

DOMESTICACION Y CULTIVO DEL EUCALIPTO

Gustavo A. Lopez

Centro de Investigación Forestal ENCE
Ctra A-5000 km 7,5 CP 21007 Huelva ESPAÑA
e-mail: glopez@ence.es

Boletín del CIDEU 8-9: 83-95 (2010)
ISSN 1885-5237

Resumen

Con la intervención humana, las especies forestales silvestres han pasado de ser aprovechadas en su medio natural a cultivarse. Este proceso de domesticación de una especie modifica la composición de los recursos genéticos de la misma. En la presente revisión se utiliza el *Eucalyptus globulus* para ilustrar el proceso de domesticación y se describen los hitos que acompañan a su cultivo. El conocimiento de la variación genética y los parámetros genéticos son las herramientas de mayor utilidad en la elección de la estrategia de conservación y mejora. La adaptación a nuevos ambientes de cultivo provoca cambios en su composición genética y es base fundamental de la mayoría de los programas de mejora. Las estrategias de mejora reúnen las pautas y manejos para reproducir la ganancia genética. Esto se consigue mediante la producción de semillas en huertos semilleros, así como clones seleccionados para su propagación vegetativa a escala operacional. El ajuste de la técnica de propagación vegetativa ha permitido consolidar ganancias genéticas muy valiosas y permite ampliar su aplicación en híbridos. *E. globulus* es una especie de referencia en domesticación, cultivo, mejora genética forestal y también en desarrollos biotecnológicos.

Palabras clave: Variación genética, mejora genética, parámetros genéticos, adaptación, propagación vegetativa, *Eucalyptus globulus*.

Summary

With human intervention, wild forest species have gone from being exploited in the wild to being cultivated. This process of domestication on a species changes the composition of its genetic resources. In this review, *Eucalyptus globulus* is used to illustrate the process of domestication and describes the milestones that occur in tree farming. Knowledge of genetic variation and genetic parameters are the most useful tools in choosing the strategy of conservation and improvement. Adaptation to new environments causes changes in genetic and is a fundamental basis in most of the improvement program. Improvement strategies meet the guidelines and managements to reproduce genetic gain. This is achieved through the production of seeds in seed orchards, and clones selected for vegetative propagation at the operational level. The adjustment of the vegetative propagation technique has consolidated very wealthy genetic gains and allows extending its application in eucalypt hybrids. *E. globulus* is a reference species in domestication, cultivation, tree improvement and biotechnology developments.

Key words: Genetic variation, tree breeding, genetic parameters, adaptation, vegetative propagation, *Eucalyptus globulus*.

Introducción

Con la intervención humana, las especies forestales silvestres han pasado de ser aprovechadas en su medio natural, a cultivárselas. Este proceso de domesticación de una especie modifica la composición de los recursos genéticos. En el primero de los casos, limitando los genes más deseados y luego intentando reproducirlos. A medida que el hombre se alejaba de su medio primitivo, dejaba de ser primitivo para evolucionar intelectualmente, manifestándose por el desarrollo en actividades como el cultivo de especies vegetales y la cría de animales que le facilitaron la alimentación y su supervivencia.

El hombre modifica directa e indirectamente la frecuencia genética de una especie al seleccionar individuos que extrae por huroneo, al seleccionar ejemplares de los que recoge semillas para la formación de nuevas masas implantadas así como al implantarlas en nuevos ambientes que impactan en los genes encargados de manifestar la adaptación a estos ambientes. De esta manera se pone de manifiesto la relación que tiene la intervención humana en los cambios de frecuencia genética que controlan características de interés en los árboles.

El bosque natural está relacionado con procesos de intervención humana. Así cuando encontramos especies forestales que son de gran interés y además de fácil adaptación generalmente pasan a ser domesticadas y cultivadas en sus mismos ambientes nativos. Sin embargo, posteriormente incluso comienzan a ser cultivadas en ambientes exóticos cuando realmente se descubre su potencial de adaptación. En la actualidad, ello trae aparejado una serie de manejos y procesos a los que nos referiremos como estrategia de mejora genética.

El bosque natural es un concepto de moda actual. Pero en realidad, el bosque es

dinámico y ha evolucionado con la intervención del hombre. Por ejemplo, los hayedos desde hace 5000 años, o las más cercanas plantaciones de chopos, pinos o eucaliptos tienen la impronta del hombre. A lo largo de la historia, el bosque se va alejando de su aspecto prístino natural a medida que el hombre deja de ser primitivo. Alejado del exclusivo control de los procesos de selección impuestos por las fuerzas de la naturaleza, en los bosques intervenidos el hombre tiene que desarrollar un conjunto de técnicas de cultivo que aseguren su conservación.

A diferencia de la mayoría de los cultivos tradicionales agronómicos o aquellos destinados a la alimentación, los cultivos forestales y su manejo genético son procesos que están ocurriendo en tiempos más recientes, prácticamente actuales. Pero por fortuna la disponibilidad de conocimiento sobre genética y programas de mejora nos permiten abordar este complejo proceso de domesticación en forma metódica y los genetistas forestales asisten técnicamente para que así ocurra. El conocimiento de la variación genética de la especie en los rasgos de mayor interés económico, así como su adaptación bajo nuevos ambientes de cultivo constituyen las bases fundamentales de la mayoría de los programas de mejora genética forestal. El presente trabajo revisa todos estos conceptos y utiliza ejemplo de experiencias desarrolladas en la especie *Eucalyptus globulus*.

