

RELACIÓN ESPACIAL ENTRE LA REGENERACIÓN NATURAL DE *PINUS SYLVESTRIS* Y EL AMBIENTE LUMÍNICO ANTES Y TRAS LA APERTURA DE LA MASA EN EL MONTE DEL PINAR DE NAVAFRÍA (SEGOVIA)

Marta Pardos Mínguez¹, Fernando Montes Pita² e Isabel Cañellas Rey de Viñas¹

¹ CIFOR-INIA. Ap. Correos 8.111. 28080-MADRID (España). Correo electrónico: pardos@inia.es

² Departamento de Silvopascicultura. ETSI Montes. UPM. Ciudad Universitaria. 28040-MADRID (España)

Resumen

Se estudia la influencia que los cambios en el ambiente lumínico, por efecto de las cortas de regeneración, tienen sobre la dinámica espacial de la regeneración natural de *Pinus sylvestris* en el monte del pinar de Navafría. En marzo de 2002 se seleccionaron cuatro parcelas de 5m x 5m. Se realizaron inventarios anuales entre 2003 y 2006, localizándose individualmente todos los brinzales mediante sus coordenadas XY. El patrón espacial de los brinzales se analizó mediante la función $L(d)$, mostrando una estructura agregada, antes y después de la corta. La relación espacial entre la distribución del regenerado y la disponibilidad de luz, antes y después de la corta, se analizó mediante la función $K_{rx}(d)$. La regeneración respondió positivamente a la apertura de la masa en las parcelas con mayor densidad de regenerado previo a la corta y negativamente en aquellas con menor densidad. Este resultado podría guardar relación con el efecto de la apertura del dosel sobre la competencia con la vegetación herbácea, puesto que la apertura de la masa también provocó una repulsión entre la presencia del regenerado y la vegetación herbácea, hecho que no se manifestó bajo las condiciones de luz moderadas existentes antes de la corta.

Palabras clave: *Pino silvestre*, Patrón espacial, Regenerado, Luz

INTRODUCCIÓN

La regeneración natural es un proceso lento e impredecible, debido a la compleja interacción entre el éxito en el arraigo de los brinzales y los factores ecológicos del sitio (KOZLOWSKI, 2002). En este sentido, el triángulo luz-agua-nutrientes juega un papel fundamental en los patrones de regeneración a largo plazo, dentro de los ecosistemas mediterráneos. En concreto, los huecos en la masa se consideran factores determinantes de la dinámica espacial y temporal de la regenera-

ción natural (GRASSI et al., 2004). De ahí que la intensidad y frecuencia de la intervención selvícola en una masa afecte notablemente a la dinámica de la regeneración (ANTOS & PARISH, 2002).

El análisis espacial permite representar la variabilidad espacial y la dependencia entre los individuos (CAMPETELLA et al., 2004). Cuando se conoce la posición de cada brinzal se emplea la función de la $K(d)$ Ripley (RIPLEY, 1977) para caracterizar el patrón espacial. Además, la función $K_{rx}(d)$ (MONTES & CAÑELLAS, 2007) permite analizar la relación entre un patrón espacial

por coordenadas (p.ej. la posición de las plantas) y una variable continua muestreada (p.ej. la luz).

Este trabajo estudia la dinámica de la regeneración de *Pinus sylvestris* en el monte del pinar de Navafría, en función de las condiciones ambientales, y el efecto de la corta final sobre la emergencia de las plántulas. Para ello se realiza un seguimiento anual del patrón espacial del regenerado durante cuatro años.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el monte del pinar de Navafría (41° 01'N, 3° 51'W), tratado por aclareo sucesivo uniforme, seguido por remoción del suelo. Durante el periodo de regeneración (a los 100 años) se realizan cortas intensivas que eliminan toda la masa antigua en 20 años, lo que conduce a una regeneración bastante homogénea. En marzo de 2002, se localizó una zona de estudio de 0,5 ha, en una masa al inicio del periodo de regeneración. El área basimétrica fue 44,2 m².ha⁻¹ en 2003, reduciéndose a 16,8 m².ha⁻¹ después de la corta en diciembre de 2005. En septiembre de 2002 se replantearon cuatro parcelas de 5m x 5m (N₁-N₂-N₃-N₄) en una malla sistemática dentro de las 0,5 ha.

