

LA MEJORA FORESTAL A LA LUZ DE LA MEJORA DE *EUCALYPTUS GLOBULUS*

Gabriel Toval Hernández

Illa de Sálvora 5. 36005-PONTEVEDRA (España). Correo electrónico: gtoval@gmail.com

Resumen

Un Plan de Mejora Forestal debe incluir necesaria e indisolublemente dos Programas, el de Mejora Genética y el de Mejora Selvícola. La Mejora Forestal debe entenderse como una inversión dentro de una actividad económica y por tanto, se tiene que proyectar sobre una especie y una región que haga posible rentabilizarla por el volumen global de mejora que se consiga. Con dicho fin, deberá tenerse en cuenta a la industria que transforma los productos forestales, la cual hoy en día compete en una economía globalizada en mercados internacionales con los mismos productos que son fabricados en otros países en condiciones más favorables de costes. El enfoque de cualquier Plan debe realizarse desde la perspectiva de los caracteres que influyen en la calidad tecnológica de la madera, ya que los costes de su transformación dependen directamente de ella. La experiencia obtenida con *E. globulus* determina que con la mejora selvícola se obtienen ganancias del mismo orden que con la mejora genética, llegando a ser acumulativas, aunque bien entendido que es necesario disponer de una base genética apropiada para que esto se cumpla.

Palabras clave: *Estrategia de mejora, Factores limitantes, Zonas de mejora, Cruzamientos*

INTRODUCCIÓN

Un árbol maduro es un buen ejemplo de la interacción entre las características hereditarias de un organismo y su ambiente (BURNS & HONKALA, 1990). El minúsculo embrión de la semilla de *Eucalyptus globulus* contiene el potencial para convertirse en una de las plantas más corpulentas que existen, pero si el ambiente no le es favorable este potencial no se puede expresar. Esta evidencia demuestra la necesidad de conocer los dos factores de la interacción, es decir, el genético y el ambiental, así como la interacción misma. De tal forma, que a mi entender, un Plan de Mejora Forestal debe incluir necesaria e indisolublemente dos Programas, el de Mejora Genética y el de Mejora Selvícola.

El Plan debe tener unos objetivos claros basados en la aplicación de la madera o de otros productos forestales en la industria transformadora y en el conocimiento de los factores limitantes de la región sobre la que se quiere proyectar la mejora.

Los resultados obtenidos con el Plan de Mejora de *Eucalyptus globulus*, que engloba tres localizaciones geográficas diferentes, noroeste y suroeste de la Península Ibérica y Uruguay, confirman lo anterior, pero además, teniendo en cuenta su rápido crecimiento, turnos cortos, aplicación industrial de su madera, respuesta clara a los tratamientos, amplia variación de sus caracteres, capacidad de reproducción vegetativa, etc., etc., entendemos que debería ser adoptada como especie modelo para diseñar estrategias de mejora de otras especies forestales.

FUNDAMENTOS DE LA ESTRATEGIA DE MEJORA

Fundamentos económicos

La mejora forestal es una actividad económica que requiere bastantes recursos humanos altamente cualificados y gastos de funcionamiento relativamente elevados. Como toda inversión, antes de ser acometida debe ser convenientemente estudiada y planificada para asegurar que los retornos generados justifiquen su rentabilidad.

En algunos casos la industria forestal llega a lograr un valor añadido hasta veinte veces el valor en pie de la madera (TOVAL, 1992), por tanto la mejora, para asegurar las inversiones de forma sostenida durante décadas y la rentabilidad de las mismas, debe tener presente en su estrategia y objetivos a la industria y sus necesidades, ya que desde esta perspectiva no sólo los márgenes económicos serán mayores sino que además los efectos beneficiosos para los selvícultores se verán incrementados.

La competencia en los negocios se plantea hoy en día de forma global. La industria forestal compite con sus productos en mercados en los que rigen precios internacionales con los fabricados en otros países con condiciones más favorables de costes. En la figura 1 se representa el coste de la madera para fabricar una tonelada de pasta de celulosa en diferentes países, donde se puede ver que en los países europeos, productores de gran tradición, se supera el coste promedio global ponderado. En España, en concreto, este coste significa más del 50% de los costes totales

de transformación y más de tres veces el coste de la madera de Brasil, competidor de referencia para las pastas de eucaliptos. Los competidores utilizan estos mismos argumentos para demostrar a los clientes que los proveedores con futuro son ellos (CLAUDIO DA SILVA *et al.*, 2005).

Si realmente la mejora forestal puede mejorar esta situación y así lo entendiera el sector, se convertiría en una actividad estratégica para mantener o mejorar el nivel competitivo del mismo.

Fundamentos forestales

Los costos necesarios para producir la madera en pie, así como los de su aprovechamiento son una parte importante de los costos de la madera puesta en los parques de la industria transformadora. Entre los primeros hay que contabilizar el coste del suelo, los costes de forestación, los de mantenimiento a lo largo del turno, los gastos de gestión, los gastos de mejora y los gastos generales, los cuales actualizados al momento del aprovechamiento al interés que se estime oportuno, componen el costo de producción de la madera.

