

EVOLUCIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS Y EFICIENCIA DE LA SELECCIÓN PRECOZ, PARA RASGOS DE CRECIMIENTO EN *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*

F. SORIA; F. BASURCO; G. TOVAL

(1) (2) (2)

(1) Centro de Investigación y Tecnología de ENCE. Ctra. Madrid-Huelva Km. 630 Apartado 223-21080
HUELVA

(2) Centro de Investigación y Tecnología de ENCE. Ctra. de Campañó, s/n. Riveiro-Vao. 36157
PONTEVEDRA

RESUMEN

Se han medido los rasgos de crecimiento (altura y diámetro), en dos ensayos de procedencias-descendencias de 260 familias australianas de polinización abierta de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* a las edades de 1, 2, 3, 4, 5, 7, y 9 años, para estimar la evolución de los distintos parámetros genéticos (varianzas, heredabilidades y correlaciones genéticas edad-edad) y la respuesta a la selección precoz se utilizó un modelo lineal mixto bivariado a través del método de Muestreo de Gibbs. Se consideraron los rasgos a las distintas edades como rasgos diferentes. Los ensayos se localizan en las dos zonas de mayor implantación de la especie en España: Galicia y Huelva. En el ensayo de Galicia la heredabilidad de la altura va creciendo hasta alcanzar a la edad de 9 años el valor de 0.25, mientras que en el ensayo de Huelva esta se estabiliza a partir del 3º año con un valor de 0.3. En el caso de las correlaciones genéticas edad-edad, tanto para Galicia como para Huelva, estas se adaptaron muy bien al modelo lineal propuesto por Lambeth (1980) que relaciona las correlaciones edad-edad con el logaritmo del cociente de las edades. El coeficiente de correlación fue $r=0.96$. Se evalúa, para distintos criterios de selección, la eficiencia de las selecciones juveniles, tanto si el objetivo es la altura como el diámetro, y por tanto la edad óptima para la evaluación de los rasgos de crecimiento dentro de los programas de mejora.

P.C.: *Eucalyptus globulus*, Muestreo de Gibbs, selección precoz, heredabilidad, correlaciones edad-edad.

SUMMARY

Growth features (height and diameter) were measured for two trials of varied provenances and families from 260 open-pollinated Australian families of *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* aged 1, 2, 3, 4, 5, 7 and 9 years, in order to estimate the evolution of the different genetic parameters (variance, heritability and genetic age-age correlation) as well as the response to early selection, by using a mixed bi-variate lineal method to apply Gibbs' sampling. Features of the same tree at different ages were considered to be different features. These trials were located in the most heavily populated Eucalypt areas in Spain – Galicia and Huelva. Genetic age-age correlation, both in Galicia and Huelva, adapted very well to the line method as proposed by Lambeth (1980), which relates the age-age correlation with the logarithm of the plantation age ratio. The correlation coefficient was $r = 0.96$.

K.W.: *Eucalyptus globulus*; Gibbs sampling; early selection; heritability; age-age correlations.

INTRODUCCIÓN, MATERIAL Y MÉTODOS:

Una de los grandes dilemas de los mejoradores de árboles forestales es el determinar la edad óptima de selección precoz sin que esto suponga una gran pérdida de ganancia genética y sí un ahorro en tiempo entre generaciones de mejora. En otras palabras, se busca obtener la máxima ganancia por unidad de tiempo y, por lo tanto, acortar el intervalo intergeneracional.

Para determinar la edad óptima de la selección precoz, es necesario estimar la eficiencia de la selección indirecta del carácter juvenil que debe estar correlacionado con el carácter adulto. Carácter, este último, que puede ser fijado a la edad del turno, que en nuestro caso, plantaciones de *Eucalyptus globulus* en la Península Ibérica, oscila entre los 9 y los 15 años. Para conocer la eficiencia de la selección juvenil, es a su vez necesario estimar los parámetros genéticos de los rasgos estudiados (heredabilidades y correlaciones genéticas). En este trabajo se ha utilizado una aproximación Bayesiana para la estima de dichos parámetros genéticos, con los que se han construido curvas de eficiencia de selección precoz bajo distintos supuestos.