El caso del *Eucalyptus globulus*

Los eucaliptos, y concretamente *E. globulus*, forma parte de la familia de las *Mirtaceas*, subgénero *Symphyomyrtus* y Sección *Maidenaria*. Su clasificación taxonómica está asociada a semejanzas y relaciones de base genética y en muchas ocasiones explica el origen de hibridaciones de épocas anteriores. Las características morfológicas de sus frutos han permitido el

conocimiento del grupo taxonómico de los gomeros azules y fueron clasificados en subespecies, así como en zonas intermedias de integración. Si bien se ha discutido en varios estudios su status taxonómico, aquí nos referiremos a *E. globulus* tal como lo define Brooker (2000).

E. globulus ocupa un lugar especial en la domesticación del genero *Eucalyptus* por ser uno de los primeros eucaliptos descritos y conocido en el mundo. Exploradores franceses fueron los primeros que recolectaron material en Recherche Bay, Tasmania y luego Labillardie lo identificó y describió (Potts *et al.* 2004), refiriéndose su nombre a lo globoso de sus frutos. Los exploradores se fascinaron con la gran altura de los árboles en sus formaciones naturales. Como consecuencia del asentamiento europeo en Tasmania después del 1804 el bosque alto costero de *E. globulus* fue rápidamente explotado. Así árboles gigantes de entre 60 y 90 m de altura fueron cortados, habiendo incluso registro de ejemplares de más de 100 m. de altura (Hickey *et al.* 2000).

La madera se destinó principalmente para elaborar pilotes de muelles que se distribuían por todo el mundo. Su madera era apropiada para la construcción marina por su resistencia al taladro marino *Teredo navalis*. Los pilotes alcanzaban 33 m de largo y escudaría de 51 por 51 cm. Estas dimensiones son similares a las vigas que se utilizan actualmente para armar las bateas destinadas a la cría de mejillones en las rías bajas españolas. Hacia el año 1905, se habían exportado más de 1 millón de metros cúbicos de madera, principalmente para construcciones navales. Alrededor del año 1925 casi todas las masas de *E. globulus* estaban en proceso de regeneración pero los árboles grandes empezaron a ser menos frecuentes.

Mientras, a la largo del siglo XIX, se produjo una dispersión de la especie *E. globulus* a muchas partes del mundo. Primero en Francia pero rápidamente se introdujo en otros países Mediterráneos, en

África y en América (Potts *et al.* 2004). Así comenzó su cultivo como especie exótica. El proceso de adaptación generacional a otros sitios ocasionó que se desarrollen razas locales en diferentes países, ya sea partiendo de las primeras introducciones o incluso posteriores de Australia o exóticas.

Si bien, aquella búsqueda del super-árbol para construcciones marinas se fue disipando debido a que en sus nuevos sitios los árboles no desarrollaban semejantes dimensiones, surgió un interés por la creencia de su efecto curativo de fiebres tales como la malaria (más tarde cuestionada como un fiasco). Pero si intentamos entender el interés por la diseminación de su cultivo, se pueden diferenciar las siguientes 3 etapas:

- (i) por curiosidad, ornamental-curador de malaria;
- (ii) para el uso concreto de la madera; y
- (iii) para responder a las necesidades de la industria celulósica.

La dispersión fue facilitada por que sus hojas tienen baja palatabilidad para el ganado. Se encontraron usos variados de su madera, como traviesa de ferrocarril, soportes para minas, leña, también despertó interés la extracción de esencias de sus hojas. Por citar algunos ejemplos concretos podemos mencionar las plantaciones en Chile y España para apeas de minas, en Etiopía para leña o en China para esencias. Sin embargo ya en el siglo XX, el uso de la madera para la fabricación de pasta de celulosa fue la aplicación que la catalogó como la especie preferida para el desarrollo de nuevas masas (Eldridge *et al.* 1993). La especie *E. globulus* domina las plantaciones comerciales en zonas templadas del mundo y se ubica entre las 10 especies más plantadas en el mundo. La superficie cultivada según las estimaciones más recientes supera las 2,3 millones de hectáreas distribuidas como indica la Figura 1.

