentaje de superioridad se determinará de forma similar a la descrita anteriormente, es decir:

$$\% S_{\text{EXCENTRICIDAD}} = (E_{\text{candidato}} - E_{\text{media testigos}}) * 100 / E_{\text{medida testigos}}$$

3° Altura total.- El dato a emplear será directamente obtenido de las mediciones en el monte. El porcentaje de superioridad se determinará de la misma forma de los casos anteriores, es decir:

$$\% S_{\text{altura}} = (A_{\text{árbol candidato}} - A_{\text{medida testigos}}) * 100 / A_{\text{medida testigos}}$$

4° Angulo de inserción de la primera rama viva.- El dato a emplear será directamente obtenido de las mediciones en el monte. El porcentaje de superioridad se determinará de la siguiente forma:

$$\% S_{A\ 1^{\circ}\ \text{RAMA}} = (\text{ANG}_{\text{árbol candidato}} - \text{ANG}_{\text{medio testigos}}) * 100 / \text{ANG}_{\text{medio testigos}}$$

5° Porcentaje de copa.- Hay que utilizar los datos de Altura total y altura de la primera rama viva, obtenidos en las mediciones del monte. Calculando el porcentaje de la copa de la siguiente forma:

$$\% \text{Copa} = (\text{ALT}_{\text{total}} - \text{ALT}_{1\ \text{rama}}) * 100 / \text{ALT}_{\text{total}}$$

Y el porcentaje de superioridad, será:

$$\% S_{\text{COPA}} = (\% \text{Copa}_{\text{media testigos}} - \% \text{Copa}_{\text{árbol candidato}}) * 100 / \% \text{Copa}_{\text{medio testigos}}$$

6° Porcentaje de corteza.- Se calculará en base al diámetro normal y espesor de corteza obtenidos de la medición directa en el monte, calculando el porcentaje de superficie normal sin corteza referido al área normal con corteza, mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{Corteza} = 4_e(D-e) * 100 / D^2$$

Donde e = espesor de corteza en mm y D = diámetro normal con corteza en mm.

La superioridad será:

$$\% S_{\text{CORTEZA}} = (\% \text{Corteza}_{\text{media testigos}} - \% \text{Corteza}_{\text{árbol candidato}}) * 100 / \% \text{Corteza}_{\text{media testigos}}$$

7º coeficiente de forma o mórfico.- El dato de base se obtendrá de dividir el diámetro medio a la altura de 4 metros por el diámetro a 1,30 m. La superioridad será:

$$\% S_{\text{FORMA}} = (CF_{\text{árbol candidato}} - CF_{\text{medio testigos}}) * 100 / CF_{\text{medio testigos}}$$

8º Penetración.- El dato de base para cada árbol será la medida los obtenidos por medición en el monte. Como el interés de la selección es elegir árboles de mayor densidad básica, por tanto la superioridad será:

$$\% S_{\text{PENETRACIÓN}} = (P_{\text{media testigos}} - P_{\text{árbol candidato}}) * 100 / P_{\text{media testigos}}$$

Para que un árbol candidato sea seleccionado como árbol superior deberá cumplir con alguno de los siguientes requisitos:

- a.- Ausencia absoluta de cualquier síntoma que delate cualquier tipo de enfermedad, ataque de hongos, insectos o sufrir cualquier tipo de estrés. En caso de que ocurra el árbol candidato será excluido de la selección, aún cuando otros caracteres muestren una superioridad extraordinaria.
- b.- Cuando para todos y cada uno de los caracteres evaluados se manifieste una superioridad de al menos el 5 %.
- c.- Cuando en al menos uno de los caracteres evaluados, el árbol candidato supere en un 50 % a la medida de los testigos y en el resto no se produzcan detrimentos significativos.
- d.- En aquellos casos en el que el seleccionador considere algún carácter del árbol candidato como muy sobresaliente y que no sea posible su evaluación con testigos próximo, debido a su aislamiento, diferente edad, localización privilegiada, etc., debiendo justificarse la selección de dichos ARBOLES SINGULARES de forma suficiente.
- e.- Además de haber cumplido con alguno de los requisitos anteriores, deberá de satisfacer el coeficiente de superioridad C_{SP} , que consiste en la suma de los productos de los porcentajes de superioridad multiplicado por un coeficiente de ponderación para cada uno de ellos. El árbol candidato debe igualar o superar un C_{SP} de 62.5.

$$C_{SP} = 0,5 * \% S_{\text{A. IRAMA}} + \% S_{\text{EXC.}} + \% S_{\text{COPA}} + 2 * (\% S_{\text{DIAM.}} + \% S_{\text{ALT.}} + S_{\text{CORT.}} + \% S_{\text{FORMA}} + \% S_{\text{PEN.}}) > 62.5$$

Multiplicación clonal

En el periodo comprendido entre 1996 y 2001 se seleccionaron 175 árboles plus en una superficie total de 15.000 hectáreas, además de los clones uruguayos integran el parque de pie madre 6 clones de Huelva. De toda la superficie plantada el 80 % es de *E. globulus* y *E. maidenii* lo que nos da una superficie real de selección de 12000 hectáreas.

