

MEJORA GENÉTICA DEL PINO RADIATA (PINUS RADIATA D.DON) EN EL PAÍS VASCO

S. Espinel
A. Aragonés

AZTI-CIMA
Apdo. 46
01080 Vitoria-Gasteiz
España

RESUMEN

Se expone brevemente la metodología empleada en el programa de mejora de pino radiata en el País Vasco y se comentan algunos resultados obtenidos en los diferentes ensayos de campo asociados al programa, en especial los referentes a ciertos parámetros genéticos.

Palabras clave: Pino radiata, Mejora genética, Parámetros genéticos.

SUMMARY

RADIATA PINE BREEDING PROGRAM IN BASQUE COUNTRY

Methodology of radiata pine breeding program in Basque Country are briefly exposed. Some results concerning genetic parameters of the species are also discussed.

Key words: Radiata pine, Breeding program, Genetic parameters.

Introducción

A pesar de que las masas de *Pinus radiata* de la Comunidad Autónoma Vasca (CAV), se pueden catalogar entre los bosques más productivos de Europa, son susceptibles de mejora. En efecto, la producción media del bosque de pino radiata en la Cornisa Cantábrica ronda los 13 m³/ha/año, mientras que en otros países (Chile, Nueva Zelanda) puede alcanzar valores medios superiores a los 25 m³/ha/año. Teniendo en cuenta la diferencia entre las condiciones naturales y socioeconómicas de la CAV y de los países citados; una cifra factible en

cuanto a la producción en nuestro ámbito sería de 15-18 m³/ha/año. Buena parte de este incremento se podría conseguir mediante la mejora genética de la especie.

En la actualidad, la especie ocupa unas 150.000 has en la CAV y produce una media anual de 1.500.000 metros cúbicos de madera lo que supone el 15% de la producción maderera de España. Desde 1984 se lleva a cabo un Programa de mejora genética con el objetivo principal de aumentar su rendimiento en madera. En 1998 se ha ampliado el objetivo inicial con la creación de líneas resistentes a un hongo patógeno llamado *Diplodia pinea* Desm. (Kirkck).

Los programas de mejora genética forestales tienen una serie de particularidades que merece la pena destacar.

- Los árboles tienen largos ciclos generativos. En el caso de pino radiata, el aprovechamiento de la madera se hace cuando el árbol ha alcanzado 30-35 años mientras que en otras especies como el haya o roble hay que esperar 100-120 años. Los resultados de la mejora muchas veces no son observables en un ciclo de vida humano, por lo que es necesario la continuidad del trabajo a lo largo de varias generaciones de mejoradores.

Debido a estos largos ciclos, los objetivos iniciales del Programa pueden no ser de interés al cabo de cierto tiempo. Un claro ejemplo de esta circunstancia fueron los programas de mejora en ciertas especies de coníferas de EE.UU. enfocados a la producción papelera cuando la actual demanda es para madera de sierra. Además, las correlaciones juvenil-adulto, especialmente en lo que respecta a las características del crecimiento, no suelen ser satisfactorias. Esto requiere efectuar ensayos durante un número considerable de años antes de que se estime con precisión la tasa potencial de crecimiento de un determinado genotipo. Las correlaciones juvenil-adulto son poco claras para el crecimiento, y derivan del hecho de que los diferentes árboles poseen distintas curvas de crecimiento. Algunos inician el crecimiento y maduran rápidamente, seguidos de un retardo en su crecimiento, mientras que otros lo inician lentamente pero crecen a una tasa constante durante un largo periodo de tiempo.

- El tamaño de los árboles también crea problemas en los procesos de medición, cruzamientos y recolección de semillas. Otro aspecto con el tamaño es encontrar

áreas adecuadas para “almacenar” el material genético y para realizar ensayos.

- Como aspecto positivo, las especies forestales muestran en general una gran variabilidad genética por lo que los programas de mejora suelen ser viables en la mayoría de los casos. Esto es especialmente cierto en el caso de características de adaptabilidad y resistencias a plagas y enfermedades (ZOBEL, 1984).

Metodología

La metodología del Programa de Mejora Genética del pino radiata es muy similar a las que se aplican en muchos programas de mejora forestales. A continuación se detallan las fases más importantes:

- a) Selección de mejorantes (árboles plus).

Originariamente el proceso de selección se planteó siguiendo un procedimiento muy estricto: los árboles candidatos debían tener un 20% y 10% de superioridad en diámetro y en altura respectivamente en relación a los cuatro mejores individuos del rodal. Además debían tener buen porte, rama de pequeño diámetro e insertada perpendicularmente en el tronco, una guía definida y vigorosa, y no padecer enfermedad o plaga alguna. Básicamente, estas condiciones se cumplen en los 82 árboles seleccionados hasta el día de hoy. En algún caso se han primado más las características relacionadas con la forma del árbol que con el crecimiento.