El costo de producción de un metro cúbico de madera en pie de *E. globulus* es función del crecimiento medio anual de la masa. Ajustándose para un ejemplo concreto a la ecuación $y = 44,559e^{-0,0456x}$, siendo y el costo en euros.m⁻³ y x el crecimiento medio anual en m³.ha⁻¹.año⁻¹. De donde se deduce que, a igualdad de inversión, los costos de la madera disminuyen a medida que aumenta el crecimiento, tanto que es posible reducir los costos un 50% si

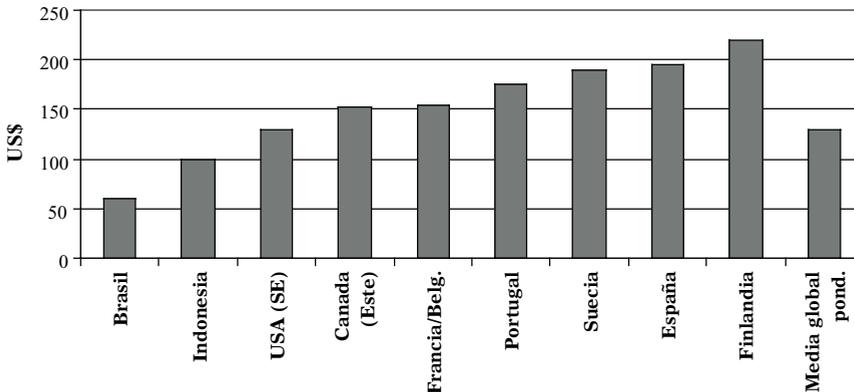


Figura 1. Coste de la madera para producir una tonelada de pasta en diferentes países

se consigue incrementar el crecimiento al doble, o de otra forma, por cada $1 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ de aumento del crecimiento medio anual los costos disminuyen en un 6%.

Los costos de aprovechamiento, que incluyen, corta, desrame, tronzado, apilado, desembosque y carga en camión, también evolucionan de forma inversa a las existencias y en definitiva al crecimiento medio anual de la masa, ajustándose, para un ejemplo concreto, a la ecuación $y = 29,573e^{-0,0044x}$, siendo y el costo en euros. m^3 y x las existencias en $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. De donde se deduce que los costos disminuyen a medida que aumentan las existencias o lo que es igual con el crecimiento, tanto que es posible reducir los costos un 48% si se consiguen incrementar las existencias por hectárea al doble, o de otra forma, por cada $1 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ de incremento del crecimiento medio anual los costos de aprovechamiento y carga en camión disminuyen en un 4%.

Fundamentos de transporte

El coste de transporte de un metro cúbico de madera desde el monte hasta el parque de la industria de transformación es función de la distancia y se ajusta a una ecuación lineal, $y = 5,0047 + 0,062x$, donde y es el coste en euros por m^3 sin corteza y x la distancia de transporte en km, con lo que queda cerrado el capítulo de los componentes del coste del metro cúbico de madera puesto en fábrica.

Fundamentos tecnológicos

Los costes de producción del metro cúbico de madera en pie, los de su aprovechamiento y los asociados al transporte son independientes de la especie y como hemos visto, los dos primeros sólo dependen del crecimiento de la masa y el tercero de la distancia que separa el monte del parque de madera de la fábrica.

La superioridad de una especie sobre otra sólo se pone de manifiesto cuando se tiene en cuenta el proceso de transformación de la madera. En el proceso que nos ocupa, es decir, el de transformación de la madera en pasta de celulosa mediante cocción kraft y blanqueo ECF, para el cálculo del coste de la madera para obtener una tonelada de pasta blanqueada seca al aire (tAD), hay que tener en cuenta el Consumo Específico de Madera (CEM), que se expresa

como los metros cúbicos que son necesarios para obtener dicha tonelada (TOVAL, 2002).

El consumo específico de madera es función de dos variables, la densidad básica y el rendimiento bruto en cocción.

Los valores medios de consumo específico de madera para *E. globulus* usado en la Península Ibérica y *E. grandis* en Brasil son 2,96 y 3,98 $\text{m}^3 \cdot \text{tAD}^{-1}$, respectivamente. Siendo, por tanto, para *E. globulus* un 25% inferior que para *E. grandis*, lo que significa un ahorro equivalente en coste de madera, a igualdad de crecimiento, para fabricar una tonelada de pasta, o de otra manera, que para igualar este coste es necesario que *E. grandis* crezca más de un 50% que *E. globulus*.

Como se puede comprender, esta no es la única diferencia importante que a nivel económico ofrece el empleo de una especie u otra, ya que la capacidad de las instalaciones industriales, necesitarán ser ampliadas si se utiliza *E. grandis*, con el consiguiente coste añadido de amortización, o si las instalaciones no se varían, por una mayor repercusión de los costes fijos por tonelada de pasta fabricada (GREAVES & BORRALHO, 1996). Lo que en definitiva, si se quiere enjugar todo ello con el coste de la madera, las exigencias en crecimiento supondrían valores inalcanzables en la práctica.

