

## MEJORA GENÉTICA EN *Eucalyptus grandis*: PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE MADERA.

Gustavo Balmelli y Fernando Resquin

### Introducción

La utilización de una buena fuente de semilla es uno de los primeros aspectos a tener en cuenta en todo proyecto forestal. El principal criterio para elegir la fuente de semilla a utilizar debería ser su calidad genética, es decir su capacidad de generar rodales de excelente adaptación, buena sanidad, alta productividad y características de madera adecuadas al producto que se desea obtener.

Con el objetivo de producir y proveer a viveristas y productores forestales de semilla mejorada localmente el Programa Nacional Forestal del INIA viene implementando Planes de Mejoramiento Genético para las especies de mayor importancia económica: *Eucalyptus grandis*; *Eucalyptus globulus*; *Eucalyptus maidenii*; *Eucalyptus dunnii*.

Los objetivos de selección varían para cada especie, pero en general se han orientado inicialmente a mejorar la adaptación a nuestras condiciones ambientales y al aumento de la productividad. En etapas más avanzadas los objetivos de selección se orientan a la mejora de características "problema", es decir aquellas que constituyen una limitante productiva. En el caso de *Eucalyptus grandis*, especie de muy buena productividad y sanidad, la característica limitante es la baja densidad de su madera.

Se presenta a continuación un resumen del Plan de Mejoramiento Genético para *E. grandis* (la descripción detallada puede consultarse en la Serie Técnica 159). Posteriormente se describe la última etapa, es decir la selección realizada con el fin de mejorar la densidad de madera, y finalmente se discuten las actividades futuras.

### Plan de Mejoramiento Genético de *Eucalyptus grandis*

El Plan de Mejora se basa en la selección recurrente, lo cual implica la repetición de varias etapas: formación de una amplia base genética, evaluación local de las características de interés y selección de los mejores genotipos. En cada generación los individuos seleccionados serán progenitores de la siguiente generación de mejora y productores de semilla para plantaciones comerciales. En el Plan de Mejora de *E. grandis* se han completado los dos primeros ciclos de selección, con un intervalo generacional de 5 años, existiendo actualmente dos generaciones superpuestas (Figura 1).

