

EFFECTO DE LA CALIDAD DE ESTACIÓN EN EL CRECIMIENTO DE LA REGENERACIÓN NATURAL DEL PINO SILVESTRE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) EN EL ALTO VALLE DEL EBRO (BURGOS).

S.C. González Martínez ^{1,2} y F. Bravo Oviedo ³

¹ Depto. de Mejora Genética y Biotecnología. CIFOR-INIA. Carretera de la Coruña km. 7. 28040-MADRID (España). Correo electrónico: santiago@inia.es

² Unidad de Anatomía, Fisiología y Genética. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Ciudad Universitaria s/n. 28040-MADRID (España)

³ Dpto. de Producción Vegetal y Silvopascicultura. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Avda. de Madrid, 57. 34004-PALENCIA (España)

Resumen

La relación entre calidad de estación y crecimiento en etapas tempranas de desarrollo de los rodales forestales es poco conocida. La teoría más aceptada indica que los fenómenos de competencia impiden que la calidad de estación se manifieste hasta etapas avanzadas de la dinámica del rodal. En este trabajo se analizan las curvas de crecimiento en altura de cuatro rodales en regeneración de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) situados en el Alto Valle del Ebro (Burgos). Se ha analizado el crecimiento en los 10 primeros años de 71 árboles, con un rango de edades entre 5 y 22 años. Las calidades de estación representadas varían entre 14 y 23 (altura dominante en m a los 100 años), según una regla discriminante basada en las características edáficas del terreno. Las diferencias de crecimiento de los rodales se han evaluado ajustando mediante regresión no lineal un modelo exponencial entre la edad y la altura total, realizándose posteriormente un test de homogeneidad de los parámetros obtenidos. Se han obtenido diferencias significativas en el parámetro b, relacionado con la tasa de crecimiento y que varía entre 3,78 y 10,90 en los rodales estudiados. A pesar de ello, no se ha encontrado relación entre el crecimiento medio anual y la calidad de estación, por lo que la influencia de otras variables como la competencia interespecífica, la estructura poblacional de los regenerados o el efecto del ganado parecen más importantes en el crecimiento inicial de los rodales estudiados.

Palabras clave: *Calidad de estación, Competencia, Regeneración natural, Test de homogeneidad, Pino silvestre*

INTRODUCCIÓN

La fase inicial de establecimiento y desarrollo de la regeneración natural condiciona la dinámica del rodal, siendo la fase más susceptible para la intervención selvícola (OLIVER & LARSON, 1996; SCHEPPER, 1988; OLDEMAN, 1990). El crecimiento inicial de la regeneración natural determina la composición específica de

los rodales forestales y la posición social de los individuos, factores importantes en la producción futura del rodal. La calidad de estación, estimada como la altura dominante de la masa forestal a una determinada edad, es un parámetro ampliamente utilizado para la caracterización de las diferentes condiciones productivas de los rodales forestales. Generalmente, la discusión sobre la determinación de calidades de

estación se ha basado en rodales maduros (VANCLAY, 1994), existiendo pocos antecedentes de su aplicación a rodales juveniles. En las primeras edades del regenerado existe una gran influencia de la competencia en los crecimientos de las plántulas, por lo que el uso de los métodos tradicionales, basados en la altura dominante, no son idóneos para determinar la calidad de estación. Debido a esta influencia inicial de la competencia, la conexión entre curvas de calidad en masas adultas y jóvenes no se ha podido realizar utilizando métodos estadísticos fiables. El objetivo de este trabajo es estudiar las relaciones entre calidad de estación y crecimiento de la regeneración natural de cuatro rodales de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) situados en el Alto Valle del Ebro (Burgos).

MATERIAL Y MÉTODOS

Zona de estudio

Los rodales estudiados se encuentran situados en masas naturales de *Pinus sylvestris* L. de la procedencia Alto Valle del Ebro (figura 1). La zona de estudio presenta un clima transicional entre Atlántico y Mediterráneo, de gran irregularidad interanual. Los suelos son cambisoles cál-

cicos que evolucionan a luvisoles en las estaciones más húmedas. La vegetación se caracteriza por la presencia de *Quercus faginea* Lamk. y *Fagus sylvatica* L. en las zonas más húmedas y *Quercus ilex* L. en las más secas. Es frecuente la existencia de un sotobosque compuesto de ericáceas (*Daboecia cantabrica* (Hudson) C. Koch, *Calluna vulgaris* (L.) Hull, *Erica vagans* L. y *Erica cinerea* L.), tojos (*Ulex europaeus* L. y *Ulex gallii* L.) y helechos (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuch). Se han seleccionado cuatro rodales, dos de calidad 23, uno de calidad 17 y otro de calidad 14 (tabla 1). La calidad de estación (altura dominante en m a los 100 años) se ha determinado usando la siguiente regla discriminante basada en parámetros edáficos (BRAVO, 1999):

$$CE = \beta_0 + \beta_1 \text{lim} + \beta_2 (\text{arc})^{1/2} + \beta_3 \text{CIC}$$

