

# Regeneración natural de *Pinus pinaster* Ait. y su relación con los factores ambientales en masas mediterráneas del centro de España

Encarna Rodríguez, Felipe Bravo

## RESUMEN

La regeneración natural de *Pinus pinaster* Ait. después de una perturbación (corta o incendio) fue estudiada en cinco poblaciones del centro de España. Los objetivos eran 1) examinar la aptitud de rodales para la regeneración natural de esta especie después de diferentes perturbaciones, y 2) estudiar la regeneración natural de *Pinus pinaster* y su relación con los factores ambientales. Las hipótesis de partida eran que todas las perturbaciones promoverían la regeneración natural y que diferentes factores dependientes del rodal afectarían a la regeneración, aunque con un efecto generalizado del clima. El análisis estadístico se llevó a cabo mediante un análisis de varianza y análisis multivariante. Los resultados indican que la recuperación de los bosques de *Pinus pinaster* en zonas quemadas, y el reemplazo de las masas en rodales intervenidos selvicolamente puede producirse pronto después de la perturbación si las condiciones climáticas y otros factores ambientales locales hacen al rodal apto para la regeneración natural. En todos los casos es esperable una regeneración heterogénea. Aunque son muchos los factores que contribuyen a una gran variabilidad en la regeneración, este estudio indica que la regeneración natural es muy efectiva (exitosa) en las masas de *Pinus pinaster* y que puede ser una opción forestal viable en otras masas.

## 1. INTRODUCCIÓN

El establecimiento de las plántulas es el primer paso y el más crítico después de la corta de regeneración. El establecimiento inicial determina el futuro y la estructura del rodal, las condiciones del hábitat y las opciones selvícolas (Keyes y Maguire, 2005). La regeneración natural, puede presentar algunos inconvenientes como un bajo éxito de establecimiento, necesidad de adaptarse a los ciclos de producción de semilla, o escaso control sobre la densidad y distribución espacial de las plántulas (Barnett y Baker, 1991), pero presenta otras ventajas como la posibilidad de la conservación del material genético del rodal y por tanto las adaptaciones locales, suministro continuo de semilla, menor riesgo de pérdidas por plagas y enfermedades al existir variedad de tamaños y edades, o un bajo coste de establecimiento (Barnett y Baker, 1991). La investigación en este área puede servir para diseñar estructuras de rodal sostenibles y adecuadas para múltiples objetivos. Un mejor conocimiento de los procesos de la regeneración es igualmente importante para el manejo donde ésta es indeseable, como en el caso de las especies invasoras o donde la regeneración es excesiva. Por otro lado, saber cómo afectan los factores ambientales a la regeneración natural es relevante para los sistemas que dependen total o parcialmente de ella. El ciclo de la reproducción sexual o regeneración natural de las especies vegetales leñosas es un proceso complejo definido por las características ecológicas y demográficas de las especies, así como por las perturbaciones y eventos estocásticos (Paluch, 2005), y formado por varias etapas sucesivas. Comienza con la formación de los primordios seminales, floración y polinización, sigue con la formación, maduración y dispersión de las semillas, y acaba con la germinación y el

establecimiento de las nuevas plántulas (Barnes *et al.*, 1998). Las etapas más críticas y con mayor mortalidad son las etapas tempranas de semilla y plántula, y la transición de las plántulas a estados más tardíos y el éxito de cada etapa dependen de los factores de sitio, que son todos aquellos que definen el hábitat (Matney y Hodges 1991), incluyendo las interacciones entre ellos y las perturbaciones que puedan alterar ese hábitat. Estos factores incluyen el clima, factores edáficos y fisiográficos, así como factores bióticos, los cuales implican interacciones con plantas acompañantes, animales y microorganismos a nivel de parte aérea y a nivel edáfico (Barnes *et al.*, 1998).

*Pinus pinaster* Ait. es una especie ampliamente distribuida en el paisaje forestal mediterráneo en masas fragmentadas o poblaciones diferentes, adaptadas a condiciones edáficas y climáticas regionales. Fuera de su rango natural de distribución está considerada como una especie con una gran capacidad de colonización (Lowe *et al.*, 2000). En las masas forestales mediterráneas, la utilización de métodos que originan masas regulares (corta a hecho y aclareo sucesivo) e irregulares (entresaca) se aplican homogéneamente dentro de las diferentes poblaciones debido a razones ecológicas, económicas o sociales (Rodríguez *et al.*, 2008). Sin embargo, las condiciones de los rodales y la aptitud de los mismos para la regeneración natural pueden variar dentro de las poblaciones incluso si se aplica el mismo método, pudiendo resultar en una regeneración natural heterogénea que incluye una regeneración nula, deficiente o excesiva (Rodríguez *et al.*, 2008; Ruano *et al.*, 2009; Rodríguez-García *et al.*, 2010, 2011a). La regeneración natural de esta especie después de una intervención selvícola es considerada como fácil, aunque existe poca información sobre los efectos del manejo forestal, y hay algunos ejemplos de éxito de regeneración pobre o escasa (González-Alday *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2008). En los bosques mediterráneos, *Pinus pinaster* es una de las coníferas más afectadas por los incendios forestales (Calvo *et al.*, 2008). Existen varios estudios que indican que esta especie responde al fuego con una dispersión de semilla rápida y altas densidades de plántulas, hecho que puede variar en función de las características del rodal (Calvo *et al.*, 2003; Gallegos *et al.*, 2003), el nivel de serotinidad de las piñas entre las poblaciones (Tapias *et al.*, 2004), y la severidad del incendio (Vega *et al.*, 2008). Sin embargo, la información acerca de las relaciones entre la regeneración natural de *Pinus pinaster* (sin importar el tipo de perturbación) y los factores de sitio o factores ambientales es escasa.