Aproximadamente el 60% de los clones en estudio son *E. globulus* y el 40% son *E. maidenii*.

De la actividad surge que se seleccionó un árbol plus cada 68 hectáreas.

Numero de árboles seleccionados por año:

Año	N° de ABOLES
1996	43
1997	38
1998	14
1999	11
2000	39
2001	30
TOTAL	175

Técnica de macropropagación

Las técnicas de macropropagación utilizadas en Uruguay son básicamente las mismas que en España o sea, comienza con la corta de los árboles plus, luego se recogen los brotes de las cepas y se obtienen las primeras estaquillas que serán enraizadas en el invernadero en condiciones controladas de humedad y temperatura, estas estaquillas de brotes de cepa una vez enraizadas darán origen a los primeros pie madres.

Los pie madre se plantan en macetas de 10 litros y se los fertiliza semanalmente con 4:1:1 y se los poda severamente estimulando el desarrollo de brotes jóvenes y vigorosos, características fundamentales para un buen enraizamiento.

En invierno se cubre el parque de pie madre con nylon de modo que no disminuya tanto la producción de estaquillas.

Las estaquillas se cortan dejando dos pares de hojas y reduciendo la superficie foliar a la mitad, evitando así el exceso de transpiración y problemas sanitarios.

Las estaquillas se sumergen en fungicida (benlate al 1 g/l) y se pinchan en tubetes de 120 cm cúbicos con corteza de pino compostada como sustrato y fertilizante Osmocote de liberación lenta de 3/4 meses de duración de composición 15-9-12. El tiempo que tardan en enraizar es aprox 4-5 semanas en verano y 5-7 en invierno, luego pasan a una fase de aclimatación y por último a cancha de crianza.

Las condiciones ambientales del invernadero son controladas en humedad y temperatura, en verano se refrigera mediante el pasaje de aire por una pared saturada en agua y en invierno se calefacciona con una estufa de gas-oil.

Ensayos realizados

Los ensayos realizados hasta el momento son referentes a determinar el porcentaje de enraizamiento para poder descartar aquellos clones con pobre enraizamiento (carácter genético muy difícil de encontrar en *E. globulus*) de la producción comercial y poder determinar cuales podrán continuar la multiplicación en cascada. El otro tipo de ensayos es en lo que tiene que ver con el comportamiento a campo estableciéndose ensayos de ranking, de este modo se puede establecer en corto tiempo cuales son los de mejor comportamiento a campo y que además tengan un porcentaje de enraizamiento mayor del 60% (condición para integrar la producción comercial).

Tabla de enraizamiento máximo:

Clon	% de enraiz. max	Clon	% de enraiz. max.
89-7-BD	95	11-11-JP	38
131-3-JM	85	11-14-FR	38
158-6-PM	81	11-31-FR	34
334-1-AR	80	11-40-JP	33
131-2-JM	79	11-17-FR	29
115-7-PM	79	22-5-RP	24
11-13-FR	71	11-52-RP	20
11-23-FR	70	13-6-FR	13
21-6-JP	54	22-11-FR	8
12-7-FR	47	11-29-FR	4
22-6-RP	46	11-39-FR	3
12-5-FR	42	14-2-LM	0

Los clones que integran actualmente la producción comercial son 6 españoles y 2 uruguayos:

158-6-PM
131-3-JM
131-2-JM
334-1-AR
89-7-BD
115-7-PM
11-23-FR
11-13-FR

Aquellos clones que no han superado el 60% y aquellos que si han superado el 60% de enraizamiento integraran un banco clonal donde estarán representados todos los clones seleccionados para que en un futuro obtener material para cruzamientos, dado que el hecho de no enraizar no significa que no sean genotipos superiores.

Cabe destacar que de los 105 árboles plus de *E. globulus* que se seleccionaron hasta el momento en el Uruguay solo 2 integran la producción comercial (1.9%).

