

MODELO PROBABILÍSTICO DE SUPERVIVENCIA EN PLÁNTULAS DE *PINUS PINASTER* EN LA MESETA CASTELLANA

Carlos del Peso Taranco, Felipe Bravo Oviedo, Santiago González Gutiérrez, Valentín Pando Fernández e Irene Ruano Benito

Instituto Universitario de Investigación sobre Gestión Forestal Sostenible. Universidad de Valladolid-INIA. Avda de Madrid 44. Campus de Palencia. 34004-PALENCIA (España). Correo electrónico: cdelpeso@pvs.uva.es

Resumen

Las difíciles condiciones de la estación forestal que ocupan las masas forestales de *Pinus pinaster* en la Meseta Castellana hacen que la regeneración natural no siempre se consiga. El conocimiento de la estrategia reproductora de la especie y la supervivencia de las pequeñas plántulas que nacen será un elemento clave en la gestión de estos sistemas forestales en un cambio global marcado por el abandono de la resinación y el aumento de las temperaturas. Mediante un dispositivo experimental en una parcela de muestreo intensivo situada en Cuéllar (Segovia) se ha hecho el seguimiento de la nascencia y muerte de plántulas durante el quinquenio 2006-2010. Con los datos aportados se elabora un modelo logístico binomial de la supervivencia del regenerado al primer verano de vida y se analizan distintos escenarios futuros dependiendo del tipo de corta de regeneración aplicado (eliminación del 100%; 50%; 25%, o 0% del área basimétrica inicial). A la vista de los resultados cabe concluir que la probabilidad de supervivencia es mayor cuanto menos intensa es el tipo de corta y que ésta disminuye drásticamente si aumenta la temperatura media mensual (escenario de cambio climático futuro).

Palabras clave: *Pinares mediterráneos, regeneración natural, persistencia, Cuenca del Duero*

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La regeneración natural de las masas forestales está íntimamente ligada a dos grandes grupos de factores: por un lado las condiciones naturales de la estación forestal (clima suelo, predación, topografía...) y por otro lado al manejo selvícola del sistema forestal, donde las cortas de regeneración y la densidad de la masa son aspectos relevantes.

En nuestro caso aunque *Pinus pinaster* se considera una especie pionera con un fuerte poder regenerativo (LOEWE et al., 2000), las difíciles condiciones edáficas (suelos arenosos con poca fertilidad y escasa retención de agua), la sequía

estival presente y la gestión forestal en la zona de estudio, centrada en la extracción de resina, hace que no siempre se consiga la regeneración natural de las masas de pinares de la Meseta Castellana. El conocimiento de la estrategia reproductora de la especie es un elemento clave para el cambio global en los próximos años. En este trabajo se pretende contestar a las siguientes cuestiones, relacionadas con la supervivencia de las plántulas al primer verano de establecimiento:

- 1) ¿influyen las condiciones de clima (temperatura y pluviometría)?
- 2) ¿influye el tratamiento de corta de regeneración?

- 3) ¿influye la quincena de establecimiento con la que llega al verano la plántula?

MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo se realizó sobre una zona homogénea en cuanto a condiciones abióticas y estructura del pinar, dentro del monte N° 32 "Común de la Torre y Jaramilla" de Cuéllar (Segovia), incluido en el dispositivo experimental de regeneración natural de *Pinus pinaster* del Instituto Universitario de Investigación sobre Gestión Forestal Sostenible. En el mismo se delimitaron 10 parcelas de muestreo permanente con distintos tratamientos de regeneración (P1 a P10) (Figura 1). Cada nivel de corta está repetido tres veces situando las parcelas al azar. Las intensidades de corta sobre el área basimétrica (A.B.) incluidas en el área de estudio han sido: cortas del 100% (parcelas 1, 3 y 9), 50% (parcelas 6, 7 y 8), 25% (parcelas 2, 4 y 5). La parcela 10 permaneció como control sin corta de regeneración.