En este capítulo se ofrece una evaluación de la regeneración natural de *Pinus pinaster* y los principales factores ambientales que la definen en diferentes escenarios o situaciones. Los principales objetivos del estudio fueron examinar la aptitud de los rodales para la regeneración natural de la especie y clasificar la densidad y el estado de desarrollo de la regeneración (plántula, juvenil, árbol establecido) después de cortas selvícolas y fuego, las perturbaciones más comunes a las que *Pinus pinaster* es sometido en comunidades forestales mediterráneas; y entender la relación entre la regeneración después de la perturbación y los factores ambientales o de sitio. Las hipótesis de partida eran que todas las perturbaciones promoverían la regeneración natural y que diferentes factores dependientes del rodal afectarían a la regeneración, aunque con un efecto generalizado del clima.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Muestreo y toma de datos

La regeneración natural de *Pinus pinaster* se estudió en 17 rodales localizados en cinco poblaciones o regiones de procedencia de esta especie (Tabla 1). Los criterios para la selección de las masas a estudiar (Tabla 1 y Figura 1) fueron los siguientes: rodales monoespecíficos de *Pinus pinaster* donde se hubiera producido una perturbación (se consideraron sólo cortas de regeneración e incendio) en un periodo máximo de 10 años antes del muestreo; que la masa estuviera regenerando de forma natural y

TABLA 1

Principales características de los rodales estudiados de *Pinus pinaster* en cinco poblaciones del centro de España

D	Po	Localidad	Rodal	Localización del rodal	N	ST	SA	AB (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	DFS (m)	Alt (m.s.n.m.)	P (mm)	T (°C)
CH	MC	Olmedo (VA)	1	41°15'N-4°45'W	22	6	2007	8,80 ± 2,9	20,70 ± 33	750 ± 15	440	13,8
		Cuéllar (SG)	2	41°30'N-4°30'W	23	4	2005	9,93 ± 3,7	9,89 ± 9	788 ± 12	493	12,1
		Cuéllar (SG)	3	41°30'N-4°30'W	16	3	2005	6,52 ± 5,7	10,00 ± 18	795 ± 39	493	12,1
		Bayubas (SO)	4	41°33'N-2°55'W	3	5-7-9	2004	5,9 ± 2,9	9,9 ± 6	990 ± 29	450	11,5
		Berlanga (SO)	5	41°33'N-2°55'W	16	3-4-5	2004	1,6 ± 1,2	21,6 ± 11	840 ± 19	450	11,5
		Matamala (SO)	6	41°33'N-2°55'W	29	5-6-8	2004	4,3 ± 4,6	16,1 ± 19	1.009 ± 26	450	11,5
AC	GD	San Marcos (AV)	7	40°33'N-4°20'W	13	2	2007	12,88 ± 3,1	4,61 ± 3,1	1.261 ± 11,3	739	10,6
		Valeriano (AV)	8	40°33'N-4°20'W	14	10	2007	12,32 ± 2,7	3,96 ± 3,1	1.097 ± 12,3	739	10,6
F	GH	Cilleros (CA)	9	40°30'N-6°30'W	26	5	2006	0,58 ± 2,2	27,90 ± 25,0	351 ± 24,9	672	15,4
		Descargamaría (CA)	10	40°30'N-6°30'W	25	7	2006	0,38 ± 1,5	58,14 ± 42,9	607 ± 61,5	1.050	15,4
		Eriás (CA)	11	40°30'N-6°30'W	30	6	2006	0,00 ± 0,0	90,68 ± 28,4	804 ± 89,7	1.050	15,4
EN	MG	Casal (TE)	12	40°24'N-0°45'W	29	7	2006	23,07 ± 6,9	2,95 ± 1,3	1.115 ± 32,9	404	12,3
		Morrón (TE)	13	40°24'N-0°45'W	29	4	2006	24,12 ± 4,4	2,63 ± 1,1	1.101 ± 32,9	404	12,3
		Toribio (TE)	14	40°20'N-1°20'W	9	3	2007	31,61 ± 11,6	56,91 ± 51,1	1.375 ± 32,7	355	11,0
	AB	Navazo (TE)	15	40°20'N-1°20'W	5	4	2007	29,20 ± 5,5	3,15 ± 1,5	1.321 ± 15,6	355	11,0
		Dornaquejos (TE)	16	40°20'N-1°20'W	6	4	2007	15,50 ± 6,4	4,08 ± 2,6	1.259 ± 10,5	355	11,0
		Gea (TE)	17	40°20'N-1°20'W	6	3	2007	11,92 ± 6,6	4,76 ± 2,8	1.209 ± 15,2	355	11,0

**D:** perturbación (CH: corta a hecho con reserva de árboles semilleros; AC: aclareo sucesivo; F: fuego; EN: entresaca); **Po:** población (MC: Meseta Castellana; GD: Guadarrama; GH: Sierra de Gata-Las Hurdes; MG: Maestrazgo; AB: Albarracín); **N:** número de parcelas muestreadas por rodal; **ST:** años transcurridos desde la perturbación hasta el año del muestreo (SA); **AB (m<sup>2</sup>/ha):** área basimétrica; **DFS (m):** distancia más cercana a la fuente de semilla; **Alt (m.s.n.m.):** altitud; **P (mm):** precipitación media anual; **T (°C):** temperatura media anual; VA: Valladolid; SG: Segovia; SO: Soria; AV: Ávila; CA: Cáceres; TE: Teruel. Los valores de la Tabla 1 corresponden al valor medio ± error estándar.

que no se hubiera producido ninguna intervención desde el momento de la perturbación; una superficie de al menos 30 ha (ver los detalles de las zonas de estudio en el capítulo 5 del presente libro, Bravo *et al.*, 2011). Éste último requisito fue el más difícil de conseguir, por lo que el número de parcelas por rodal varió dependiendo de la región (Tabla 1). Dentro de cada rodal seleccionado se llevó a cabo un muestreo sistemático (Figura 2) mediante una malla cuadrada, de 100 × 100 m de lado, diseñada con un sistema de información geográfica (SIG). El comienzo fue aleatorio, instalando en cada nodo de la malla cuadrada una parcela circular de 2,5 m de radio, dividida en cuatro cuadrantes (Rodríguez-García *et al.*, 2007; Rodríguez-García *et al.*, 2010; Rodríguez-García *et al.*, 2011a). Con este radio, cada cuadrante tiene una superficie de 4,9 m<sup>2</sup>, el cual correspondería con el espacio disponible para un árbol hipotético adulto en una masa de distribución regular con una densidad aproximada de 2.000 pies ha<sup>-1</sup>: densidad mínima requerida para considerar la regeneración como exitosa (Matney y Hodges, 1991).

Dentro de cada parcela se midieron todas las plantas con un diámetro normal máximo de 7,5 cm. Se midió la altura desde la base (cm), y el diámetro en la base (mm) a ras de suelo, se caracterizó el vigor de cada planta (con las categorías de no dañada, o dañada por condiciones climáticas u otras condiciones como desecación, pastoreo, herbivoría o patógenos) y la posición social de la plántula (dominante o suprimida) con respecto a otros individuos de la misma especie o matorral circundante. Todas las plantas medidas con categoría de no dañada y dominante fueron consideradas como plantas viables.

