

Patrones de diseminación y nascencia de *Pinus pinaster* Ait. en Meseta Castellana

Carlos del Peso, Felipe Bravo, Irene Ruano, Valentín Pando

RESUMEN

El manejo forestal de las masas de pino negro de la Meseta Castellana viene supeditado a la propia regeneración natural de estos montes. El conocimiento de la estrategia reproductora de la especie será un elemento clave para el cambio global en los próximos años. Mediante un dispositivo de trampas de semilla se ha seguido el patrón de dispersión de la especie en una parcela de muestreo intensivo situada en Cuéllar (Segovia). Dicha parcela está incluida en un tramo en regeneración, con una edad estimada de 100 años, aplicándose distintas intensidades de corta (0, 25, 50, 100% del área basimétrica inicial). En el presente trabajo se analiza el patrón de dispersión de la semilla y la nascencia de las plántulas así como la influencia del tratamiento silvícola aplicado a lo largo de los años de muestreo. A la vista de los resultados cabe concluir que las dificultades de regeneración de estas masas mediterráneas no parecen estar ligadas a la producción de semilla, que está asegurada con cortas de regeneración por aclareo sucesivo independientemente del peso de la misma (0%, 25% o 50% del A.B.) ni tampoco a la nascencia de plántulas pues se produce de forma suficiente en el periodo considerado.

1. INTRODUCCIÓN

La regeneración natural de las masas forestales está íntimamente relacionado con dos grandes grupos de factores: por un lado los factores ligados a las condiciones naturales (clima, suelo, topografía, depredación, etc.) y por otro lado los factores relacionados con el propio manejo o gestión de los bosques, donde las cortas ligadas a la regeneración o el pastoreo pueden determinar la persistencia de la masa. Los estudios sobre regeneración natural de *Pinus pinaster* Ait. son especialmente escasos contrastando con la importancia de la especie a la vista de los datos del Inventario Forestal Nacional que arroja para la misma más de 1.000.000 de ha en el paisaje forestal español, algo más de la mitad fruto de las grandes repoblaciones forestales de la segunda mitad del siglo XX (DGCN, 1998). La especie se comporta como una pionera, de alta plasticidad ecológica y heliófila para su buen desarrollo y crecimiento. Aunque en su distribución natural aparece tanto en climas netamente mediterráneos como atlánticos destaca su buena adaptación a suelos pobres, arenosos con reacción ácida.

En general, *Pinus pinaster* es considerada una especie con un fuerte potencial regenerativo, incluso fuera de su área de distribución natural tiene un comportamiento cercano a especie invasora (Lowe *et al.*, 2000). No obstante, las difíciles condiciones edáficas (suelos arenosos con poca fertilidad y escasa retención de agua), la sequía estival presente y el manejo forestal en la zona de estudio (Junta de Castilla y León, 1988) hace que no siempre se consiga la regeneración natural de las masas de pinares de la Meseta Castellana (González-Alday *et al.*, 2009; Rodríguez-García *et al.*, 2007).

La región de procedencia Meseta Castellana (Alía *et al.*, 1996) incluye amplias comarcas pinariegas con un sustrato silíceo que incluye tanto las sorianas Tierras de Almazán como las comarcas de Tierra de Pinares de Segovia (Cuéllar y Coca), la abulense Tierra de Arévalo o el sur de la provincia de Valladolid (Medina del Campo, Olmedo, Íscar...). Aunque ha existido una fuerte controversia sobre el



Figura 1

Las masas de Pinus pinaster de la Meseta Castellana fueron gestionadas bajo un modelo selvícola que favorecía la producción y aprovechamiento de la resina como principal ingreso económico para la comarca.

origen antrópico de estas masas ampliamente manejadas desde antiguo, trabajos recientes de paleobotánica aclaran definitivamente el carácter y origen natural de estos bosques de pináceas en el centro de la Cuenca del Duero (Alcalde Olivares *et al.*, 2004). Con todo, la especie fue profusamente favorecida y expandida durante los siglos XIX y principios del XX coincidiendo con el interés por el aprovechamiento de miera (Figura 1). Posteriormente, a partir del último tercio del siglo XX, se reduce la extracción de resina obligando al gestor forestal a reconducir las estrategias de manejo de estas frágiles masas. La creación de sistemas plurifuncionales y, sobre todo, la consecución de la regeneración natural del pinar serán los retos que se deberán abordar en un futuro próximo. El conocimiento de estas masas forestales puede servir de modelo no sólo para el manejo de las actuales sino también para futuras repoblaciones.

El objetivo general planteado, en este capítulo, es conocer la producción de semillas que existe en las masas de pino negral analizadas y si esta producción es suficiente para perpetuar estos pinares a partir de la regeneración natural, bajo distintas intensidades de corta. Así mismo, se hace un primer análisis de la nascencia en las condiciones de la Meseta Castellana. En concreto las cuestiones planteadas son: (1) ¿influye el tratamiento selvícola aplicado y el año considerado en la dispersión de semillas y la nascencia? y (2) ¿es suficiente la lluvia de semillas y posterior nascencia para asegurar la regeneración natural de la masa?

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. El área de estudio

El muestreo se realizó sobre una zona homogénea en cuanto a condiciones abióticas y estructura del pinar, dentro del monte público nº 32 «Común de la Torre y Jaramiela» de Cuéllar (Segovia), incluido en el dispositivo experimental de regeneración natural de *Pinus pinaster* del Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible. En el mismo se delimitaron 10 parcelas de muestreo permanente con distintos tratamientos de regeneración. Cada nivel de corta está repetido tres veces situando las parcelas al azar. Las intensidades de corta sobre el área basimétrica 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 recibir tratamiento alguno de corta de regeneración.

