

PLAN DE MEJORAMIENTO GENÉTICO PARA *Eucalyptus grandis* DEL PROGRAMA NACIONAL FORESTAL

Gustavo Balmelli¹

TEMARIO

- I. Introducción
- II. Plan de Mejoramiento Genético para *E. grandis*
- III. Ganancia Genética
- IV. Estimación de Parámetros Genéticos en *E. grandis*
- V. Consideraciones finales

I. INTRODUCCION

El cultivo forestal, a diferencia de los cultivos agrícolas, requiere varios años de permanencia en el campo antes de su cosecha. Por tal motivo la elección y utilización de una adecuada fuente de semilla es uno de los primeros y más importantes aspectos a tener en cuenta para lograr una plantación exitosa.

La calidad de la semilla dependerá de su capacidad para adaptarse a las características del sitio a forestar, esto es, de adaptarse a las variables condiciones de nuestro clima, a una gran variedad de suelos y a las diferentes medidas de manejo a que se verá sometida, así como a la presencia de posibles enfermedades y plagas.

El *Eucalyptus grandis* es la especie forestal más utilizada en el Uruguay, existiendo en 1997 más de 96.000 hectáreas de plantaciones comerciales. Lamentablemente, es bastante corriente el uso de semilla nacional de origen incierto o con escaso grado de selección y el uso de semilla importada sin evaluación local.

La necesidad de contar con semilla de *Eucalyptus grandis* de probada adaptación a las diferentes zonas de prioridad forestal llevó al Programa Forestal del INIA a implementar, desde 1992, un Plan de Mejoramiento Genético para esta especie.

El Objetivo de dicho Plan es producir semilla mejorada genéticamente para las condiciones locales y para los principales productos forestales, siendo la Meta del Programa Forestal del INIA el cubrir la demanda nacional de semilla mejorada de *Eucalyptus grandis*.

¹ Ing. Agr. M.Sc. – Programa Nacional Forestal- INIA Tacuarembó

II. PLAN DE MEJORAMIENTO GENETICO PARA *Eucalyptus grandis*

II.1. Estrategia general

La necesidad de trabajar simultáneamente con varias especies y la intención de cubrir todas las zonas forestales, sumado a la escasez de recursos humanos, ha llevado al Programa Forestal del INIA a seguir una estrategia donde las diferentes actividades de un Plan de Mejoramiento Genético (evaluación, selección, cruzamiento y producción de semillas) se combinan en una única población (denominada Población Multipropósito).

II.1.1. Población Multipropósito

Esta Población tiene 3 características que le permiten cumplir con diferentes objetivos: a) está constituida por la mayor parte de los materiales que posee el Programa Forestal del INIA (progenies de árboles plus locales y progenies de diferentes orígenes o procedencias); b) tiene un diseño experimental que posibilita su uso como Prueba de Progenie y c) es manejada genéticamente primero como Población de Cría y luego como Huerto Semillero.

La Población Multipropósito está ubicada en Zona 7 (predio de la EE del Norte) y sólo sirve como Prueba de Progenie hasta el momento de realizar la primera selección (primer raleo) por lo que es complementada por una serie de Pruebas de Progenie instaladas en diferentes Zonas.

Los principales objetivos como Prueba de Progenie son: a) estimar localmente para las características de interés los parámetros genéticos de la población (heredabilidad, interacción genotipo-ambiente, correlaciones genéticas para una característica a distintas edades; correlaciones genéticas entre distintas características); b) evaluar performance y por lo tanto seleccionar las familias que serán mantenidas para formar la Población de Cría y luego el Huerto Semillero.

II.1.2. Población de Cría

La selección realizada luego del ranqueo de las familias tiene 2 efectos: incrementa la frecuencia de los genes deseables y disminuye la variabilidad genética. El objetivo de esta población como Población de Cría es el permitir que el mayor número posible de individuos no emparentados se entrecrucen entre sí. Este objetivo es de gran importancia para un Plan de Mejoramiento Genético de largo plazo, ya que permite, a través de la recombinación de genes, incrementar la variabilidad genética para la siguiente generación de mejoramiento.

II.1.3. Huerto Semillero

Luego de asegurada una amplia base genética para la siguiente generación la Población de Cría es raleada nuevamente (segunda selección) con el objetivo de formar un Huerto Semillero que contenga únicamente las mejores familias y dentro de éstas los

mejores individuos para obtener semilla altamente seleccionada y por lo tanto maximizar las ganancias genéticas en el corto plazo.

En la Figura 1 se presenta el esquema de un Ciclo de Mejoramiento con las principales actividades del Plan y las diferentes funciones que cumple la Población Multipropósito.

