

SIMULACIÓN DE LOS EFECTOS DE DIFERENTES INTENSIDADES DE CORTA SOBRE LA LIMITACIÓN DE SEMILLAS EN RODALES DE *P. PINEA* L. DE LA MESETA CASTELLANA

Rubén Manso González¹, Rafael Calama Sainz¹, Guillermo Madrigal Casanueva¹, Enrique Garriga García¹, Fco. Javier Gordo Alonso² y Marta Pardos Mínguez¹

¹Departamento de Selvicultura y Gestión de los sistemas forestales. CIFOR-INIA. Ctra. La Coruña km 7,5. 28040-MADRID (España). Correo electrónico: manso.ruben@inia.es, rmgforestal@hotmail.com

²Servicio Territorial de Medio Ambiente. Junta de Castilla y León. C/Duque de la Victoria 5. 47001-VALLADOLID (España)

Resumen

Las masas de piñonero de la Meseta Norte regeneran con dificultad bajo el actual esquema de gestión. En este trabajo se evalúa la posible existencia de un cuello de botella para la regeneración en la primera fase de la misma: la dispersión primaria. Mediante la aplicación de un modelo parametrizado para la especie, se simuló la “sombra de semillas” bajo diferentes alternativas de intensidades de corta sobre un rodal tipo al final del turno (150 pies·ha⁻¹), obteniéndose los valores de limitación de semillas correspondientes. Si bien no se observó prácticamente una escasez de semillas con las espesuras testadas, su distribución espacial resultó ser altamente deficiente desde el punto de vista de la regeneración: porcentajes de huecos sin semillas superiores al 40% con cortas del 50% de los pies (intensidad de corta habitual en la gestión). Los resultados de este estudio predicen que las densidades de gestión actuales podrían condicionar la regeneración natural en la fase de dispersión, sugiriendo unas actuaciones más progresivas que permitan la ocurrencia de eventos de dispersión previos, así como su materialización en un establecimiento satisfactorio de regenerado.

Palabras clave: *Dispersión primaria, Regeneración natural, Pino piñonero, Modelización inversa*

INTRODUCCIÓN

Los montes de pino piñonero (*P. pinea* L.) de la Meseta Norte han sido intensamente aprovechados desde el siglo XI, mientras que su manejo selvícola se ha venido llevando a cabo durante los últimos cien años mediante cortas a hecho en dos tiempos y, recientemente, aclareo sucesivo uniforme de gran intensidad. Sin embargo, si bien se ha optimizado la producción de piñón, la regeneración natural no se obtiene

de forma satisfactoria en términos generales. Este hecho implica la necesidad de practicar siembras locales para regenerar las masas, así como costosos tratamientos para garantizar la viabilidad del regenerado. Se han citado varias causas que podrían explicar estas dificultades para la regeneración (CALAMA Y MONTERO, 2007). Entre ellas se encuentra el patrón agregado de dispersión primaria debido a las características de la semilla y la baja densidad de estas masas, orientadas a producciones no maderas-

bles. En esta situación, la semilla previsiblemente no sería capaz de alcanzar áreas importantes dentro del rodal (RODRIGO et al., 2007), comprometiendo la regeneración natural.

La reciente modelización del patrón espacial de dispersión primaria en *P. pinea* (MANSO et al., 2011a) ha permitido conocer el alcance exacto del área de influencia de la copa a efectos de dispersión. La lluvia de semillas se circunscribe a una distancia del fuste no superior a dos radios de copa para un árbol medio. El presente trabajo constituye una aplicación práctica del modelo mencionado bajo distintas condiciones de espesura. Un número suficiente de simulaciones de cortas de diferentes intensidades permite obtener una buena aproximación a las circunstancias reales medias de los rodales que han entrado en el periodo de regeneración. La estimación de la lluvia de semillas para cada simulación posibilita el posterior cálculo de índices de limitación de semillas. Estos índices sintetizan la información del efecto de la reducción de la espesura sobre la dispersión primaria. El estudio forma parte de la modelización integral de la regeneración natural en *P. pinea*, que incluye los procesos de producción de fruto (CALAMA et al., 2011a), de germinación (MANSO et al., 2011b), de predación (MANSO et al., 2010) y de establecimiento (CALAMA et al., 2011b).