Se estimó la disponibilidad lumínica tomando fotografías hemisféricas en las intersecciones de una malla de 1m x 1m en cada parcela, tanto antes (2003) como después de la corta (2006). Además, cada parcela de 5m x 5m se dividió en 100 subparcelas para el estudio de la regeneración. Se realizó un seguimiento de la emergencia y supervivencia entre 2003 y 2006, marcándose y posicionándose cada brinzal.

El patrón espacial de la emergencia y la supervivencia se caracterizó a través de la $K(d)$ Ripley:

$$\hat{L}(d) = \sqrt{\frac{\hat{K}(d)}{\pi}} - d \quad \lambda K(d) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\omega_{ij}(d)}{n} \quad i \neq j \quad [1]$$

donde λ es la densidad de brinzales por unidad de superficie, d es la distancia entre los brinzales i y j , n es el número de brinzales en la parcela y $\omega_{ij}(d)$ es la inversa de la fracción de una circunferencia centrada en i y distancia d_{ij} . Para probar la hipótesis nula de la distribución aleatoria de los brinzales se simuló el modelo del azar espacial completo (CSR).

El patrón espacial entre la distribución de los brinzales y la disponibilidad de luz se analizó mediante la función $K_{rx}(d)$:

$$K_{rx} = \frac{\left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n \omega_{ij}(d) \cdot \left[\frac{(x_j - \bar{x})}{s_x} \right] + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^N \omega_{ji}(d) \cdot \left[\frac{(x_j - \bar{x})}{s_x} \right] \right)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n \omega_{ij}(d) + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^N \omega_{ji}(d)} \quad [2]$$

$$s_x^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}{n}$$

donde N es número de brinzales de una edad determinada, n es el número de muestras donde se mide la luz, x_j es el valor de la luz en la muestra j , \bar{x} es la media de la luz en la parcela y w_{ij} se calcula como en la ec.[1]. Para comprobar la hipótesis nula de la distribución independiente de los brinzales y la luz, se emplea el modelo de la rotación toroidal como modelo nulo. El número de iteraciones fue de 99. La función $K_{rx}(d)$ se calculó para estudiar la distribución de los brinzales antes de la corta y después de la corta.

RESULTADOS

La emergencia de las plántulas mostró un fuerte efecto del año, incluso más significativo que el efecto de la corta. Dicha emergencia fue muy elevada en 2003, muy baja en 2004, baja en 2005 y media en 2006 (Figura 1). La supervivencia disminuyó a lo largo del tiempo ($P < 0.001$), estando íntimamente ligada a la emergencia inicial. La mortalidad en verano de las plántulas del año fue del 98% en 2003, 84% en 2004, 83% en 2005 y 35% en 2006.

La disponibilidad lumínica antes de la corta fue mayor en la parcela N₂, y se relacionó con una mayor emergencia y menor mortalidad. La corta modificó GSF entre el 91% (parcela N₄) y el 30% (parcela N₂), pero los valores resultantes de GSF fueron similares en las cuatro parcelas (entre 0.60 y 0.64). Otra vez, la parcela N₂ mostró los valores mayores de emergencia y menores de mortalidad, a pesar de los cambios de luz.

La distribución de los brinzales durante los seis primeros años de edad fue agregada en las cuatro parcelas, tanto antes como después de la corta (ej. Figura 2). Antes de la corta, la asociación