2.2. El muestro de semillas y nascencia

Para el análisis de la dispersión de semilla se realizó la recogida de la misma en las trampas dispuestas al efecto en el dispositivo experimental de Cuéllar (90 trampas de semilla de 1×1 m de forma sistemática, a razón de 9 trampas por parcela de ensayo, ver capítulo 5). El seguimiento de las trampas y la limpieza y recogida de semillas fue periódico, concentrándose especialmente en la época de mayor producción (finales de la primavera y verano). En total se han visitado las trampas de semillas un total de 93 veces durante todo el sexenio analizado (2004-2009). Los datos han sido agrupados por quincenas (24 por año) para cada parcela y año para su posterior análisis.

La recogida de datos sobre demografía del regenerado se realizó sobre parcelas de 1 m^2 , en el mismo sitio experimental de Cuéllar. Estas parcelas (25 por parcela más una parcela ampliada central de 3 m^2 , 280 m^2 en total, separadas entre sí 17,5 metros) se delimitaron con estacas. Se visitaron, las parcelas, de forma periódica, anotando las nascencias que se producían y etiquetando cada una de las plántulas con la fecha y el número de orden individual de cada una de ellas (Figuras 3 y 4). En total se han visitado las trampas demográficas un total de 59 veces (durante los años 2006, 2007, 2008 y 2009). 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).

2.3. Procedimientos estadísticos utilizados.

Con los datos recogidos de lluvia de semillas y agrupados por quincenas, de forma acumulada en cada uno de los seis años de muestreo (2004 a 2009, ambos incluidos), se genera una nube de puntos para cada tratamiento y año. Posteriormente, para modelizar la lluvia acumulada de semillas se eligió una función Gompertz (Figura 2). Este modelo sigmoide cumple con las principales características siguientes: asíntota, punto de inflexión, comportamiento lógico y significado biológico de los parámetros.

Dadas las características de la función Gompertz, ésta ha sido utilizada ampliamente en otros trabajos dentro del ámbito forestal, especialmente para modelizar el crecimiento (Kiviste *et al.*, 2002). Notivol *et al.* (2007) utiliza esta función para modelizar el desarrollo en altura del regenerado de *Pinus sylvestris* L.

La expresión matemática de la función de Gompertz es:

$$S = ce^{-e^{b(t-m)}} \quad [1]$$

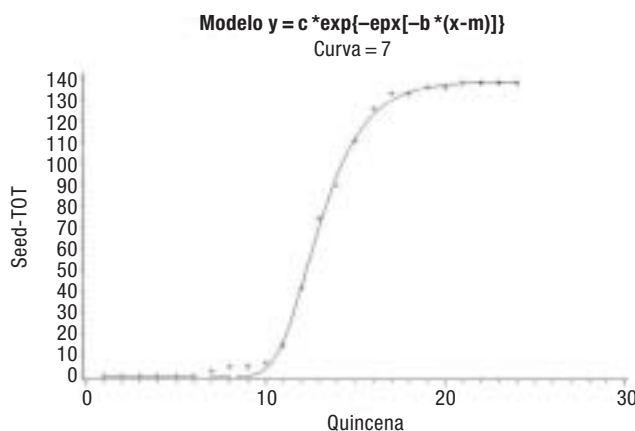


Figura 2

Modelo de Gompertz que define el patrón de dispersión en una nube de puntos de valores de semillas acumuladas por quincena a lo largo de un año de recogida. En el eje de abscisas el número de quincenas y en ordenadas el valor acumulado de lluvia de semillas absoluto correspondiente a una de las parcelas y a un año concreto de los analizados.



Figura 3

Detalle del etiquetado de las plántulas con la fecha de control de nascencia.

donde S , en nuestro caso, es el número de semillas acumuladas hasta la quincena t , c es parámetro que representa la asíntota (número total de semillas recogidas), b está estrechamente relacionado con la tasa máxima de dispersión estandarizada por el total de semillas dispersadas y m es el valor del tiempo t que se corresponde con el punto de inflexión de la curva (quincena en la que se produce el máximo de lluvia de semillas). Se ajustó una curva de lluvia acumulada de semillas para cada una de las parcelas (10 parcelas) y año (6 años de muestro), en total 60 curvas.

A partir de los valores de c , b y m estimados para cada año y cada parcela se calculó t_5 , t_{10} , t_{50} , t_{90} y t_{95} (valor de la quincena en la que se consigue la dispersión del 5%, 10%, 50%, 90% y del 95% de semilla de la lluvia total). Con los distintos parámetros de las curvas se realizó una ANOVA y un test de Tukey, para ver si existían diferencias entre años, tratamientos y su interacción.

Por otro lado, se elabora un test de Lakkis-Jones (Álvarez González *et al.*, 2005; Barrio-Anta *et al.*, 2006; Calama *et al.*, 2003; Adame *et al.*, 2006; Bravo-Oviedo *et al.*, 2007) para analizar si existen diferencias significativas entre los distintos años y entre los distintos tratamientos, o bien se pueden agrupar varios años o varios tratamientos en el caso de no existir diferencias. Este análisis se realiza a partir de los parámetros de las 60 curvas y las variables categóricas necesarias. Para los tratamientos se procede a realizar los grupos recogidos en la Tabla 1 que arrojan un total de 12 modelos distintos. De forma análoga se trabaja con los años (54 modelos distintos). Los datos de nascencia se analizaron por parcela viendo las tendencias de los mismos y cómo influye el tratamiento de corta en la aparición de plántulas de forma descriptiva. Todo el análisis se ha realizado con el software SAS 9.1.



Figura 4

Trampa de lluvia de semilla y parcelas de seguimiento de nascencia del regenerado.