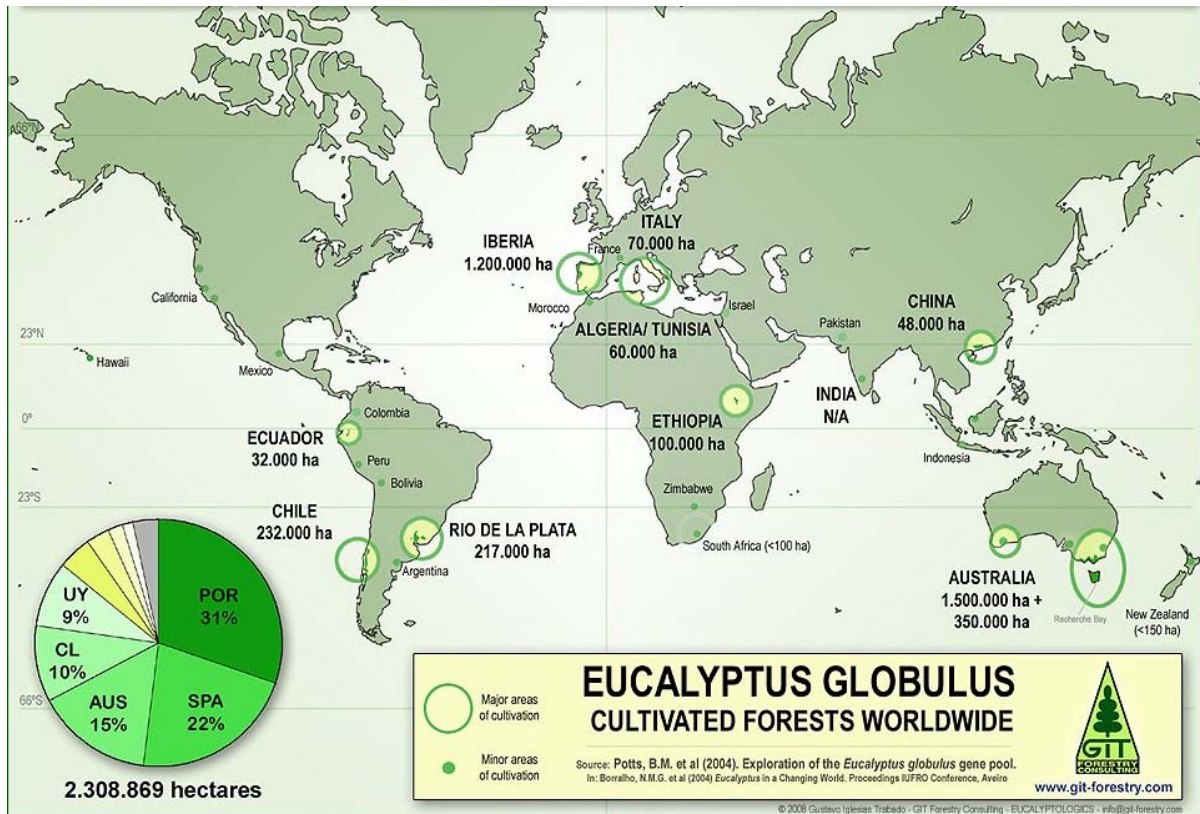


Figura 1 Mapa de la distribución del cultivo de *Eucalyptus globulus* en el mundo. Adaptado de la compilación de Iglesias Trabada G. (2009).

Variación genética

Casi un siglo y medio después de su descubrimiento y debido al progresivo incremento de la superficie cultivada con *E. globulus*, se iniciaron estudios genéticos para conocer a la especie y aplicar esos conocimientos para obtener el máximo de provecho en beneficio de las necesidades de la sociedad. Se organizaron recolecciones de semillas abarcando toda el área de distribución nativa y representando toda la variación natural de la especie. La primera de las cosechas fue organizada por la institución de investigación de Australia CSIRO y promovida en forma conjunta por empresas de varios países. Entre 1987-88 se cosecharon más de 600 árboles que constituyeron lotes de familias de medios hermanos recolectados en 49 localidades a lo largo y ancho de la distribución natural de *E. globulus*, incluidas sus clases taxonómicas intermedias. Sin embargo, la demanda y el interés fue de tal magnitud

que a la primera cosecha le sucedieron otras en las siguientes dos décadas.

Como resultado de las experiencias desarrolladas con este material genético se consiguió esclarecer el complejo taxonómico y diferenciar las subespecies basándose en características reproductivas. Las subespecies, mas tarde con status de especies (Brooker 2000), fueron *E. maidenii*, *E. bicostata*, *E. pseudoglobulus* y *E. globulus*. A pesar de la diferenciación geográfica y morfológica entre las especies también se encontraron poblaciones con variación de formas intermedias procedentes de zonas geográficas de transición entre los sitios de origen de cada especie (Jordan *et al.* 1994). El estudio de la variación genética que se obtuvo de los ensayos de campo ha permitido desarrollar mapas de variación espacial de las características analizadas. Una interpretación detallada de la información ha sido resumida mediante una clasificación

racial basada en la variación genética cuantitativa que propone 13 razas y 20 subrazas (Dutkowski and Potts 1999; revisado en López *et al.* 2001 b) como se

observa en la Figura 2. Seguramente esta clasificación será sujeta a posteriores actualizaciones en la medida en que se adicione más información.