Corta a hecho en dos tiempos (Cuéllar, Segovia)



Aclareo sucesivo (Las Navas del Marqués, Ávila)



Entresaca (Erias, Cáceres)



Entresaca (Albarracín, Teruel)



Fuego (Erias, Cáceres)



Fuego (Cilleros, Cáceres)

**Figura 1**

*Aspecto de masas de Pinus pinaster en regeneración natural, intervenidas selvicolamente y perturbadas por fuego.*

Aunque no podemos asumir que las plantas clasificadas como no viables, no llegarían a formar parte del dosel arbóreo adulto, su aparente baja aptitud para el crecimiento o supervivencia implica una probabilidad alta de que estas plantas no sobrevivan o sean eliminadas en aclareos futuros. La edad de cada



**Figura 2**

*Diseño de malla cuadrada para el muestreo (a) y montaje de parcela para toma de datos (b, c).*

planta fue estimada visualmente en el campo contando el número de verticilos. A las plántulas recién germinadas (primavera del año de muestreo) se les asignó la edad de 0 años. Luego se calcularon las edades media, modal, mediana y máxima por parcela para identificar los principales años de establecimiento.

Se decidió usar la edad mediana en todos los análisis porque en algunas parcelas (8,53 % de 328 parcelas) se observaron dos modas de año de establecimiento. En estos casos la mediana es el mejor estadístico descriptivo para representar el valor central de los años de establecimiento (Hårdle y Simar, 2007). Las variables de precipitación y temperatura se usaron para caracterizar el clima local de cada rodal. La precipitación media anual y la temperatura media anual fueron calculadas con series de datos desde 1960 (rodal 1), 1975 (rodales 2 y 3), 1989 (rodales 4, 5 y 6), 1973 (rodales 7 y 8), 1991 (rodales 12, 13, 14-17), y 1999 (rodales 9-11) hasta el momento del año de muestreo. Las estaciones climáticas estaban localizadas cerca de los rodales y a una altitud similar. Se calculó la precipitación en cada estación (otoño, invierno, primavera, verano) del año central o mediano de establecimiento por parcela, y del año previo a éste. Considerando la edad mediana de las plantas por parcela obtuvimos varios años centrales de establecimiento por rodal y los valores de precipitación que caracterizaron las diferentes estaciones de esos años. El año central de establecimiento coincidió con el año modal de establecimiento calculado (año con más frecuencia) en el 80% de las parcelas. Por lo tanto, los términos precipitación durante el año central de establecimiento y la precipitación durante el año previo al año central de establecimiento deberían ser matizados y considerados como la precipitación durante estaciones diferentes de dos años consecutivos y centrales dentro de un periodo de establecimiento (entre el primer y el último evento de establecimiento).

Se calculó la densidad total (TD) y densidad de plántulas viables (VD) por hectárea para cada parcela sin considerar grupos de edad. Posteriormente, se establecieron 10 categorías para evaluar los estados de desarrollo de la regeneración, en función de la densidad media de las plantas viables por parcela (ausencia de regeneración, densidad de regeneración escasa, deseable, y excesiva) y la altura media de las plantas (0-30 cm; 31-130 cm, y > 130 cm) por parcela (Tabla 2). La presencia o ausencia de la categoría (estado de regeneración) fue codificado como una variable dummy (1/0) en cada parcela por rodal. Nosotros consideramos como una densidad de regeneración satisfactoria, una densidad de 2.000 plántulas viables por hectárea (Matney y Hodges, 1991). Una densidad menor podría considerarse como insuficiente y por lo tanto no exitosa, mientras que un establecimiento superior a 5.000 plantas por hectárea podría resultar en la necesidad de realizar clareos para reducir esta regeneración excesiva.

En cada parcela se tomaron diferentes variables representativas del sitio y la vegetación acompañante (Tabla 3). Los factores de sitio relacionados con la vegetación de sotobosque incluyeron el porcentaje de matorral, porcentaje de especies herbáceas, porcentaje de musgo, así como el porcentaje de cobertura de los restos de corta (en el suelo a partir del arrastre de los árboles apeados) y pinocha

TABLA 2

**Categorías establecidos para describir los estados de desarrollo de la regeneración natural de *Pinus pinaster* en función de la abundancia y la altura de las plantas viables (VD) por parcela**

Estados de desarrollo de la regeneración natural				
VD (N ha <sup>-1</sup> )	Abundancia	Altura (cm)	Estado	Categoría
0	ne	ne	Ausencia	V0
1-2.000	Escasa	0-30	Plántula	V1
		31-130	Juvenil	V2
		> 130	Árbol	V3
2.001-5.000	Deseable	0-30	Plántula	V4
		31-130	Juvenil	V5
		> 130	Árbol	V6
> 5.000	Excesiva	0-30	Plántula	V7
		31-130	Juvenil	V8
		> 130	Árbol	V9

ne: no existente.

sobre el suelo. Todos los porcentajes fueron estimados visualmente dentro de la parcela con una precisión del 5%, teniendo como referencia cada cuadrante de la parcela.

También se midió la altura media del matorral (desde el centro geométrico), herbáceas y restos de corta, con ayuda de una cinta métrica de mano y una precisión del 0,5 cm en cada parcela. Se tomó una muestra de suelo, a una profundidad de 20 cm (González-Martínez y Bravo, 2001) en una submuestra aleatoria del 10% de las parcelas por rodal. A partir de mapas de suelos locales (De la rosa *et al.*, 2001), se confirmó que los suelos eran homogéneos dentro de cada rodal. Las muestras se analizaron para obtener el porcentaje de arena, limo y arcilla, el porcentaje de carbonato cálcico y materia orgánica, y la concentración de fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio. También se calculó la conductividad eléctrica y el pH. Los análisis de suelo se hicieron en el laboratorio del centro tecnológico Itagra, ct (Universidad de Valladolid, Palencia).

## 2.2. Análisis estadístico

Para comprobar la existencia de diferencias significativas en la densidad total de plantas y plantas viables (TD y VD) entre rodales y tipos de perturbación, se utilizó un análisis multivariante de varianza (GLM) con un diseño anidado. El modelo incluyó los rodales anidados dentro de la perturbación, de forma que el cuadrado de la media de la perturbación se probó contra el cuadrado de la media del rodal. Las variables TD y VD fueron transformadas con el logaritmo natural. Se usó el test de Tukey para todas las comparaciones dos a dos y detectar diferencias significativas entre las perturbaciones y los rodales. El análisis se realizó con el programa estadístico Statistica 6.0.