TABLA 1
Grupos propuestos para el análisis del error (para los tratamientos)

Grupo	Hipótesis nula	Tratamientos combinados
Modelo 1	$\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq \beta_4$	Todos los tratamientos son distintos
Modelo 2	$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4$	Todos los tratamientos son iguales
Modelo 3	$\beta_1 \neq \beta_2 = \beta_3 = \beta_4$	50% = 25% = 0%
Modelo 4	$\beta_1 = \beta_3 = \beta_4 \neq \beta_2$	100% = 25% = 0%
Modelo 5	$\beta_1 = \beta_2 = \beta_4 \neq \beta_3$	100% = 50% = 0%
Modelo 6	$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 \neq \beta_4$	100% = 50% = 25%
Modelo 7	$\beta_1 = \beta_2 \neq \beta_3 \neq \beta_4$	100% = 50%
Modelo 8	$\beta_1 = \beta_3 \neq \beta_2 \neq \beta_4$	100% = 25%
Modelo 9	$\beta_1 = \beta_4 \neq \beta_2 \neq \beta_3$	100% = 0%
Modelo 10	$\beta_1 \neq \beta_4 \neq \beta_2 = \beta_3$	25% = 50%
Modelo 11	$\beta_1 \neq \beta_3 \neq \beta_2 = \beta_4$	0% = 50%
Modelo 12	$\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 = \beta_4$	25% = 0%

β_i : vector de los parámetros (conjunto de parámetros c, b y m) para el tratamiento i.

3. RESULTADOS

3.1. Dispersión de semillas

Aunque los parámetros analizados (c, b y m) para cada año varían, el patrón de dispersión temporal, a lo largo de las quincenas, en los años estudiados sigue unas pautas similares. Para todos los años analizados la dispersión de semillas se produce a partir de finales de mayo cuando empiezan a abrirse las piñas con el aumento de las temperaturas, con una sincronización importante. El máximo de dispersión se produce a finales de primavera y durante la primera quincena de julio, produciéndose dos picos de dispersión máxima durante el verano, llegando generalmente al total de semilla dispersada a finales de septiembre (Figura 5). Sin embargo puede aparecer algo de semilla en cualquier época del año, su presencia es escasa entre noviembre y abril. Un patrón temporal de dispersión similar ha sido descrito por Manso *et al.* (2009) para las masas de pino piñonero en las cercanas tierras vallisoletanas.

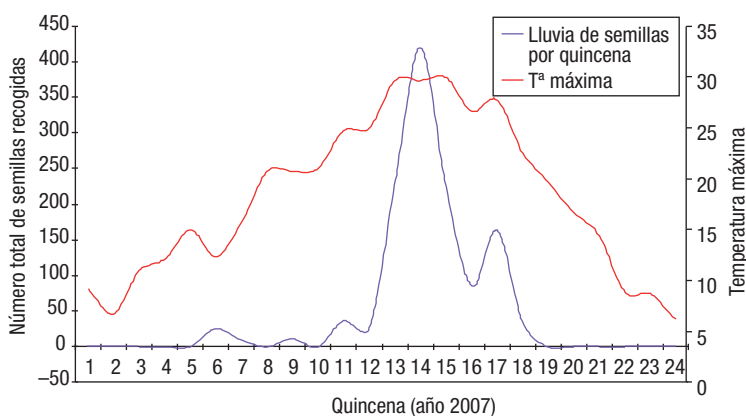


Figura 5

Distribución de la lluvia de semillas en el sitio de ensayo en un año concreto (año 2007). La lluvia de semillas tiene un máximo de dispersión coincidiendo con las altas temperaturas de finales de primavera y principios de verano. Posteriormente se produce otro pico de dispersión en pleno verano. Datos de temperaturas del observatorio de Valladolid (ciudad).

TABLA 2

Datos de lluvia de semillas por años y tratamientos en el sexenio 2004-2009. En cada parcela se muestrean 9 trampas de 1 m² cada una

Tratamiento	Parcela	Año						Promedio anual de semillas por parcela
		2004	2005	2006	2007	2008	2009	
Corta 0%	10	238	309	269	260	188	423	242,429
Corta 25%	2	137	176	209	138	68	288	145,429
	4	97	133	120	112	28	200	99,143
	5	146	242	184	147	53	268	149,286
Corta 50%	6	116	174	119	170	108	287	140,000
	7	164	185	90	118	82	338	140,571
	8	108	161	189	119	95	168	121,143
Corta 100%	1	55	62	71	56	17	85	49,571
	3	77	96	81	50	20	115	63,143
	9	48	111	86	91	17	172	76,286
Total de semillas por año		1.186	1.649	1.418	1.261	676	2.344	

Los valores de lluvia de semilla en las distintas parcelas ofrecen datos muy variables desde valores en torno a las 7 semillas/m² y año en las cortas a hecho hasta valores de 27 semillas/m² y año en la parcela control sin intervención (Tabla 2).

A partir de las curvas acumuladas se efectúan los ajustes de las curvas de dispersión Gomerzt cuyos valores de medias y errores para los distintos parámetros estimados se presentan a continuación (Tabla 3).

