

2. ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO GENETICO EN *Eucalyptus globulus*

Gustavo Balmelli

El Programa Nacional Forestal del INIA comenzó en 1993 un Plan de Mejoramiento Genético (PMG) para *Eucalyptus globulus*. La meta de dicho plan es proveer a viveristas y productores forestales con material (semillas y clones) mejorado localmente. El objetivo de selección para la primera generación es mejorar la adaptación a las diferentes zonas de prioridad forestal, maximizando la productividad por unidad de área.

La necesidad de trabajar simultáneamente con varias especies y zonas forestales, sumado a la escasez de recursos humanos, ha llevado a seguir una estrategia simple y de bajo costo. Por lo tanto los PMG desarrollados se basan en los siguientes elementos: una Población Multipropósito (manejada sucesivamente como Prueba de Progenie, Población de Cría y Huerto Semillero); una red de Pruebas de Progenie que aportan información genética para el manejo de dicha población; el manejo de la Población de Cría y del Huerto Semillero con polinización abierta; un corto intervalo generacional y una importante introducción de nuevos materiales en cada generación.

El Plan de Mejoramiento se basa en la selección recurrente (Figura 1) y en cada generación se cumplen las siguientes etapas: a) formación de la base genética; b) evaluación en las principales zonas de prioridad forestal; c) selección de progenitores para la Población de Cría y el Huerto Semillero.

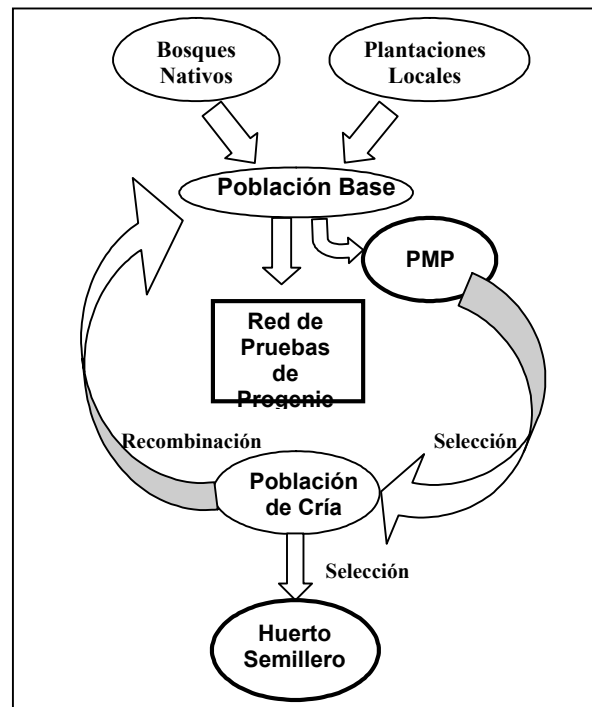


Figura 1. Esquema del proceso de Selección Recurrente. (PMP es la Población Multipropósito).

A continuación se presenta una descripción de las principales etapas desarrolladas durante la primera generación de mejoramiento.

a) Formación de la base genética para la primera generación

La variabilidad genética es un pre-requisito para obtener éxito en un plan de mejoramiento genético. La base genética para la primera generación de mejoramiento de *E. globulus* se formó con dos grandes fuentes de recursos genéticos: bosques nativos en Australia (Sur de Victoria y Tasmania) y plantaciones

comerciales locales. La primera de estas fuentes aporta una amplia diversidad genética mientras que la segunda aporta adaptación a nuestras condiciones y, a través de una gran intensidad de selección, características deseables.

En 1993 se realizó la introducción de semilla (adquirida en el CSIRO) de 180 árboles procedentes de 30 orígenes diferentes, que abarcaban gran parte del área de distribución natural de la especie. Dichos árboles son “elegidos” principalmente por ser representativos del bosque al que pertenecen (origen) y no necesariamente por poseer características destacables.