La información analizada procede de una experiencia de procedencias y familias de *E. globulus* ssp. *globulus* establecida durante los primeros meses de 1990, para evaluar el crecimiento de 260 familias (progenies de polinización abierta) australianas (Toval *et al.* 1997; Basurco *et al.* 1997), que ENCE está llevando a cabo dentro del marco de su Programa de Mejora Genética de *Eucalyptus*. Estas familias originarias de 46 lotes de semillas de la recolección hecha por CSIRO en 1988, fueron asignadas a 10 procedencias diferentes por Jordan *et al.* (1994). El diseño experimental fue un "Set in Block", de 260 familias australianas distribuidas en 5 grupos de 52 familias, con 4 bloques por grupo, resultando 20 bloques por sitio. Como testigos fueron utilizados en el suroeste un lote de semilla comercial de Huelva y 2 clones: 334-1-AR y 115-2-PM y en el norte un lote de semilla comercial de Galicia y 2 familias gallegas. A lo largo de los 7 (9 en el norte) primeros años de edad se realizaron mediciones de alturas para cada año, salvo en el año sexto y de diámetros al 5º y 7º año. Los datos proceden de 2 parcelas de ensayo, una en el norte y otra en el suroeste de España (Tabla Nº 1).

Tabla Nº1

| NOMBRE | TERMINO MUNICIPAL Y PROVINCIA | LATITUD NORTE | LONGITUD OESTE | ALTITUD (m) | SUPERFICIE (ha) |
|------------|-------------------------------|---------------|----------------|-------------|-----------------|
| TEXEIROS | Cambre (La Coruña) | 43º 15' | 8º 18' | 125 | 6 |
| C. SONOBLE | Aroche (Huelva) | 38º 01' | 6º 53' | 550 | 9 |

El análisis de los datos fue realizado para cada una de las parcelas y para cada par de mediciones, aplicando la metodología Bayesiana vía Muestreo de Gibbs muy utilizada en la Mejora Genética Animal (Sorensen, D. *Et al.* 1994; Rodríguez, C. *et al.* 1996a) y más recientemente en el ámbito de la Mejora Genética Forestal (Basurco *et al.* 1997; Soria *et al.* 1998), para la obtención de estimas de las heredabilidades y correlaciones genéticas y fenotípicas edad-edad utilizando el modelo bivariable:

$$y = X\beta + Zu + e$$

Donde y es una matriz de observaciones (altura a la edad-1 y altura o diámetro a la edad-2) de orden $n \times 2$; X y Z son las matrices de incidencia conocidas, relacionando y (matriz de observaciones) con los efectos fijos β y aleatorios u , respectivamente; β es una matriz $p \times 2$ de efectos fijos incluyendo las medias y los efectos de bloque; $u = [u_1 \ u_2]$ es una matriz $n_u \times 2$ de residuos aleatorios. Las presunciones condicionales en un modelo adecuando las procedencias como grupos genéticos fueron:

$$\mathbf{u} | \Sigma_u, \mathbf{A}, \mathbf{Q}, \mathbf{g} \sim \mathbf{N}(\mathbf{Q}\mathbf{g}, \mathbf{A} | \Sigma_u), \mathbf{e} | \Sigma_e \sim \mathbf{N}(\mathbf{0}, \mathbf{I} | \Sigma_e)$$

Donde \mathbf{A} es la matriz de parentesco genética aditiva; \mathbf{Q} es una matriz cuyos elementos son la proporción estimada de los genes derivados de cada árbol de cada procedencia. (10 grupos genéticos australianos y 3 españoles) y \mathbf{g} es la matriz 13×2 de los efectos de la procedencia para ambos caracteres. Σ_u y Σ_e son las matrices de (co)varianza para los efectos genéticos aditivos y residuales.

La matriz de relaciones genéticas aditivas fue construida teniendo en cuenta un sistema de apareamiento mezcla de familias de polinización abierta, con una autopolinización del 30% y asumiendo que los padres no están emparentados. Los clones fueron considerados como medidas repetidas del mismo genotipo.

Mediante las estimas de heredabilidades y correlaciones genéticas podemos estudiar la eficiencia de la selección precoz (E). Esta se puede expresar como cociente de las ganancias por año entre la selección juvenil (indirecta) y la madura (directa), permitiéndonos determinar la edad óptima de selección. En el caso de realizar una selección fenotípica, esta se puede expresar por la fórmula (Lambeth, 1980):

$$E = \frac{h_x r_{A(XZ)} T_Z}{h_z T_X}$$

Donde X es el rasgo juvenil, Z el rasgo adulto, h es la raíz cuadrada de la heredabilidad, $r_{A(XZ)}$ correlación genética y $T_X = t_X + 4$ representa el intervalo entre generaciones de mejora, considerando 4 años la fase de mejora posterior a la selección. Esta duración parece adecuada para nuestras líneas de mejora a corto plazo, población élite, donde en el momento de la selección ya se pueden tener las plantas preparadas para realizar los cruzamientos controlados (Toval *et al.* 1996).