Dentro de cada parcela se dispusieron 24 microparcelas de 1 m² y una parcela central de 4 m², en un diseño sistemático con una separación

de 14 m. En ellas se realizó el seguimiento de la demografía de plántulas. En total se han visitado 75 veces durante el quinquenio comprendido entre 2006-2010 (ambos inclusive). Los datos han sido agrupados para su análisis por años agrícolas y parcelas (con inicio el 1 de octubre y finalización 30 de septiembre del año siguiente, siendo la referencia el año que contiene el verano). Sólo se han tenido en cuenta las plántulas que llegaban vivas a la quincena 19 (primera quincena de julio). Aquellas plántulas que morían antes se desestimaron para el modelo logístico. La serie de datos climáticos se ha obtenido de la red INFORIEGO de la estación de Olmedo, a 15 km del sitio experimental (www.inforiego.org).

Con los datos obtenidos, tras los análisis, se procedió a la implementación de un modelo logístico binomial para predecir el éxito de la supervivencia, cuya forma general es la siguiente:

$$P = \frac{1}{(1 + e^{-b_0 - \sum b_i x_i})}$$

donde P es la probabilidad de éxito de la supervivencia, b_0 es el término independiente y $\sum b_i x_i$ es una combinación lineal de parámetros b_i y variables x_i (quincena de establecimiento del regenera-

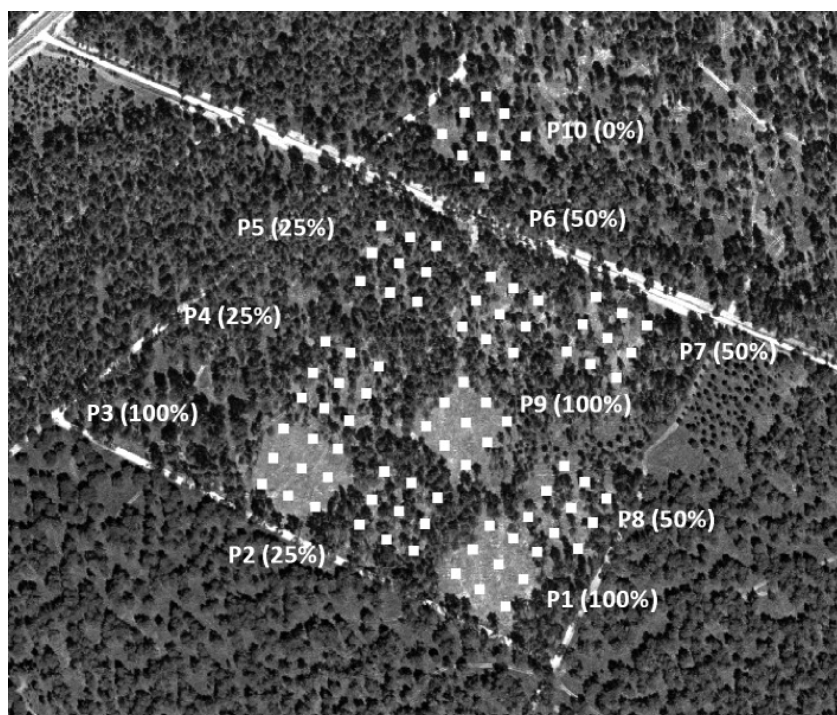


Figura 1. Sitio experimental de Cuéllar (Segovia). En la figura se aprecia claramente el diseño experimental y, especialmente, las tres repeticiones de la corta a hecho