La selección local también se realizó en 1993, obteniéndose más de 100 árboles fenotípicamente superiores en 5 plantaciones pertenecientes a Metzen y Sena (Canelones); Diano (Lavalleja); IPUSA (Maldonado) y MGAP (Rocha). Se prospectaron plantaciones de más de 6 años, con buen estado general (sobrevivencia, crecimiento y sanidad). Dentro de cada plantación se seleccionaron aquellos árboles con características destacables (principalmente crecimiento y sanidad, y en menor medida forma del fuste), con una intensidad de selección promedio de 1 en 2000 árboles, de los cuales se cosechó semilla. La semilla utilizada en dichas plantaciones provenía de Australia (de varios orígenes), de España o había sido cosechada por las propias empresas en plantaciones anteriores (generalmente de origen desconocido).

b) Evaluación en las principales zonas de prioridad forestal

La evaluación genética de la población base es realizada mediante ensayos denominados Pruebas de Progenie y constituye una de las actividades más importantes de todo plan de mejoramiento genético. Dichas pruebas brindan información sobre: (i) el comportamiento productivo de diferentes fuentes de semilla en diferentes sitios y (ii) sobre la arquitectura genética de la población base. El primer tipo de información es directamente utilizable por el productor forestal, mientras que el segundo tipo de información es utilizado por el mejorador en diferentes etapas del plan de mejoramiento.

Entre 1994 y 1995 se instalaron, en convenio con empresas forestales, 9 Pruebas de Progenie en tres zonas de prioridad forestal. En 1996 se instaló en la Estación Experimental de INIA-Las Brujas la Población Multipropósito, Cuadro 1.

Cuadro 1. Ubicación y constitución de las Pruebas de Progenie (PP) y de la Población Multipropósito (PMP).

Prueba de Prog.	Año	Sitio	Fuente de semillas	Numero de progenies
A 35	1994	Tacuarembó (ART)	Orígenes Australianos	70
A 36	1994	Río Negro (EUFORES)		108
A 37	1994	Minas (Diano)		75
A 48	1995	Rivera (COFUSA)		58
A 49	1995	Aiguá (Diano)		50
A 50	1995	Palmitas (COFUSA)		49
L 51	1995	Aiguá (Diano)	Selecciones Locales	87
L 52	1995	Palmitas (COFUSA)		87
L 53	1995	Tacuarembó (Paso Alto)		89
PMP	1996	Canelones (INIA)	Ambas fuentes	209

Nota: la Prueba A 36 se perdió el año de instalación por sequía.

El período de evaluación comenzó al año de instaladas las Pruebas de Progenie y continúa con evaluaciones cada dos años. En cada evaluación se mide el crecimiento (altura y DAP) y la sobrevivencia, con lo que posteriormente se calcula la producción de madera por árbol y por hectárea.

La información obtenida es utilizada para estimar parámetros genéticos para las características de interés, permitiendo:

- cuantificar la variación genética existente en la población
- cuantificar la relación entre el control genético y el control ambiental (heredabilidad)
- conocer la relación genética existente entre diferentes características (correlaciones genéticas)
- cuantificar la interacción genotipo-ambiente (heredabilidad conjunta y correlaciones genéticas entre sitios)
- predecir el valor de cría (o valor genético) de cada progenitor
- estimar ganancias genéticas

Los parámetros poblacionales son utilizados para orientar la estrategia de mejoramiento (definir las zonas de mejora, los criterios y edades de selección, etc.) y los valores de cría para seleccionar los mejores progenitores según las características de interés, como productores de semilla³.

c) Selección de progenitores para la Población de Cría y el Huerto Semillero

La Población Multipropósito se constituye inicialmente por las progenies (también llamadas familias ya que los individuos de una progenie son medios hermanos) de la mayoría de los progenitores en evaluación. Como se mencionó al inicio, la segunda función que cumple esta población es la de Población de Cría. El objetivo de la misma es el permitir que el mayor número posible de individuos no emparentados se entrecrucen entre sí, lo cual es de gran importancia para un Plan de Mejoramiento Genético de largo plazo ya que permite incrementar la variabilidad genética para la siguiente generación de mejoramiento.

³ La estimación y utilización de estos parámetros en la primera generación de *E. globulus* puede consultarse en la Serie Aftercare Forestal INIA-JICA N°5.