El principal objetivo de este estudio es aportar una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en la gestión en relación a las cortas de regeneración de aquellas masas de *P. pinea* en las que se han mantenido espesuras bajas de cara al aprovechamiento del piñón.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sitio de ensayo

El sitio de ensayo se localiza en la Tierra de Pinares vallisoletana, dentro del término municipal de La Pedraja de Portillo (41° 28' N, 4° 43' W). Se trata de una masa pura regular de *P. pinea* representativa de las condiciones normales de la comarca (clima Mediterráneo continental, suelos arenosos, a 700 m de altitud). El estudio se ha llevado a cabo en un tramo en regeneración de 120 años e índice de calidad de estación 15-16 m

a los 100 años (calidad II). Se han efectuado cortas diseminatorias en 2002-2003.

Diseño experimental

El ensayo se instaló en 2005 y está formado por 6 parcelas rectangulares, de dimensiones 60 x 80 m² (0,48 ha), en las que se aplicaron dos tratamientos de regeneración diferentes (Aclareo Sucesivo Uniforme, ASU y Cortas a Hecho en dos tiempos, CH2) con 3 réplicas de cada una. Además, se instaló una parcela testigo (sin cortas). Todas las parcelas cuentan con una banda tampón de 7,5 m hacia el exterior. La espesura de la parcela control es de 149 pies·ha⁻¹ (18,42 m²·ha⁻¹ de área basimétrica); en las parcelas de ASU, 73-75 pies·ha⁻¹ (9,70-12,26 m²·ha⁻¹); y en las de CH2, 46-48 pies·ha⁻¹ (6,99-9,37 m²·ha⁻¹). Las parcelas se inventariaron en 2003, identificándose y numerándose cada pie, tomándose las siguientes medidas: coordenadas cartesianas, diámetro normal (1,3 m), altura total y 4 radios de copa perpendiculares entre sí.

En mayo de 2005, en cada una de las parcelas, salvo la control, se instalaron un total de 10 trampas de semilla sobre una malla sistemática (17,7 m x 17,7 m). Las trampas, fabricadas en tejido de arpillera, tienen una superficie de recepción de 0,25 m², situándose la boca de las mismas a una altura de 1 m sobre el nivel del suelo. Desde mayo de 2005 hasta enero de 2011 se han recogido, con intervalo medio de 34,6 días, las semillas caídas en las trampas en un total de 60 ocasiones.

Modelización espacial

Para describir la lluvia de semillas de *P. pinea* en las masas de la Meseta Castellana se ha usado el modelo de dispersión primaria propuesto por MANSO et al. (2011a). Se trata de una aproximación al problema mediante la denominada modelización inversa, que estima la distribución de semillas caídas a partir de los datos conocidos de dispersión en las trampas y su distancia a los pies próximos. En particular, la lluvia de semillas en un punto *i* determinado será la suma de las aportaciones de los *T* árboles más cercanos. Cada una de esas aportaciones se calcula mediante el producto de la producción media del árbol *j* y una función de probabilidad dependiente de la distancia entre el punto *i* y el árbol *j*. Tanto la producción como la función de probabilidad

dependen de parámetros a estimar. En el trabajo citado, se reparametrizan diferentes modelos existentes, eligiéndose aquél de mejor ajuste, en este caso el modelo de RIBBENS *et al.* (1994). Asimismo, se introducen dos mejoras significativas en el modelo mencionado: a) la estima de la producción se realiza de forma independiente mediante el modelo de CALAMA *et al.* (2008) y la corrección dimensional de MORALES (2009), ganándose estabilidad en el ajuste y b) se corrige la distancia entre el pie j y punto i para considerar el efecto de la copa en la dispersión (Ec. 1):

$$N_i = m \cdot \sum_{j=1}^T wc_j \frac{1}{n} \exp \left[- \left(\frac{r_{ij}}{\alpha} \right)^c \right] \quad \text{Ec. 1}$$

Donde N_i es la densidad de semillas en la trampa i (semillas·ha⁻¹·año⁻¹); wc_j es el peso estimado de la piña producida por el árbol j , en kg/año, obtenida de CALAMA *et al.* (2008); m es una constante de valor 421 piñones/kg de piña; α es el parámetro de dispersión (= 3,308); c es el parámetro de forma (= 2,065); r_{ij} es la distancia corregida de la trampa i al centroide de la copa del árbol j (m); T es el número de árboles considerado en el ajuste, 3 en este caso y n es un normalizador con $\Gamma(\cdot)$, la distribución gamma:

$$n = \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha^2 \cdot \Gamma(2/c)}{c}$$

Simulación de la lluvia de semillas bajo diferentes intensidades de corta. Índices de limitación de semillas