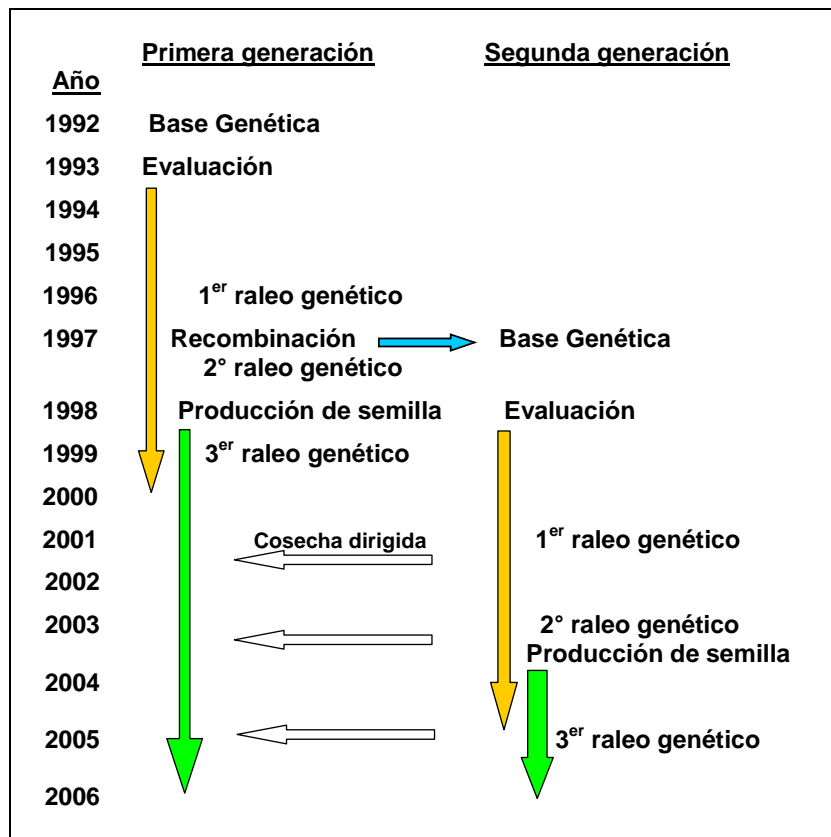


Figura 1. Esquema del Plan de Mejoramiento Genético de *E. grandis*.

La base genética de la **primera generación** se formó con una amplia introducción de semillas desde el área de distribución natural (costa Este de Australia) y con la selección local en plantaciones comerciales distribuidas en todo el país. Entre estas dos fuentes de semilla se obtuvieron más de 200 progenies o familias.

Para evaluar el comportamiento productivo del pool genético de primera generación se instalaron test genéticos (pruebas de progenie) en sitios representativos de las Zonas CIDE 7, 8 y 9. Paralelamente se instaló, en el predio de la Estación Experimental del Norte, una prueba de progenie adicional que posteriormente serviría como población de cría y huerto semillero de primera generación.

La información obtenida en la medición de las pruebas de progenie ha permitido la estimación de parámetros genéticos poblacionales (variación genética, heredabilidad, correlación genotipo-ambiente, correlaciones genéticas entre características) y estimar el valor genético de cada familia para las características objetivo: producción de madera por árbol y por hectárea. Los parámetros poblacionales fueron utilizados para orientar la estrategia de mejoramiento (definir las zonas de mejora, los criterios y edades de selección, la estrategia y la intensidad de selección) mientras que los valores de cría permitieron rankear las familias, en este caso según su productividad.

En base a estos rankings se realizó el manejo genético del huerto mediante tres raleos sucesivos (Cuadro 1). Actualmente en el Huerto Semillero de primera generación se mantienen como productores de semilla las 50 familias más productivas.

**Cuadro 1.** Manejo genético del Huerto Semillero de primera generación de *E. grandis*.

	Criterios de selección	Intensidad de selección
Primer raleo (año 1996)	Familiar: Volumen/árbol al 3 <sup>er</sup> año Individual: Sanidad, Volumen, Forma	Se eliminaron las 34 peores familias + el 50% de los peores individuos
Segundo raleo (año 1997)	Volumen/hectárea al 3 <sup>er</sup> año	Se eliminaron las 70 peores familias
Tercer raleo (año 1999)	Volumen/hectárea al 5 <sup>to</sup> año	Se eliminaron las 26 peores familias

La base genética de la **segunda generación** está formada principalmente por progenies de la primera generación (mediante recombinación por polinización abierta en la población de cría) y por nuevas introducciones desde Australia, con lo cual se obtuvieron 190 familias.

En 1998 se instalaron 3 pruebas de progenie de segunda generación, en sitios representativos de las zonas CIDE 7 y 8. Desde entonces se ha venido evaluando el comportamiento productivo (producción de madera por árbol y por hectárea), la forma del fuste y la densidad de madera (mediante Pilodyn) de los diferentes genotipos, estimándose el valor genético de cada familia para las diferentes características.

En base al ranking de valores genéticos, una de las pruebas de progenie (ubicada en la Unidad Experimental La Magnolia), ha sido transformada en huerto semillero de segunda generación mediante 3 raleos genéticos sucesivos (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Manejo genético del Huerto Semillero de segunda generación de *E. grandis*.