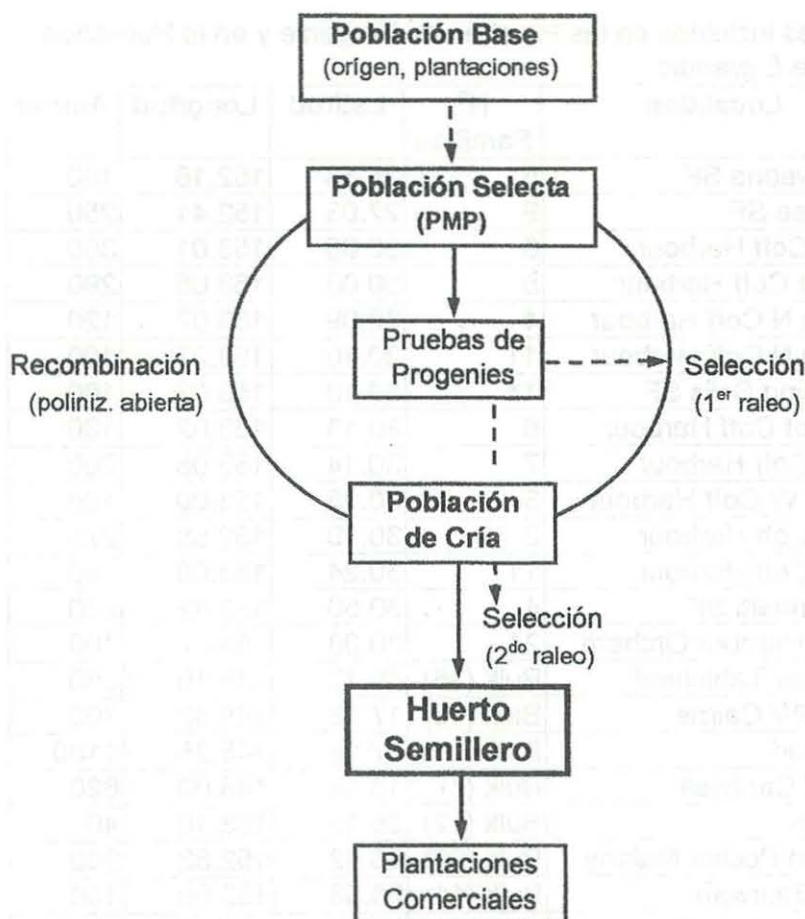


Figura 1. Esquema general de un Ciclo de Mejoramiento Genético

II.2. Etapas del Plan de Mejoramiento Genético para *E. grandis*

II.2.1. Creación de la primera generación de mejoramiento

La primera generación de mejoramiento de *E. grandis* se creó con dos grandes fuentes de recursos genéticos: el área de distribución natural de la especie (costa Este de Australia) y las plantaciones comerciales locales. La primera de estas fuentes aporta una amplia diversidad genética y la segunda aporta adaptación a nuestras condiciones y, a través de una gran intensidad de selección, características destacables.

En 1992 se realizó la introducción de 118 materiales procedentes de 25 orígenes

(abarcando gran parte del área de distribución natural) al mismo tiempo que se seleccionaron localmente 111 materiales en 7 plantaciones comerciales distribuidas en todo el país. Se incluyeron también 2 lotes de semilla comercial, los cuales funcionan como testigos. La lista de materiales incluidos en los diferentes test genéticos (Pruebas de Progenie y Población Multipropósito) se detalla en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Lista de materiales incluidos en las Pruebas de Progenie y en la Población Multipropósito de *E. grandis*