La cantidad de árboles seleccionados ha venido determinada en gran medida por la capacidad operativa del personal existente pudiéndose establecer que la aparición de un árbol plus supone 5 ó 6 días de búsqueda por dos personas, en las condiciones del

pino radiata en el País Vasco: masas coetáneas, buena red de pistas forestales aunque impracticables en época de lluvias intensas, falta de continuidad en los rodales (distribución en mosaico), etc. La selección de árboles plus se centró en pinares de más de 20 años y por término medio apareció un árbol plus cada 150 ha lo que supone una selección cada 40.000 individuos. El proceso de selección ha sido continuo desde el año 1986 y a medida que van apareciendo nuevos árboles, se van incorporando al programa de mejora hasta llegar a una cifra de 150, que se considera óptima para la población a mejorar (Burdon com. pers.).

b) Huertos Semilleros.

Un huerto semillero por definición es una plantación de clones o de progenies seleccionadas y que se maneja para producir frecuentes cosechas de semillas, abundantes y fácilmente aprovechables. Las semillas pueden producirse mediante polinizaciones controladas o mediante polinización libre entre las plantas presentes.

La propagación vegetativa de los árboles plus (clones) se realizó principalmente mediante injerto de yema terminal. En 1987, se instaló un huerto semillero de polinización controlada en Llodio (Álava) con 60 árboles y 18 clones/árbol.

En este huerto se han tenido que poner a punto ciertas técnicas complementarias para la realización de las polinizaciones controladas. En el año 1994 se empezó a combinar la polinización con aislamiento de flor femenina con la polinización en fase acuosa con 3% peso de polen/agua sin aislamiento previo de la flor, siguiendo la metodología descrita por SWEET *et al.* (1995). La semilla producida con aislamiento de flor femenina se utiliza para la instalación de ensayos de progenie mientras que la obtenida en fase acuosa se

emplea para la obtención de plantas madre que produzcan estaquillas juveniles. La producción combinada con ambas técnicas no supera 1 kg/ha de semilla al año.

En 1996 se acabó de instalar un huerto semillero de polinización abierta en Laukiniz (Bizkaia) con 49 árboles y 25 clones/árbol en bloques completos al azar con una superficie de 2,5 ha. Según el conteo de flores femeninas realizado en 1996 y 1997, las producciones previstas para el año 1998 y 1999 serán 22.500 y 200.000 semillas para el total del huerto. Se espera una producción máxima hacia el año 2003 con 600.000 semillas.

Ese mismo año, se empezó con la instalación de un huerto semillero de polinización abierta en Karrantza (Bizkaia) formado por 36 árboles y 120 clones/árbol dispuestos así mismo en bloques completos al azar y con una superficie prevista de 20 ha. Se prevé su finalización en 1999.

c) Parcelas de ensayo.

Las parcelas de ensayo ligadas a un programa de mejora forestal se instalan básicamente para estimar dos características de la población, por un lado la existencia y comportamiento de las procedencias y por otro las características genéticas de la población a mejorar:

Ensayos de procedencias. Debido a la gran variabilidad genética existente en las especies forestales, existen en general varios orígenes dentro de especie que sin llegar a tener categoría taxonómica, sí lo tienen a nivel genético. Estas variaciones genéticas reciben el nombre de "procedencias", y tal como asevera ZOBEL (1984): "Las ganancias mayores, más fáciles y más rápidas en la mayoría de los programas de mejora genética forestal, se obtienen asegu-

rando el uso de la procedencia adecuada dentro de la especie”.

En el caso del pino radiata, existen cinco procedencias o razas locales, cada una con diferentes comportamientos en lo referente a crecimientos, forma, adaptabilidad y resistencia a plagas y enfermedades (Ver cuadro 1). La forma clásica de estudiar la existencia de procedencias en las especies forestales es la instalación de parcelas de ensayo y estudiar el comportamiento de dichas procedencias en campo con el objeto de establecer diferencias entre las mismas respecto a características interesantes para

el mejorador. Como ocurre con todas las parcelas de ensayo en las que están involucradas especies forestales, la edad para determinar éstas desde un punto de vista comercial, suele ser un tercio de la edad aprovechable que en caso del pino radiata es de 10 años. Con el advenimiento de las técnicas de biología molecular, en la actualidad es posible la caracterización de las procedencias y su grado de divergencia genética en periodos mucho más cortos (ARAGONÉS *et al.*, 1997).