Para conocer la importancia relativa de la perturbación en sí misma (D), el número de años transcurridos desde la perturbación (ST), y los factores ambientales medidos (E) en la variación de la densidad total de regeneración y la densidad de plantas viables (TD y VD fueron usadas como variables respuesta a lo largo de todo el procedimiento), llevamos a cabo un análisis de redundancia (RDA) con el programa estadístico Canoco 4.5. El RDA es una técnica de análisis de gradiente directo, o la forma canónica (que pertenece a la familia de los métodos de regresión para el análisis de datos) de un PCA, y puede usarse para descomponer la variación ecológica de un conjunto de datos (matriz de va-

TABLA 3

**Descripción de variables ambientales (E) medidas en las parcelas, y usadas como factores ambientales en los análisis de partición de la varianza y discriminante (CVA)**

<b>Variabes</b>	<b>Descripción y unidades de medida</b>
<i>Clima y fisiografía</i>	
Altitud	Metros sobre el nivel del mar
P-invi-0	Precipitación en invierno del año central de establecimiento (mm)
P-prim-0	Precipitación en primavera del año central de establecimiento (mm)
P-vera-0	Precipitación en verano del año central de establecimiento (mm)
P-otoñ-0	Precipitación en otoño del año central de establecimiento (mm)
P-invi-A	Precipitación en invierno del año previo al central (mm)
P-prim-A	Precipitación en primavera del año previo al central (mm)
P-vera-A	Precipitación en verano del año previo al central (mm)
P-otoñ-A	Precipitación en otoño del año previo al central (mm)
<i>Disponibilidad de semilla y estructura del rodal</i>	
DFS	Distancia más cercana a la fuente de semilla (m)
Conos	Nº de piñas en el suelo
AB	Área basimétrica de la masa residual (m <sup>2</sup> /ha)
H	Altura de los árboles del dosel (m)
Mat-h	Altura media del matorral (cm)
Mat-cov	Cobertura del matorral (%)
Herb-h	Altura media de la vegetación herbácea (cm)
Herb-cov	Cobertura de la vegetación herbácea (%)
Musg-cov	Cobertura de musgo (%)
Pinocha	Cobertura de pinocha (%)
RC-h	Altura media de los restos de corta (cm)
RC-cov	Cobertura de los restos de corta (%)
<i>Propiedades edáficas</i>	
Pedreg	Pedregosidad en la superficie del suelo (%)
Elem-Gr	Contenido en el suelo de elementos gruesos (%)
Arena	Contenido en el suelo de arena (%)
MO	Materia orgánica (%)
P	Concentración de fósforo (ppm)
K	Potasio (ppm)
Ca	Calcio (meq/100 g)
Mg	Magnesio (meq/100 g)
CE	Conductividad eléctrica (dSm/m)
pH	pH

riables) y conocer por separado el efecto de variables de interés controlando el efecto o la influencia de otras (covariables), mediante el método de partición de la varianza (Borcard *et al.*, 1992; Qinghong y Brakenhielm, 1995; Park, 2001). Primero se realizó un RDA completo para conocer la varianza total explicada (TEV) por el conjunto de las matrices E, ST y D. Seguidamente, se realizó un RDA parcial con todas las combinaciones posibles, donde una de las matrices E, ST o D fue empleada como variable explicativa, y el resto como covariables, lo que proporcionó la contribución única de cada ma-

triz y los efectos conjuntos dobles y triples (E + ST, E + D, ST + D, E + ST + D) entre las tres matrices (Borcard *et al.*, 1992; Qhinghon y Brakenhielm, 1995). La significación ( $p < 0,05$ ) del efecto de las matrices (o conjunto de variables) fue comprobado con el test de permutaciones de Montecarlo. Las variables respuesta TD y VD fueron transformadas con el logaritmo natural. Un estudio previo indicó que el año de muestreo (SA) explicó un porcentaje muy bajo, y no significativo, de variación de la regeneración natural en las poblaciones estudiadas (Rodríguez-García *et al.*, 2011a), por lo que decidimos no incluir esta variable en los análisis.

Las diez categorías establecidas para describir los estados de desarrollo de la regeneración natural (Tabla 2) fueron usadas como variables respuesta en un análisis canónico discriminante (CVA) para ver qué combinaciones lineales de variables ambientales (E, ver Tabla 3) discriminaban mejor entre los grupos (de parcelas) o estados de desarrollo de la regeneración en cada perturbación, y cuáles estaban relacionadas significativamente con la distribución de los grupos. La presencia o ausencia de un estado de regeneración fue codificado como una variable dummy (1/0) en cada parcela por población (Ter Braak y Smilauer, 2002). El efecto de la variable ST fue controlado especificándola en los análisis como covariable. Seguidamente, se utilizó un método de regresión paso a paso para seleccionar las variables ambientales significativas y discriminantes. La relación ( $p < 0,05$ ) de cada variable independiente con las variables de la regeneración fue comprobada con el test de permutaciones de Monte Carlo. El análisis se llevó a cabo con el programa Canoco 4.5.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Aptitud de los rodales para la regeneración natural de *Pinus pinaster*

La regeneración natural de *Pinus pinaster* fue confirmada en todos los rodales evaluados excepto en los rodales 1, 9 y 17 (densidad de plantas viables menor a 2000 ha<sup>-1</sup>). La densidad total fue significativamente diferente entre todas las perturbaciones ( $F = 4,31$ ;  $p < 0,001$ ), excepto entre el método de entresaca y perturbación por fuego, y cortas a hecho (Tabla 4). La densidad total de regenerado fue significativamente diferente entre rodales sometidos a entresaca ( $F = 3,98$ ;  $p < 0,001$ ). La mayor densidad fue observada en el rodal 8 (aclareo sucesivo en Guadarrama) mientras que la menor densidad total se observó en el rodal 17 (entresaca en Albarracín). La densidad de regenerado viable fue significativamente diferente entre todas las perturbaciones ( $F = 6,09$ ;  $p < 0,001$ ), excepto entre la perturbación por fuego y la corta con entresaca (Tabla 4). En general, entre las perturbaciones analizadas las menores densidades de planta viable se observaron en los rodales de la Meseta Castellana sometidos a cortas a hecho con el método de árboles semilleros. La densidad de plantas viables varió significativamente ( $F = 9,09$ ;  $p < 0,001$ ) entre los rodales perturbados por fuego y los rodales sometidos a entresaca. La mayor densidad de planta viable se observó en los rodales 8 y 10, mientras que la menor densidad de plantas viables se observó en el rodal 17.