Código	Estado	Localidad	Nº Familias	Latitud	Longitud	Altitud
16893	QLD	Brooweena SF	5	25.33	152.16	100
16940	QLD	Mt. Mee SF	9	27.03	152.41	250
16437	NWS	Near Coff Harbour	6	30.05	153.01	300
13309	NWS	NW of Coff Harbour	5	30.06	153.05	290
16435	NWS	16 km N Coff Harbour	4	30.09	153.07	120
16436	NWS	15 km N Coff Harbour	11	30.10	153.07	100
18273	NSW	Webbing Bells SF	11	30.10	153.07	100
16443	NSW	Near of Coff Harbour	6	30.13	153.02	130
16442	NWS	Near Coff Harbour	7	30.14	153.05	200
13897	NWS	Orara W Coff Harbourt	3	30.15	153.00	105
16444	NWS	Near Coff Harbour	2	30.19	152.58	270
16454	NWS	Near Coff Harbour	11	30.24	153.00	150
17767	NSW	Collombatti SF	4	30.50	152.42	230
18146	NSW	Coffs Harbour Orchard	24	30.08	153.07	100
17709	QLD	Windsor Tableland	Bulk (16)	16.12	145.10	250
17562	QLD	30 k SW Cairns	Bulk (10)	17.13	145.42	700
16583	QLD	Atherton	Bulk (10)	17.18	145.25	1100
14838	QLD	WNW Cardwell	Bulk (7)	18.14	143.00	620
16892	QLD	Kin Kin	Bulk (12)	26.12	153.10	40
15875	QLD	Baroon Pocket Maleny	Bulk (20)	26.42	152.53	200
15508	QLD	W of Beerwah	Bulk (11)	26.53	152.50	100
16839	NWS	W of Coffs Harbour	Bulk (20)	30.15	152.58	450
15921	NSW	Kempsey Tan Ban SF	Bulk (6)	30.52	152.51	50
13895	NSW	Wauchope	Bulk (7)	31.20	152.37	80
EO	Colonia	Juan Lacaze	20			
JL	Colonia	Juan Lacaze	29			
CB	Paysandu	P. colradas	23			
BS	Durazno	Villasboas	13			
EE	Salto	El Espinillar	15			
BIC	C. Largo	Bañado de Medina	6			
DT	Tbó.	Dutra	5			
Comerc	C. Largo	(Bañado de Medina)				
Comerc	Sud Africa	(Mondii Forest)				

*QLD: Queensland; NWS: Nueva Gales del Sur

**DT, BS, EO, CB, EE, BIC, JL: Plantaciones comerciales de Uruguay

II.2.2. Instalación de Pruebas de Progenie

En 1993, en convenio con empresas forestales, se instalaron 9 ensayos de evaluación, o Pruebas de Progenie, en sitios representativos de las principales zonas para esta especie (Zonas CIDE 7, 8 y 9). La Población Multipropósito también se instaló en 1993. El diseño experimental de todas las pruebas fue de Bloques Completos al Azar, el número de repeticiones y el tamaño de las parcelas, así como la composición de cada test se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Diseño y constitución de las Pruebas de Progenie (PP) y de la Población Multipropósito (PMP)

Test	Sitio	Zona	Familias	Bloques	Pla/Parcela
PP selecciones locales	Tacuarembó. La Magnolia	7	111	10	5
PP selecciones locales	Tres Bocas. La Nona	9	105	10	5
PP selecciones locales	Tacuarembó. Montevideo Chico	8	85	10	5
PP orígenes Australianos	Tacuarembó. La Zulma	7	80	6	10
PP orígenes Australianos	Tres Bocas. San Martín	9	68	6	10
PP orígenes Australianos	Tacuarembó. Montevideo Chico	8	58	6	10
PP Huerto Sem. Australiano	Tacuarembó. La Magnolia	7	25	3	20
PP Huerto Sem. Australiano	Tres Bocas. San Martín	9	18	3	20
PP Huerto Sem. Australiano	Tacuarembó. Montevideo Chico	8	11	3	20
PMP	Tacuarembó. E.E. del Norte	7	180	30	1

II.2.3. Período de Evaluación

El período de evaluación de las Pruebas de Progenie comenzó en 1994, al año de instalados los ensayos. En dicho año se midió la sobrevivencia y la altura de los árboles. Luego, cada dos años, se midió la sobrevivencia, la altura y el diámetro, con lo que se calculó la producción de madera por árbol y por hectárea.

Esta información se utilizó para estimar parámetros genéticos para las diferentes características y para estimar el valor genético de cada familia para las características a seleccionar. Los valores genéticos se estimaron utilizando la técnica de BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) o Mejor Predictor Lineal Insesgado.

Los parámetros genéticos son utilizados para orientar la estrategia de selección y los valores genéticos (o valores de cría) son utilizados para ranquear las familias (y seleccionar las mejores) y estimar ganancias genéticas.

II.2.4. Selección y manejo de la PMP

En Diciembre de 1996 se realizó el primer raleo de la PMP. Se ranquearon las familias según volumen/árbol 3^{er} año, eliminándose el 20% de las peores familias. Dentro de las familias mantenidas se eliminaron los peores individuos. De esta forma, la PMP pasó de 180 familias a 146 y se bajó la densidad de plantación de 2000 árboles por hectárea a aproximadamente 800. Como se mencionó anteriormente, con este raleo la PMP deja de funcionar como Prueba de Progenie para hacerlo como Población de Cría.