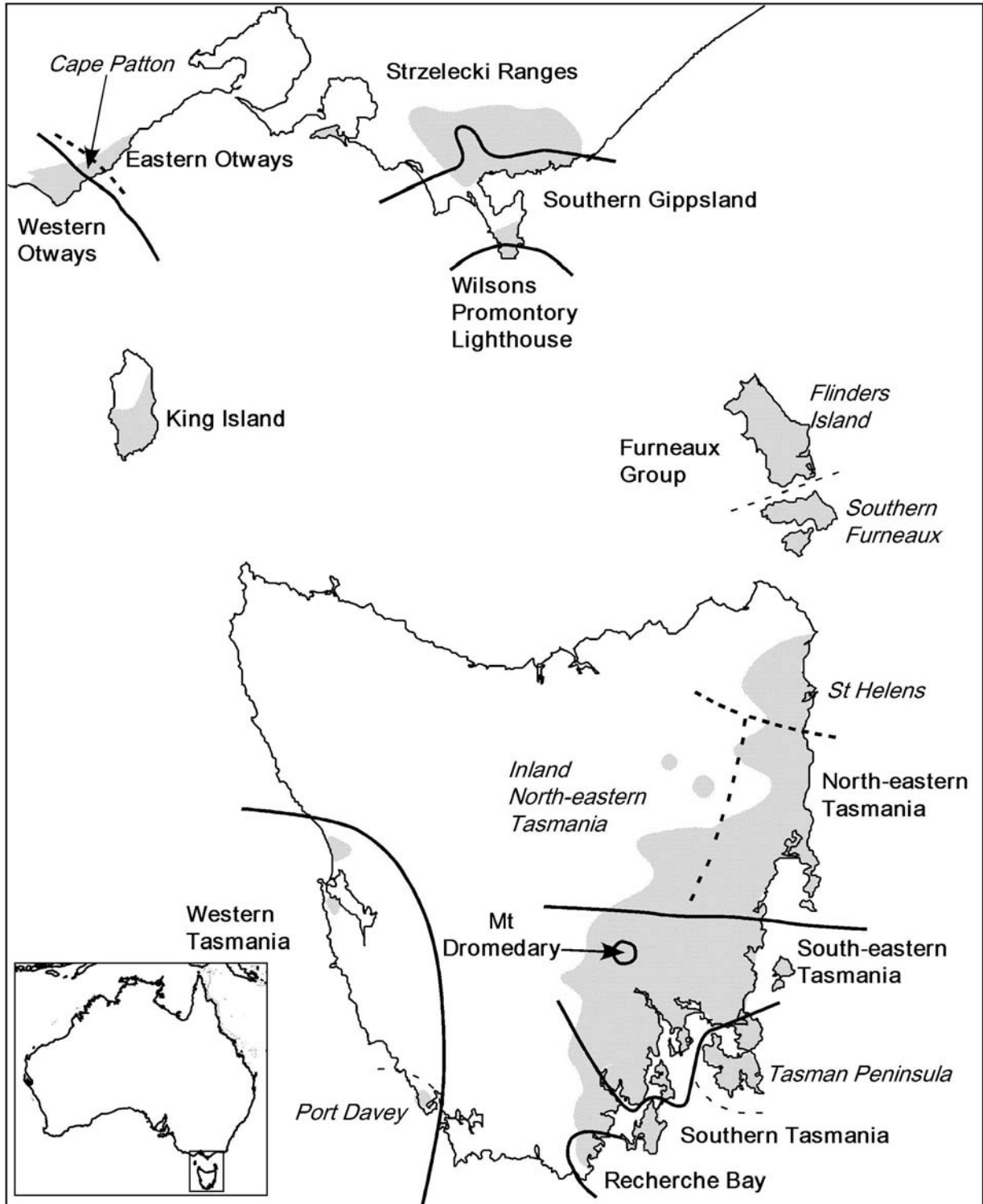


Figura 2 Mapa de Tasmania y sur de Victoria (Australia) señalando la distribución de las 13 razas y 20 subrazas de *Eucalyptus globulus* propuestas por Dutkowski and Potts (1999) y revisado por Lopez *et al.* (2001 b)

Se encontraron diferencias significativas entre las procedencias muestreadas en todas las características estudiadas y varios de estos rasgos muestran estructura espacial. Así, podemos observar que en promedio las procedencias de Strzelecki Ranges y Otways se destacan desde el punto de vista productivo. Su mejor crecimiento, adaptación ecológica, y densidad de la madera, despiertan gran interés económico por estas procedencias y las posicionan como las mejores. A pesar de ello, son las de más baja capacidad de reproducción vegetativa mediante enraizamiento de mini estaquillas (Cañas *et al.* 2004). Se ha comparado el comportamiento en distintos sitios y las correlaciones de crecimiento a edades tempranas entre varios países nos indican que dentro de países el coeficiente de correlación es de 0,75 y entre países disminuye a 0,51. Esto indica que a menor correlación, los genotipos que son más exitoso en un sitio no lo son el otro. Esta diferencia de comportamiento en distintos ambientes se denomina interacción genotipo x ambiente. En casos de ambientes con mayor contraste, como ocurre en España entre el norte y el sur, las correlaciones alcanzan valores menores (0,39 - Costa e Silva *et al.* 2005) o dicho de otra forma, la interacción genotipo x ambiente es mas marcada.

La inclusión de lotes de semillas de razas locales en los ensayos de procedencias permitió conocer su rendimiento comparativo. Para la característica de crecimiento diametral, las razas locales se posicionan dentro del rango de variación natural de la especie. Sin embargo, el mayor grado de mejora se manifiesta con una ganancia en el crecimiento independientemente del origen. Mientras que para la forma individual del árbol, las razas locales fueron consistentemente superiores a las razas nativas. Este resultado matiza la hipótesis de Jacobs (1981) de que *E. globulus* tenía mejor forma fuera de Australia por la falta de plagas y pestes. Sin

embargo, queda demostrado de que la buena forma puede tener una base genética al incluirse una selección indirecta por el hombre de este rasgo (Lopez *et al.* 2001 b). Todo el conocimiento general de la variación de la especie ha sido valorado y aplicado en la implementación de ambiciosos programas de mejora genética en diferentes regiones del mundo.