#### 3.2. Importancia relativa de los factores ambientales, la perturbación y el tiempo transcurrido en la densidad de regeneración

Los factores ambientales (E) tuvieron un efecto significativo en la regeneración natural y explicaron un alto porcentaje de variación de la densidad total y densidad de regenerado viable (Figura 3). El efecto de la perturbación fue dos veces mayor que el efecto del número de años transcurridos desde la perturbación hasta el momento del muestreo (ST), siendo éste no significativo. Sin embargo, un 6,8% de la variación en la distribución de la densidad de la regeneración fue explicada significativamente por la co-



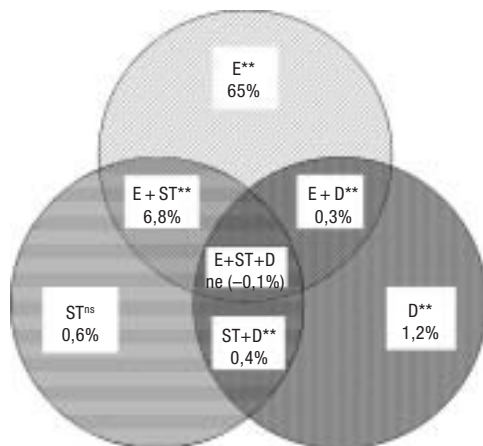
**TABLA 4**

**Densidad total de plantas (TD) y densidad de plantas viables (VD) de *Pinus pinaster* (valor medio  $\pm$  error estándar) en rodales sometidos a diferentes perturbaciones. Las letras a, b, c, d indican diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) entre rodales, mientras que las letras, x, y, z indican diferencias entre perturbaciones**

D	Rodal	TD	D	VD	N
CH <sup>x</sup>	1	2,110 $\pm$ 2,742 <sup>a</sup>	CH <sup>x</sup>	1,971 $\pm$ 2,309 <sup>ab</sup>	22
	2	3,926 $\pm$ 2,681 <sup>ab</sup>		2,884 $\pm$ 2,258 <sup>ab</sup>	23
	3	3,095 $\pm$ 3,320 <sup>ab</sup>		2,313 $\pm$ 2,796 <sup>ab</sup>	15
	4	7,449 $\pm$ 2,143 <sup>bc</sup>		5,612 $\pm$ 1793 <sup>bc</sup>	30
	5	3,189 $\pm$ 2,935 <sup>abc</sup>		2,742 $\pm$ 2,454 <sup>abd</sup>	16
	6	8,955 $\pm$ 2,179 <sup>bc</sup>		7,530 $\pm$ 1,823 <sup>bc</sup>	29
AC <sup>y</sup>	7	4,121 $\pm$ 3,567 <sup>abc</sup>	AC <sup>y</sup>	4,082 $\pm$ 3,003 <sup>abc</sup>	13
	8	24,818 $\pm$ 3,437 <sup>c</sup>		22,267 $\pm$ 2,894 <sup>c</sup>	14
F <sup>z</sup>	9	3,571 $\pm$ 2,522 <sup>bc</sup>	F <sup>z</sup>	706 $\pm$ 2,124 <sup>ab</sup>	26
	10	14,653 $\pm$ 2,572 <sup>c</sup>		12,735 $\pm$ 2,166 <sup>cd</sup>	25
	11	14,354 $\pm$ 2,348 <sup>bc</sup>		9,711 $\pm$ 1,977 <sup>abc</sup>	30
EN <sup>xz</sup>	12	4,785 $\pm$ 2,388 <sup>ab</sup>	EN <sup>x</sup>	4,134 $\pm$ 2,011 <sup>ab</sup>	29
	13	5,120 $\pm$ 2,388 <sup>bc</sup>		3,413 $\pm$ 2,011 <sup>abc</sup>	29
	14	8,333 $\pm$ 4,287 <sup>bc</sup>		6,463 $\pm$ 3,609 <sup>abc</sup>	9
	15	5,204 $\pm$ 5,751 <sup>abc</sup>		3,163 $\pm$ 4,843 <sup>abc</sup>	5
	16	13,520 $\pm$ 5,250 <sup>bc</sup>		10,940 $\pm$ 4,421 <sup>bc</sup>	6
	17	255 $\pm$ 5,250 <sup>a</sup>		255 $\pm$ 4,421 <sup>a</sup>	6

**D:** perturbación: CH: corta a hecho con reserva de árboles semilleros. AC: aclareo sucesivo. F: fuego. EN: entresaca; **N:** número de parcelas.

varianza entre los factores ambientales y el número de años transcurridos después de la perturbación (E + ST), mientras que la covarianza entre los factores ambientales (Tabla 3) y el tipo de perturbación (Figura 3), aunque fue significativa, explicó sólo un 0,3%, y la covarianza entre el tipo de perturbación y el número de años transcurridos desde ésta (ST+D) explicó, significativamente, un 0,4% de la variación. El porcentaje total de variación explicada (TEV) por todo el conjunto de variables fue alto (74,2%).



**Figura 3**

Porcentaje total de variación de la densidad total y densidad de regeneración viable (TD y VD) de *Pinus pinaster* explicada por los factores ambientales (E), el número de años transcurridos desde la perturbación (ST), el tipo de perturbación (D), y la covarianza doble y triple entre las diferentes matrices de variables.

\* Efecto significativo ( $p < 0,05$ ); ns ( $p > 0,05$ ); ne, efecto no existente.

TABLA 5

Porcentaje medio de parcelas por perturbación con diferentes estados de desarrollo de la regeneración. Las categorías de los estados de desarrollo están definidas en la Tabla 2

D	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9
CH	22,8	16,2	10,3	0,8	11,8	9,6	0,7	11,0	10,8	0,0
AC	35,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	25,0	35,0	0,0
EN	28,6	17,9	2,4	0,0	21,4	0,0	0,0	25,0	3,2	0,0
F	29,6	6,2	11,1	0,0	4,9	11,1	0,0	9,9	27,2	0,0

D: perturbación: CH: corta a hecho con reserva de árboles semilleros. AC: aclareo sucesivo. EN: entresaca. F: fuego.