Como se dijo anteriormente la Población de Cría tiene como único objetivo el incrementar la variabilidad genética para la siguiente generación a través de la recombinación de genes. En 1997 se permitió que los individuos seleccionados se entrecruzaran libremente (floración entre Febrero y Abril) y en Agosto se realizó la cosecha de semillas para la segunda generación. Se cosecharon 148 árboles, representando a 106 familias, que junto con nuevas introducciones son la base para la segunda generación de mejoramiento (instalada en 1998).

En Noviembre de 1997 la Población de Cría es transformada en Huerto Semillero mediante un segundo raleo, dejándose solamente 76 familias como productoras de semilla. Esta selección se realizó en base un índice de selección que integraba el valor de cría para volumen por árbol y para penetración por Pilodyn (indirectamente para densidad).

En 1998, con las mediciones de las P. de P. al 5^{to} año de crecimiento se realizó un nuevo ranking en base a productividad, es decir en base al volumen de madera por hectárea, para cada Zona. Este ranking fue utilizado con dos objetivos: definir las familias que serían cosechadas (las mejores para cada Zona) en la primer cosecha comercial y definir las familias a eliminar en un tercer raleo para mejorar la calidad genética del Huerto. Dicho raleo fue realizado en Diciembre de 1998 dejándose 50 de las 76 familias.

II.2.5. Primer Cosecha del Huerto Semillero

Entre Febrero y Junio de 1998 se llevó a cabo la inspección de la floración en el Huerto Semillero, registrándose semanalmente la fecha de inicio y de finalización del período de floración en cada árbol. El objetivo de este estudio fue garantizar que no existieran familias o árboles cuya floración esté desfasada del resto. Los árboles o familias que florecen desfasados (muy temprano o muy tarde) no son cosechados porque tienen una alta probabilidad de cruzarse entre sí o de autofecundarse con la consiguiente depresión por endogamia que sufriría su progenie.

El período normal de floración del *E. grandis* en esta zona es de principios de Febrero a mediados de Abril. En el año 1998, probablemente por el exceso de lluvias registrado en Otoño, la floración se atrasó, comenzando prácticamente a principios de Marzo, y se prolongó hasta fines de Junio (algunos árboles continuaron con flores hasta Agosto). Se observó una gran variación en el momento de inicio, finalización y duración del período de floración de cada árbol. La cantidad de flores también fue muy heterogénea, lo que se reflejó en la producción de semillas por árbol.

La determinación del momento de cosecha se realizó estudiando la evolución de la madurez fisiológica de la semilla a lo largo del año, a través de muestreos mensuales (desde Mayo a Octubre). La semilla recién alcanzó una madurez aceptable (1000 semillas viables por gramo) a fines de Octubre, realizándose la cosecha en Noviembre.

Desde el punto de vista genético, el Huerto debe producir semilla con la máxima selección que sea posible sin reducir demasiado la base genética. Para maximizar la ganancia esperada en esta primer cosecha comercial se decidió aumentar la intensidad de selección cosechando sólo las mejores familias para cada Zona (si bien las 76 familias aportaron polen). Se tuvo en cuenta los valores de cría para producción de madera (volumen por hectárea al 5^{to} año). De esta forma, se seleccionaron para cosechar las 35 mejores familias para las Zonas 7 y 8 (las 24 mejores en cada zona, con 13 familias en común). Para la Zona 9 no se justificó una cosecha similar, por presentar valores de cría muy bajos (cercanos a cero) y por lo tanto una ganancia esperada también cercana a cero.

Para esta primer cosecha comercial se definió como objetivo desde el punto de vista productivo, el maximizar la producción de semilla pero sin afectar demasiado la productividad de los árboles para las cosechas venideras. Los árboles fueron tronchados, aproximadamente en la mitad de su copa, con el doble objetivo de facilitar la presente cosecha (ya que ésta se realizó desde el piso) y de facilitar las cosechas futuras (manteniendo la copa de los árboles a una altura razonable).

Se colectó y procesó la semilla de cada árbol por separado. Posteriormente se formaron los lotes para Zona 7 y 8 mezclando la semilla correspondiente a las mejores familias en cada una. Se cosecharon en total 7.550 gramos de semilla sucia de la cual, después de formar los 2 lotes y limpiarla con soplador, quedaron 2.020 gramos de semilla limpia para Zona 7 y 1.950 gramos para Zona 8.

Posteriormente se realizaron test de viabilidad para cada lote, obteniéndose 2.035.000 semillas viables por kilogramo para el lote de Zona 7 y 1.895.000 para el lote de Zona 8. Actualmente está en trámite la certificación de la semilla ante el INASE para posteriormente ponerla a disposición de los productores forestales.