Fundamentos selvícolas: factores limitantes

La selvicultura es el manejo científico de los bosques para la producción continua de bienes y servicios (DANIEL et al., 1982). Es decir, conceptualmente la selvicultura comprende el estudio de las agrupaciones vegetales, sus clases naturales de edad, el grado de solidaridad de los individuos, estado y evolución sinicial, espesura, la acción del medio sobre los seres vivientes y la de estos sobre el medio, el hábitat, la estación, temperamento, porte y enraizamiento, longevidad y modos de reproducción de las especies, así como la masa principal y accesoria, formas fundamentales de masas, método de beneficio, tratamientos y métodos de corta, turno y posibilidad (RAMOS, 1979). Lo que en conjunto o por separado son fundamentos esenciales para la mejora forestal de cualquier especie y con enormes repercusiones económicas.

Para el estudio de la calidad de estación y la relación de la especie con los parámetros que la

definen, entendemos que hay que basarlo en el concepto de factor limitante (ODUM, 1972), el cual surge de la combinación de la ley del mínimo y del concepto de los límites de tolerancia, resultando que los factores que rigen a los organismos son: 1) la cantidad y variabilidad de los materiales de los que existe un requisito mínimo y por los factores físicos que son críticos y 2) por los límites de tolerancia de los organismos a éstos y otros componentes del medio.

La utilidad principal del concepto de los factores limitantes reside en el hecho de que proporciona una herramienta para el estudio de situaciones complejas. Por ello, deberá prestarse atención a aquellos factores que son funcionalmente significativos para el organismo en algún momento de su ciclo vital, fijándonos los siguientes objetivos: en primer lugar, descubriendo por medio de observación, análisis y experimentación, qué factores son funcionalmente significativos y en segundo, averiguar cómo estos factores producen sus efectos sobre el individuo, la población o la comunidad. Además es una forma de mejora continua, ya que una vez que se consigue atajar las consecuencias de los primeros, al menos hasta un estado económicamente admisible, surgen otros que muestran el camino a seguir.

Para *E. globulus*, el frío, el encharcamiento, la sequía y el tipo de suelo, son factores que comprometen la existencia de la especie, mientras que la fertilidad, el perfil edáfico, la litología, otras condiciones climáticas, la densidad de plantación, el espaciamiento, el turno, la competencia, etc., etc., limitan su crecimiento y la calidad de los productos.

Los factores limitantes, por un lado, son la base para la zonificación del área de actuación del Plan de Mejora y por otro, sirven para definir los objetivos del Programa de Mejora Selvícola y las actividades del mismo.

Fundamentos genéticos

El conocimiento de cómo varían los caracteres y dónde reside dicha variación, a nivel de especies, procedencias, familias e individuos, es esencial para el progreso continuo y seguro de la mejora genética (COTTERILL & MACRAE, 1997).

En este contexto, el conocimiento de la variación genética en *E. globulus*, poniendo de

manifiesto que la influencia de los efectos no aditivos son tanto o más importante que los aditivos (TOVAL et al., 2004), no sólo ha servido para confirmar la importancia de la vía clonal como método de mejora (PARDOS, 1988), sino que además, ha contribuido a que muchos planes de mejora con otras especies forestales consideren dichos efectos, convirtiéndose por ello, algunas especies de eucaliptos, en modelos de referencia.

La mayor o menor heredabilidad de cada uno de los caracteres y la influencia de los efectos aditivos y no aditivos, deben servir para determinar cuáles son los rasgos en los que se debe trabajar y definir la estrategia del Programa de Mejora Genética.

ESTRATEGIA DE MEJORA

Zonas de mejora

En primer lugar se identificaron los principales factores limitantes que afectan a *E. globulus* en cada una de las regiones de actuación. Así, en el SO de la Península Ibérica, la sequía meteorológica, la litología del suelo (arenales costeros, pizarras, riolitas y grawaca) y *Phoracantha semipunctata* Fabr., en el N peninsular, el frío, la litología (granitos y pizarras), *Micosphaerella* sp. y *Gonipterus scutellatus* Gyll., y en Uruguay, la hidromorfía edáfica, el frío, las enfermedades y *G. scutellatus*, fueron los factores limitantes que por sus efectos se consideraron como los más importantes.

Con ayuda de la información litológica disponible y con una metodología propia para el clima (TOVAL Y VEGA, 1982), se cuantificaron y clasificaron los factores limitantes con el fin de delimitar las Zonas de Mejora, las cuales son recintos territoriales homogéneos que se diferencian entre sí porque se produzca alguna diferencia cualitativa por el uso de diferentes materiales de reproducción o tratamientos selvícolas o culturales. Dentro de cada una de las Zonas de Mejora pueden existir diferencias cuantitativas debido al gradiente de variación de uno o más factores que la definen. Dichos estudios sirven, al tiempo, para establecer homologías entre las regiones de actuación del Plan y el área natural del género *Eucalyptus*.