	Criterios de selección	Intensidad de selección
Primer raleo (año 2001)	Familiar: Volumen/árbol al 3 <sup>er</sup> año Individual: Sanidad, Volumen, Forma	Se eliminaron las 50 peores familias + el 40% de los peores individuos
Segundo raleo (año 2003)	Volumen/árbol al 5 <sup>to</sup> año y Forma del fuste	Se eliminaron las 35 peores familias
Tercer raleo (año 2005)	Densidad de madera (x Pilodyn) y DAP al 7 <sup>mo</sup> año	Se eliminaron las 51 peores familias

De esta forma, de las 190 familias que tenía originalmente el Huerto Semillero de segunda generación, quedan actualmente como productoras de semilla solamente las 54 mejores. Por otra parte, la población original, de 2000 árboles por hectárea, ha sido reducida mediante los sucesivos raleos a 215 árboles por hectárea, lo cual asegura una abundante floración y por lo tanto una buena producción de semillas.

### Mejora de la densidad de madera mediante selección

La característica objetivo en un Plan de Mejoramiento Genético debe tener un alto valor económico, presentar buena variabilidad y al menos un moderado control genético (Zobel y Talbert, 1984). En especies forestales no hay duda de la importancia económica que tiene el aumento del volumen de madera producido. En el caso de *E. grandis* la velocidad de crecimiento ha mostrado un aceptable control genético (ver Series Técnicas 121 y 159) por lo que el principal objetivo de selección en las primeras etapas del PMG fue el aumento de productividad por unidad de superficie.

Desde el punto de vista de la calidad de la madera, el punto débil en el caso de *Eucalyptus grandis* es su baja densidad. Para la producción de celulosa una baja densidad de madera conlleva a un mayor consumo (se requiere más volumen de madera para obtener un determinado volumen de celulosa) y para su utilización como madera sólida la baja densidad reduce el abanico de productos que pueden obtenerse y/o la calidad de los mismos.

Para estudiar la variabilidad y el control genético de una característica deben medirse miles de árboles, por lo que para densidad de madera normalmente se utiliza el Pilodyn (aparato que mide la penetración de una aguja), lo que permite estimar la densidad en forma rápida.

Este método fue utilizado en las pruebas de progenie de segunda generación, instaladas en Rivera y Durazno. A los siete años se evaluó el DAP y la penetración del Pilodyn, presentándose a continuación los parámetros genéticos obtenidos (la metodología de estimación de parámetros genéticos puede consultarse en la Serie Técnica 121).

Los valores de **heredabilidad** individual (estimador de la magnitud relativa del control genético y el control ambiental para una población y ambiente determinado) obtenidos en cada sitio se presentan en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Heredabilidad individual y error estándar (entre paréntesis) para DAP y penetración del Pilodyn al séptimo año.

Característica	Rivera	Durazno
DAP	0.20 (0.05)	0.17 (0.04)
Pilodyn	0.48 (0.09)	0.50 (0.08)

Los valores de heredabilidad obtenidos fueron moderados para DAP (0.20 y 0.17) y altos para Pilodyn (0.48 y 0.50), lo que coincide con distintos reportes bibliográficos (Malan, 1988; Rockwood *et al.*, 1995). La densidad de madera es una característica que está poco influenciada por el sitio por lo que su expresión depende en buena medida del genotipo. Por este motivo, la respuesta esperada por selección (ganancia genética) para densidad de madera es relativamente más alta que para características de crecimiento.

Las **correlaciones genéticas** expresan la relación existente entre el control genético de dos características, lo que permite predecir los efectos indirectos de la selección. Los valores de correlaciones genéticas obtenidos entre el DAP y la penetración del Pilodyn en Rivera y Durazno se presentan en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Correlaciones genéticas entre DAP y Pilodyn en diferentes sitios.

Características	Rivera	Durazno
DAP y Pilodyn	0.12	0.07

La correlación genética entre el crecimiento (DAP) y la densidad de madera (penetración del Pilodyn) fue muy baja (0.12 y 0.07), lo que indica que ambas características son desde el punto de vista genético, prácticamente independientes. Desde el punto de vista práctico esto significa que la selección realizada por crecimiento no tendrá efecto sobre la densidad de la madera y viceversa.