En la Figura 2 se presenta un esquema que resume las diferentes etapas del Plan de Mejoramiento Genético para *E. grandis*.

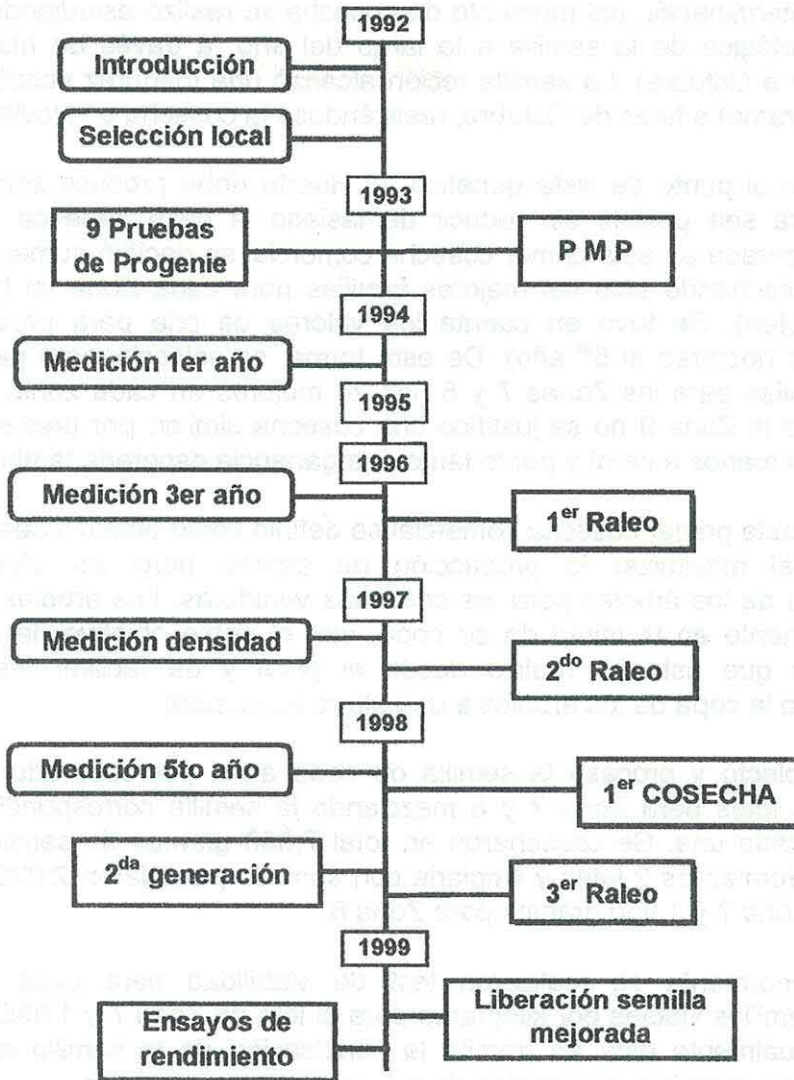


Figura 2. Cronograma del Plan de Mejoramiento Genético para *E. grandis*

III. GANANCIA GENETICA

III.1. Ganancia por selección

La Ganancia Genética es la superioridad de la semilla mejorada con respecto a la población base como respuesta a la selección realizada. En términos numéricos es la diferencia entre la media de la progenie (nueva población) y la media de la población base (población original).

La magnitud de la ganancia obtenida depende de una serie de factores, algunos de índole genética y otros relacionados con el manejo genético (factores humanos). Los factores genéticos ponen un techo a la ganancia y son:

- la heredabilidad de la característica seleccionada
- la variación existente en la población base para dicha característica
- la intensidad de selección aplicada

Los factores humanos determinan que tan cerca de ese techo puede llegarse y entre otros puede mencionarse:

- la calidad de la información obtenida en las Pruebas de Progenie
- la habilidad para rankear los valores genéticos (seleccionar en la dirección correcta)
- el diseño del Huerto Semillero para evitar endogamia y contaminación

III.2. Predicción de Ganancia Genética

En la Figura 3 se presenta el rendimiento (volumen/hectárea al 3er año) en la PMP de diferentes grupos. La Población total (180 familias) tuvo un rendimiento medio de 62.1 m³/há. Los dos testigos comerciales prácticamente igualaron a la media (60.2 y 60.9 m³/há para Mondii y Bañado de Medina, respectivamente) o sea que se situaron en la mitad del ranking. Las 76 familias presentes en el Huerto Semillero tuvieron un promedio de 73.4 m³/há (18 % por encima de la media general) y las 20 familias que finalmente formaron el lote para Zona 7 tuvieron un promedio de 77.8 m³/há (25 % por encima de la media general).