do, tratamiento de corta de regeneración y variables climáticas mensuales, en concreto, temperaturas medias, mínimas, máximas, mínimas y máximas absolutas, humedades relativas y pluviometrías). La ecuación logística fue formulada para aceptar una variable dicotómica dependiente, como el indicador de supervivencia al verano (en nuestro caso la supervivencia de la plántula al verano se codificó como 1 y la no supervivencia como 0). Los parámetros de la ecuación final fueron estimados mediante máxima verosimilitud, y la evaluación de los tres modelos exploratorios propuestos fue en función del área por debajo de la curva ROC (Receiver Operating Characteristic), del criterio de información de Akaike (AIC) y de la expresión menos dos veces el logaritmo de la verosimilitud (-2LOGL). Para evitar problemas de colinealidad se realizó previamente, un análisis de correlación de Pearson entre las distintas variables climáticas utilizadas (temperaturas promedio, máximas mensuales, máxima de las máximas del periodo junio-septiembre y lluvia del periodo abril-septiembre), procediendo posteriormente, a una selección de variables paso a paso. La ecuación logística ha sido ampliamente utilizada para modelizar diferentes eventos binarios en investigación forestal (HAMILTON, 1976, 1986; MONSERUD & STERBA, 1999; ÁLVAREZ GONZÁLEZ *et al.*, 2004; BRAVO-OVIEDO *et al.*, 2006). RODRÍGUEZ-GARCÍA *et al.* (2007) utilizó la ecuación logística para el análisis

de la regeneración natural en los pinares sorianos de pino negral.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se representan de forma gráfica el total de plantas nacidas en el conjunto del quinquenio. En ella se pueden observar las grandes diferencias de nacimientos en los distintos años del periodo.

Las variables climáticas analizadas están todas muy correlacionadas (estadístico de Pearson), por lo que se decidió utilizar tres modelos exploratorios de regresión ajustados paso a paso (*stepwise*):

- Modelo 1) Utilizando las temperaturas promedio de los meses de verano.
- Modelo 2) Utilizando las temperaturas máximas del promedio de las máximas y lluvia de los meses de verano.
- Modelo 3) Utilizando la lluvia de los meses de verano.

De los tres modelos analizados, el modelo 1 (temperaturas promedio del mes de julio) es el que presenta mejores resultados (tabla 1 y tabla 2). De forma gráfica (figura 3) se presenta la probabilidad en dos escenarios distintos para la temperatura media del mes de julio: escenario actual (en un rango de temperaturas medias en julio de

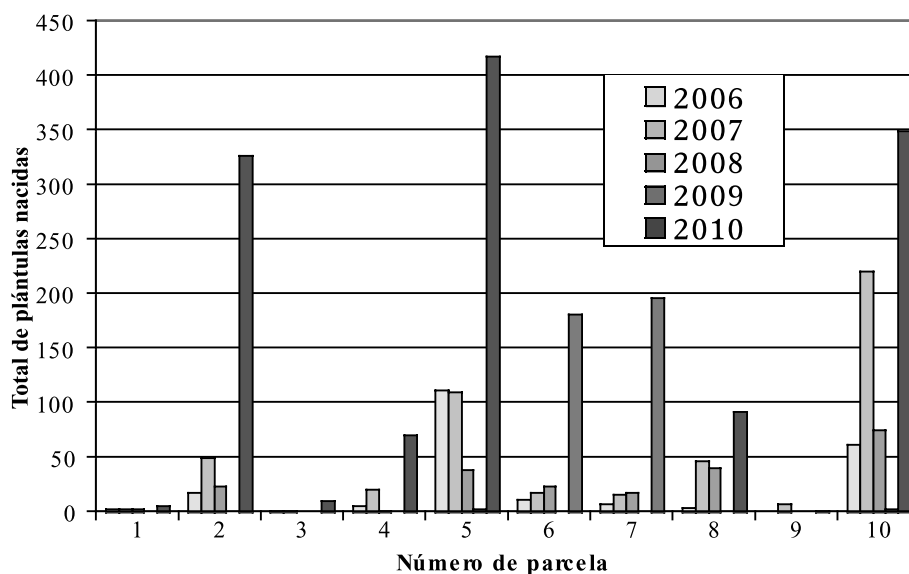


Figura 2. Plántulas nacidas en las distintas parcelas en el periodo analizado (quinquenio 2006-2010)

20 a 23°C) y escenario de cambio climático con un aumento de las temperaturas medias (>23°C).