A partir de la densidad y de la media y desviación típica de la distribución diamétrica de la parcela control, se reprodujo una parcela tipo, de iguales dimensiones, en un estado anterior a la aplicación de las cortas de regeneración. En esta parcela se simularon un total de 1000 cortas independientes de intensidades del 10; 20; 25; 33; 50 y 66% de los pies, siguiendo un criterio aleatorio. Para la situación inicial y para cada una de las cortas de intensidad mencionada se simuló, a su vez, la lluvia de semillas por medio del modelo de dispersión primaria ajustado (Ec. 1) en un total de 2500 puntos situados en una malla sistemática de 1 m x 1 m, correspondiente a la parte central de la parcela, siguiendo a MANSO *et al.* (2011a). Con estas predicciones es posible calcular para cada

intensidad de corta 1000 valores de los índices de limitación debida a la fuente de semillas, SL, y de limitación por dispersión, DL (CLARK *et al.* 1998; MULLER-LANDAU *et al.*, 2002), que representan, respectivamente, a) la probabilidad de que a 1 m² del rodal no llegue ningún piñón asumiendo una distribución uniforme de llegada de semilla al suelo (déficit de semillas; Ec. 2); y b) el porcentaje de los huecos de 1 m² donde podría llegar semilla bajo esa distribución uniforme pero realmente no llega debido a las características de la sombra de semillas actual (ineficiencia en la dispersión; Ec 3). Estos índices permiten analizar, por una parte, en qué medida la semilla producida por un rodal dado es suficiente para que se produzca la regeneración y, por otra, cuál es el grado de homogeneidad de la lluvia de semillas en el espacio, constituyendo dos indicadores de alta capacidad de diagnóstico en relación con los problemas de dispersión primaria. Matemáticamente se definen como:

$$SL = 1 - e^{-\bar{N}_i} \quad \text{Ec. 2}$$

donde N_i es el número de semillas estimado para el punto i . A efectos de cálculo, DL se puede definir como la comparación de la proporción de puntos hasta los que llegan semillas dispersadas y la proporción de puntos donde caerían semillas si la dispersión fuera perfectamente uniforme, siendo a el número de puntos donde se prevé que al menos una semilla sea dispersada y l el número de puntos considerado (nótese que cuando SL tiende a cero, DL puede interpretarse básicamente como la proporción de huecos donde no llega semilla):

$$DL = 1 - \left\{ \frac{a/l}{1 - SL} \right\} \quad \text{Ec. 3}$$

Finalmente, se realiza un análisis gráfico de la evolución de los índices según la intensidad de corta simulada. Todos los cálculos y análisis se realizaron con el software estadístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010).

RESULTADOS

El índice de limitación debido a la fuente SL resultó prácticamente nulo para todas los peso de corta, implicando que con las densidades habitua-

les de gestión, la cantidad de semilla producida por los árboles remanentes sería suficiente para regenerar el rodal. Tan sólo con la corta del 66% de los pies se apreció un crecimiento de la limitación por semilla, aunque igualmente despreciable. En el caso del índice de limitación por dispersión DL se observa una tendencia potencial e inversa con la densidad remanente de la masa (Figura 1). Esto es, a mayor intensidad de corta, no sólo mayor DL, sino también mayor incremento de DL por unidad de densidad reducida en la corta.

Idéntico patrón se produce al comparar con las áreas basimétricas remanentes. Todas las densidades presentaron un cierto grado de limitación debido al patrón agregado de dispersión de la especie, variando desde aproximadamente una media del 30% de huecos para una corta del 10% de los pies hasta prácticamente el 65% cuando sólo se deja un tercio de los árboles. Un valor destacable es producido con intensidades de corta del 50% de los pies, donde se supera el 40% de huecos de media.

DISCUSIÓN

En la actualidad, las densidades a las que se llega al comienzo del periodo de regeneración oscilan entre los 100 a 150 pies·ha⁻¹, según la calidad de estación. Esta espesura implica ya un porcentaje importante de huecos (20-35%), que,

sin embargo, debido al aprovechamiento principal de estas masas, sería difícil de reducir. La corta que se ejecuta a continuación (diseminatoria) es habitualmente de gran intensidad (50% de los pies; MONTERO et al., 2008), lo que implica que prácticamente la mitad de las localizaciones del rodal no recibirán semilla a partir de ese momento. Los pies remanentes se eliminan normalmente en dos cortas más. En este sentido, la naturaleza de esta primera corta interacciona con cinco factores, comprometiendo en su conjunto una diseminación eficaz:

- La recolección de piñón se extiende hasta el comienzo del periodo de regeneración, implicando de por sí la ausencia de un banco aéreo de semillas apreciable.
- La marcada e irregular vecería de la especie ligada al clima de años precedentes (CALAMA et al., 2011a) no asegura la ocurrencia de cosechas suficientes todos los años y, por tanto, antes de la corta.
- La germinación de la especie en la Meseta Norte requiere de condiciones climáticas muy concretas (CALAMA et al. 2011b; MANSO et al., 2011b), produciéndose en periodos muy cortos en la primavera y/o verano y acusando una alta variabilidad interanual. Como en el caso de la vecería, su ocurrencia no está garantizada todos los años.
- Las altas tasas de predación de piñón por parte de roedores en el periodo frío (MANSO

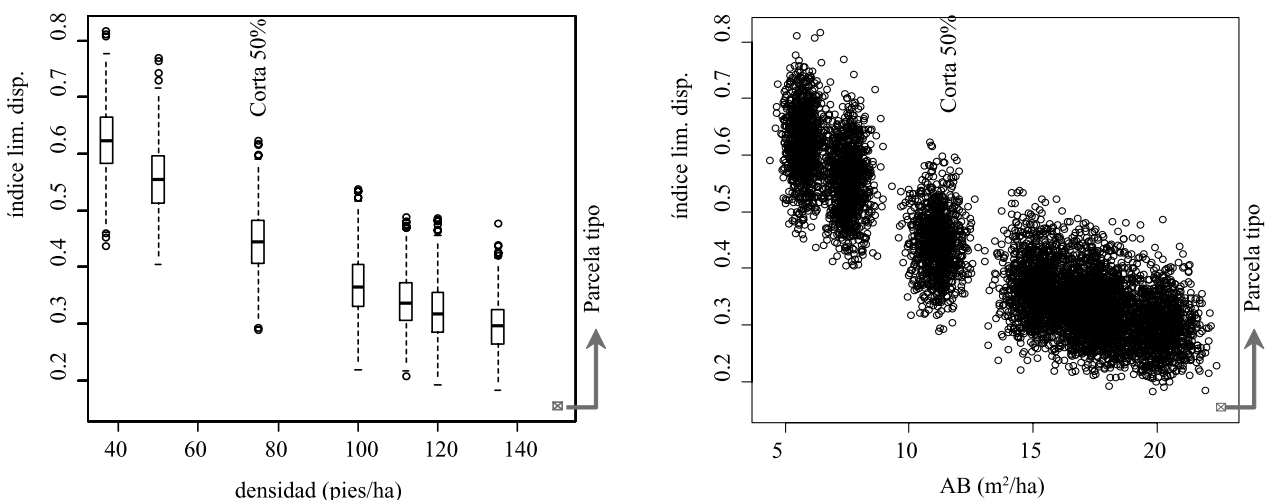


Figura 1. Evolución del índice de limitación a la dispersión debido a la fuente en función de la densidad y el área basimétrica de la masa. Los distintos niveles corresponden a cortas de la parcela tipo de peso 10; 20; 25; 33; 50 y 75% de los pies. Las cajas representan el rango intercuartílico y los bigotes los percentiles correspondientes a 1,5 veces el rango intercuartílico

et al., 2010) suponen la destrucción de buena parte de las semillas dispersadas en el verano previo, lo que elimina la posibilidad de una germinación apreciable en la primavera siguiente.

- e) Las severas sequías estivales de la región comprometen seriamente la viabilidad del regenerado establecido. Este hecho es altamente significativo el año siguiente a la instalación, especialmente si se libera inmediatamente al regenerado de cobertura arbórea (CALAMA et al., 2011b). Por tanto, incluso si todos los factores anteriores son favorables, no sería improbable la pérdida de la regeneración cuando ya se ha realizado la corta diseminatoria.

CONCLUSIONES

Las simulaciones de situaciones selvícolas concretas y el cálculo de los respectivos índices de limitación de semillas para rodales de piñonero de la Meseta Castellana ponen de manifiesto el serio condicionante que suponen las espesuras actuales para que se produzca una dispersión primaria efectiva. Dada la baja probabilidad de que se den conjuntamente las circunstancias favorables, su impacto en la consecución de una regeneración natural satisfactoria es muy importante.