Analizando los valores estimados de los parámetros de las curvas de lluvia acumulada de semillas y su análisis estadístico (Análisis de la Varianza y test de Tukey) para los distintos años y tratamientos podemos observar lo siguiente (Figuras 6 y 7):

- El año influye en todos los parámetros de la Gomerzt, tanto en el total de semillas (c), como en la velocidad de dispersión (b) y en el tiempo (m) en el que se consigue el máximo de lluvia

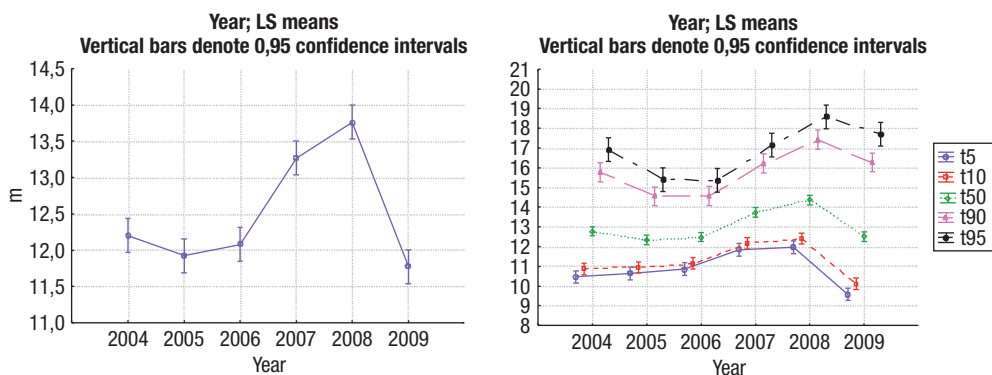


Figura 6

Análisis gráfico del comportamiento de los distintos parámetros (c, b, m y los tiempos de dispersión, t5% a t95%) para los años considerados (2004 a 2009). En ellos se observa el distinto comportamiento anual para los parámetros analizados, por lo que podemos decir que no existe un único patrón de comportamiento anual para la lluvia de semillas.

TABLA 3

Valores de medias y errores de los parámetros estimados c, b, m y tiempos de dispersión por porcentajes para los distintos años analizados (2004 a 2009)

Año	c		b		m		N
	Media	Desv. típica	Media	Desv. típica	Media	Desv. típica	
2004	138,3528	12,99307	0,644012	0,064504	12,20007	0,114924	
2005	185,8815	12,99307	0,873059	0,064504	11,92370	0,114924	
2006	159,2469	12,99307	0,927824	0,064504	12,07963	0,114924	
2007	149,4896	12,99307	0,825334	0,064504	13,26771	0,114924	
2008	86,4199	12,99307	0,620655	0,064504	13,76240	0,114924	
2009	266,4502	12,99307	0,511990	0,064504	11,77411	0,114924	
Año	t5%		t50%		t95%		N
	Media	Desv. típica	Media	Desv. típica	Media	Desv. típica	
2004	10,46155	0,157872	12,78082	0,118562	16,90641	0,297919	10
2005	10,64139	0,157872	12,35205	0,118562	15,39502	0,297919	10
2006	10,86325	0,157872	12,48580	0,118562	15,37115	0,297919	10
2007	11,83094	0,157872	13,74766	0,118562	17,15718	0,297919	10
2008	11,98180	0,157872	14,35721	0,118562	18,58267	0,297919	10
2009	9,58301	0,157872	12,50604	0,118562	17,70562	0,297919	10

de semillas. Es decir, cada año tiene un comportamiento distinto para todos los parámetros considerados (p -valor $< 0,005$ en todos los valores, para los años).

- El tratamiento sólo influye (p -valor $< 0,005$) en el parámetro c (lluvia total de semillas). Para el resto de parámetros considerados (b, tasa máxima de dispersión estandarizada y m, quincena en la que se produce el máximo de lluvia de semillas) no influye (p -valor $< 0,05$).

En cuanto a los valores estimados en los ajustes de las curvas Gompertz para los distintos parámetros (Tabla 4), podemos decir que:

1. Por años, el total de lluvia de semillas (c) oscila entre años muy malos de producción de semilla (año 2008 con un valor absoluto de 86,41) y años muy buenos (año 2009 con un valor absoluto de 266,45), quedando el resto de años en valores intermedios. Con todo, no se puede considerar la especie vecera pues todos los años aparece una mínima producción de semilla.
2. La velocidad de dispersión (b) varía notablemente entre los distintos años donde los periodos de lluvia de semilla se pueden dilatar en el tiempo, con velocidades bajas (como los años 2004 y 2008) o pueden acelerarse en pocas semanas (años 2005, 2006 y 2007).
3. La quincena en la que se observa el máximo de lluvia de semillas (m) oscila entre la segunda quincena de junio (quincena 12) y la segunda quincena de julio (quincena 14) donde los fuertes calores del inicio del verano hace abrir las piñas y dispersar el piñón.
4. El inicio de la dispersión (t5%) se sitúa entre las quincenas 10 (segunda quincena de mayo) y 12 (segunda quincena de junio) dependiendo del momento de aparición de las altas temperaturas de final de primavera.
5. Entre las quincenas 16 (segunda quincena de agosto) y 19 (primera quincena de octubre) se llega al total de semillas acumuladas, es decir, al final del período de dispersión (t95%).