La Población de Cría se obtiene mediante una primera selección (o raleo genético) de la Población Multipropósito. La selección tiene dos efectos contrapuestos: incrementa la frecuencia de los genes deseables y disminuye la variabilidad genética. Por tal motivo y para asegurar una base genética importante para la siguiente generación este primer raleo es de baja intensidad, buscándose eliminar únicamente aquellas progenies e individuos claramente inferiores.

Normalmente la Población de Cría funciona solamente durante un año, ya que una vez obtenida la semilla para la siguiente generación comienza una segunda etapa de selección con el objetivo de formar un Huerto Semillero. Esta nueva selección es de mayor intensidad ya que lo que se busca es que el Huerto Semillero contenga únicamente las mejores familias y dentro de éstas los mejores individuos para obtener semilla de alto valor genético y por lo tanto maximizar las ganancias genéticas en el corto plazo.

A diferencia de la Población de Cría, el Huerto Semillero estará en funcionamiento durante varios años, por lo que el mismo podrá mejorarse mediante nuevos raleos a medida que se vaya obteniendo información más adulta o información de otras características de interés en las Pruebas de Progenie.

La Población Multipropósito instalada en 1996 en Las Brujas, contenía inicialmente 209 familias. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar, con 14 repeticiones y parcelas de 4 plantas, de las cuales en 1997 se dejó la mejor según estado sanitario, crecimiento y forma.

Al tercer año de crecimiento, en Febrero de 2000, se realizó la primera selección de familias. Utilizándose en forma conjunta la información obtenida en la red de Pruebas de Progenie (ver Cuadro 1), se estimó el valor genético de cada progenitor (Valor de Cría) para volumen por hectárea al tercer año. Luego de rankear estos valores se procedió a eliminar todos los individuos pertenecientes a las 62 peores familias.

En Abril de 2001 se efectuó un segundo raleo, seleccionándose en este caso tanto familias como individuos dentro de familias. Para la selección de familias se utilizó la misma metodología que para el raleo anterior, pero esta vez con la información del quinto año de evaluación, eliminándose todos los individuos de las 23 peores familias. De las familias retenidas se eliminaron todos los individuos que presentaban problemas sanitarios o escaso crecimiento. Como resultado de ambos raleos genéticos, la Población de Cría contiene actualmente las 124 mejores familias.

Si bien no se seleccionó directamente por tolerancia a enfermedades y plagas, la selección por productividad (que combina sobrevivencia y crecimiento) constituye una forma de selección indirecta por sanidad. Al seleccionar por sobrevivencia se logra una mayor adaptación a factores ambientales extremos (tanto bióticos como abióticos) y al seleccionar por velocidad de crecimiento (y por lo tanto por vigor) se logra una menor predisposición al ataque de patógenos endófitos (presentes en árboles sanos pero que sólo comienzan la infección cuando el mismo está bajo condiciones de estrés).

Registro del período de floración

Como se dijo anteriormente, en la Población de Cría se busca que el mayor número posible de individuos no emparentados se entrecrucen entre sí para incrementar la variabilidad genética para la siguiente generación de mejoramiento. La calidad genética de la semilla producida no solamente depende del pool genético sino también del nivel de intercrucamiento, lo cual en buena medida está determinado por el grado de sincronización con que florecen los árboles de la población. Dado que la floración puede variar con el sitio, con la procedencia, entre familias y/o individuos, la inspección de la fecha de inicio y de finalización del período de floración de cada árbol permite conocer la existencia de individuos que florecen desfasados del resto. De ser así, dichos individuos no son cosechados ya que tienen una alta probabilidad de autofecundarse, con la consiguiente depresión por endogamia de su progenie.

La primera floración importante de la Población de Cría de *E. globulus* ocurrió en 2001, a los cuatro años y medio de edad. La floración de cada árbol fue inspeccionada cada 3 semanas, entre Abril y Octubre, para registrar la presencia o ausencia de flores. En dicho periodo floreció el 35 % de los 980 individuos presentes en la población, representando al 65 % de las 124 familias.