Si utilizamos un sistema de selección basado en las predicciones de valores mejorantes (metodología Bayesiana, en nuestro caso), donde el mérito genético de cada individuo coincide con el criterio de selección, la respuesta a la selección se hace independiente de la heredabilidad ($R = i\sigma_A$) y se deduce que la eficiencia de la selección juvenil, considerando la misma intensidad de selección para el rasgo juvenil y el adulto, solo dependerá de la correlación genética y de los intervalos generacionales:

$$E = \frac{r_{A(XZ)} T_Z}{T_X}$$

La predicción de los valores futuros de las correlaciones genéticas hasta la edad del turno, ha sido realizada a través de una relación lineal entre las correlaciones genéticas edad-edad y la variable LAR, definida como $\text{Ln}(\text{edad temprana}/\text{edad tardía})$, Lambeth (1980):

$$\text{LAR} = \text{Ln}(\text{edad temprana}/\text{edad tardía})$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de los análisis Bayesianos de los modelos lineales expuestos, obtenemos estimas de los distintos parámetros genéticos y su evolución a lo largo del tiempo. En las *Figuras 1 y 2*, se han representado los resultados obtenidos para las dos parcelas. Empezaremos por describir los resultados de las heredabilidades para la altura total. En *Corte Sonoble* (Huelva), la heredabilidad de la altura comienza siendo de 0,28 para disminuir a 0,21 el segundo año y estabilizarse alrededor de 0,30 el tercer año. La heredabilidad del primer año puede estar sobrestimada por efectos maternos o de ambiente común (cultivo en vivero). En la parcela del norte, también se aprecia una pequeña disminución el segundo año respecto al primero evidenciándose los citados efectos maternos, sin embargo, parece que la heredabilidad no se estabiliza y continua creciendo suavemente hasta el año 9º, alcanzando al 7º año, un valor de 0,23 algo más bajo que en la parcela de Huelva. Esta discrepancia, puede deberse al diferente patrón de crecimiento entre ambas estaciones. En el norte la tasa de crecimiento es mayor y los árboles tardan mucho más en coronar que en el sur, donde están sometidos a mayores limitaciones provocadas por el estrés hídrico. Araujo *et al.* (1996), obtuvieron estimas de heredabilidad para la altura (entre 2 y 5 años) de 0,19 para la región sur de Portugal y 0,28 para el noroeste. Curiosamente, los resultados son similares, pero parecen invertidos respecto a los nuestros, al obtener menor heredabilidad en la zona más seca, si bien para el conjunto de parcelas instaladas en Huelva (8) la heredabilidad se estimó al 7º año en 0,22 (0,014) (Soria *et al.* 1998). Las heredabilidades estimadas para el crecimiento diametral fueron siempre inferiores a las obtenidas para las alturas (0,21 en el sur y 0,22 en el norte al 7º año), lo que se explica por la mayor influencia ambiental en el caso del diámetro, a causa de los fenómenos de competencia.

En las *Figuras 1 y 2*, se reflejan las correlaciones genéticas obtenidas entre las alturas de cada año y la altura y el diámetro del último año evaluado. Como pasaba con la heredabilidad de la altura, en la parcela del sur, la correlación genética (altura/altura) aumenta más rápidamente que en el norte alcanzando el valor de 0,81 al 2º año. Sin embargo las correlaciones altura/diámetro siguen un patrón similar en ambos sitios hasta el 5º año (0,85), pero a partir de aquí la correlación sigue aumentando en el norte mientras que declina suavemente en el sur. Esto puede deberse, a que una vez alcanzada cierta altura, los árboles, desvíen más recursos para su crecimiento en diámetro, de tal modo que este, esté más correlacionado con un crecimiento en altura más precoz. Las correlaciones estimadas se ajustan bastante bien al modelo propuesto por Lambeth. En la Tabla N°2, se reflejan los datos de las rectas de regresión ajustadas para cada parcela. Esto nos permite hacer predicciones para las correlaciones genéticas, más allá de los años evaluados y extender los resultados hasta el final del turno.