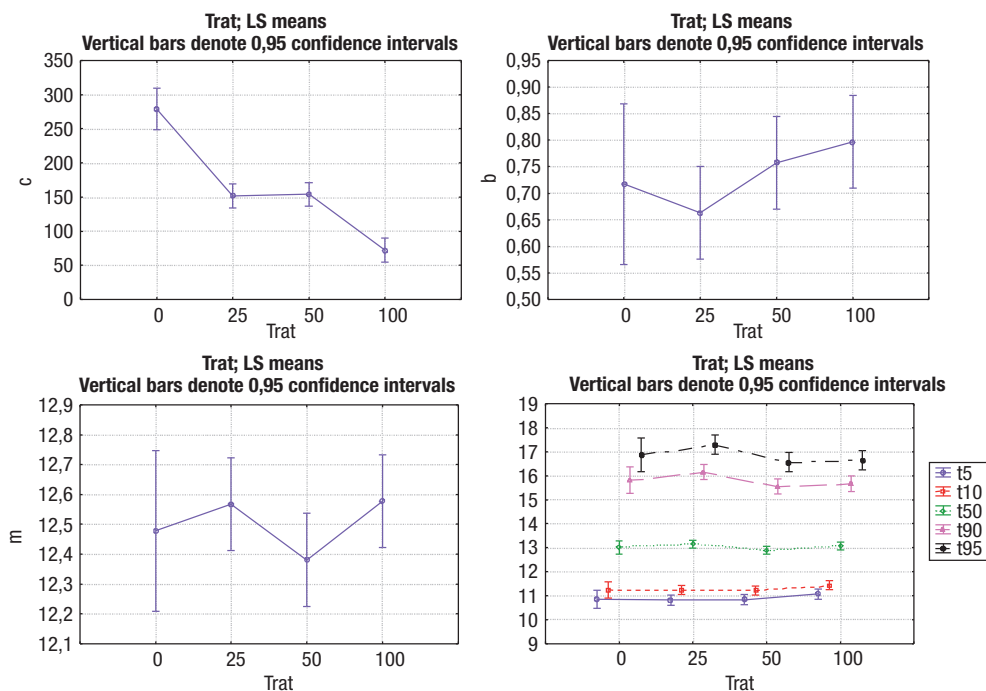


Figura 7

Análisis gráficos del comportamiento de los distintos parámetros (c, b, m y los tiempos de dispersión, t5% a t95%) para los distintos tratamientos de corta (0%, 25%, 50% y 100%). El tratamiento sólo influye en el total de semillas acumulada (parámetro c) mientras que en el resto de parámetros no existen diferencias significativas. Así mismo se observa una clara diferencia entre el tratamiento de corta del 0% y el 100%, mientras que no son tan marcadas las diferencias entre los tratamientos intermedios. Obsérvese como ejemplo la gráfica del parámetro c.

- Por tratamientos, el valor total de lluvia de semillas acumuladas arroja importantes diferencias entre la parcela sin intervención (0%) y la corta a hecho (100%), donde aún así se consigue una mínima lluvia de semillas. Las cortas intermedias poseen valores intermedios con escasas diferencias. En general se consiguen valores mayores cuanto menos intensa es la corta.
- Para los parámetros b, m así como para los tiempos de lluvia acumulada analizados no existen diferencias entre los tratamientos situándose el máximo de lluvia de semillas en la quincena 13, primera quincena de julio), el inicio de la dispersión (t5%) en la quincena 11, (segunda quincena de mayo) y el máximo acumulado (t95%) en la quincenas 17 y 18 (mes de septiembre).

Al realizar el test de Lakkis-Jones, con el fin de ver si se pueden agrupar los años o los distintos tratamientos, obtenemos que para los años (58 grupos de años considerados) todos salen significativamente diferentes (p -valor $< 0,05$), es decir cada año tiene un comportamiento distinto. Trabajando con los tratamientos, existe un grupo, de los 12 modelos analizados (el formado considerando las cortas del 25% y 50% en área basimétrica iguales) que no son significativamente diferentes, p -valor $> 0,05$, (con excepción de dos años (2006 y 2008) en todo el periodo de 6 años considerado), por lo que hay cierta tendencia a considerar estos tratamientos como similares.

TABLA 4
Valores de los parámetros estimados (c, b, m) y tiempos de dispersión por porcentajes, 5, 50 y 95,
para los distintos tratamientos ensayados

Tratamiento (% de corta)	c		b		m		
	Media	Desv. típica	Media	Desv. típica	Media	Desv. típica	
0	279,0120	15,00310	0,717194	0,074483	12,47807	0,132703	
25	152,0386	8,66205	0,663407	0,043003	12,56841	0,076616	
50	153,9464	8,66205	0,757742	0,043003	12,38091	0,076616	
100	72,2302	8,66205	0,796906	0,043003	12,57770	0,076616	
Tratamiento (% de corta)	t5%		t50%		t95%		N
	Media	Desv. típica	Media	Desv. típica	Media	Desv. típica	
0	10,85127	0,182295	13,02149	0,136904	16,88196	0,344008	6
25	10,81895	0,105248	13,15281	0,079041	17,30435	0,198613	18
50	10,83433	0,105248	12,89755	0,079041	16,56767	0,198613	18
100	11,07042	0,105248	13,08121	0,079041	16,65807	0,198613	18

3.2. Nascencias

En la Tabla 5 se recogen los valores observados de nascencias durante los años 2006-2009 en las distintas parcelas. Estos datos se expresan de forma gráfica en la Figura 8. La aparición de nascencias en las distintas parcelas no está repartida de forma uniforme, mientras existen siempre unos valores escasos de nascencia en las cortas a hecho, las cortas intermedias y el control registran nascencias en mayor o menor grado de importancia dependiendo de los años.