Los factores limitantes comunes a una región no sirven para definir Zonas de Mejora, aunque son tenidos en cuenta para proyectar actividades de mejora. La importancia de las Zonas de Mejora es múltiple, por un lado, sirven para proyectar sobre el territorio los ensayos genéticos y selvícolas, de resulta de los cuales pueden deducirse las interacciones cualitativas que definen los límites de las mismas, por lo que el proceso es interactivo, pudiendo que los recintos varíen, total o parcialmente, con el conocimiento cada vez más perfecto de los factores limitantes o porque se consideren otros nuevos. Por otro lado, conocida la superficie de actuación se puede valorar la conveniencia o no de acometerla y estimar los resultados globales.

Variación genética

Los estudios de variación genética se empezaron desde varios puntos de vista, por un lado, mediante la selección masal de individuos sobresalientes con objeto de su clonación posterior y obtener una parte de la Población Base para la mejora de la especie, aprovechando la variabilidad existente en las masas de *E. globulus* en cada una de las regiones de actividad forestal y por otro, con el establecimiento de ensayos de especies, procedencias, familias e individuos para conocer dicha variabilidad y dónde reside.

De la selección masal se obtuvieron materiales de reproducción con un alto nivel de mejora, entre otros el clon Anselmo (334-1-AR), que no sólo por su capacidad de enraizamiento, sino por sus características de adaptación a la sequía, al ataque de *P. semipunctata* y crecimiento individual, es considerado como patrón para la evaluación de otros materiales de reproducción mejorados (SORIA & BORRALHO, 1997).

Los estudios de variación genética de *E. globulus* incluyen 10 procedencias, 45 lotes de semilla y 260 familias en 15 sitios de ensayos en la Península Ibérica y 3 en Uruguay, aunque estos últimos más limitados en cuanto al número de procedencias ensayadas, incluyendo como referencias razas locales y en algunos casos dos clones, entre ellos el clon Anselmo.

Los ensayos de procedencias en las regiones con mayores limitaciones para *E. globulus* se ampliaron a otras especies, en el SO de la Península Ibérica y Uruguay por estar ambas

regiones fuera del rango geográfico de distribución natural de la especie y por la extremada sequía en la primera y la hidromorfía edáfica en la segunda, se establecieron ensayos de procedencias de *E. maidenii*, *E. bicostata*, *E. pseudoglobulus*, incluyendo *E. globulus*, razas locales y los clones de referencia de *E. globulus*, completadas en Uruguay con *E. nitens*, *E. dunnii* y *E. benthamii*.

En el N peninsular y con motivo del factor limitante más reconocido, el frío, se ensayan procedencias de otras especies de *Eucalyptus* más tolerantes a dicho factor, *E. badjensis*, *E. bicostata*, *E. cypellocarpa*, *E. delegatensis*, *E. fastigata*, *E. nitens*, *E. obliqua*, *E. smithii* y *E. viminalis* (CLARK & HICKS, 2003).

La conclusión general es que existe suficiente variación en *E. globulus* para la mayor parte de los caracteres de interés (TOVAL et al., 2004), y que su superioridad en cuanto a consumo específico de madera para la industria de pasta de celulosa es insuperable para el resto de las especies. Por otra parte, la superioridad puesta de manifiesto por los clones procedentes de la primera selección masal en las masas de la provincia de Huelva (CAÑAS et al., 1994; SORIA & BORRALHO, 1997), definen las dos líneas estratégicas del Programa de Mejora Genética, la especie principal, sin ningún género de dudas, *Eucalyptus globulus* y la vía clonal.

Clones: reproducción vegetativa

Los importantes logros conseguidos con la clonación de los árboles procedentes de la selección masal en las masas de *E. globulus* de la provincia de Huelva y la confirmación posterior de la importancia de los efectos no aditivos, hace que los clones y por tanto la reproducción vegetativa sea un factor estratégico del Plan de Mejora.

Las ganancias obtenidas en dos Zonas de Mejora de la Provincia de Huelva con el clon Anselmo respecto al uso de semilla comercial es de promedio un 51% en crecimiento medio anual (TOVAL, 2004).

Sin duda, uno de los logros fundamentales del Plan ha sido la puesta a punto de la técnica de estaquillado para la especie, teniendo en cuenta sobre todo su escasa capacidad de enraizamiento (CAÑAS, 1992; CAÑAS et al., 1994; SORIA, 2003).

Por otra parte, se ha estudiado la variabilidad genética de la especie en el rasgo enraizamiento (CAÑAS *et al.*, 2004), determinando que Southern Furneaux y Southern Gippsland, destacan sobre el resto de las subrazas, aunque ésta última sólo está representada por una familia. Como en otros caracteres, existen individuos de cualquiera de las subrazas que alcanzan porcentajes de enraizamiento tan elevados como los de la mejor, por lo que es una razón más para el desarrollo de la vía clonal como estrategia de mejora.