### 3.3. Estados de desarrollo de la regeneración natural y su relación con los factores ambientales

Los estados de desarrollo de la regeneración natural variaron en función del tipo de perturbación con núcleos mezclados de diferentes densidades dentro de los rodales (Rodríguez-García *et al.*, 2011a). Los estados de plántula y de juvenil fueron los observados con mayor frecuencia en todas las perturbaciones (Tabla 5). Se observó un porcentaje medio relativamente alto de parcelas con ausencia de regeneración en los rodales sometidos a corta con aclareo sucesivo, lo que se debió a que el 53,8% de las parcelas del rodal 7, intervenido dos años antes del año de muestreo, no presentaron regeneración natural. En contraste, también se observó un porcentaje medio-alto de parcelas con densidad excesiva de plantas en estado de juvenil, situadas en el rodal 8 (10 años después de la corta con aclareo sucesivo). El porcentaje medio de parcelas con densidad deseable e incluso excesiva de plántulas jóvenes fue alto en las masas intervenidas con entresaca, en comparación con el resto de perturbaciones. En las masas perturbadas por fuego, se observó un porcentaje alto de parcelas con densidad excesiva de planta en estado de juvenil 5-7 años después del incendio. La densidad y la estructura de la regeneración en las parcelas sometidas a cortas con árboles semilleros fueron más variadas que la observada en las parcelas del resto de perturbaciones.

### 3.4. Factores ambientales más importantes en el estado de desarrollo de la regeneración

La influencia de los factores ambientales varió en función de la perturbación, aunque el efecto del clima fue significativo en todos los escenarios. El grupo de las parcelas sin regeneración aparece separado del resto de grupos con regeneración en todos los análisis. En rodales intervenidos con el método de corta a hecho (Figura 4a), las variables significativas relacionadas con el primer eje del CVA fueron la precipitación de invierno, primavera y otoño, mientras que las variables significativas relacionadas con el segundo eje CVA 2 fueron la precipitación durante el verano y la altura media del matorral. El primer eje (CVA 1) sugiere un gradiente de sequía que incrementa a medida que la precipitación en las estaciones lluviosas típicas de climas mediterráneos se hace más escasa. El segundo eje sugiere un gradiente de sequía que incrementa a medida que la precipitación durante el verano se hace más escasa y la altura del matorral decrece. Los grupos de parcelas con plantas en estado joven aparecen juntas y separadas del grupo de parcelas con planta en estado juvenil, más relacionadas con la precipitación de verano y el matorral.

Las variables con un efecto significativo en los rodales sometidos a aclareo sucesivo (Figura 4b), fueron la distancia más cercana a la fuente de semilla (DFS) relacionada con el segundo eje (CVA 2) y la precipitación de otoño en el año central de establecimiento, relacionada con el primer eje (CVA 1). Las variables significativas en los rodales sometidos a entresaca (Figura 4c) fueron los eventos de precipi-

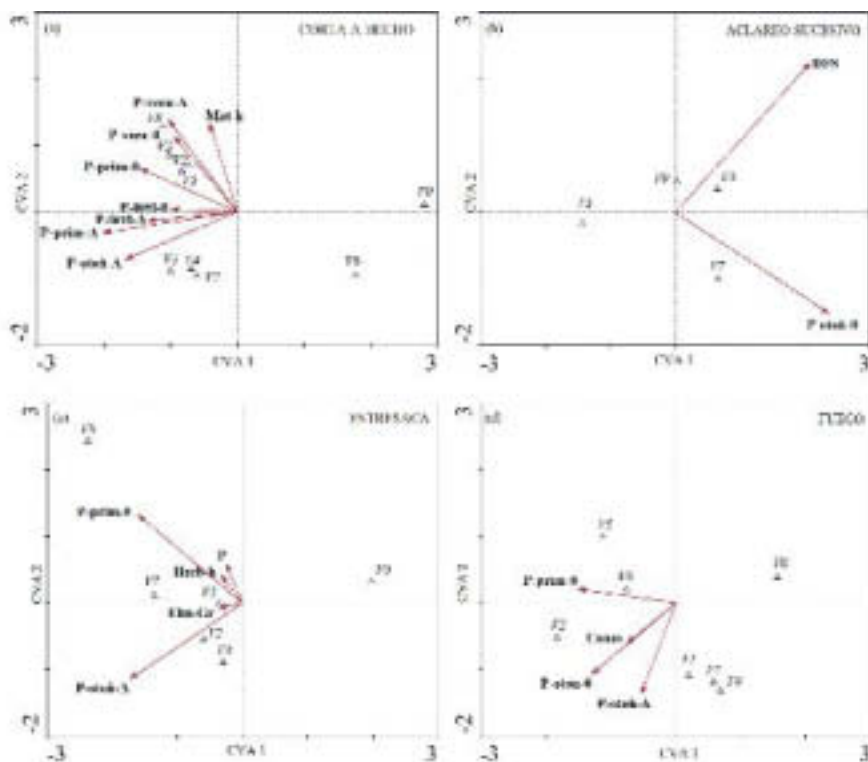


Figura 4

Factores ambientales significativos ( $p < 0,05$ ) y discriminantes de los grupos de parcelas con diferentes estados de desarrollo de la regeneración natural de *Pinus pinaster* (ver Tabla 2). En la Tabla 3 aparece la descripción de los factores ambientales.

tación en otoño y primavera previos al año central de establecimiento, y el porcentaje de elementos gruesos en el suelo, mientras que el contenido de fósforo en el suelo y la altura de la vegetación herbácea estuvieron relacionadas con el CVA 2. Esto sugiere un nexo entre el estado de desarrollo de la regeneración y un gradiente de precipitación y capacidad de retención de agua en el suelo (CVA 1), y un gradiente de condiciones de microsítio relacionadas con propiedades edáficas y estructura de la vegetación acompañante del regenerado (CVA 2). Finalmente, en el análisis discriminante de la regeneración después del incendio (Figura 4d), las variables significativas fueron la precipitación de otoño y primavera, y el número de piñas en el suelo de la parcela. El primer eje (CVA 1) sugiere un gradiente de limitación de disponibilidad de semilla después del incendio, y disponibilidad de agua en la primavera. El segundo eje podría ser interpretado como un gradiente de disponibilidad de agua durante el otoño.