4. DISCUSIÓN

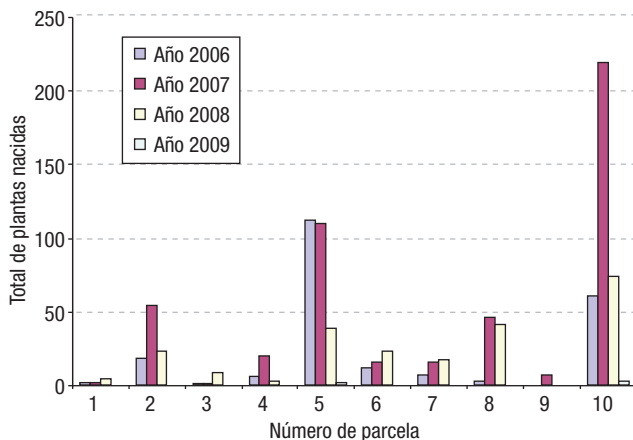
A partir de los resultados obtenidos con el muestreo de semillas podemos abordar las diferencias entre los distintos tratamientos de corta de regeneración y la variabilidad que pueda existir entre los

TABLA 5
Nascencias por parcela en los distintos años observados (2006-2009). Los datos por parcela se corresponden con 25 microparcels de 1 m² y una parcela complementaria central de 3 m² dispuestas sistemáticamente en cada una de ellas (total muestreado por parcela: 28 m²)

Parcela (% de corta)	Año				Total plántulas nacidas por parcela
	2006	2007	2008	2009	
1 (100%)	2	2	4	0	8
2 (25%)	18	54	23	0	95
3 (100%)	1	1	8	0	10
4 (25%)	6	20	3	0	29
5 (25%)	112	110	39	2	263
6 (50%)	12	16	23	0	51
7 (50%)	7	16	17	0	40
8 (50%)	3	46	41	0	90
9 (100%)	0	7	0	0	7
10 (0%)	61	219	74	3	357
Total nacidas por años	222	491	232	5	950

Figura 8

Distribución de plantas nacidas por años estudiados (periodo 2006-2009) para las 10 parcelas del sitio experimental (parcelas 1, 3 y 9 con una corta al 100%, parcelas 6, 7 y 8 con una corta del 50%, parcelas 2, 4 y 5 con una corta del 25% y parcela 10 o testigo sin corta).



distintos años considerados. Así mismo se puede cuantificar si la producción de semilla es un limitante en la regeneración natural de la masa sobre los escenarios propuestos. Para ello se contestan a las cuestiones planteadas en los objetivos del trabajo.

4.1. ¿Influye el tratamiento selvícola aplicado y el año considerado en la dispersión de semillas y la nascencia?

Como ha quedado claro en la exposición de resultados existen diferencias significativas entre tratamientos de corta de regeneración para el parámetro *c* (lluvia total de semillas acumulada) mientras que para el resto de variables analizadas (*b*, *m* y tiempos considerados de porcentaje de lluvia acumulada) no existen diferencias en los distintos tipos de corta, estando más ligadas al año y sus características climáticas que al tratamiento de regeneración. Así mismo, aparecen claras diferencias entre no cortar nada (parcela testigo) y cortar a hecho, mientras que la intensidad del aclareo sucesivo (25% ó 50% del A.B.) no influye de manera rotunda, en las variables analizadas.

Las diferencias aparecidas en el análisis de los distintos años parecen obedecer más a las características del tiempo atmosférico anual (Manso *et al.*, 2009; Calama *et al.*, 2011). Así, el año presenta diferencias significativas para todas las variables analizadas, es decir, las condiciones climáticas anuales determinarán el comportamiento de los distintos parámetros (lluvia total, tasa de dispersión o tiempo de máxima dispersión, así como los tiempos en los que se obtiene el 5% o el 95% del total de semillas). La variabilidad interanual está relacionada muy probablemente con las condiciones climáticas del año de dispersión y de los años de producción de los conos, ya que los procesos de regeneración varían de un año a otro dependiendo de la conjunción de los parámetros ambientales, en fenómenos especialmente estocásticos (Paluch, 2005).

En cuanto a la nascencia, aparecen diferencias entre la corta a hecho y la parcela testigo sin intervención, mientras que los datos relativos a las cortas intermedias presentan datos de nascencias intermedios. Si analizamos los distintos años, se observan claras diferencias entre nascencias, dependiendo del año considerado (el año 2009 fue un mal año de nascencia, precedido por un año, el 2008, con escasa lluvia de semilla). Así mismo, un buen año de dispersión de semillas como 2009, dará lugar a un año bueno de nascencias (año 2010, observaciones personales no publicadas).

4.2. ¿Es suficiente la lluvia de semillas y posterior germinación para asegurar el primer paso de la regeneración natural?

A la vista de los resultados, claramente es insuficiente en los tratamientos de corta a hecho donde se obtiene una media en el total de semillas recogidas de 7,0 semillas/m² y año (21 semillas/m² a los tres años) para las cortas del 100% (Tabla 5). Esta lluvia de semillas da lugar a nascencias, en el periodo 2006-2009, que oscilan entre 2.500 plántulas/ha a 3.571 plántulas/ha (Tabla 5). Estos valores son excesivamente ajustados para poder conseguir una regeneración mínima de 8 plántulas/m² a los tres años, (unas 80.000 plántulas/ha) recomendadas para garantizar la regeneración natural (Luis-Calabuig *et al.*, 2002). Aunque otros autores (Matney y Hodges, 1991) sitúan los mínimos para considerar la regeneración como exitosa la consecución de, al menos, 2.000 pies/ha de regenerado viable al final del ciclo considerado (para la especie y la estación forestal este espacio de tiempo se sitúa en 20 años).

Los mismos valores, analizados para los distintos tratamientos, aportan información sobre las limitaciones en la producción de semilla. De todos los casos, el más favorable es si duda el caso de la parcela control donde no se han hecho tratamientos de corta (con un total de semillas recogidas de 26,94 semillas/m² y año, es decir, 80,82 semillas/m² a los tres años). En este caso con una mortalidad del 90,1% de la semilla producida estaríamos todavía por encima del umbral mínimo ligado a la persistencia de la masa. Esta lluvia de semillas da lugar a 127.500 nascencias/ha, en el periodo 2006-2009, valor que aseguraría la regeneración de la masa en pocos años si llegan a sobrevivir las plántulas que aparecen. Entre las cortas del 25% y del 50% del área basimétrica los valores necesarios para asegurar la regeneración natural exigen una mortalidad máxima en torno al 82% del total de lluvia de semillas. En este caso, las cortas de regeneración con peso intermedio (25-50% del área basimétrica) no llegan a aportar nascencias suficientes para asegurar la regeneración en los cuatro años analizados por lo que es necesario ver como se desarrolla la regeneración natural a lo largo de todo el periodo.