Donde *lim* y *arc* son los porcentajes de limo y arcilla según el método ISSS en los primeros 10 cm de suelo, respectivamente, y *CIC* es la capacidad de intercambio catiónico en meq/100 g. Dicha regla presenta un porcentaje de acierto global del 63%, porcentaje habitual en la estimación de la calidad de estación con parámetros edáficos (ver p.ej.: WANG 1995). Por otra parte las clasificaciones erróneas se concentran en las clases contiguas a la correcta, siendo el porcentaje de acierto en las clases de calidad 23 y 17 del

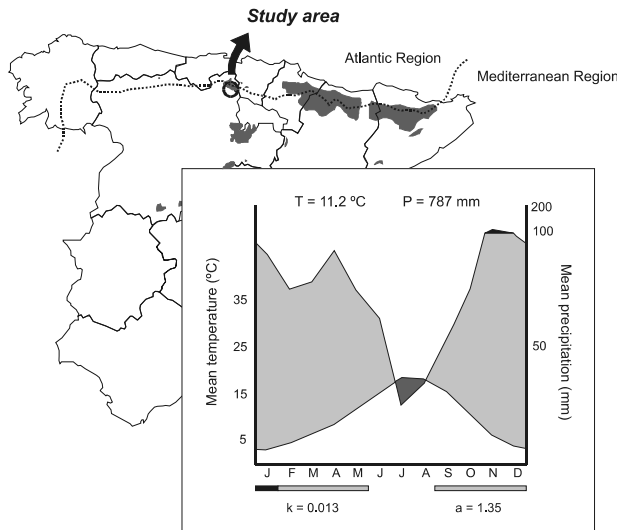


Figura 1. Climodiagrama de Walter-Lieth y mapa de situación de la zona de estudio. La línea discontinua indica el límite entre las regiones biogeográfica Mediterránea y Atlántica.

Rodal	Localización	Área (ha)	Calidad de estación	Densidad (ind. m ²)	AB residual (m ² ha ⁻¹)	Pendiente (%)	Orientación
1	San Nicolás D TII	4,25	23	0,41 ± 0,16	1,20	36	N
2	Monte Arcena B TII	6,07	23	0,23 ± 0,03	1,58	15	N
3	Monte Arcena B TIII	8,72	17	0,93 ± 0,86	1,70	24	S-O-N-E
4	Monte Arcena C TIII	10,11	14	0,82 ± 0,62	16,80	16	S-E

Tabla 1. Descripción y localización de los rodales estudiados.

100%, y en la clase de calidad 14 del 33,33%. En cada uno de los rodales se replanteó una malla sistemática de 100x100 m, midiéndose en cada punto de cruce la longitud entre verticilos de tres plántulas mayores de 5 años. Solo se incluyeron árboles que presentaban una diferenciación clara de los verticilos. El rango de edades muestreado varía entre 5 y 22 años. En este trabajo se consideran, solamente, los primeros 10 años de crecimiento en altura (entre 1 y 10 años).

Análisis de datos

Con el objetivo de modelizar el crecimiento en altura se consideraron las principales ecuaciones de crecimiento disponibles en la literatura (ZEIDE, 1993; SIT & POULIN-COSTELLO, 1994). Dado que solo se consideraba el crecimiento inicial, también se incluyeron ecuaciones lineales que no tenían en cuenta la disminución del crecimiento individual con la edad. El mejor ajuste se obtuvo con la siguiente ecuación exponencial (*Adj-r²* entre 0,70 y 0,78):

$$y = a + b \cdot x^c$$

Donde *y* es la altura en cm; *x* es la edad en años; *a*, *b*, *c* son los parámetros a ajustar. Para realizar el análisis de homogeneidad de los parámetros se ajustó el siguiente modelo de regresión (KHATTREE & NAIK, 1.995):

$$y_{ij} = \sum_{u=1}^4 d_u [a_u + b_u \cdot x_{ij}^{c_u}]$$

Donde *x_{ij}* e *y_{ij}* son los pares de valores edad/altura correspondientes a la observación *j* del rodal *i*; *d_u* con *u* = 1, 2, ..., 4 son variables ficticias donde *d_u* toma el valor 1 cuando la observación pertenece al rodal *u*, y 0 en el resto de los casos; y *a_u*, *b_u*, *c_u* son los parámetros de la ecuación correspondientes a cada uno de los *u* rodales. Este modelo se ajustó mediante regresión no lineal siguiendo el procedimiento DUD y representa un modelo sin restricciones en los parámetros (Ω). Posteriormente se ajustaron tres