Estrategia de Mejora genética

Premisas

De acuerdo con los antecedentes expuestos y con los resultados obtenidos hasta el momento, la estrategia de mejora de ENCE se basa en las premisas siguientes:

- 1.- Obtener máximas ganancias por unidad de tiempo y al menor coste posible.
- 2.- se utilizará preferentemente la multiplicación clonal como vía de producción.
- 3.- La especie *Eucalyptus globulus* se considera la más apropiada como proveedora de materia prima para la fabricación de pasta de celulosa, por lo que la madera de cualquier otra especie que se considere, deberá tener características técnicas lo más semejante posible a dicha especie.
- 4.- Los caracteres más importantes a tener en cuenta en la selección son:

- ❖ Volumen (altura, diámetro, coeficiente mórfico)
- ❖ Supervivencia
- ❖ Tolerancia a la sequía y plagas condicionadas al estrés hídrico.
- ❖ Densidad básica de la madera .
- ❖ Capacidad de enraizamiento.
- ❖ Capacidad de brotación.
- ❖ Tolerancia al frío.
- ❖ Consumo específico que es una función de la densidad básica, del rendimiento bruto en cocción y del rendimiento en blanqueo.
- ❖ Calidad de las fibras.

5.- Se asume que no existe depresión en la capacidad de enraizamiento ni en el crecimiento de las estaquillas con el aumento de la edad de los pies-madre.

6.- Se asume que no existe correlación genética entre la capacidad de enraizamiento y otros caracteres de importancia económica.

7.- Se considera que puede existir interacción genotipo * ambiente, al menos a nivel individual.

Con dichas premisas se diseña la siguiente estrategia de mejora para *Eucalyptus globulus*.

Definición de las poblaciones

Con objeto de obtener las máximas ganancias en el menor plazo de tiempo posible y al tiempo de disponer de una amplia base genética, el Programa de Mejora Genética define las siguientes Poblaciones:

Población Base: Es la fuente genética de las Poblaciones de Mejora.

Está formada por: a) la población procedente del área de distribución natural de la especie en Australia y Tasmania y representada por los ensayos de procedencias y familias de *Eucalyptus globulus*, con 260 familias pertenecientes a 46 procedencias australianas, establecidas para las distintas zonas de mejora de Huelva y del Norte (Galicia y Cantabria) con un total de 15 parcelas, 8 en el Sur y 7 en el Norte, y con más de 150 individuos por familia. La función primordial de esta población es la de poner a disposición del programa, una amplia representación genética de individuos de *Eucalyptus globulus* para hacer frente a cualquier tipo de cambio de objetivos de la mejora.

Además por: b) las poblaciones de las plantaciones existentes en el sur (Huelva) y en el norte de España (Galicia) así como en Uruguay.

Poblaciones de Mejora: Son las poblaciones que para cada Zona de Mejora suministren el material genético que haga posible obtener ganancias apreciables en cada nueva generación, al tiempo que mantener una amplia base genética que asegure la mejora de forma continua y flexibilidad para cambiar de objetivos y áreas geográficas. Para ello la Población de Mejora estará subdividida en otras dos:

Población Principal de Mejora: Formada por los individuos genéticamente superiores de las familias de la Población de Base, manteniendo su identificación por procedencias tal como más adelante se explica. Con el propósito de cumplir con los objetivos previstos a largo plazo de disponer de una amplia base genética que permita flexibilidad ante posibles eventualidades y proporcione material genético a la Población Élite. Debe por tanto cumplir tres funciones básicas:

1.- Mantener una amplia base genética incorporando, al tiempo cierto grado de mejora en cada generación.

2.- Servir como fuente de recursos genéticos para la Población Élite y para la siguiente generación de la Población Principal de Mejora.

3.- Servir como ensayo de progenies para obtener información genética.

Población Élite: Formada por los 16 individuos genéticamente más sobresalientes de cada generación, que darán lugar, en parte, a los progenitores de la generación siguiente de la Población de Élite, así como a los clones de la Población de Propagación, mediante cruces controlados. Con el fin de cubrir los objetivos a corto plazo, de obtener substanciales ganancias genéticas y proporcionar material selecto a la Población de Propagación. Sus funciones básicas se pueden resumir en dos:

1.- Suministrar material mejorado a la Población de Propagación, de forma continua, que permita la renovación de dicha población cada década.

2.- Evaluar genéticamente los progenitores y sus progenies.

Población de Propagación: Formada por los 15 clones que, procedentes de las poblaciones anteriores, presenten el conjunto de características requeridas más sobresalientes para suministrar planta para las repoblaciones comerciales. Esta población estará físicamente representada por los pies-madres que suministren las estaquillas en los viveros de multiplicación vegetativa.

Población de Producción: Conjunto de masas forestales que están creadas y en el futuro lo sean con plantas procedentes de la Población de Propagación.