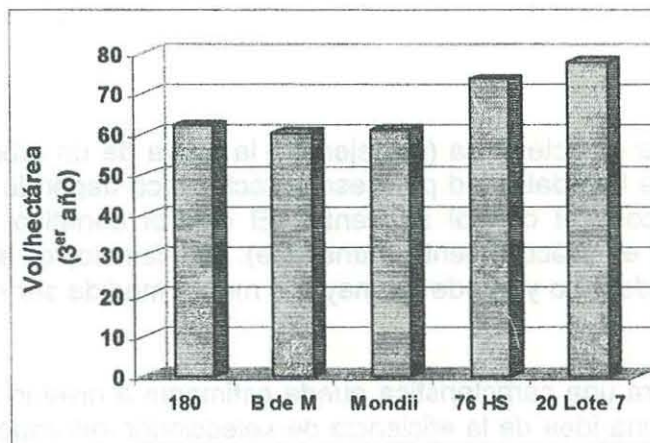


Figura 3. Rendimiento en PMP al 3^{er} año de diferentes grupos de familias.

Sin embargo dichos valores son fenotípicos (pudiendo o no ser un buen indicador del valor genético) y para el 3^{er} año de crecimiento (previo al 1^{er} raleo de la PMP). Por otro lado no tienen en cuenta la cantidad de semilla aportada por cada familia a la nueva generación.

La predicción de ganancia genética para volumen por hectárea al 5^{to} año se realizó en base a los valores genéticos (o valores de cría) estimados para cada familia ponderados por la cantidad de semilla aportada. De esta forma se estima una ganancia genética para el lote de Zona 7 de 23% y para el lote de Zona 8 de 11%.

Como fue mencionado anteriormente, por diferentes motivos la calidad de la información obtenida en las Pruebas de Progenie en Zona 9 no tuvo la suficiente precisión como ranquear con certeza las familias para dicha zona. En otras palabras, la ganancia genética esperada es muy baja y por lo tanto no se justificó la formación de otro lote.

IV. ESTIMACION DE PARAMETROS GENETICOS EN *E. grandis*

Los Parámetros Genéticos describen las características genéticas de una población en un determinado sitio. Su estimación se basa en la evaluación de Pruebas de Progenie y permiten:

- cuantificar la variación genética existente en la población para una determinada característica
- cuantificar para determinada característica la relación entre el control genético y el control ambiental (heredabilidad)
- conocer la relación existente entre el valor genético para diferentes características (correlaciones genéticas)
- predecir el valor de cría de cada árbol madre
- estimar ganancias genéticas

En otras palabras, los parámetros genéticos son herramientas necesarias para definir y orientar la estrategia del Plan de Mejoramiento Genético.

IV.1. Heredabilidad (h^2)

La expresión de una característica (por ejemplo la altura de un árbol) depende del genotipo y del ambiente. La heredabilidad para esa característica depende de la magnitud relativa del control genético y el control ambiental. El control genético depende de la especie (y por lo tanto no es prácticamente manejable). En cambio, el efecto ambiental depende de la variabilidad del sitio y puede en mayor o menor medida ser manejado por el diseño experimental.

La heredabilidad para una característica puede estimarse a nivel individual (h_i^2) o a nivel de familia (h_f^2) y dan una idea de la eficiencia de seleccionar individuos o familias. La heredabilidad tiene valores entre 0 y 1. Cuanto más cercana a 1 mayor será el control genético y por lo tanto mayor la probabilidad de éxito por selección o sea mayores ganancias genéticas.

Las estimaciones de heredabilidad para determinada característica sólo son útiles para la población estudiada y para los sitios y diseño experimental utilizados en las Pruebas

de Progenie. Se presentan a continuación una serie de ejemplos para mostrar algunas tendencias generales y el posible uso de este parámetro en el Plan de Mejoramiento.

Ejemplos de heredabilidad para diferentes características y a diferentes edades estimadas en Pruebas de Progenie de orígenes en Zona 7.

	h_i^2	h_f^2
Altura 1	0.10	0.44
Altura 3	0.12	0.47
Altura 5	0.22	0.69
DAP 3	0.10	0.47
DAP 5	0.29	0.81

- la heredabilidad de familias es siempre mayor que la individual
- la heredabilidad para características de crecimiento aumenta con la edad y por lo tanto es más eficiente seleccionar tarde
- la heredabilidad para DAP y Altura son similares al 3^{er} año pero la de DAP es mayor al 5^{to} año (es más seguro seleccionar por DAP)

Ejemplos de heredabilidad y de la precisión con que ésta puede estimarse (desviación estándar o d.e.) para una característica estimada en Pruebas de Progenie con diferente diseño experimental en Zona 7. h_i^2 para Volumen/árbol al 3^{er} año.