modelos (ω_1 , ω_2 , ω_3) correspondientes a la hipótesis de igualdad de los parámetros *a*, *b* y *c*, respectivamente (es decir, ω_1 : *a*₁ = *a*₂ = *a*₃ = *a*₄, ω_2 : *b*₁ = *b*₂ = *b*₃ = *b*₄ y ω_3 : *c*₁ = *c*₂ = *c*₃ = *c*₄). El estimador utilizado para contrastar las hipótesis de igualdad de parámetros entre el modelo completo y los modelos reducidos fue:

$$L = \left(\frac{\hat{\sigma}_{\Omega}}{\hat{\sigma}_{\omega}} \right)^{n/2}$$

Donde $\hat{\sigma}_{\Omega}$ y $\hat{\sigma}_{\omega}$ son los estimadores de máxima verosimilitud de la varianza del error en el modelo sin restricciones (modelo completo) y para cada uno de los modelos de igualdad de parámetros (modelos reducidos), respectivamente, y *n* es el número de observaciones. Para tamaños de muestra grandes (en este caso *n*=525), la distribución de -2 ln *L* se puede aproximar por una distribución χ^2 , con grados de libertad (g.l.) igual al número de parámetros estimados en Ω menos el número de parámetros estimados en ω . Por último, se realizó un análisis de varianza del crecimiento medio anual en altura (c.m.a.). Las hipótesis básicas y la metodología para la realización de análisis de varianza unifactoriales pueden encontrarse, por ejemplo, en PEÑA (1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estimación de los parámetros para cada uno de los rodales y el test de homogeneidad de los parámetros del modelo de regresión exponencial se presentan en la tabla 2. Solamente el parámetro *b* es significativamente diferente en los cuatro rodales analizados. Este parámetro se relaciona con la tasa de crecimiento y varía entre 3,78 en el rodal 4 y 10,90 en el rodal 1. El parámetro *c* es muy similar a 1, especialmente en los rodales 1, 2 y 3, lo que implica un crecimiento

lineal en la fase de desarrollo estudiada (figura 2). SCHEPPER (1988), estudiando la estructura poblacional de masas mixtas en Limburg (Bélgica), también encontró tasas de crecimiento lineales en *Pinus sylvestris*, en contraste con el crecimiento inicial exponencial de *Quercus petraea* Liebl. y *Quercus rubra* L. Aunque el análisis de varianza del crecimiento medio anual en altura es altamente significativo ($p < 0,00$) indicando diferencia entre rodales, éstas no están relacionadas con la calidad de estación (figura 2). Existen gran número de factores que pueden influir en el crecimiento en altura del regenerado y que pueden ser la causa de esta ausencia de correlación estadística. En estaciones húmedas de la costa oeste de EEUU, los principales factores que influyen en la altura alcanzada por la regeneración son el crecimiento del primer año, la competencia interespecífica y la presión de los herbívoros sobre la regeneración (WAGNER & RADOSEVICH, 1991). La combinación de estos tres factores podría explicar el patrón observado en el Alto Valle del Ebro. La importancia del crecimiento del primer año de vida en la posición social y desarrollo de *Pinus sylvestris* ha sido puesto de manifiesto por RUHA et al. (1997). Este

primer crecimiento está fuertemente condicionado tanto por efectos genéticos maternos como de competencia (LINDGREN, 1991). La ausencia generalizada de tratamientos selvícolas sobre el regenerado y la concentración de ganado en algunas de las zonas de regeneración (con daños que en ocasiones afectan al 40% de las plántulas), podrían tener una gran importancia en la zona estudiada. Por otra parte, muchos trabajos han mostrado la influencia del clima, y la irregularidad climática, en el desarrollo juvenil del pino silvestre (p.ej. TEGELMARK, 1998) y las diferencias de crecimiento en altura de la regeneración natural de esta especie como respuesta a pequeños cambios en el sistema vegetación-suelo (KUULUVAINEN et al., 1993).