El período de floración comenzó a fines de Marzo y finalizó a fines de Octubre, registrándose el pico de floración a mediados de Mayo, momento en que estaban simultáneamente en flor casi el 70 % de los individuos que florecieron. No se observaron diferencias entre el período de floración de los individuos pertenecientes a familias australianas y locales, con excepción de los individuos del origen Jeeralang. Estos individuos comenzaron a florecer recién en Junio y su pico de floración ocurrió a fines de Setiembre, cuatro meses más tarde que para el resto de la población (Figura 2).

Como se verá en los artículos 3 y 4 de este Módulo, el origen Jeeralang es una excelente fuente de semilla para nuestras condiciones y no cabe duda de la importancia de incluirlo en el plan de mejoramiento de *E. globulus*. Sin embargo, el desfase entre el período de floración de este origen y el del resto de la población puede considerarse como una barrera reproductiva. Desde el punto de vista de la producción de semilla esta limitante podría levantarse mediante la implementación de un plan operacional de cruzamientos controlados. Si bien esta metodología viene realizándose exitosamente en *E. globulus* por empresas de varios países (Stora Celbi en Portugal; Forestal Monteaguila y Bosques Arauco en Chile y Cooperativa Australiana de Mejoramiento Genético en Australia), la actual disponibilidad de recursos del Programa Nacional Forestal del INIA hace que la implementación de dicha metodología no sea posible en el corto plazo. Mientras tanto para la producción de semilla comercial se deberán realizar dos cosechas y formar dos lotes de semilla diferentes, uno para el origen Jeeralang y otro para el resto de la población.

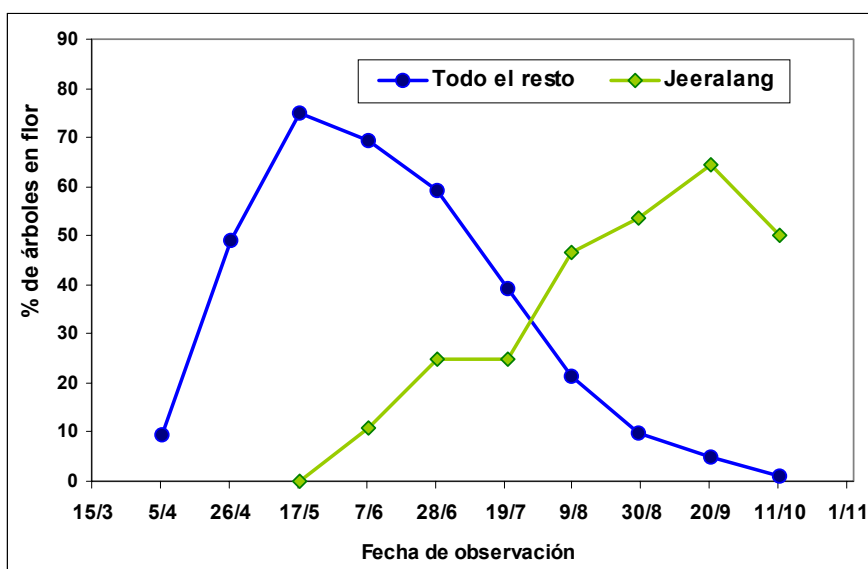


Figura 2. Período de floración de individuos pertenecientes al origen Jeeralang y al resto de la población.

Primera cosecha de frutos y semillas

Para determinar el momento de cosecha se realizó a partir de Febrero de 2002 un muestreo mensual para conocer la evolución de la madurez fisiológica de la semilla. La semilla recién alcanzó una madurez aceptable a fines de Marzo, por lo que la cosecha se realizó en Abril. Para la segunda generación de mejoramiento se cosecharon frutos de 115 árboles, como para obtener un gramo de semilla por árbol.