Diseño experimental	h_i^2	d.e.
6 repeticiones y 10 plantas/parcela	0.08	0.03
10 repeticiones y 5 plantas/parcela	0.17	0.03
30 repeticiones y 1 planta/parcela	0.38	0.05

- la heredabilidad depende del diseño experimental (diferentes diseños experimentales tienen diferente eficiencia en reducir el efecto de la variación ambiental)
- la precisión de la estimación (desvío estandar) también depende del diseño

Ejemplos de heredabilidad estimada en Pruebas de Progenie de orígenes en 3 sitios. h_f^2 para Volumen/hectárea al 5^{to} año.

Zona	h_f^2	d.e.
7	0.83	0.16
8	0.88	0.19
9	0.33	0.18

- la heredabilidad también depende de las características del sitio ya que la variación ambiental puede ser muy diferente de un sitio a otro

Las Pruebas de Progenie en Zona 9 tuvieron durante la implantación y primeras etapas problemas de enmalezamiento y hormigas. El control ambiental fue tan fuerte que no permitió la expresión del valor genético. Una $h_r^2 = 0.33$ es muy baja como para obtener aceptables ganancias por selección, máxime cuando la precisión de su estimación es tan baja (d.e. muy alta). Esta fue una de las principales razones para no formar un Lote de semillas para esta Zona.

IV.2. Correlaciones Genéticas (r_G)

Las correlaciones genéticas (r_G) expresan la relación existente entre el control genético para 2 características y dependen de la cantidad de genes comunes a ambas características. Su estimación es útil para predecir el efecto de la Selección Indirecta, es decir, permite seleccionar en una característica y como se ve afectada otra característica.

Las correlaciones genéticas tienen valores entre -1 y 1. Valores de r_G cercanos a 0 significa que ambas características son independientes (están controladas por genes diferentes). Valores cercanos a 1 o -1 indican mayor cantidad de genes comunes.

Valores de r_G cercanos a 1 indican que la selección por aumento de una característica hará aumentar también la otra y valores de r_G cercanos a -1 indican que la selección por aumento de una característica hará disminuir la otra.

Hay varios tipos de correlaciones genéticas: de una característica a diferentes edades (correlación juvenil-adulto); entre dos características diferentes y entre una característica en diferentes sitios (cuantifica la interacción genotipo-ambiente). Al igual que para la heredabilidad, las correlaciones genéticas son estimaciones que sólo son útiles para la población en estudio y para los sitios y diseño experimental utilizados en las Pruebas de Progenie. Se presentan a continuación una serie de ejemplos para mostrar los diferentes tipos de correlaciones genéticas y su posible uso en el Plan de Mejoramiento.

IV.2.1. Correlaciones “juvenil-adulto”

La importancia de las correlaciones juvenil-adulto radica en que permiten predecir el efecto de realizar una Selección Temprana.

Ejemplos de correlaciones para altura desde 1 a 5 años en Pruebas de Progenie de orígenes en Zona 7.

	(Altura 1-3)	(Altura 1-5)	(Altura 3-5)
r_G	0.63	0.58	0.92

- la utilización de Altura al 1^{er} año como criterio de selección no es muy eficiente para lograr incrementos en Altura al 5^{to} año
- la Altura al 3^{er} año es un buen criterio de selección para mejorar Altura al 5^{to} año

En otras palabras, si el OBJETIVO de selección fuese Altura al 5^{to} año, la selección por Altura al 3^{er} año tendría una eficiencia de 92% con respecto a seleccionar directamente por Altura al 5^{to} año. En otras palabras, se pierde algo de eficiencia pero se gana tiempo.

IV.2.2. Correlaciones entre diferentes características

Las correlaciones entre diferentes características permiten predecir el efecto de la Selección Indirecta. Esta puede ser intencional (cuando por determinado motivo es más sencillo medir una característica asociada que la propia característica a mejorar) o puede ser accidental (cuando intentamos mejorar una característica pero por accidente empeoramos otra).