En consecuencia, se debe recomendar la flexibilización de las cortas de regeneración, con mantenimiento de espesuras relativamente altas (preferiblemente cercanas a los 150 pies/ha) hasta que tenga lugar un evento de regeneración suficiente.

Por otro lado, este nuevo enfoque en la gestión daría la oportunidad de que se sucedan eventos dispersivos de distribución espacial más homogénea dentro del periodo de regeneración, aumentando las probabilidades de incorporación del regenerado en el caso de fracaso del hipotéticamente establecido.

Como conclusión final, cabe destacar que la importancia del desarrollo de estos modelos radica en su capacidad para detectar pautas ecológicas no previstas en la gestión de los montes y, asimismo, en su aplicación a casos concretos para simular y, en su caso, proponer normas de gestión.

BIBLIOGRAFÍA

- CALAMA, R. & MONTERO, G.; 2007. Cone and seed production from stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in Central Range (Spain). *Eur. J. Forest Res.* 126: 23-35.
- CALAMA, R.; GORDO, F.J.; MUTKE, S. & MONTERO, G.; 2008. An empirical ecological-type model for predicting stone pine (*Pinus pinea* L.) cone production in the Northern Plateau (Spain). *Forest Ecol. Manage.* 255: 660-673.
- CALAMA, R.; MUTKE, S.; TOMÉ, J.; GORDO, J.; MONTERO, G. & TOMÉ, M.; 2011a. Modelling spatial and temporal variability in a zero-inflated variable: The case of stone pine (*Pinus pinea* L.) cone production. *Ecol. Model.* 222:606-618.
- CALAMA, R.; MANSO, R.; BARBEITO, I.; MADRIGAL, G.; GARRIGA, E.; GORDO, F.J.; MONTERO, G.; CAÑELLAS, I. & PARDOS, M.; 2011b. Does inter-specific differences in seed size determine natural regeneration traits in *Pinus pinea* and *Pinus sylvestris*? *Can. J. For. Res.* (En prensa).
- CLARK, J.S.; MACKLIN, E. & WOOD, L.; 1998. Stages and spatial scales of recruitment limitation in southern Appalachian forests. *Ecol. Monogr.* 68: 213-235.
- MANSO, R.; PARDOS, M.; KEYES, C. R. & CALAMA, R.; 2011a. Modelling the spatio-temporal pattern of primary dispersal in stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in the Northern Plateau (Spain). *Ecol. Model.* (En prensa).
- MANSO, R.; PARDOS, M.; MADRIGAL, G.; GARRIGA, E. & CALAMA, R.; 2011b. Modelling the spatiotemporal pattern of germination in Stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in the Northern Plateau (Spain). *In: Medpine Conference.* Avignon (France).
- MANSO, R.; PARDOS, M.; GARRIGA, E.; DE BLAS, S.; MADRIGAL, G. & CALAMA, R.; 2010. Modelling the spatial-temporal pattern of post-dispersal seed predation in stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in the Northern Plateau (Spain). *In: Frugivores and Seed Dispersal: Mechanisms and Consequences of a Key Interaction for Biodiversity.* Montpellier (France).

- MONTERO; G.; CALAMA, R. Y RUIZ PEINADO, R.; 2008. Selvicultura de *Pinus pinea* L. En: G. Montero, R. Serrada y J. Reque (eds.), *Compendio de Selvicultura de Especies*: 431-470. INIA-Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.
- MORALES, L.; 2009. *Modelos para la predicción del contenido y calidad de piñón en piñas de Pinus pinea L. en los valles del Tiétar y del Alberche*. Master Thesis. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- MULLER-LANDAU, H.C.; WRIGHT, S.J.; CALDERÓN, O.; HUBBELL, S.P. & FOSTER, R.B.; 2002. Assessing recruitment limitation: concepts, methods and case-studies from a tropical forest. In: D.J. Levey, W.R. Silva & M. Galetti (eds.), *Seed dispersal and frugivory: Ecology, Evolution and Conservation*: 35-53. CAB International. Wallingford.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM; 2010. R: *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna. Austria.
- RIBBENS, E.; SILANDER, J.A. & PACALA, S.W.; 1994. Seedling recruitment in forests - calibrating models to predict patterns of tree seedling dispersion. *Ecology* 75: 1794-1806.
- RODRIGO, A.; QUINTANA, V. & RETANA, J.; 2007. Fire reduces *Pinus pinea* distribution in the northeastern Iberian Peninsula. *Ecoscience* 14: 23-30.