Parámetros genéticos: heredabilidades y correlaciones

Gran parte de la variación entre razas puede ser aprovechada mediante la selección de aquellas (razas o procedencias) que mejor se expresen para cierta característica de interés. La importación de semillas especialmente de una procedencia seleccionada retribuirá en una mejora considerable. Sin embargo, se puede obtener mayor ganancia aprovechando la variación familiar e individual que existe dentro de cada una de esas procedencias. La valoración genética individual de cada árbol para una característica particular se estima mediante la heredabilidad. La heredabilidad individual es la capacidad que tiene un individuo de transmitir una determinada característica a su descendencia y es la única parte de la variación posible de ser usada por el mejorador. Esto ocurre cuando se seleccionan los individuos que luego se cruzan para la producción de semillas destinadas a plantaciones operativas. La heredabilidad se estima mediante el ratio entre la variación genética aditiva y la variación fenotípica (Falconer and Mackay 1996).

Los valores de los principales parámetros genéticos (heredabilidades y correlaciones genéticas de las poblaciones) son las referencias de mayor importancia cuando se formula un programa de conservación de recursos genéticos o una estrategia de mejora genética. La respuesta a la selección en base a una característica determinada depende del grado de control genético de la misma. Así encontramos que el crecimiento

es moderadamente heredable mientras que la densidad de la madera es mucho más heredable. Esto significa que para el caso de densidad de la madera, con heredabilidades aproximadas de 0,48; el 48 % de la variación observada puede ser utilizada en mejoramiento genético. En los

últimos años se han reportado heredabilidades de diferentes características de interés estimadas en diferentes ambientes mostrando tendencias claras acerca de su valor (ejemplos recogidos en Tabla 1).

	Variable	h^2_{op}
<i>Baja</i>	Supervivencia	0,05
	Bifurcación	0,04
	Forma	0,10
	Res. a <i>Phoracantha</i> sp.	0.19 ⁽¹⁾
<i>Media</i>	Enraizamiento	0,23 ⁽²⁾
	Crecimiento	0,27
	Espesor corteza	0,32
<i>Alta</i>	Penetración de Pilodyn	0,48
	Cambio hoja adulta	0,61

Tabla 1. Heredabilidades (h^2_{op}) de características (variable) estimadas sobre progenies/familias de polinización libre en poblaciones de *Eucalyptus globulus* (Lopez *et al.* 2002) excepto indicadas: ⁽¹⁾ Soria y Borralho 1997 y ⁽²⁾ Cañas *et al.* 2004.

La confianza de la mejora aplicada a un ámbito geográfico o ecológico amplio se mide con las correlaciones genéticas entre sitios. Valores de correlaciones altos significan que la interacción genotipo x ambiente es baja. O lo que es lo mismo, que la mejora sigue siendo eficiente en los sitios correlacionados.

También observamos cómo se correlacionan las características entre ellas. En este caso particular de *E. globulus*, la correlación genética de crecimiento se manifiesta prácticamente independiente de otras características evaluadas. Quizás la más relevante para mencionar aquí es que crecimiento y la densidad de la madera muestran correlaciones cercanas a cero. Estas dos variables son las de mayor interés de mejora para destino celulósico. Por lo

tanto, la falta de correlación implica que la selección por crecimiento no necesariamente impactará en detrimento de densidad y que ambas características pueden ser mejoradas de forma conjunta (Lopez *et al.* 2001 a).

Los valores de mejora de las 20 familias superiores para el rasgo de crecimiento (Figura 3) no incluye ninguna de las mejores 20 para el rasgo de densidad de la madera (medida como la inversa de la penetración de Pilodyn). Para la producción de madera para la industria celulósica ambos rasgos son deseables y es fundamental ponderar la importancia de cada característica para hacer una mejora adecuada.