Es por ello que la micropropagación ha sido una de las líneas estratégicas del Programa, no sólo por poder incluir más individuos superiores a la Población de Propagación, sino por intentar rebajar los costes de producción de planta clonal. La embriogénesis somática (OLLER *et al.*, 2006), es la técnica que actualmente estamos desarrollando y que puede elevar las tasas de producción de un mismo clon a niveles competitivos, además de que sería posible movilizar directamente ejemplares adultos seleccionados.

Selvicultura clonal

La disponibilidad de clones a escala operativa ha permitido avanzar en la mejora de las técnicas selvícolas, ya que al disminuir la variabilidad individual, propia de las plantas de semilla, se ponen de manifiesto de forma estadísticamente significativa las diferencias entre tratamientos. De tal manera que el potencial productivo de los clones se incrementa de manera substancial cuando las técnicas selvícolas son las apropiadas.

Un somero repaso a algunos de los resultados obtenidos, pone de manifiesto las posibilidades de la mejora selvícola, puesto que los mismos son acumulables a la mejora genética. Todas las operaciones son susceptibles de mejora, por ejemplo, la preparación del suelo, las técnicas de implantación, las fertilizaciones, inicial y de mantenimiento, el control biológico de plagas, etc.

Así los resultados de preparación de suelos arenosos en la provincia de Huelva muestran que a los 3 años de edad los tratamientos que implican un subsolado profundo, incrementan el volumen en un 127%, con respecto a los tratamientos más superficiales (RUIZ *et al.*, 2001a).

Asimismo los resultados obtenidos con la fertilización inicial en el noroeste español muestran

ganancias comprendidas entre el 58 y el 135% en crecimiento en altura al primer año con respecto al testigo sin fertilizar, diferencia que se sigue manifestando al tercer año, que aunque en términos relativos baja al 50 y 65%, respectivamente, la diferencia absoluta en altura media total varía entre los 2 y los 3 m. (BASURCO *et al.*, 2001)

La fertilización de mantenimiento o de mediana edad es también una práctica recomendable tal como se ha comprobado en distintas estaciones forestales de la provincia de Huelva (RUIZ *et al.*, 2001b). De los resultados de este trabajo, se deduce que con la aplicación de una dosis de fertilización de mantenimiento óptima, se alcanzan ganancias en volumen al final de turno que oscilan del 8,7 al 14,6%, dependiendo de la estación forestal. El nitrógeno y el potasio son los elementos que manifiestan mayor respuesta en el crecimiento acumulado de los árboles a final de turno, señalándose el fósforo como indiferente.

Los tratamientos preventivos frente a los ataques de *P. semipunctata* en las masas del suroeste peninsular han mostrado su efectividad, resultan indispensables para mantener un elevado vigor de la masa aquellos que contribuyen a disminuir la caída del potencial hídrico en la planta, acompañado de la eliminación periódica de los árboles muertos, condición que otorga a los árboles la facultad de no ser elegidos por las hembras de *P. semipunctata* como hospederos para su prole (FERNÁNDEZ *et al.*, 2004). Puesto que los adultos sólo localizan sus puestas sobre la corteza de árboles debilitados o sometidos a fuerte estrés, condición que cumplen los pies recién cortados, es muy recomendable el descortezado inmediato de la madera apeada como medida preventiva de control de la población.

A estas medidas se suma, desde hace pocos años, las posibilidades del control biológico de la plaga a través de su parasitoide específico oófago *Avetianella longoi* Sis. (*Hymenoptera: Encyrtidae*), una avispa de origen australiano. A partir de su descubrimiento se han llevado a cabo numerosos trabajos en distintas partes del mundo (HANKS *et al.*, 1995; KRISTEN & TRIBE, 1995; MANSILLA *et al.*, 1999; SERRAO *et al.*, 1995), certificando su elevado potencial como controlador de la plaga. El desarrollo de la técnica para su producción masiva permite la introducción y expansión a través de sueltas masivas

en localizaciones donde aún no se encuentra presente o necesita ser reforzada. En la provincia de Huelva se vienen realizando trabajos de dispersión y refuerzo anual de las poblaciones de *A. longoi* desde 1999. El seguimiento periódico de las tasas de parasitismo registradas en esta región muestra niveles de control de hasta el 85% durante la estación de mayor virulencia de la plaga (BORRAJO *et al.*, 2006; RUIZ, 2003).

Asimismo para aquellas plantaciones con ataques de *G. scutellatus* (Coleoptera: Curculionidae), localizadas principalmente en el Norte peninsular, el control biológico realizado por *Anaphes nitens* Hub. (Hymenoptera: Mymaridae) se muestra muy efectivo (MANSILLA, 1995).

Puesta en práctica de la estrategia del plan de mejora

Distinguimos tres Poblaciones de Mejora, la Población Base que es la fuente genética de las Poblaciones de Mejora y está formada por: a) las 260 familias y 46 procedencias de los ensayos de *E. globulus* establecidos en el Norte y SO de la Península Ibérica y b) las masas comerciales existentes tanto en España como en Uruguay.