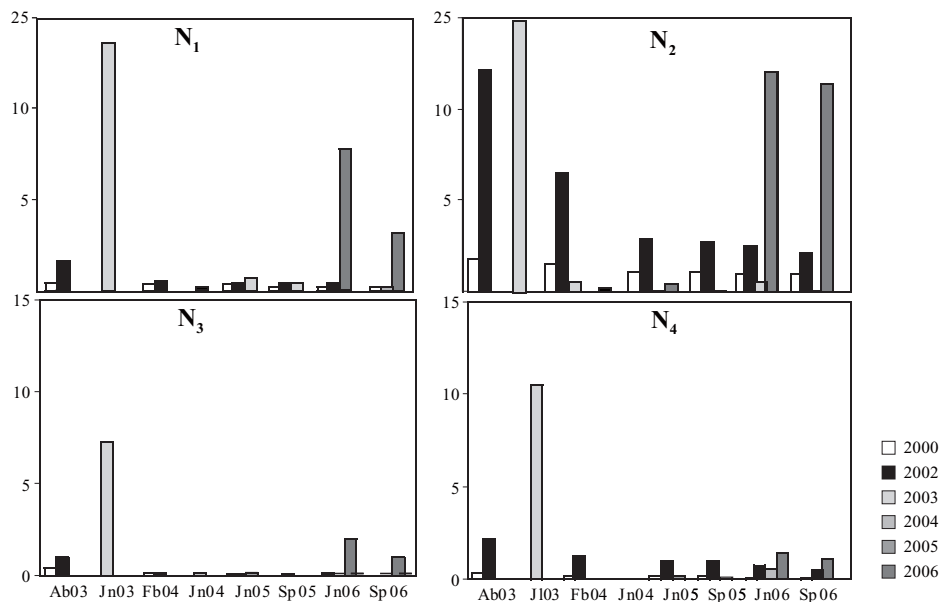


Figura 1. Densidad de plantas (plantas.m²) de *Pinus sylvestris* de 0 a 6 años en los inventarios realizados entre abril 2003 y septiembre 2006, en las cuatro parcelas del tramo de regeneración del pinar del monte de Navafría. Plantas nacidas en 2000, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006

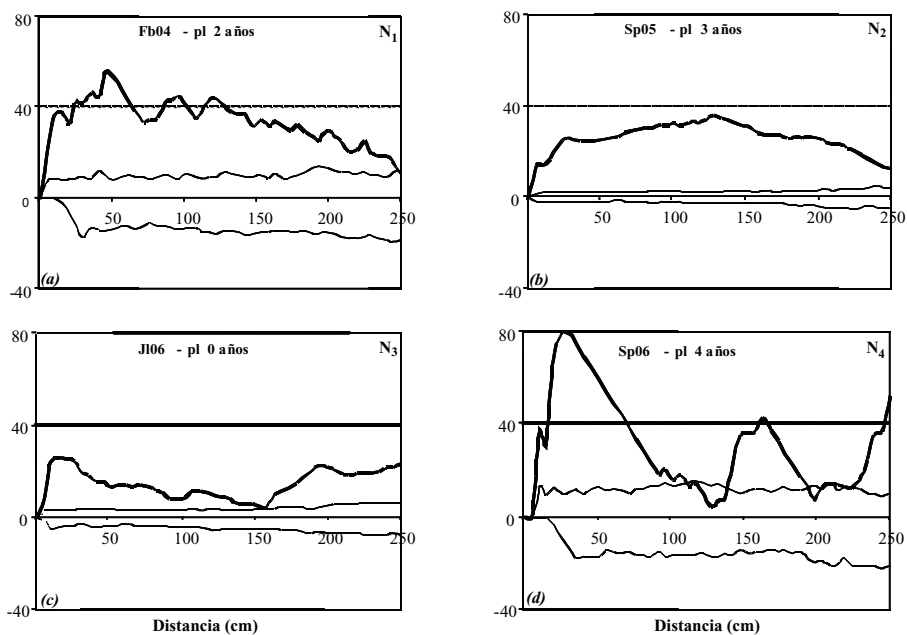


Figura 2. Función $L(d)$ antes (a y b) y después de la corta (c y d). Se representan ejemplos de distintos años de inventario, en las cuatro parcelas del tramo de regeneración del pinar del monte de Navafría. Línea gruesa: función $L(d)$; líneas finas: límites superior e inferior de la función $L(d)$