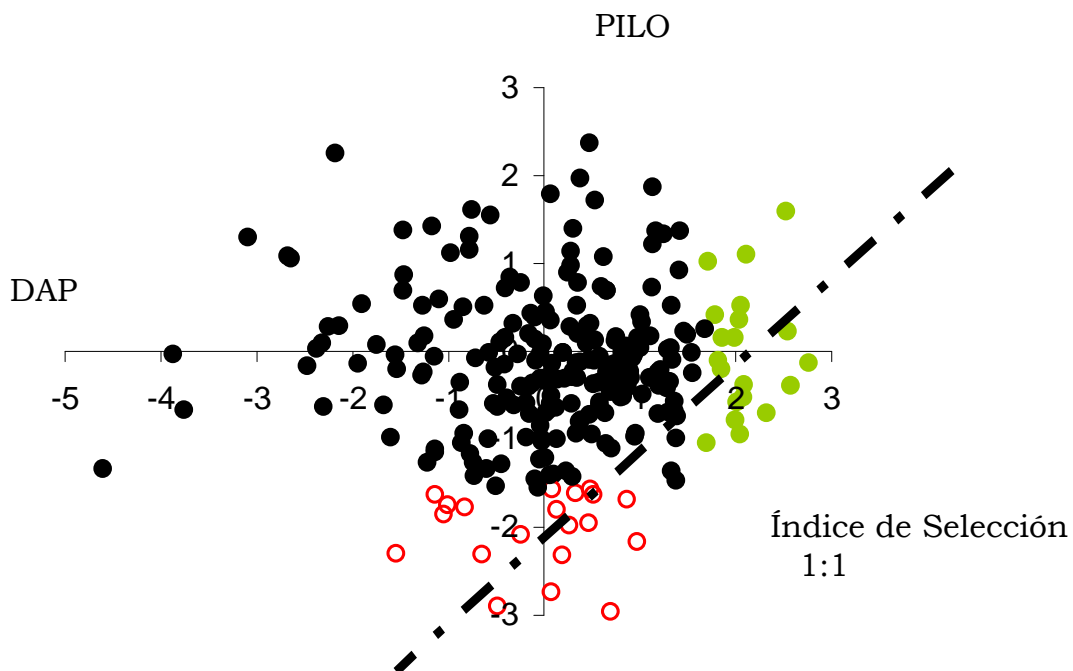


Figura 3. Distribución de valores de mejora familiares para los rasgos de penetración de Pilodyn (medida indirecta de la densidad de la madera) y Diámetro. La línea diagonal separa los mejores valores luego de una selección compuesta por un índice de selección con igual ponderación para los dos rasgos (Lopez *et al.* 2001 a).

Se puede obtener ganancias si se mejoran las dos características con la misma ponderación. Este es un buen ejemplo pero la situación se complica aún más para ponderaciones de más de dos características. Por lo tanto para hacer selecciones y mejorar se requiere definir claramente el objetivo de mejora para el sistema productivo donde tendrá aplicación el programa. Así, si se debe maximizar la producción de toneladas de celulosa por hectárea, primero se debe identificar las características biológicas a mejorar. Estas serán el volumen por hectárea y la densidad de la madera producida a la edad de rotación o aprovechamiento.

Luego debemos ponderar esas características, muchas veces se reemplaza el peso económico absoluto por uno relativo. Hay veces que el absoluto es impredecible con los cambios económicos que ocurren en ciclos de 10 años o más. Normalmente la densidad es más importante que el volumen (Borrallho *et al.* 1993). Los criterios de selección se estiman sobre la base de los sitios para los que sean más robustos, no necesariamente deben ser todos los sitios para todas las variables. La forma de resumir toda la información junta es mediante la creación de un índice de selección, que es una combinación lineal de matrices (Schneeberger *et al.* 1992).

El índice genera un mérito o valor genético por árbol que nos permite ordenarlos de mayor a menor. Luego seleccionar los más deseados es una tarea simple. Queda definir la estrategia a seguir para que estos árboles seleccionados transfieran su superioridad.

Estrategia de mejora

La estrategia de mejora reúne las pautas y manejos necesarios para reproducir la ganancia genética en beneficio de nuevas plantaciones. Son caminos alternativos no excluyentes que permiten la transferencia de diferentes grados de avances. Partiendo de los más simples a los más complejos, tenemos:

- (i) conversión de un ensayo de progenies en huerto semillero de progenies,
- (ii) creación de en un huerto semillero clonal,
- (iii) reproducción clonal.

El huerto semillero de progenies resulta de la entresaca de individuos con menor mérito genético que formaban un ensayo de progenies. Mediante este manejo se conseguirá que los árboles remanentes se crucen libremente entre ellos para producir semilla mejorada. Las ganancias pueden resultar modestas pero es una forma eficiente de mejora y que generalmente no requiere largos plazos para hacer entrega de los avances en una cantidad generosa de semillas mejoradas.

La creación de un huerto semillero clonal persigue agrupar los mejores 20 ó 30 progenitores seleccionados por mérito genético evaluados en una red de ensayos de progenie que represente la zona donde se van a desarrollar las plantaciones. La práctica más habitual para este tipo de huertos es reproducir vegetativamente a los individuos seleccionados, ya sea por enraizamiento de estacas si fuese posible o por injerto en su defecto. Este tipo de huerto ofrece más ganancia que el anterior debido a que restringe el número de árboles productores de semillas a un grupo pequeño formado por los mejores independientemente del sitio donde fueron ensayados o evaluados. Actualmente los huertos semilleros clonales permiten un control del crecimiento vegetativo a favor del reproductivo facilitando las polinizaciones controladas. Esta ventaja permite un bajo coste de cruzamiento y cosecha, además de permitir el beneficio extra si se reproducen los mejores cruces. Las ganancias estimadas ciertas veces se ven sesgadas por la depresión que ocurre por endogamia. Los *Eucalyptus* sp. en general, y *E. globulus* específicamente, presentan un sistema mixto de polinización que admite cierto grado variable de

endogamia (Hardner and Potts 1995) en cualquiera de sus formas (autogamia, geitonogamia y/o heterogamia). La endogamia produce efectos deletéreos en vigor (Lopez *et al.* 2000), impacta en la mejora y debe conocerse. El cruzamiento controlado permite evitar la endogamia. Por otro lado, cuando se estiman ganancias genéticas se refiere a valores promedios de un árbol utilizado indistintamente como masculino o femenino en un cruzamiento. Sin embargo, su valor genético se puede potenciar aprovechando la dirección de cruzamiento cuando se conoce su efecto diferencial (efectos genéticos recíprocos). Lopez *et al.* (2003) han demostraron que ciertas poblaciones producen descendencia más vigorosa cuando actúan de madre que de donador de polen.