La mayor supervivencia del regenerado en la parcela testigo y en las parcelas tratadas con cortas de regeneración suaves (corta del 25% del

área basimétrica (A.B.) inicial), parece indicar el aumento de micrositos con condiciones más favorables para superar el estrés hídrico propio del verano de la Meseta, donde las arenas alcanzan temperaturas elevadas (BARBEITO et al.,

	C	AIC	-2LOGL
Modelo 1	0,635	897,420	891,420
Modelo 2	0,631	897,736	891,736
Modelo 3	0,635	898,637	892,637

Tabla 1. Valores de C (área bajo la curva ROC), AIC (índice de Akaike) y -2LOGL (-2 veces el logaritmo de la verosimilitud) para los distintos modelos analizados

Análisis del estimador de máxima verosimilitud					
Parámetro	DF	Estimador	Error estándar	Chi-cuadrado de Wald	Pr>ChiSq
Término independiente	1	3,5730	1,5264	5,4792	0,0192
Tratamiento	1	-0,0184	0,00488	14,2318	0,0002
Tmed07	1	-0,2522	0,0711	12,5656	0,0004

Tabla 2. Valores estimados de los parámetros para el Modelo 1 (temperaturas medias del mes de julio, Tmed07). Valores de bo (término independiente) y bi (tratamiento) del modelo 1 (modelo elegido como óptimo)

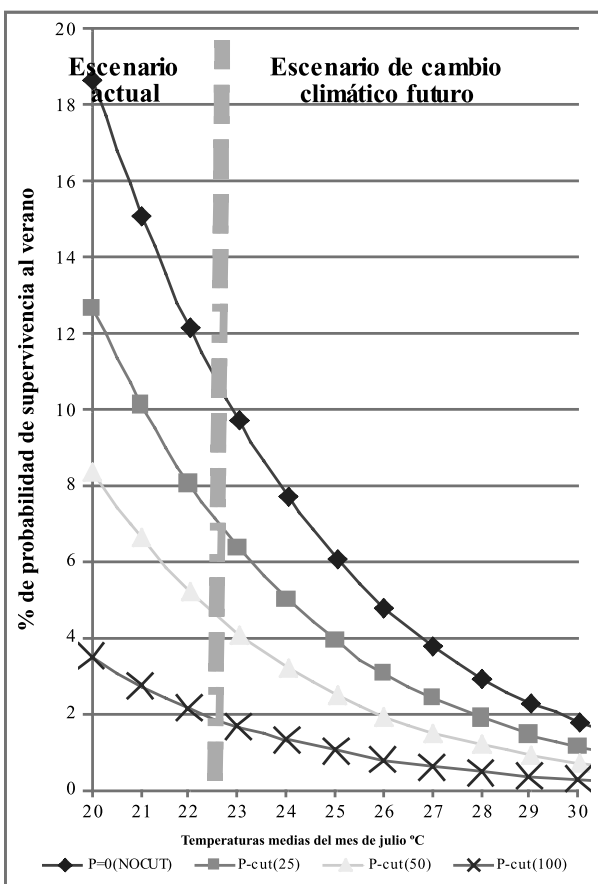


Figura 3. Modelo probabilístico de supervivencia para los distintos tratamientos de corta (desde no cortar P=0 (Nocut) a corta a hecho (P-cut (100)) pasando por cortas intermedias del 25% (P-cut(25)) o el 50% (P-cut(50)). Se plantean además dos escenarios de temperaturas medias del mes de julio. El escenario actual se corresponde con la temperatura media en el quinquenio analizado (de 20 a 23°C), mientras que el escenario futuro presupone un aumento de las temperaturas medias en el mes de julio (valores mayores de 23°C)

2008). Aunque tradicionalmente la especie ha sido descrita como especie de luz, cuyos brinzales soportan mal la sombra desde pequeños (CEBALLOS Y RUIZ DE LA TORRE, 1979), en Meseta Castellana el carácter tolerante o no a la sombra debe explicarse vinculándolo a otros parámetros (RODRÍGUEZ, 2008), especialmente al efecto de las altas temperaturas de verano, por lo que, en estas primeras fases la especie se comporta, en esta región, como especie de media luz.