El cambio relativo de comportamiento de determinados genotipos en diferentes ambientes (es decir el cambio en su ranking) se denomina interacción genotipo-ambiente. La magnitud de dicha interacción es cuantificada a

través de la correlación genética Tipo B, es decir por la correlación de una característica evaluada en dos sitios diferentes. Los valores de correlación genética Tipo B para DAP y Pilodyn se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Correlación genética entre sitios (Rivera y Durazno) para DAP y Pilodyn.

Característica	$r_G$
DAP	0.45
Pilodyn	0.74

El valor obtenido para la correlación entre sitios fue moderado para DAP (0.45) y alto para Pilodyn (0.74), indicando que existe una moderada interacción genotipo-ambiente para DAP y una baja interacción para Pilodyn. En otras palabras, el ranking de familias por Pilodyn es más estable que el ranking por DAP. Como se dijo anteriormente, dado que la densidad de madera está relativamente más controlada por el genotipo que por el ambiente es de esperar que las mejores familias en un sitio también lo sean en el otro sitio.

Estos parámetros sugieren en conjunto que la selección por densidad de madera es factible y que las ganancias obtenidas (aumento de la densidad) no afectarían el crecimiento. Por tal motivo, para el tercer raleo genético del Huerto Semillero de segunda generación se definieron dos criterios de selección: DAP y densidad de madera.

Los valores de cría para ambas características fueron estimados con la información de ambas pruebas (Rivera y Durazno) analizadas en forma conjunta. Con los valores de cría de ambas características se construyó un índice de selección en el que se priorizó la densidad de madera (los coeficientes utilizados en el índice fueron: 0.7 para Pilodyn y 0.3 para DAP). A partir de dicho índice se rankearon los progenitores aún presentes en el huerto, con lo cual en el tercer raleo genético se eliminaron las peores 51 familias.

En la Figura 2 pueden observarse gráficamente los valores de cría para Pilodyn y DAP de las familias retenidas y de las familias eliminadas. Cabe recordar que los valores de cría no son valores absolutos y que tienen una media igual a cero, por lo que un progenitor con un valor positivo será superior a la media de la población y otro con un valor negativo será inferior a dicha media. Para el caso del Pilodyn, valores de cría negativos significan penetración menor a la media, es decir mayor densidad.