La Población Principal formada por 4 sublíneas para el Norte y Sur de la Península Ibérica y 1 para Uruguay. La sublínea uruguaya y una de las cuatro del Norte y Sur peninsulares se corresponden con selecciones realizadas sobre las masas comerciales de cada localidad. Las restantes 3 sublíneas ibéricas proceden de la selección efectuadas dentro de las parcelas de la colección de procedencias australianas, diferenciadas geográficamente, a saber, Victoria, Islas del Estrecho de Bass y Tasmania, representadas por 100 individuos seleccionados con ciertas restricciones en cuanto a su pertenencia familiar, para mantener un amplio espectro genético. Con estos individuos y de forma independiente para cada sublínea se efectúa un policruzamiento, de tal forma que se mantiene la identificación materna y los padres son un *pool* de polen de los mismos árboles.

La Población Élite está compuesta por los siguientes Grupos de Caracteres de Mejora con los siguientes valores objetivos:

- Grupo de Mejora de Enraizamiento (tasa > 90%)
- Grupo de Mejora de Resistencia a Sequía (supervivencia > 95%)

- Grupo de Mejora de Resistencia a *P. semi-punctata* (humedad de la corteza en verano > 102%)
- Grupo de Mejora de Resistencia a Hidromorfía (supervivencia > 95%)
- Grupo de Mejora de Resistencia a Frío (supervivencia > 95%)
- Grupo de Mejora de Resistencia a *G. scutellatus* (Nivel de defoliación < 10%)
- Grupo de Mejora de Resistencia a *Mycosphaerella* (Nivel de ataque < 5%)
- Grupo de Mejora de Densidad Básica (> 550 kg.m⁻³ a los 4 años)
- Grupo de Mejora de Rendimiento Bruto en Cocción (> 55% a los 4 años)
- Grupo de Mejora de Crecimiento (> 30 dm³ de volumen a los 4 años)
- Grupo de Mejora de Capacidad de Rebrote (> 95% de la masa después de la corta)
- Grupo de Mejora de Tolerancia a la Deficiencia en Boro (> 95% de la masa sin síntomas de deficiencia en Boro)

En principio, cada uno de los Grupos de Mejora se compone de 4 ó 5 individuos, equidistantes genéticamente entre ellos según los dendrogramas de afinidad realizados con los marcadores moleculares habituales, de tal manera que cruzándolos entre sí, nos sirven para alcanzar los niveles exigidos al Grupo y para evaluar sus CCG y CCE y valores de mejora.

Con cada grupo de 100 árboles seleccionados por sublínea de la Población Principal se realiza un policruzamiento y se obtiene semilla de polinización abierta que permite obtener otras tantas familias de semifatrias. Posteriormente se establece en cada área de actuación un ensayo de progenies por sublínea. El diseño es de bloques completos aleatorizados con parcelas mono-árbol y 40 bloques. Por tanto, si se dispone de 100 familias, el ensayo en total se compone de 4.000 plantas. Se deben utilizar altas densidades de plantación, entre 1.500 y 2.000 pies.ha⁻¹, para promover una rápida competencia entre árboles y facilitar la posterior selección. A la edad de 3 años se realiza la primera evaluación de crecimiento y supervivencia y se obtienen las primeras estimas de valores de mejora de todos los árboles y familias para estos rasgos. Alrededor del 50% de los árboles se eliminan en esta primera fase, limitando el número de familias elimina-

das al 50% del total. A los 5 años de edad se evalúan todos los caracteres de interés en cada zona y se hace la selección definitiva. El 80% de los árboles que llegan al 5º año son eliminados, quedando en pie solo el 10% de los árboles plantados -400- que son los que aportan polen a la nueva generación. De ellos los 80 o 100 mejores serán las madres de las que se recoge la semilla para constituir la siguiente generación. Se mantiene la restricción de no seleccionar más de 3 árboles por familia. En función de las estimas de los valores mejorantes de los distintos rasgos, los árboles pueden incorporarse a la Población Elite. Para poder conectar estas estimas con las de la Población Elite debe incluirse siempre una familia representante de ésta en los ensayos, es decir, el clon Anselmo (334-1-AR), de forma que participe siempre en los policruzamientos.

Una vez constituidos los diferentes Grupos de Mejora de la Población Elite con 4 árboles, provenientes de los programas locales de selección masal o de la Población Principal de Mejora, se realizan dos tipos de cruces en cada una de las zonas de actuación: a) entre distintas subpoblaciones para la obtención de nuevos clones y b) dentro de la misma subpoblación.

El objetivo principal de los primeros cruces es la obtención de clones para las poblaciones de producción, buscando la complementariedad de los rasgos. El diseño de cruzamientos será tipo cluster, de forma que los padres dominantes serán los cuatro o cinco árboles enraizadores de la subpoblación de Huelva, encargados de proporcionar los genes dominantes de enraizamiento a las progenies obtenidas. Los árboles de las otras subpoblaciones se cruzan con todos o algunos de los dominantes enraizadores, buscando maximizar su distancia genética y poder aprovechar al máximo la heterosis.