Para la producción de semilla comercial se excluyeron los árboles pertenecientes al origen Jeeralang (para minimizar los problemas derivados de la autofecundación) y solamente se cosecharon aquellos individuos que hubiesen terminado de florecer en la evaluación del 9 de Agosto. Se cosecharon 80 árboles que poseían suficientes frutos como para justificar su cosecha. Luego de extraída y procesada la semilla se obtuvieron 400 gramos de semilla limpia, la cual se encuentra actualmente en trámite de certificación ante el INASE para posteriormente ser puesta a disposición de los productores forestales.

Si bien el volumen de semilla producido en esta primera cosecha es muy reducido, su utilización en Ensayos de Rendimiento permitirá comenzar a evaluar su comportamiento (tanto productivo como sanitario) respecto a otras fuentes de semilla utilizadas actualmente a nivel comercial.

Segunda generación de Mejoramiento Genético

La segunda generación de mejoramiento se inicia en el presente año en el marco de un acuerdo de trabajo entre el INIA y la Sociedad de Productores Forestales. En el mes de Abril se sembró el material genético para la segunda generación en dos viveros comerciales (Vilanova y Solis). El mismo está formado por semillas de 230 progenitores de tres grandes fuentes de semilla: Población de Cría (o segunda generación propiamente dicha); mejores progenitores de la primera generación y nuevas introducciones (de programas de mejoramiento de Chile y de los mejores orígenes Australianos).

La estrategia general y las actividades a realizar serán similares a las de la primera generación. Sin embargo para la segunda generación de mejoramiento se realizarán modificaciones en las “zonas de evaluación” y en los “objetivos de selección”.

Las pruebas de progenie en la primera generación se instalaron en las zonas 2, 7 y 9. Teniendo en cuenta los problemas de adaptación que demuestra *E. globulus* fuera de la región Sureste (evidenciados por importantes problemas sanitarios) y teniendo en cuenta que en los últimos años esta especie se ha extendido principalmente en dicha región, se decidió instalar las pruebas de evaluación genética de la segunda generación solamente en los Departamentos de Maldonado, Lavalleja y Rocha.

Respecto a los objetivos de selección, en la primera generación el principal objetivo de selección fue el aumento en la productividad. Si bien esto constituye una forma indirecta de selección por tolerancia a enfermedades y plagas, para lograr material genético “tolerante” debe incluirse la susceptibilidad a las principales plagas y enfermedades como criterios de selección específicos. Teniendo en cuenta los importantes problemas sanitarios que presenta esta especie, se definieron para la segunda generación dos objetivos de selección con igual peso: productividad y sanidad.

Evaluación genética del comportamiento sanitario

Con el fin de obtener los recursos necesarios para llevar a cabo la evaluación del comportamiento sanitario en la segunda generación, se presentó un proyecto al Programa de Desarrollo Tecnológico (PDT). El título de dicho proyecto es: “Desarrollo de una raza local de *Eucalyptus globulus* tolerante a las principales enfermedades y plagas”⁴.

Los principales objetivos del proyecto son:

⁴ Hasta el momento el PDT no se ha expedido en cuanto a la aprobación de los proyectos presentados.

1. Depurar el Huerto Semillero de primera generación en base a la selección de los progenitores con menor susceptibilidad a enfermedades y plagas que afectan la madera de árboles en pie, posibilitando a corto plazo la producción de semilla de buena productividad y sanidad.
2. Seleccionar para el Huerto Semillero de segunda generación aquellos progenitores con menor susceptibilidad a enfermedades y plagas que afectan el follaje, posibilitando a mediano plazo la producción de semilla de mayor productividad y mejor sanidad.

Para lograr estos objetivos, el proyecto se dividirá en 3 etapas. En la primera etapa se evaluará la tolerancia a enfermedades y plagas que afectan la madera de árboles en pie en las pruebas de progenie de primera generación. En la segunda etapa se evaluará la tolerancia a enfermedades y plagas que afectan el follaje en las pruebas de progenie de segunda generación. La tercera y última etapa también se realizará sobre la segunda generación, pero en este caso mediante inoculación artificial con *Mycosphaerella* spp.

La información generada permitirá definir cual o cuales enfermedades o plagas son factibles de mejora mediante selección y finalmente manejar los Huertos Semilleros mediante la selección de aquellos progenitores más tolerantes a las mismas.