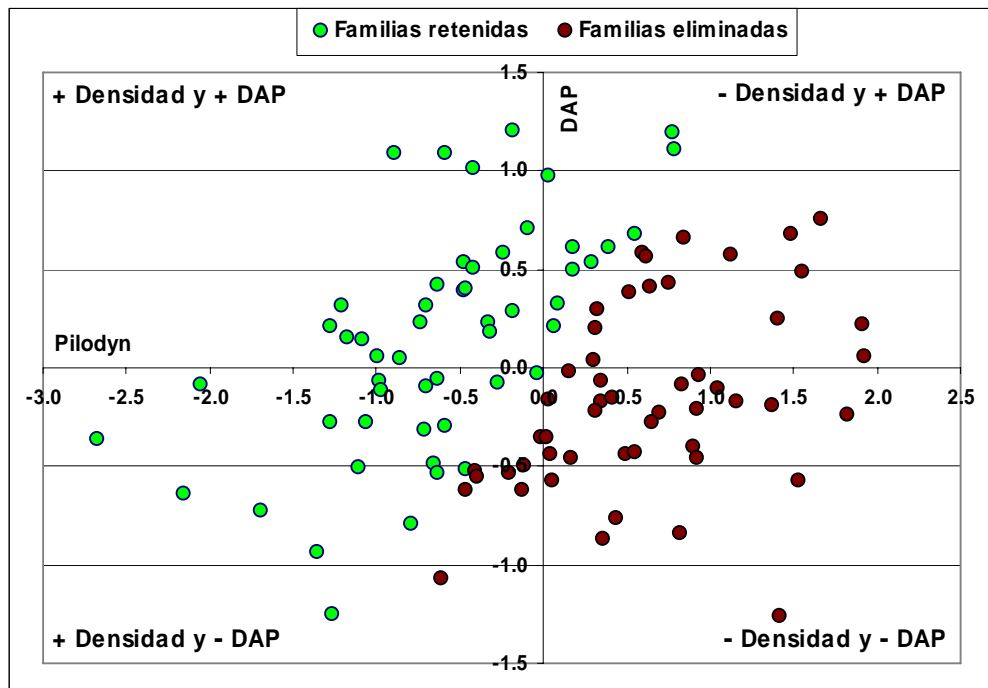


Figura 2. Valores de cría (estimados en conjunto con datos de Rivera y Durazno) para Pilodyn (eje horizontal) y DAP (eje vertical). Se discriminan las familias retenidas y eliminadas en el tercer raleo genético del Huerto Semillero de segunda generación.

Con este último raleo genético del Huerto Semillero de segunda generación, los individuos retenidos como productores de semilla pertenecen a las mejores 54 familias, es decir a las que combinan mayor productividad, mejor forma de fuste y mayor densidad de madera.

### Actividades futuras

El *Eucalyptus grandis* es la especie forestal más utilizada en nuestro país para la obtención de productos de madera sólida. La calidad de la madera para estos fines depende en gran medida del manejo del monte mediante podas (para obtener madera libre de nudos) y raleos (para lograr trozas de grandes dimensiones). Una mejora de la densidad y/o de las propiedades mecánicas de la madera (como la resistencia a la flexión) permitiría obtener productos de mayor calidad y/o utilizar la madera para productos de mayor valor.

Con el objetivo de estudiar la posibilidad de mejorar mediante selección características de madera que determinan la calidad para productos sólidos se estableció un acuerdo de trabajo entre el INIA (Programa Forestal) y el LATU (Proyectos Forestales). En este proyecto se medirán, en las pruebas de progenie de segunda generación y mediante métodos no destructivos, la densidad aparente básica y el módulo de elasticidad. Posteriormente se analizará la información obtenida (estimación de parámetros genéticos) para determinar la factibilidad de utilizar las características evaluadas como criterio de selección y eventualmente realizar un nuevo raleo genético del Huerto Semillero de segunda generación.

---

## BIBLIOGRAFIA

- Balmelli, G. 2001. Estimación y uso de parámetros genéticos en *Eucalyptus grandis*. Serie Técnica N° 121. INIA. Uruguay. 10 p.
- Balmelli, G. 2006. Dos generaciones de mejora en *Eucalyptus grandis*. En: Seminario Técnico 30 años de Investigación en Suelos de Areniscas. Serie Técnica N° 159. INIA. Montevideo. Uruguay. pp. 313-316.
- Balmelli, G. 2006. Manejo genético del Huerto Semillero de segunda generación de *Eucalyptus grandis*. En: Seminario Técnico 30 años de Investigación en Suelos de Areniscas. Serie Técnica N° 159. INIA. Montevideo. Uruguay. pp. 321-328.
- Malan, F. 1988. Genetic variation in some growth and wood properties among 18 full-sib families of South African grown *Eucalyptus grandis*: a preliminary investigation. *South African Forestry Journal* (146):38-43.
- Rockwood, D.L., Dinus, R.J., Kramer, J.M., McDonough, T.J. 1995. Genetic variation in wood, pulping, and paper properties of *Eucalyptus amplifolia* and *E. grandis* grown in Florida USA. En: *Eucalypt plantations: improving fibre yield and quality*. Proceedings of the CRCTHF-IUFRO Conference. Hobart, Australia: p. 53-59.
- Zobel, B. J. and Talbert, J. 1984. Applied forest tree improvement. Wiley, New York. 505p.