Los mejores brinzales en capacidad de enraizamiento de cada familia, que deben superar el 60% de capacidad de enraizamiento -media anual- son multiplicados para su testado en campo. En cada área de actuación se testarán en al menos 5 sitios de ensayo, con un diseño en cada sitio de bloques incompletos -alpha lattice- en parcelas mono-árbol, con 10 réplicas por clon.

El objetivo de los segundos cruces es la mejora progresiva en los rasgos asignados a cada subpoblación. Al contrario que en el caso

anterior, aquí el progreso es generacional. El tipo de cruzamiento es el de medio dialelo, de forma que se cruzan entre sí todos los individuos de la subpoblación. Este diseño permite obtener buenas estimas tanto de la capacidad de combinación general como específica y maximizar la variabilidad para las futuras selecciones. El número de familias generadas es de $n(n-1)/2$, siendo n el número de individuos de la subpoblación. Se generan alrededor de 100 progenies, que es una cantidad manejable.

Se establecen 5 ensayos de progenie, con diseño de 20 bloques completos aleatorizados y parcelas elementales mono-árbol, de forma que si se ensayan 100 familias, cada bloque cuenta de 100 árboles y el ensayo de 2.000 plantas en total. Al igual que entre subpoblaciones, entre los 3 y 5 años de edad se realiza la evaluación de los caracteres a mejorar, mediante metodología bayesiana, vía muestreo de Gibbs, de todos los individuos ensayados, clones y brinzales.

En base a las estimas de los valores de mejora en los rasgos de interés de cada subpoblación se seleccionan los árboles que compondrán los nuevos individuos de los diferentes Grupos de Caracteres de Mejora. Estos podrán ser también los procedentes de los clones producidos en los cruzamientos tipo cluster, según sus valores reproductivos. La conexión entre ensayos está garantizada por la coincidencia de una de las subpoblaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- BASURCO, F.; NORIEGA, M.; ROMERAL, L. Y TOVAL, G.; 2001. Ensayos de fertilización localizada en masas clonales de *Eucalyptus globulus* en el momento de la plantación en la provincia de La Coruña. *En: S.E.C.F.-Junta de Andalucía (eds.), Actas del III Congreso Forestal Español II: 671-675.* Gráficas Coria. Sevilla.
- BORRAJO, P.; MANTECAS, C. Y RUIZ, F.; 2006. Seguimiento del control biológico de *Avetianella longoi* Sisc. sobre *Phoracantha semipunctata* Fab. en la provincia de Huelva, España entre los años 2002 y 2005. *En: Actas del II Simposio Iberoamericano de Eucalyptus globulus.* Universidad de Vigo. Pontevedra