Estos datos aportan algo de luz a las pautas de gestión de la regeneración natural. Al parecer el limitante no va a ser la producción de semilla (que en todos los casos resulta suficiente) sino que el principal problema de la regeneración natural va a estar unido a los factores de germinación y supervivencia de las plántulas, después de haber sido dispersada la semilla (Miguel Pérez *et al.*, 2002) especialmente ligados tanto a las condiciones climatológicas como a las características edáficas más favorables (Rojo y Montero, 1996; Manso *et al.*, 2009), así como a la depredación por parte de roedores y pájaros (Juez, 2007) y a la facilitación o competencia directa generada por parte de la vegetación asociada al micrositio (Rodríguez-García *et al.*, 2007). Así mismo, aunque la regeneración natural de estos pinares se plantea en un periodo de regeneración bastante amplio, es lógico pensar que los años clave para el establecimiento son los 5 primeros años, donde las plántulas una vez germinadas deben competir con la vegetación existente por los recursos disponibles (en climas mediterráneos especialmente por el agua) y en ese caso la vegetación anual tiene estrategias de competencia mejores para sobrevivir en verano (González-Alday *et al.*, 2009).

Considerando los resultados de nascencia de las plántulas, ésta se va a ver muy influida por el tipo de cortas a realizar. Una reducción importante de la cobertura arbórea puede alterar las condiciones microclimáticas por un aumento de la radiación solar, especialmente en el tiempo crítico de sequía estival (Calvo *et al.*, 2008). Para conseguir la regeneración natural de estas masas se puede recurrir de forma conjunta, tanto a (1) mantener estructuras más cerradas (disminuyendo el peso de las cortas de regeneración y descartando las cortas a hecho) o (2) proceder a la puesta en luz de la masa una vez conseguido el establecimiento de plántulas, como a (3) favorecer el aprovechamiento de la rege-

neración avanzada viable o (4) apoyar con semillado o plantación bajo cubierta en el caso de los casos más complicados de conseguir la regeneración natural. Así mismo una densidad mayor de la masa sería susceptible no sólo de mejorar las condiciones de microclima, sino además de incrementar el número de semillas sobre el suelo, con una influencia potencial sobre el número de nascencias.

5. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados podemos concluir que el tratamiento selvícola de regeneración influye en la cantidad total de semillas dispersadas (parámetro c), mientras que no parece influir en el resto de variables analizadas (tiempos y tasa de dispersión, parámetros b y m). Las cortas de regeneración de peso intermedio (25 y 50% del A.B.) no presentan grandes diferencias para los parámetros de lluvia de semillas, presentando además valores similares en cuanto a nascencias. Por otro lado, el año influye siempre en todas las variables analizadas y es el que va a determinar en muchos casos (a igualdad de tratamiento) que un año sea bueno o no para la regeneración natural de la masa.

Así mismo, las dificultades de regeneración de estas masas forestales parecen no estar ligadas a la producción de semilla, asegurada con aclareos sucesivos (del 25% o del 50%) sino a etapas posteriores de la regeneración, por lo que hay que ahondar especialmente en el inicio del establecimiento de las plántulas. En este punto cabe destacar que se observa una buena nascencia en el testigo (parcela sin corta) y una regeneración todavía limitada para el periodo de años analizados en las masas parcialmente aclaradas. El análisis de la lluvia de semillas ligado al muestreo de germinación y primera supervivencia de plántulas, así como el estudio de las variables climáticas y la depredación de semilla, que afectan directamente a este proceso, deben permitir, en un futuro, entender mejor el patrón que sigue el establecimiento de la regeneración natural en un entorno de cambio climático.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Belinda Guerra, Josu Berraondo y Luis Fernando Osorio su colaboración en el trabajo de campo. 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 a la Comunidad de Villa y Tierra Antigua de Cuéllar, propietaria del monte por la facilitación en la instalación y mantenimiento del dispositivo experimental.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA LA GESTIÓN

El tratamiento selvícola de regeneración influye en la cantidad total de semillas dispersadas mientras que no influye ni en la amplitud del periodo de dispersión ni en su tasa entendida como la razón entre la cantidad de semilla dispersa y el periodo.

El peso de las primeras intervenciones de las cortas progresivas no influyen sobre la cantidad, tasa y periodo de dispersión y presentan valores similares en cuanto a número de nascencias por unidad de superficie.

Las dificultades de regeneración en las masas de *Pinus pinaster* en la Meseta Castellana no están ligadas a la producción de semilla si no a otros procesos (predación de semillas, nascencias, instalación, supervivencia estival,..) que actúan como cuellos de botella.

El mantenimiento de mayores densidades en las masas en regeneración mejoraría no solo las condiciones de microclima, sino además incrementaría el número de semillas sobre el suelo, con una influencia potencial sobre el número de nascencias.

En conclusión, para conseguir la regeneración natural de estas masas se puede recurrir de forma conjunta, tanto a (1) mantener estructuras más cerradas (disminuyendo el peso de las cortas de regeneración y descartando las cortas a hecho) o (2) proceder a la puesta en luz de la masa una vez conseguido el establecimiento de plántulas, como a (3) favorecer el aprovechamiento de la regeneración avanzada viable o (4) apoyar con semillado o plantación bajo cubierta en el caso de los casos más complicados de conseguir la regeneración natural. El uso de semillado a escala operativa precisa de una evaluación de las condiciones de gestión (presupuestos, personal,...) y las tasas de éxito (regeneración conseguida en plazos adecuados).