#### 4. DISCUSIÓN

La regeneración natural de *Pinus pinaster* fue exitosa prácticamente en todos los rodales, con una mayor densidad de regenerado en los rodales sometidos a aclareo sucesivo y en los perturbados con fuego. En todos los rodales, la regeneración fue muy heterogénea en cuanto a densidad y estructura, con golpes de densidades excesivas y diferentes estados de desarrollo (básicamente plántula y juve-

nil), mezclados con golpes de densidad escasa o zonas sin regeneración. Esta heterogeneidad en la variación de la regeneración podría deberse a diferencias de micrositio en las características físicas de los sustratos de germinación, el abastecimiento de agua, nutrientes, luz o temperatura (Holmgren *et al.*, 1997; Kozłowski, 2002). A pesar de esta variabilidad, los resultados sugieren que la recuperación del bosque de *Pinus pinaster* en rodales quemados, y el reemplazo de la masa en rodales intervenidos selvicolamente podría lograrse pronto después de una perturbación si las condiciones climáticas y otros factores de sitio locales hacen al rodal apto para la regeneración natural; lo que indica claramente que la regeneración natural puede ser muy efectiva en las masas mediterráneas de *Pinus pinaster* si se programan adecuadamente las cortas (Rodríguez-García *et al.*, 2010, 2011a). El factor limitante de la regeneración natural más importante fue la precipitación, fuertemente marcado por las diferencias a nivel regional. Otros estudios previos han indicado influencias climáticas en varios estados del proceso de regeneración de *Pinus sylvestris* (Tegelmark, 1998) y *Pinus ponderosa* (League y Veblen, 2006), así como una influencia positiva del clima local y regional en el crecimiento radial de árboles adultos de *Pinus pinaster* en masas mediterráneas (Bogino y Bravo, 2008).

*Pinus pinaster* es una especie estenoica con un estrecho rango de condiciones óptimas de precipitación, especialmente la precipitación de otoño (Gandullo y Sánchez-Palomares, 1994). Esto indica que la regeneración de *Pinus pinaster* podría estar limitada temporalmente en condiciones de sequía intensa o en ambientes xéricos. Esto podría también indicar que la precipitación en otoño (relacionado con la formación de la semilla) y primavera (relacionado con la germinación), las principales estaciones de lluvia en los climas Mediterráneos, son los factores principales que disparan o desencadenan la regeneración natural. Sin embargo, la precipitación durante verano, podría afectar también positivamente a la regeneración forestal, sobre todo en las masas de la Meseta Castellana (Ruano *et al.*, 2009; Rodríguez-García *et al.*, 2010, 2011a). Esto resalta la importancia de conocer el umbral de precipitación por encima del cual se producirá un pico de regeneración o un evento de establecimiento importante (López *et al.*, 2008), así como el efecto del cambio climático en la regeneración natural de esta y otras especies forestales en sistemas mediterráneos.

Las propiedades edáficas, sobre todo las relacionadas con la textura del suelo y contenido en nutrientes, parecieron ser importantes en los rodales sometidos a entresaca y rodales sometidos a cortas a hecho en la zona de Cuéllar (ver Rodríguez-García *et al.*, 2011a). Los efectos significativos del porcentaje de elementos gruesos en el suelo, y otros como el contenido de arena en Meseta Castellana, y materia orgánica en rodales de Albarracín (Rodríguez-García *et al.*, 2011a), podría indicar que la textura y estructura del suelo, y la capacidad de almacenar agua en el suelo son factores clave determinantes del establecimiento natural de plántulas, ya que estos factores pueden modificar la profundidad y la disponibilidad de la lluvia caída de forma intermitente o en pulsos (Noy-Meir, 1973). La vegetación acompañante pareció ganar importancia en las masas sometidas a entresaca y cortas a hecho, con una influencia significativa de la altura de los matorrales y la vegetación herbácea, respectivamente. Estos factores podrían estar relacionados con la estructura del rodal, las condiciones de luz y microclima en el sotobosque, propiedades edáficas e interacciones positivas con la vegetación acompañante. Estas hipótesis fueron confirmadas en un estudio previo llevado a cabo en el rodal 8 de este trabajo (ver Rodríguez-García *et al.*, 2011b) sobre el efecto de la cobertura de dosel y el matorral en el crecimiento relativo de plantas establecidas de *Pinus pinaster* de diferentes tamaños (establecimiento tardío). Ese estudio indicó interacciones positivas (facilitación) y negativas (competencia) entre el matorral y el regenerado, que variaron con el tamaño de la planta relativo al tamaño del matorral, la distancia de la planta al matorral más cercano, la cobertura del dosel (cerrado / abierto) y el contenido de nutrientes y agua en el suelo.

El establecimiento en rodales quemados fue confirmado, indicando que las masas de GH son propensas a regenerar después del fuego si la disponibilidad de conos es alta y la precipitación de otoño y primavera abundante. El área basimétrica de la masa residual fue prácticamente nula en estos rodales (Tabla 1). La significación del número de conos en la superficie del suelo, junto con la distancia relativamente corta a la fuente de semilla más cercana, hace probable que el establecimiento natural después del fuego dependiera principalmente de la semilla dispersada y el banco de conos en el suelo. Esta misma relación fue observada por Vega *et al.* (2008) en *Pinus pinaster* y otras especies de pinos como *Pinus banksiana* Lamb. (De Groot *et al.*, 2004); donde el banco de conos y la lluvia de semillas inicial fueron las variables más fuertemente relacionadas con la densidad inicial de plántula después del incendio. Estudios previos sobre el éxito de la regeneración natural de *Pinus pinaster* y su relación con los factores ambientales en masa de Almazán-Bayubas (Soria) indicaron que la cobertura de musgo y la cobertura de los restos de corta reducían significativamente la probabilidad de obtener al menos 2000 plántulas viables por hectárea (Rodríguez-García *et al.*, 2007). Por otro lado, un estudio sobre la aptitud de los rodales para la regeneración natural de *Pinus pinaster* con el método de corta a hecho en la MC indicó ausencia de competencia con el matorral, pero una relación negativa entre la cobertura de vegetación herbácea y la densidad de regenerado (Rodríguez-García *et al.*, 2010). Esto sugiere que los efectos de los factores ambientales podrían variar de ambientes mésicos a xéricos, o en función de un gradiente de disponibilidad de agua en un rodal forestal concreto. También demuestra que la regeneración es un proceso dependiente de múltiples factores y que el efecto de estos varía con el hábitat o el sitio. De forma que una vez que ocurre la germinación, la regeneración persistiría en situaciones donde la combinación de precipitación-sustrato-relieve y/o otros factores promoviera o proporcionara suficiente disponibilidad de agua media anual para mantener el establecimiento de los árboles (Gil *et al.*, 1990).