- BURNS, R.M. & HONKALA, B.H.; 1990. *Silvics of North America*. Vol. 2 *Harwoods*. Agriculture Handbook 654. Forest Service. USDA. Washington, DC.
- CAÑAS, I.; 1992. Multiplicación y evaluación clonal de árboles sobresalientes de *Eucalyptus globulus* en el S.O. de España. *Montes* 28: 67-69.
- CAÑAS, I.; SORIA, F. Y TOVAL, G.; 1994. Producción clonal de *Eucalyptus globulus* en la provincia de Huelva. *Montes* 37: 41-44.
- CAÑAS, I.; SORIA, F.; TOVAL, G.; ASTORGA, R. & LOPEZ, G.; 2004. Genetic parameters for rooting trait in *Eucalyptus globulus* Labill. *In: Proceedings IUFRO Conf. Aveiro Eucalyptus in a changing world*. Aveiro.
- CLARK, N.B. & HICKS, C.C.; 2003. Evaluation of the pulpwood quality of 13 lesser-known eucalypt species. *Appita J.* 56(1).
- CLAUDIO-DA-SILVA JR., E.; DEMUNER, B. & REZENDE, G.; ARACRUZ CELULOSA, S.A.; 2005. Creating improved product quality through understanding of fiber genetics and environmental impacts. *In: 8th Pira International Conference. Fiber Engineering, The Impact Forum*. Barcelona.
- COTTERILL, P. & MACRAE, S.; 1997. Improving *Eucalyptus* pulp and paper quality using genetic selection and good organization. *Tappi J.* 80(6).
- DANIEL, T.W.; HELMS, J.A. & BAKER, F.S.; 1982. *Principios de Silvicultura*. McGraw-Hill. México.
- FERNÁNDEZ, M.; ARIAS, M.T.; PARDOS, J.A.; RUIZ, F Y SORIA, F.; 2004. The *Eucalyptus globulus* clone resistance to *Phoracantha semipunctata* depends on its response to water stress. *In: Proceedings 10th MEDECOS Conference*. Rhodes.
- GREAVES, B.L.; & BORRALHO, N.M.G.; 1996. The influence of basic density and pulp yield on the cost of eucalypt kraft pulping: a theoretical model for tree breeding. *Appita J.* 49(2).
- HANKS, L.; GOUL, J.; PAINE, T.; MILLAR, J. & WANG, Q.; 1995. Biology and host relations of *Avetianella longoi* (Hymenoptera: Encyrtidae) an egg parasitoid of the eucalyptus longhorned borer (Coleoptera: Cerambycidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 88(5): 666-671.
- KRISTEN, F. & TRIBE, G.; 1995. The biological control of *Phoracantha semipunctata* and *Phoracantha recurva* (Coleoptera: Cerambycidae) in South Africa. *In: IUFRO XX World Congress*, Poster 156. Tampere. Finland.
- MANSILLA, J.P.; 1995. Revisión 1994 del área de dispersión de *Gonipterus scutellatus* Gyll. (Col. Curculionidae) en Galicia. *Bol. San. Veg. Plagas* 21: 277-280.
- MANSILLA, J.P.; PEREZ, R.; RUIZ, F. Y SALINERO, M.C.; 1999. *Avetianella longoi* Siscaro, parásito de huevos de *Phoracantha semipunctata* F.: Primera cita de su presencia en España y bases para la puesta en práctica del control biológico del xilófago. *Bol. San. Veg. Plagas* 25: 515-522.
- ODUM, E.P.; 1972. *Ecología*. 3^a Edición. Ed. Interamericana. México.
- OLLER, J.; CELESTINO, C.; LÓPEZ-VELA, D.; ALEGRE, J.; TOVAL, G. & TORIBIO, M.; 2006. Repetitive induction of somatic embryogenesis in mature zygotic embryos of *Eucalyptus globulus* Labill. *En: 2^o Simposio Iberoamericano de Eucalyptus globulus*. Pontevedra.
- PARDOS, J.A.; 1988. La selvicultura clonal. *En: Mejora genética de especies arbóreas forestales*. FUCOVASA.
- RAMOS, J.L.; 1979. *Selvicultura*. Sección de Publicaciones. E.T.S. de Ingenieros de Montes. Madrid.
- RUIZ, F.; SORIA, F. Y TOVAL, G.; 2001 a. Ensayos de preparación del terreno para el establecimiento de masas clonales de *Eucalyptus globulus* (Labill.) en distintos suelos de la provincia de Huelva. *In: IUFRO Conference. The Eucalypts of the future* CD-Rom. Valdivia, Chile.
- RUIZ, F.; SORIA, F.; TOVAL, G. Y PARDO, M.; 2001 b. Ensayos factoriales de fertilización en masas de *Eucalyptus globulus* (Labill.) de mediana edad. Análisis de rentabilidad de inversión por fertilización. *In: IUFRO Conference. The Eucalypts of the future*, CD-Rom. Valdivia, Chile.
- RUIZ, F.; 2003. El control biológico de plagas en masas de *Eucalyptus globulus*. *En: Proceedings I Simposio Iberoamericano de Eucalyptus globulus*, CD-Rom. Montevideo.
- SERRAO, M.; BONIFACIO, L. & CAMPOS, J.; 1995. Production of cerambycid eggs for mass re-

- ring of parasitoids. In: *VIII OILB Workshop on Quality Control of Mass Reared Arthropods*. Sta. Barbara, California.
- SORIA, F. & BORRALHO, N.M.G.; 1997. The genetics of resistance to *Phoracantha semipunctata* attack in *Eucalyptus globulus* in Spain. *Silvae Genet.* 46: 6.
- SORIA, F.; 2003. Mejora genética de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* en áreas marginales: La experiencia clonal de ENCE. In: *Proc. I Simposio Iberoamericano de Eucalyptus globulus*, CD-Rom. Montevideo.
- TOVAL, G. Y VEGA, G.; 1982. *Metodología para la cuantificación y clasificación del clima. Primera aproximación de su aplicación en Galicia (España)*. Reunión Técnica Internacional Principios de Introducción de Especies INIA/IUFRO. Lourizán.
- TOVAL, G.; 1992. *Las enseñanzas forestales y el sector forestal en Galicia*. Universidad de Vigo. E.U. de Ingeniería Técnica de Industrias Forestales. Pontevedra.
- TOVAL, G.; 2002. Calidad de la Madera de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* como materia prima para la industria pastero-papepera. En: *I Simposio Iberoamericano de E. globulus*. Montevideo.
- TOVAL, G.; SORIA, F.; RUIZ, F.; CAÑAS, I.; BASURCO, F.; ALGORTA, G.; ASTORGA, R.; OLLER, J.; NORIEGA, M.; GONZÁLEZ, A.; ROMERAL, L.; CARRAU, D. Y ALZA, P.; 2004. *Plan ENCE de Innovación y Mejora Forestal (2004-2010). Vol. I Programa de Mejora Genética*. Documento de uso interno.
- TOVAL, G.; 2004. Selvicultura clonal de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* en climas mediterráneos. In: *Eucalyptus in a changing world. Proc. IUFRO Conf. Aveiro*. Aveiro.