Tabla N° 2

| Parcela | Curva de regresión | r ² | R | Error |
|---------------|--|----------------|------|-------|
| TEXEIROS | $R_{ax} = 1.03827 + 0.228705 * \text{LAR}$ | 0.89 | 0.94 | 0.03 |
| CORTE SONOBLE | $R_{ax} = 1.03871 + 0.206846 * \text{LAR}$ | 0.96 | 0.98 | 0.03 |

Finalmente se calcularon las eficiencias para una selección fenotípica y genética (basada en las estimas de los valores mejorantes) cuando el objetivo final es la altura o el diámetro (*Figuras 1 y 2*). En la parcela de Huelva, la máxima eficiencia se obtiene al tercer año para una selección fenotípica y desciende al segundo año, cuando suponemos una selección genética, tanto para la altura

como el diámetro, alcanzando un 49 y 41%, de mejora respecto a la selección directa. En la parcela de Pontevedra, la máxima eficiencia se obtiene al tercer año, para cualquiera de los cuatro supuestos (56 y 38% para selección genética de altura y diámetro). Si consideramos un turno de 15 años, aplicando las correlaciones estimadas con el modelo de Lambeth, las máximas eficiencias se obtendrían en los dos sitios ensayados al 2º año y las eficiencias ascenderían hasta un 90%, respecto a la selección en el turno de corta. Borralho *et al.* (1992), en tres ensayos de familias de *E. globulus* en Portugal, encontraron que bajo selección fenotípica o selección indexal combinada, la edad óptima de selección se alcanza a los 4 años (cuando los árboles alcanzan los 8 m. de altura), algo más tarde que en nuestro caso.

CONCLUSIONES

Las estimas de parámetros genéticos, a partir de ensayos de progenies de polinización abierta, creciendo en dos de las estaciones ecológicas más representativas de *E. globulus* en España, ponen de manifiesto el moderado control genético de los rasgos de crecimiento (siendo algo superior para la altura que para el diámetro) y que la selección precoz basada en la altura puede ser muy efectiva en la mejora indirecta sobre el volumen al final del turno de corta.

A pesar de tratarse de una especie de crecimiento rápido y por tanto de turnos cortos, la selección precoz, incrementa las ganancias absolutas en un rango del 40 al 60% según el objetivo (altura o diámetro), el método de selección y la estación. En el norte la edad óptima de selección parece situarse alrededor de los 3 años, mientras que en el sur esta se adelanta un año, presumiblemente por una más rápida coronación en altura a causa de la peor calidad de la estación y a los mayores espaciamientos utilizados.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido está parcialmente financiado por: CICYT y CDTI con el proyecto 960134 y la Dirección General de Tecnología y Seguridad Industrial del MINER proyecto B162/1998

BIBLIOGRAFÍA

- ARAUJO, J.A.; SOUSA, R.; LEMOS, L.; BORRALHO, N.M.G., (1996). *Estimates of Genetic Parameters and Prediction of Breeding Values for Growth in Eucalyptus globulus combining Clonal and Full_Sib Progeny Information*. *Silvae Genetica* 45: 223-226.
- BASURCO, F.; SORIA, F. & TOVAL, G., (1997). *Análisis multivariable para la estima de valores y parámetros genéticos de alturas y diámetros de E. globulus ssp. globulus a la edad de 5 años*. II Congreso Forestal Español. Pamplona.
- BORRALHO, N.M.G.; COTTERIL, P.P.; KANOWSKI, P.J., (1992). *Genetic Control of Growth of Eucalyptus globulus in Portugal. II Efficiencies of Early Selection*. *Silvae Genetica* 41: 70 -77.
- JORDAN, G. J.; BORRALHO, N. M. G.; TILYARD, P. & 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.
- LAMBETH, C. (1980). *Juvenile-Mature Correlations in Pinaceae and Implications for Early Selection*. *Forest Science*, Vol 26, N° 4, pp. 571-580.
- RODRIGUEZ, C.; TORO, M.A.; SILIO, L., (1996a). *Selection on lean growth in a nucleus of Landrace pigs: an analysis using Gibbs sampling*. *Animal Science* 63: 243-253.
- SORENSEN, D.; WANG, C.S.; JENSEN, J.; GIANOLA, D., (1994). *Bayesian analysis of genetic change due selection using Gibbs sampling*. *Genetics Selection Evolution* 26: 333-360.
- SORIA, F.; BASURCO, F. TOVAL, G.; SILIO, L.; RODRIGUEZ, M. C. & TORO, M., (1998). *An application of Bayesian techniques to the genetic evaluation of growth traits in Eucalyptus globulus*. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 1286-1294.
- TOVAL, G.; SORIA, F.; BASURCO, F.; CAÑAS, I.; NORIEGA, M. & OLLER, J., (1997). *Programa ENCE de Mejora Genética de Eucalyptus globulus ssp. globulus*. Actas de la reunión Madrid de la I Reunión del Grupo de Trabajo de Mejora Genética Forestal. Cuadernos de la sociedad española de ciencias forestales N° 5.
- TOVAL, G.; SORIA, F.; BASURCO, F.; CAÑAS, I.; NORIEGA, M. & OLLER, J., (1996). *Plan ENCE de Innovación y Mejora Forestal 1996-2000*. Com. int.