Ensayos de progenie. Se instalan para determinar la calidad genética de los árbo-

CUADRO 1
COMPORTAMIENTO RELATIVO DE LAS PROCEDENCIAS NATURALES Y DE LAS POBLACIONES LOCALES Y MEJORADAS EN DIFERENTES PAÍSES

CHILE				
Población	Crecim.	% Árboles rectos	% Árboles rama peq.	% Árboles guía def.
Año Nuevo	*	**	**	**
Monterrey	**	**	*	*
Cambria	**	****	-	****
Población local	***	*	***	****
Población mejorada	****	***	****	***

*, Malo, **, Normal, ***, Bueno, ****, Muy bueno

Fuente: JAYAWICKRAMA K.J.S.y BALOCCH C., 1993.

SUDAFRICA				
Población	Forma	Resistencia áfido (1)	Altura	Volumen
Año Nuevo	**	****	*	*
Monterrey	*	**	**	***
Cambria	*	*	*	**
Población local	***	***	***	****
Población mejorada	****	****	****	****

(1) *Pineus pini* MACQUART

Fuente: FALKENHAGEN E.R., 1991.

NUEVA ZELANDA

Población	Resist. frío	Resist. <i>Dothis.</i>	Resist. <i>Diplod.</i>	Resist. <i>Cyclae.</i>	Forma	%Cort.	Ramas
Año Nuevo	***	***	***	**	*	**	*
Monterrey	**	***	***	***	**	***	***
Cambria	*	*	*	*	***	*	***

(1) *Diplod.* = *Diplodia pinea*

(2) *Dothis.* = *Dothistroma pini*

(3) *Cyclae.* = *Cyclaneusma minus*

Fuente: BURDON R.D. *et al.*, 1992.

les seleccionados y para estimar una serie de características genéticas fundamentales: herabilidades de los caracteres a mejorar, correlaciones genéticas entre dichos caracteres y correlaciones genotipo-ambiente.

En los estudios de la progenie en el mundo forestal suele utilizarse los medio hermanos (half-sibs) dada la imposibilidad en la mayoría de los casos de realizar cruzamientos controlados. La instalación en campo de este tipo de ensayos sigue unos diseños estadísticos muy sencillos, siendo el más frecuente el de bloques completos al azar. La recomendación general es que los bloques sean del menor tamaño y con las máximas repeticiones posibles para minimizar el efecto ambiental. Es asimismo recomendable la instalación de varios ensayos de progenie en diferentes lugares para la estimación de la relación genotipo-ambiente y para asegurarse la pervivencia de los ensayos, pues no hay que olvidar que éstos tienen que permanecer durante mucho tiempo expuestos a diferentes riesgos naturales y antrópicos (fuegos, plagas etc.).

En el País Vasco existen tres ensayos de progenie con las siguientes características:

- Ensayo de Progenie de Luyando.
Año de plantación: 1989.
Superficie: 1,5 has.

Familias: 28.

Diseño: 31 bloques completos al azar.

Las 28 familias están formadas por medio-hermanos (half-sibs) procedentes de polinizaciones libres de otros tantos árboles plus.

- Ensayo de Progenie de Llodio.

Año de Plantación: 1990.

Superficie: 0,3 has.

Familias: 15 y un control.

Diseño: 15 bloques completos al azar.

Las reducidas dimensiones de esta parcela y sobre todo su fácil acceso permiten realizar una serie de medidas suplementarias: fenología, crecimientos en primavera y otoño, pautas de ramificación, etc.

- Ensayo de Progenie de Orozko.

Año de Plantación: 1992.

Superficie: 3 has,

Familias : 36 y cuatro controles.

Diseño: 50 bloques completos al azar.

Resultados

De los ensayos de progenie instalados dentro del programa de mejora genética se han obtenido las siguientes estimaciones:

- Heredabilidades

Rasgo	Ensayo de Orozko	Ensayo de Luyando
Altura	0.15	0.20
Diámetro	0.17	0.22
Rectitud	0.02	0.04
Diámetro de rama	0.03	0.14
Angulo de rama	0.09	0.15
Resistencia a Diplodia Pinea	0.21	

Las heredabilidades de las características de crecimiento son moderadas en ambos ensayos. Estos valores son muy similares a los obtenidos en otros programas de mejora realizados en Nueva Zelanda y Australia con la misma especie (ver cuadro 2). Es destacable la moderada heredabilidad esti-

mada para la resistencia a una plaga que provoca grandes pérdidas económicas en el País Vasco.