Independientemente o paralelamente podemos asumir una estrategia de transferencia de la ganancia por vía clonal. En este caso la ganancia en lugar de materializarse por semillas mejoradas, se consigue mediante la producción operativa de plantas que se reproducen vegetativamente. Esta metodología ofrece varias ventajas, la principal es que la restricción está fuertemente dirigida a los mejores árboles y además por la naturaleza del método de reproducción no se produce pérdida por recombinación genética. Los beneficios son destacados, la ganancia genética se trasfiere de forma eficiente y rápida al sector de plantaciones a escala operativa. También es de destacar el desarrollo de un manejo distintivo de la masa clonal definido por Zobel (1993) como selvicultura clonal.

Propagación vegetativa

El proceso de propagación vegetativa a escala operacional (clonación) fue explorado en los últimos años en *Eucalyptus* sp. partiendo de especies de propagación sencilla. Sin embargo, la técnica también se llevó años más tarde a *E. globulus* (Cañas *et al.* 1994). Mediante el uso de clones adaptados a las condiciones climáticas de Huelva se consiguieron

ganancias de hasta 66% en incremento volumétrico medio anual y hasta 26% en supervivencia (Toval 2004). La sostenibilidad de esta estrategia clonal está apoyada en un programa de mejora que explora cruzamientos intra e inter específicos. Así por ejemplo, Ence partió de cruzamientos entre 16 clones seleccionados que produjeron más de 500 clones evaluados primero por capacidad de enraizamiento y luego por crecimiento en ensayos a campo. Los clones así originados (F₁) son actualmente reproducidos a escala operativa y además fueron seleccionados por poseer mejores propiedades de la madera (densidad básica y rendimiento en celulosa).

El ajuste de las técnicas de clonación valora el aprovechamiento de individuos híbridos. Si bien entre *Eucalyptus* sp. los híbridos ocurren naturalmente, se buscan combinaciones entre especies con rasgos complementarios de acuerdo al interés del mejorador. Principalmente estos cruces han sido motivados para superar limitaciones de adaptación, enfermedades o frío. Varios programas han explorado combinar lo bueno de dos especies en un híbridos (ver ejemplos en Lopez *et al.* 2010). Pero seguramente el caso más exitoso es el de *E. urophylla* x *E. grandis* en Brasil. La facilidad de enraizamiento de sus híbridos F₁ (teniendo en cuenta la facilidad de sus especies puras parentales) unido a la resistencia a enfermedad (principal problema en un momento) más las altas producciones alcanzadas (cerca de 30-40 m³/ha/año) han permitido el desarrollo de grandes plantaciones operativas para abastecer grandes proyectos industriales. Actualmente continúan utilizando la vía de nuevas hibridaciones para inyectar *E. globulus* en su pedigrí con objeto de mejorar las propiedades de la madera.

Conclusiones

Los éxitos parciales alcanzados hasta el momento en el vertiginoso proceso de domesticación de *E. globulus* han ofrecido oportunidades para el aumento de la

producción de madera con excelente calidad. Esto es valioso por que se dirige a satisfacer la demanda sostenida de madera, que se está incrementando debido al aumento de la población, con un uso más eficiente de los recursos (territorio y agua). Se suma el creciente interés de este género para su uso en cultivos energéticos leñosos de rotación corta. Su adaptación a climas mediterráneos ha permitido consolidar un cultivo y disminuir así la presión sobre los bosques nativos.

La ciencia dedica recursos para profundizar el conocimiento de la funcionalidad genética, así como estudiar la variación de su ADN nuclear y de cloroplastos. Estos proyectos son iniciativas cooperativas multinacionales que permitirán hacer del cultivo de eucalipto una actividad aun más

productiva, más eficiente en el uso de los recursos, puesta al servicio del hombre para satisfacer sus necesidades y consumos de productos leñosos. La utilización de *E. globulus* para ilustrar el proceso de domesticación, cultivo y mejora genética no es casualidad. En ámbito forestal está considerada una especie modelo y muchos desarrollos se apoyan en experiencias desarrolladas en *E. globulus*.

Agradecimientos

Al Grupo Empresarial Ence y personalmente a I. Cañas, F. Ruiz, F. Balbas, F. Basurco, B. Potts, R. Tapias y M. Fernández por sus aportes de datos, sugerencias y mejoras de las primeras versiones de este manuscrito.