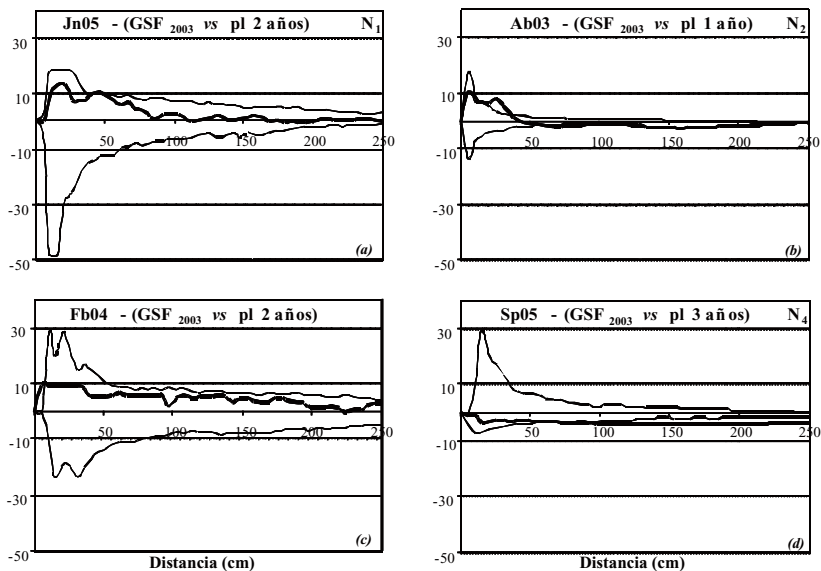


Figura 3. Función $K_{rx}(d)$ sobre la relación espacial entre los brinzales y la luz, antes de la corta. Se representan ejemplos de distintos años de inventario en las cuatro parcelas. Línea gruesa: función $K_{rx}(d)$; líneas finas: límites superior e inferior de la función $K_{rx}(d)$

espacial entre el regenerado y la luz fue negativa para las parcelas N_2 y N_4 , para distancias superiores a 60 cm, mientras que no hubo asociación en las parcelas N_1 y N_3 (ej. Figura 3). Después de la corta la asociación entre la emergencia y la luz fue positiva en las parcelas N_1 (para escalas superiores a 30 cm) y N_2 (para distancias > 128 cm), negativa en la parcela N_3 (para distancias > 51 cm) y sin asociación la parcela N_4 (ej. Figura 4)

DISCUSIÓN

El patrón espacial en los primeros estadios de la fase de regeneración de los brinzales de *Pinus sylvestris* en el Sistema Central, antes y después de la corta, mostró una clara distribución agregada, con independencia de los cambios de luz. Este patrón es parecido al descrito para la especie (GONZÁLEZ-MARTÍNEZ & BRAVO, 2001) y otras coníferas (MAST & VEULEN, 1999), de tal forma que los brinzales aparecen en agregados pequeños y siempre se establecen durante periodos favorables.

A pesar de que el patrón espacial de los brinzales fue siempre agregado, independientemente

del ambiente lumínico, la asociación entre la distribución de los brinzales y la luz cambió tras la corta, debido a su intensidad. Antes de la corta, la asociación fue nula o negativa en las cuatro parcelas. Después de la corta, el ambiente lumínico fue similar en todas las parcelas ($GSF \sim 0.62$), pero las afectó de manera diferente. Así, la presencia de brinzales respondió positivamente a la apertura de la masa en aquellas parcelas con mayor densidad antes de la corta, y negativamente en las parcelas con menor densidad. Según DENSLOW & GUZMÁN (2000), el patrón de la regeneración no depende de las condiciones de mayor radiación. Por tanto, una mayor radiación no tiene por qué conducir a una mayor regeneración para distancias >100cm, como consecuencia de una mayor competencia por los recursos (MÓDRY et al., 2004). Bajo estas circunstancias, la apertura de la masa pudo favorecer el desarrollo vigoroso de herbáceas e imponer un estrés fisiológico en el regenerado de las parcelas con bajas densidades tanto antes como después de la corta (GRASSI et al., 2004). Por el contrario, bajo las condiciones de luz moderadas de antes de la corta ($GSF < 0.45$), los brinzales y las herbáceas pueden ocupar los mismos sitios, siempre que las