7. LISTADO DE REFERENCIAS

- Adame, P., Cañellas I., Roig, R., Del Río, M. (2006). Modelling dominant height growth and site index curves for rebollo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Ann. For. Sci.* 63: 929-940.
- Alcalde Olivares, I., García-Amorena, F., Gómez Manzanque, J., Maldonado Ruiz, C., Morla Juaristi, C., Postigo Mijarra, J. M., Rubiales Jiménez J. M., Sánchez Hernando, L. J. (2004). Nuevos datos de carbonos y maderas fósiles de *Pinus pinaster* Aiton en el Holoceno de la Península Ibérica. *Invest. Agrar. Sist. Recur. For. Fuera de serie*, pp. 152-163.
- Alía, R., Martín, S., De Miguel, J., Galera, R. M., Agúndez, D., Gordo, J., Salvador, L., Catalán, G., Gil, L. (1996). Regiones de procedencia *Pinus pinaster* Ait. DGCN, Madrid.
- Álvarez González, J. G., Ruiz González, A. D., Rodríguez Soalleiro, R., Barrio Anta, M. (2005). Ecoregional site index models for *Pinus pinaster* in Galicia (northwestern Spain) *Ann. For. Sci.* 62: 115-127.
- Barrio-Anta, M., Balboa-Murias, M. A., Castedo-Dorado, F., Diéguez-Aranda, U., Álvarez-González, J. G. (2006). An ecoregional model for estimating volume, biomass and carbon pools in maritime pine stands in Galicia (northwestern Spain). *Forest Ecology and Management* 223: 24-34.
- Bravo-Oviedo, A., Del Río, M., Montero, G. (2007). Geographic variation and parameter assessment in generalized algebraic difference site index modelling *Forest Ecology and Management* 247: 107-119.
- Calama, R., Cañadas, N., Montero, G. (2003). Inter-regional variability in site index models for even-aged stands of stone pine (*Pinus pinea* L.) in Spain. *Ann. For. Sci.* 60: 259-269.
- Calama, R., Mutke, S., Tomé, J., Gordo, J., Montero, G., Tomé, M. (2011). Modelling spatial and temporal variability in a zero-inflated variable: The case of stone pine (*Pinus pinea* L.) cone production. *Ecological Modelling* 222.
- Calvo, L., Santalla, S., Valbuena, L., Marcos, E., Tárrega, R., Luis-Calabuig, E. (2008). Post-fire natural regeneration of a *Pinus pinaster* forest in NW Spain. *Plant Ecology* 197: 81-90. doi: 10.1007/s11258-007-9362-1.
- DGCN (Dirección General de Conservación de la Naturaleza) (1998). El Segundo Inventario Forestal Nacional. España. MMA-DGCN, Madrid.
- González-Alday, J., Martínez-Ruiz, C., Bravo, F. (2009). Evaluating different harvest intensities over understory plant diversity and pine seedlings, in a *Pinus pinaster* Ait. natural stand of Spain. *Plant. Ecol.* 201: 211-220.
- Juez, L. (2007). Estrategia reproductora, dispersión de semilla y análisis de la regeneración natural del pino negral (*Pinus pinaster* Aiton) en la Meseta Castellana (Coca, Segovia). E.T.S. Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid (inérito).
- Junta de Castilla y León (1988). Análisis del medio físico de Segovia. EPYPSA, Valladolid, Spain.

- Kiviste, A., Álvarez González, J. G., Rojo Alboreca, A., Ruiz González, A. D. (2002). Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Monografías INIA N° 4. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Alimentaria. Madrid 2002.
- 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), 12 pp.
- Luis-Calabuig, E., Torres, O., Valbuena, L., Calvo, L., Marcos, E. (2002). Impact of large fires on a community of *Pinus pinaster*. En: Traubaud, L.; Prodon, R. (eds.): Fire and biological processes. pp. 1-12, Backhuys Publishers, Leiden.
- Manso González, R., Calama Sainz, R., Garriga García, E., Pardos Mínguez, M. (2009). Modelización de la dispersión primaria en *Pinus pinea* L. Una primera aproximación. Actas del 5º Congreso Forestal Español. Ávila.
- Matney, D. T., Hodges, D. J. (1991). Evaluating Regeneration Success. In: Duryea M.L. and Dougherty P.M. (Eds.), Forest Regeneration Manual, Kluwer Academic.
- Miguel Pérez, I., González Martínez, S. C., Alía Miranda, R., Gil Sánchez, L. (2002). Growth phenology and mating system of maritime pine (*Pinus pinaster* Aiton) in central Spain. Invest. Agr. Sist. Recur. For. Vol 11 (1): 195-204.
- Notivol, E., García-Gil, M. R., Alía, A., Savolainen, O. (2007). Genetic variation of growth rhythm traits in the limits of a latitudinal cline in Scots pine. *Canadian Journal of Forest Research*; Mar 2007; 37, 3; pp. 540-551.
- Paluch, J. G. (2005). The influence of the pattern of trees on forest floor vegetation and silver fir (*Abies alba* Mill.) regeneration in uneven-aged forest. *Forest Ecology and Management* 205: 283-298.
- Rodríguez-García, E., Juez, L., Guerra, B., Bravo, F. (2007). Análisis de la regeneración natural de *Pinus pinaster* Ait. en los arenales de Almazán-Bayubas (Soria, España). Inv. Agr.: Sist. Rec. For. 16 (1): 25-38.
- Rojo, A., Montero, G. (1996). El pino silvestre en la Sierra de Guadarrama. MAPA, Madrid.