CONCLUSIONES

El análisis de la supervivencia al primer verano revela que un porcentaje muy bajo de plántulas superan esta fase crítica de la regeneración (valores de supervivencia comprendidos entre el 18%, en el caso más favorable y el 2% en el más desfavorable). Tanto el tratamiento de corta como las variables climáticas analizadas (temperaturas y lluvia de verano) influyen en la supervivencia de las plántulas al primer verano. El modelo probabilístico que mejor explica el fenómeno incluye la temperatura media del mes de julio y el tratamiento selvícola de regeneración. Tratamientos de corta poco intensos facilitan la mayor supervivencia de plántulas. Así mismo, temperaturas medias en julio por encima de 25°C (haciendo una extrapolación del modelo ajustado en un escenario de cambio climático) disminuyen enormemente el éxito en la supervivencia (valores por debajo del 6% en todos los tratamientos). La quincena de establecimiento de la plántula (edad con la que llega al verano) no está correlacionada con la supervivencia al primer verano.

Agradecimientos

Esta aportación se enmarca en el proyecto de investigación CICYT "Dinámica de masas maduras y primer desarrollo de pinares mediterráneos" AGL-2007-65795-C02-01 así como por el proyecto AGL-2001-1780 financiados por el Plan Nacional de I+D+i del Ministerio de Ciencia e Innovación. Así mismo se agradece la colaboración del Servicio Territorial de Medio Ambiente de Segovia y de la propiedad del monte por la facilitación en la instalación y mantenimiento del dispositivo experimental.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.; CASTEDO-DORADO, F.; RUIZ GONZÁLEZ, A.D.; LÓPEZ SÁNCHEZ, C.A. & VON GADOW, K.; 2004. A two-step mortality model for even-aged stands of *Pinus radiata* D. Don in Galicia (Northwest Spain). *Ann. For. Sci.* 61: 441-450.
- BARBEITO, I.; PARDOS, M.; CALAMA, R. & CAÑELLAS, I.; 2008. Effect of stand structure on stone pine (*Pinus pinea* L.) regeneration dynamics. *Forestry* doi: 10.1093/forestry/cpn037.
- BRAVO-OVIEDO A.; STERBA H.; DEL RÍO, M. & BRAVO, F.; 2006. Competition induced mortality for Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. and *P. sylvestris* L. *Forest Ecol. Manage.* 222: 88-98. doi:10.1016/j.foreco.2005.10.016.
- CEBALLOS, G. Y RUIZ DE LA TORRE, J.; 1979. *Árboles y arbustos de la España Peninsular*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.
- HAMILTON, D.A.; 1976. Modelling the probability of individual tree mortality. USDA Forest Service. Research Paper INT-185.
- HAMILTON, D.A.; 1986. A logistic model of mortality in thinned and unthinned mixed conifer stands of Northern Idaho. *For. Sci.* 32: 989-1000.
- LOWE S.; BROWNE M.; BOUDJELAS S.; & DE POORTER M.; 2000. *100 of the World's Worst Invasive Alien Species A selection from the Global Invasive Species Database*. Published by The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN), 12pp.
- MONSERUD, R.A., & STERBA, H.; 1999. Modelling individual tree mortality for Austrian forest species. *Forest Ecol. Manage.* 113: 109-123.
- RODRÍGUEZ, R. J.; SERRADA R.; LUCAS J.A.; ALEJANO, R.; DEL RÍO M.; TORRES, E. Y CANTERO, A.; 2008. Selvicultura de *Pinus pinaster* Ait. subsp. *mesogeensis* Fieschi & Gausson. En: R. Serrada, G. Montero y J. Reque (eds.), *Compendio de Selvicultura*. Aplicada en España: 399-430. INIA. Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid.
- RODRÍGUEZ-GARCÍA, E.; JUEZ, L.; GUERRA, B. Y BRAVO, F. 2007. Análisis de la regeneración natural de *Pinus pinaster* Ait. en los arenales de Almazán-Bayubas (Soria, España). *Inv. Agraria; Sist. Rec. For.* 16(1): 25-38.