Ejemplos de correlaciones genéticas para diferentes características medidas al 3^{er} año en Pruebas de Progenie de orígenes en Zona 7.

r_G	(Altura y Vol/árbol)	= 0.88
	(DAP y Vol/árbol)	= 0.96
	(Vol/árbol y Pilodyn)	= 0.07

- Si el Volumen/árbol es el OBJETIVO de selección, DAP es mejor criterio de selección que Altura por una mayor correlación y por la mayor facilidad de medición (menores costos). Este es un caso de utilización de r_G para Selección Indirecta Intencional.
- La selección por Volumen no afecta la Densidad, por lo tanto no hay riesgo de disminuir la Densidad por accidente (no hay riesgo de Selección Indirecta Accidental)

IV.2.3. Correlación entre diferentes características a diferentes edades

La correlación entre diferentes características a diferentes edades es una combinación entre los dos tipos anteriores y permite predecir el efecto de Selección Temprana Indirecta.

Ejemplo de correlaciones genéticas para diferentes características evaluadas a diferentes edades en Pruebas de Progenie de orígenes en Zona 7.

Característica objetivo = Volumen/hectárea 5^{to} año

	(Altura 1)	(DAP 3)	(Vol/árb 3)
r_G (Vol/há 5)	0.63	0.86	0.88

- Si el OBJETIVO es mejorar la productividad o sea Volumen/hectárea al 5^{to}, año la Altura al 1^{er} año no es un criterio eficiente
- el DAP o el Volumen/árbol al 3^{er} año son buenos criterios

En otras palabras, si el objetivo de selección es Volumen/hectárea al 5^{to} año, la selección por DAP al 3^{er} año tendría una eficiencia de 86% con respecto a seleccionar directamente por Volumen/hectárea al 5^{to} año. Desde otro punto de vista, se pierde algo de eficiencia pero se gana tiempo y se reducen los costos de medición.

IV.2.4. Correlación entre una característica evaluada en diferentes sitios

Un caso particular de Selección Indirecta es la correlación de una característica en diferentes sitios (Selección Indirecta desde el punto de vista de seleccionar por una característica evaluada en un sitio para mejorarla en otro).

Es una forma de cuantificar la Interacción Genotipo-Ambiente, cuanto mayor es la r_G mayor es la similitud entre el ranking de los valores genéticos en ambos sitios y por lo tanto mayor es la eficiencia de seleccionar indirectamente una característica en un sitio para mejorarla en otro.

Ejemplo de correlaciones genéticas para Volumen/árbol y Volumen/hectárea al 5^{to} año en Pruebas de Progenie de orígenes en Zonas 7, 8 y 9.

	Vol/árbol	Vol/hectárea
r_G (Zonas 7 - 8)	0.72	0.76
(Zonas 7 - 9)	0.36	0.52
(Zonas 8 - 9)	0.27	0.39

- Las correlaciones son bajas o sea la Interacción Genotipo-Ambiente es alta.
- La correlación entre sitios es relativamente aceptable solamente entre Zonas 7 y 8 ($r_G = 0.76$ para Vol/há).
- La Zona 9 tiene una muy baja correlación con las otras dos Zonas o sea el ranking para Zona 9 es muy diferente.

Si se pretendiese seleccionar familias simultáneamente para las 3 Zonas, se encontrarían muy pocas familias con una aceptable adaptabilidad general y se perdería gran parte de la adaptabilidad específica para cada Zona (las mejores familias para cada Zona serían eliminadas).

Esta información sugiere, desde el punto de vista de la producción de semilla, la necesidad de formar diferentes lotes comerciales para las Zonas 7 y 8. Desde el punto de vista del manejo del Huerto Semillero, estos resultados fueron utilizados al momento de seleccionar las 50 mejores familias para ser mantenidas luego del 3^{er} raleo realizado en Diciembre de 1998.

V. CONSIDERACIONES FINALES

El Plan de Mejoramiento Genético para *Eucalyptus grandis* que el Programa Nacional Forestal del INIA viene ejecutando desde el año 1992 permitirá a corto plazo poner a disposición de viveristas y productores forestales la primera generación de semilla mejorada en condiciones locales.

Se espera que la utilización de esta semilla redunde, a través de una mejor sobrevivencia y un mayor crecimiento inicial, en una reducción de los costos de mantenimiento del cultivo. Así mismo, en base a estimaciones preliminares, se espera un aumento de productividad por unidad de superficie de aproximadamente 23% para Zona 7 y 11% para Zona 8, lo que representará en definitiva un incremento de los ingresos para el forestador.

Si bien esta semilla puede considerarse el producto final del esquema descrito, el Plan de Mejoramiento Genético para *Eucalyptus grandis* continúa, habiéndose instalado en 1998 la segunda generación de mejoramiento. En ésta segunda generación, además de adaptación y productividad, se tendrán en cuenta como criterios de selección las características tecnológicas de la madera que definen la calidad de los diversos productos forestales.