Figura 1: Evolución de parámetros genéticos y eficiencias de selección precoz, estimados mediante Gibbs Sampling. Corte Sonoble-Huelva

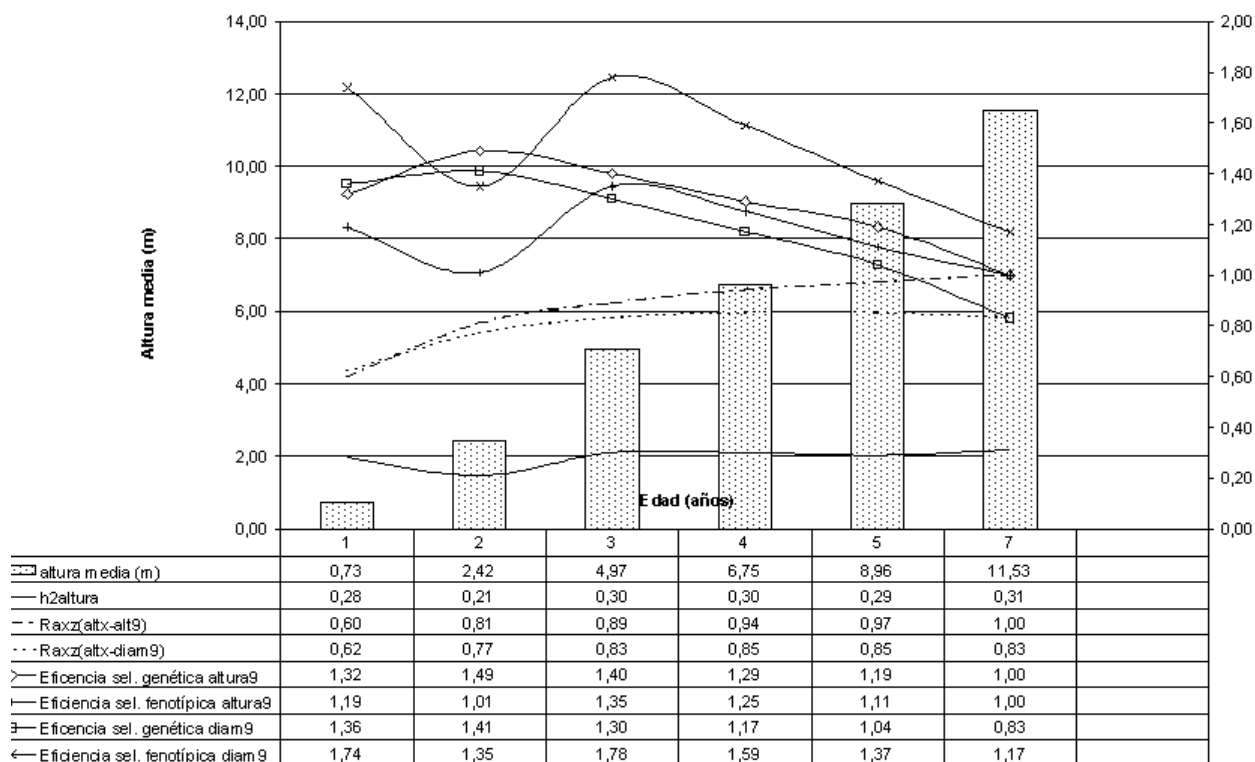


Figura 2: Evolución de parámetros genéticos y eficiencias de selección precoz, estimados mediante Gibbs Sampling. Texeiros-La Coruña