Las características de forma tienen heredabilidades bajas y diferentes según el ensayo. Esto puede deberse a dos causas. En primer lugar, la estimación de características de forma se realiza mediante una puntuación subjetiva, así para troncos muy rectos se asignan 6 puntos, mientras que para troncos muy torcidos se le asigna 1 punto y de igual manera para el resto de características de forma. Esta forma de actuar hace que las variables no se distribuyan de manera normal y las estimaciones de los componentes de la varianza queden sesgadas. Otra posible explicación de estos valores tan bajos puede ser la adaptabilidad de los pinos del País Vasco a condiciones adversas (nieve, suelos con gran pendiente) con

CUADRO 2
DATOS DE HEREDABILIDADES EN LOS ESTUDIOS REALIZADOS EN
AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA

	Altura del fuste	Diámetro normal	Rectitud del fuste	Calidad (*) de rama
Australia				
COTT. & ZED.(1980)	0,29	0,18	0,21	0,22
DEAN <i>et al.</i> (1983)	0,16	0,23	0,21	0,18
MATH. & RAY(1984)	0,19	0,18	0,38	0,44
Nueva Zelanda				
BANNISTER. (1968)	0,18	0,13	0,42	—
SHEL <i>et al.</i> (1972)	—	0,15	0,12	0,21
WILC. <i>et al.</i> (1975)	0,18	0,25	0,14	—
SHEL. & LO.(1980)	—	0,19	0,17	0,28
BURD. <i>et al.</i> (1983)	0,14	0,14	0,08	0,27
CARSON (1986)	0,22	0,10	0,16	0,25

(*) Se estiman conjuntamente el diámetro de rama y el ángulo de inserción.

Fuente: COTTERILL. P.P. and DEAN C.A.: Successful Tree Breeding with Index Selection. CSIRO (1990) pag. 19.

lo que se ha conseguido árboles rectos, con rama pequeña e insertada perpendicularmente.

-Correlaciones genéticas entre rasgos.

Se ha encontrado una gran correlación genética (0,9 y 0,8 para los ensayos de Orozko y Luyando respectivamente) entre altura y diámetro con lo que a priori es posible seleccionar para ambas características. También es destacable la buena correlación genética entre las características de crecimiento y la resistencia al hongo *Diplodia* (0,5 y 0,56 para altura y diámetro respectivamente). Para características de forma, las correlaciones genéticas son contradictorias y de explicación confusa.

- Ganancias obtenidas.

Para conocer la ganancia en cada variable que se obtendrá en una selección múltiple se aplica el índice de selección múltiple:

$$I = b_1 * P_1 + b_2 * P_2 + \dots + b_n * P_n$$

Siendo:

- $P_1, P_2, \dots, P_n$ los valores fenotípicos de cada árbol para las variables elegidas.

- $b_1, b_2, \dots, b_n$ son los valores de los coeficientes de los índices de selección, y que se calculan para cada variable, según el modelo de Falconer (1989):

$$b * p = G * a$$

Donde: **a** es un valor que el seleccionador asigna a cada variable según la importancia relativa del mismo, mientras que **G** y **P** son las matrices de varianza-covarianza genética y fenotípica respectivamente.

Aplicando este índice de selección es posible mejorar conjuntamente un 11,8% en altura, un 17,5% en diámetro y un 28% en resistencia a *Diplodia*.

Bibliografía

- ARAGONÉS A., BARRENA I., ESPINEL S., HERRAN A. and RITTER E., 1997. Origin of Basque populations of radiata pine inferred from RAPD data. *Ann. Sci. For.* 54(8), 697-703.
- BURDON R.D., BANNISER M.H. and LOW C.B., 1992. Genetic survey of *Pinus radiata*. Population comparisons for growth rate disease resistance, and morphology. *New Zealand Journal of Forestry Science* 22(2/3), 138-159.
- FALCONER D.S., 1989. *Introduction to Quantitative Genetics*. 3rd Edition. Longman Harlow, U.K.
- FALKENHAGEN E.R., 1991. Provenance variation in *Pinus radiata* at six sites in South Africa. *Silvae genetica* 40, 41-50.
- JAYAWICKMA K.J.S., BALOCCHI C., 1993. Growth and form of provenances of *Pinus radiata* in Chile. *Aus For* 2, 172-178.
- SWEET G.B., DICKSON R.L., DONALDSON B.D., LITCHWARD D., 1992. Controlled pollination without isolation-a new approach to the management of radiata pine seed orchard. *Silvae Genetica* 41, 2, 95-99.
- ZOBEL B., TALBERT J., 1984. *Applied Forest Tree Improvement*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 505.