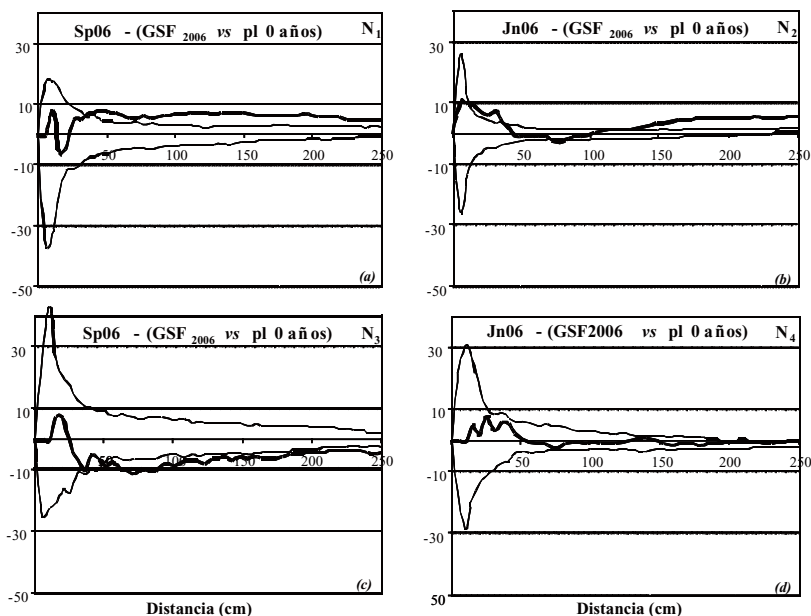


Figura 4. Función $K_{rs}(d)$ sobre la relación espacial entre los brinzales y la luz, después de la corta. Se representan ejemplos de los dos inventarios de 2006 en las cuatro parcelas. Tipo de líneas, vease figura 3

condiciones ambientales sean apropiadas (PARDOS *et al.*, 2007). De estos resultados se concluye que la luz controla el patrón de distribución de los brinzales (DRUCKENBROD *et al.*, 2005).

Agradecimientos

Este estudio se ha financiado con los proyectos AGL2000-1545 (Plan Nacional I+D+I, 2001-2003) y AGL2004-01941 (Plan Nacional I+D+I, 2004-2007).

BIBLIOGRAFÍA

- ANTOS, J.A. & PARISH, R.; 2002. Structure and dynamics of a nearly steady-state subalpine forest in south-central British Columbia, Canada. *Oecologia* 130: 126-135.
- CAMPETELLA, G.; CANULLO, R. & BARTHA, S.; 2004. Coenostate descriptors and spatial dependence in vegetation-derived variables in monitoring forest dynamics and assembly rules. *Community Ecol.* 5: 105-114.
- DENSLow, J.S. & GUZMAN, G.S.; 2000. Variation in stand structure, light and seedling abundance across a tropical moist forest chronosequence, Panama. *J. Veg. Sci.* 11: 201-212.
- DRUCKENBROD, D.L.; SHUGART, H.H. & DAVIES, I.; 2005. Spatial pattern and process in forest stands within the Virginia piedmont. *J. Veg. Sci.* 16: 37-48.
- GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, S.C. & BRAVO, F.; 2001. Density and population structure of the natural regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the High Ebro Basin (Northern Spain). *Ann. For. Sci.* 58, 277-288.
- GRASSI, G.; MINOTTA, G.; TONON, G. & BAGNARESI, U.; 2004. Dynamics of Norway spruce and silver fir natural regeneration in a mixed stand under uneven-aged management. *Can. J. For. Res.* 34: 141-149.
- KOZŁOWSKI, T.T.; 2002. Physiological ecology of natural regeneration of harvested and disturbed forest stands: implications for forest management. *Forest Ecol. Manage.* 158: 195-221.
- MAST, J.N. & VEBLEN, T.T.; 1999. Tree spatial patterns and stand development along the

- pine-grassland ecotone in the Colorado Front Range. *Can. J. For. Res.* 29: 575-584.
- MODRÝ, M.; HUBENÝ, D. & REJŠEK, K.; 2004. Differential response of naturally regenerated European shade tolerant tree species to soil type and light availability. *Forest Ecol. Manage.* 188: 185-195.
- MONTES, F. & CAÑELLAS, I.; 2007. The spatial relationship between post-crop remaining trees and the establishment of saplings in *Pinus sylvestris* L. stands in Spain. *Appl. Veg. Sci.* 10: 151-160.
- PARDOS, M.; MONTES, F.; ARANDA, I. & CAÑELLAS, I.; 2007. Influence of environmental conditions on germinant survival and diversity of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in central Spain. *Eur. J. For. Res.* 126: 37-47.
- RIPLEY, B.D.; 1977. Modelling spatial patterns (with discussion). *J. Royal Stat. Soc.* 2: 172-212.