Referencias Bibliográficas

- Brooker, M.I.H. 2000. A new classification of the genus *Eucalyptus* L'Her. (Myrtaceae). *Australian Systematic Botany* 13:79-148.
- Borrallho, N.M.G.; Cotterill, P.P.; Kanowski, P.J. 1993. Breeding objectives for pulp production of *Eucalyptus globulus* under different industrial cost structures. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 648-656.
- Cañas, I.; Soria, F.; Toval, G. 1994. Producción clonal de *Eucalyptus globulus* en la provincia de Huelva. *Revista Montes* 37: 41-44.
- Cañas, I.; Soria, F.; Lopez, G.; Astorga, R.; Toval, G. 2004. Genetic parameters for rooting trait in *Eucalyptus globulus* (Labill.). En: Borrallho N.M.G., Pereira J.S., Marques C., Coutinho J., Madeira M., Tomé M. (Eds). *Proceedings of the International IUFRO Conference of the WP2.08.03 on Silviculture and Improvement of Eucalyptus*. Aveiro, Portugal. pp 159-160.
- Costa e Silva, J.; Dutkowski, G.W.; Borrallho, N.M.G. 2005. Across-site heterogeneity of genetic and environmental variances in the genetic evaluation of *Eucalyptus globulus* trials for height growth. *Annals of Forest Science* 62: 183–191.
- Dutkowski, G.W.; Potts, B.M. 1999. Geographical patterns of genetic variation in *Eucalyptus globulus ssp. globulus* and a revised racial classification. *Australian Journal of Botany* 46: 237–263.
- Eldridge, K.; Davidson, J.; Harwood, C.; van Wyk, G. 1993. *Eucalyptus domestication and breeding*. Oxford University Press.
- Falconer, D.S.; Mackay, T.F.C. 1996. *Introduction to Quantitative Genetics*. Addison Wesley Longman Limited: Edinburgh Gate, Harlow, England.
- Hardner, C.M.; Potts, B.M. 1995. Inbreeding depression and changes in variation after selfing in *Eucalyptus globulus ssp. globulus*. *Silvae Genetica* 44: 46–54.
- Hickey, J.E.; Kostoglou, P.; Sargison, G.J. 2000. Tasmania's tallest tree. *Tasforests* 12: 105-122.
- Iglesias Trabada, G. 2009. [on line]. Disponible en: <http://git-forestry-blog.blogspot.com/2008/04/eucalyptus-globulus-global-timber.html> [3 Septiembre, 2010].
- Jacobs, M.R. 1981. *Eucalypts for Planting*. FAO Forestry Series, Vol. 11, FAO, Rome.
- Jordan, G.J.; Borrallho, N.M.G.; Tilyard, P.A.; Potts, B.M. 1994. Identification of races in *Eucalyptus globulus ssp. globulus* based on growth traits in Tasmania and geographic distribution. *Silvae Genetica* 43: 292–298.
- Lopez, G.A.; Potts, B.M.; Tilyard, P.A. 2000. F1 hybrid inviability in *Eucalyptus*: The case of *E. ovata* x *E. globulus*. *Heredity* 85 (3) pp 242-250.
- Lopez, G.A.; Apiolaza, L.A.; Potts, B.M.; Dutkowski, G.W.; Gelid, P.E.; Rodríguez Traverso J.M. 2001 a. Genetic parameters for growth and pilodyn from *Eucalyptus globulus* in Argentina. En: "Developing the eucalypt of the future" *Proceedings of IUFRO Conference, 10-15 September 2001, Valdivia, Chile*.
- Lopez, G.A.; Potts, B.M.; Dutkowski, G.W.; Rodríguez Traverso, J.M. 2001 b. Quantitative genetics of *Eucalyptus globulus*: Affinities of land race and native stand localities. *Silvae Genetica* 50 (5-6): 244-252.

- Lopez, G.A.; Potts, B.M.; Dutkowski, G.W.; Apiolaza, L.A.; Gelid, P.E. 2002. Genetic variation and inter-trait correlations in a *Eucalyptus globulus* base population in Argentina. *International Journal of Forest Genetics* 9 (3): 217-231.
- Lopez, G.A.; Potts, B.M.; Vaillancourt, R.E.; Apiolaza, L.A. 2003. Maternal and carry-over effects on early growth in a *Eucalyptus globulus diallel*. *Canadian Journal of Forest Research* 33 (11): 2108-2115.
- Lopez, G.A.; Cañas, I.; Ruiz, F. 2010. Vegetative propagation techniques and genetic improvement in *Eucalyptus globulus*. En: Gil L., Tadesse W., Tolosana E., Lopez R. (Eds). *Proceedings of the Conference on Eucalyptus management, history, status and trends in Ethiopia 15-17 Sep, 2010, Addis Ababa, Ethiopia* pp. 246-255.
- Potts, B.; Vaillancourt, R.; Jordan, G.; Dutkowski, G.; Costa e Silva, J.; McKinnon, G.; Steane, D.; Volker, P.; Lopez, G.; Apiolaza, L.; Li, Y.; Marques, C.; Borralho, N. 2004. Exploration of the *Eucalyptus globulus* gene pool. En: Borralho N.M.G., Pereira J.S., Marques C., Coutinho J., Madeira M., Tomé M. (Eds). *Proceedings of the International IUFRO Conference of the WP2.08.03 on Silviculture and Improvement of Eucalyptus. Aveiro, Portugal*. pp. 46-61.
- Schneeberger, M.; Barwick, S.A. Crow G.H., Hammond K., 1992. Economic indices using breeding values predicted by BLUP. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 107: 180-187.
- Soria, F.; Borralho, N.M.G. 1998. The genetics of resistance to *Phoracantha semipunctata* attack in *Eucalyptus globulus* in Spain. *Silvae Genetica* 46: 365-369.
- Toval, G. 2004. The *Eucalyptus globulus* clonal silviculture in Mediterranean climate. En: Borralho, N.M.G.; Pereira, J.S.; Marques, C.; Coutinho, J.; Madeira, M.; Tomé, M. (Eds). *Proceedings of the International IUFRO Conference of the WP2.08.03 on Silviculture and Improvement of Eucalyptus. Aveiro, Portugal*. pp. 70-78.
- Zobel, B.J. 1993. Clonal forestry in the eucalypts. En: Ahuja, M. R.; Libby, W. J. (Eds.). *Clonal forestry: conservation and application*. Budapest: Springer-Verlag, pp. 139-148.