CONCLUSIONES

El presente trabajo muestra la ausencia de correlación entre crecimiento en altura en los 10 primeros años de cuatro regenerados naturales y la calidad de estación del rodal donde se desarrollan. Gran número de factores pueden tener importancia en el crecimiento inicial de la rege-

Parámetro	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3	Rodal 4	Test de homogeneidad		
	<i>Adj-r²: 0,76</i>	<i>Adj-r²: 0,72</i>	<i>Adj-r²: 0,70</i>	<i>Adj-r²: 0,78</i>	<i>g.l.</i>	χ^2	<i>p</i>
<i>a</i>	3,5340	4,2686	0,5490	1,7431	3	1,7331	0,629
<i>b</i>	10,8969	8,4548	6,6937	3,7780	3	12,6299	0,006
<i>c</i>	1,1381	0,9637	1,1187	1,5023	3	5,5265	0,137

Tabla 2. Estimación y test de homogeneidad de los parámetros del modelo de regresión exponencial.

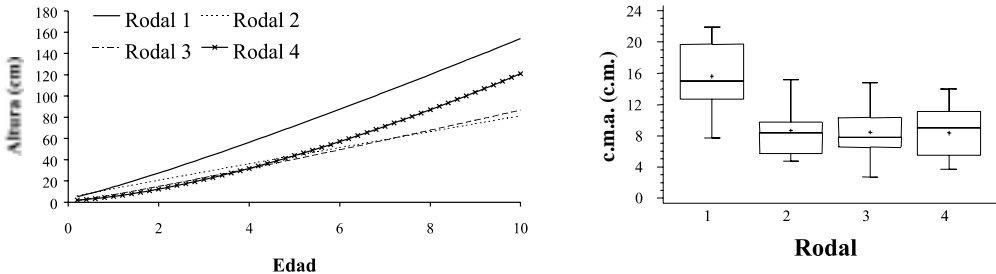


Figura 2. Curvas exponenciales de crecimiento en altura hasta los 10 años de edad de los rodales estudiados (izquierda). Diagramas de caja para el crecimiento medio anual en altura (c.m.a.) de cada uno de los rodales. Nótese que tanto el rodal 1 como el rodal 2 son de calidad 23 (derecha).

neración natural de *Pinus sylvestris* (efectos maternos, estructura de la población, competencia interespecífica, efecto de los herbívoros, microestación), por lo que se hace necesario el establecimiento de diseños experimentales adecuados para determinar la importancia relativa de cada uno de ellos.

BIBLIOGRAFÍA

- BRAVO, F.; 1999. *Modelo de producción para Pinus sylvestris L en el Alto Valle del Ebro*. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid. Valladolid.
- KHATTREE, R. & NAIK, D.N.; 1995. *Applied multivariate statistics with SAS software*. SAS Institute Inc, Cary.
- KUULUVAINEN, T., HOKKANEN, T.J., JÄRVINEN, E. & PUKKALA, T.; 1993. Factors related to seedling growth in a boreal Scots pine stand: a spatial analysis of a vegetation-soil system, *Can. J. For. Res.* 23: 2101-2109.
- LINDGREN, D.; 1991. Progeny testing. In: M. Giertych & C. S. Matyas (eds.), *Genetics of Scots pine*: 191-203. Elsevier. Amsterdam.
- OLDEMAN, R. A. A.; 1990. *Forests: Elements of Silvology*. Springer-Verlag. Berlin.
- OLIVER, C. D. & LARSON, B.C.; 1996. *Forest stand dynamics*. Mc Graw Hill Inc.. New York.
- PEÑA, D.; 1994. *Estadística: modelos y métodos. 2. Modelos lineales y series temporales*. Alianza Editorial. Madrid.
- RUHA, M., HÖKKÄ, H., VARMOLA, M., & SALMINEN, H.; 1997. Stability of height positions in young naturally regenerated stands of Scots pine. *For. Ecol. Manag.* 97: 155-163.
- SCHEPPE (DE) C.; 1988. Typology of the natural regeneration in a middle-aged Scots Pine Forest. *Silva Gandavensis* 53: 29-60.
- SIT, V. & POULIN-COSTELLO, M.; 1994. *Catalogue of curves for curve fitting*. Biometrics Information Handbook Series 4, Prov. British Columbia. Vancouver.
- TEGELMARK, D. O.; 1998. Site factors as multivariate predictors of the success of natural regeneration in Scots pine forests. *For. Ecol. Manag.* 109: 231-239.
- VANCLAY, J.; 1994. *Modelling forest growth and yield. Application to mixed tropical forests*. CAB Internacional. Londres.
- WAGNER, R. G. & RADOSEVICH, S.R.; 1991. Interspecific competition and other factors influencing the performance of Douglas-fir saplings in the Oregon Coast Range. *Can. J. For. Res.* 21: 829-835.
- WANG, G.G.; 1995. White spruce site index relation to soil, understory vegetation, and foliar nutrients. *Can. J. For. Res.* 25: 29-38.
- ZEIDE, B.; 1993. Analysis of growth equations. *For. Sci.* 39: 594-616.