Con el análisis de partición de la varianza se observó que un porcentaje bajo, pero significativo, de la variación en la regeneración fue explicado por el efecto de la perturbación. Esto podría deberse a las diferencias entre rodales en la estructura de las masas, como la distancia a la fuente de semilla más cercana o la altura de los árboles del dosel adulto (Rodríguez-García *et al.*, 2011a). Un porcentaje moderado pero significativo, fue explicado por la covarianza entre los factores ambientales y el número de años transcurridos desde la perturbación (E + ST). Una variación así podría estar relacionado con las diferencias en el tiempo transcurrido desde las operaciones selvícolas en cada rodal, y podría originarse a partir de diferentes respuestas a factores ambientales condicionadas temporalmente (variación con el tiempo en la disponibilidad de recursos, interacción con otros organismos, micrositios apropiados para el establecimiento, etc.) que podrían afectar al crecimiento y a la supervivencia final de las plantas.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que la recuperación del bosque de *Pinus pinaster* en masas quemadas y el reemplazo de las masas en rodales intervenidos mediante corta a hecho con el método de árboles semilleros, aclareo sucesivo y entresaca podrían conseguirse pronto después de una perturbación si las condiciones climáticas y otros factores locales de sitio, específicos del rodal, hacen al rodal apto para la regeneración natural. Es necesario el conocimiento previo de las condiciones ambientales o factores de sitio concretos de un rodal para planear los tratamientos de regeneración y optimizar las condiciones de agua edáfica y el sustrato para la germinación. El factor limitante de la regeneración natural más importante fue la precipitación, por lo que es necesario investigar sobre el umbral de pre-

precipitación mínimo para el establecimiento natural de las especies vegetales, así como el efecto del cambio climático en la reproducción sexual de ésta y otras especies forestales en sistemas Mediterráneos. A pesar de que son muchos los factores que contribuyen a una heterogeneidad alta en la regeneración, la regeneración natural parece ser exitosa en las masas mediterráneas de *Pinus pinaster*, lo que contribuye a la generalización de que la regeneración natural es una opción forestal viable en muchos tipos de bosques.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Queremos mostrar nuestro agradecimiento al *Ministerio de Ciencia e Innovación* por la financiación de los proyectos AGL2001-1780, AGL2004-07094-CO2-02 y AGL2007-65795, y la beca FPI: BES-2005-7498; a la Agencia Española de Meteorología (AEMET) por la facilitación de los datos climáticos; a todos los servicios forestales y agentes forestales de Castilla y León, Aragón y Extremadura que colaboraron amablemente en el desarrollo de este estudio; a Pedro Abati y *La Sociedad de las Navas del Marqués*, S.A. por su apoyo en la realización de este trabajo. Estamos especialmente agradecidos a C. Ordóñez, A. de Lucas, S. Bogino, P. Valbuena, C. Herrero y E. Escalante por su ayuda en campo.

### CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA LA GESTIÓN

El factor limitante de la regeneración natural es la precipitación por lo que es necesario determinar el umbral mínimo de lluvias para el establecimiento del regenerado.

La predicción con antelación suficiente de los regímenes de lluvias ayudaría a planificar los tratamientos selvícolas.

Los diferentes tipos de cortas analizados parecen adecuados para la regeneración de las masas de *Pinus pinaster*. Sin embargo, la adaptación de los tratamientos a las condiciones locales permitiría obtener regenerados vigorosos de forma técnicamente viable.

## 7. LISTADO DE REFERENCIAS

- Barnes, B. V., Zak, D., Denton, S. R., Spurr, S. H. (1998). *Regeneration Ecology*. Forest Ecology 4<sup>th</sup> Edition. John Wiley, Sons, Inc. New York (pp. 94-121).
- Barnett, J. P., Baker, J. B. (1991). *Regeneration methods*. En: Duryea M.L., Dougherty P. M. (Eds.), *Forest Regeneration Manual*, Kluwer Academic.
- Bogino, S. M., Bravo, F. (2008). Growth response of *Pinus pinaster* Ait. To climatic variables in central Spanish forests. *Annals of Forest Science*, 65: 506-518.
- Borcard D., Legendre P., Drapeau P. (1992). Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology*, 73 (3): 1045-1055.
- Calvo, L., Santalla, S., Marcos, E., Valbuena, L., Tárrega, R., Luis, E. (2003). Regeneration after wildfire in communities dominated by *Pinus pinaster* Ait., and obligate seeder, and in others dominated by *Quercus pyrenaica*, a typical resprouter. *Forest Ecology and Management*, 184: 209-223.
- 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 (1): 81-90.
- De Groot, W. J., Bothwell, P. M., Taylor, S. W., Wotton, B. M., Stocks, B. J., Alexander, M. E. (2004). Jack pine regeneration and crown fires. *Canadian Journal of Forest Research*, 34: 1634-1641.
- De La Rosa, D., Mayol, F., Fernández, M., Moreno, D., Ruiz, J., Moreno, J. A., Rosales, A., Castillo, V., Moreno, F., Cabrera, F., Girón, I., Cerdón, R., Díaz-Pereira, E., Sánchez, J., Colomer, J. C., Añó, C., Recatalá, L.,

- Antoine, J., Masui, S., Brinkman, R., Horn, R., Prange, N. (2001). Seis.net: Sistema Español de Información de suelos en internet. <http://leu.irnase.csic.es/mimam/seisnet.htm>.
- Gandullo, J. M., Sánchez-Palomares, O. (1994). Estaciones ecológicas de los pinares españoles. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- Gallegos, V., Fernández, P., Valle, G. (2003). Postfire regeneration in *Pinus pinea* L. and *Pinus pinaster* Aiton in Andalucía (Spain). *Environmental Management*, 31: 86-89.
- Gil, L., Gordo, J., Catalán, G., Pardos J.A. (1990). *Pinus pinaster* Aiton en el paisaje vegetal de la Península Ibérica. *Ecología* 1: 469-495.
- González-Alday, J., Martínez-Ruiz, C., Bravo, F. (2008). Evaluating different harvest intensities over understory plant diversity and pine seedlings, in a *Pinus pinaster* Ait. natural stand of Spain. *Plant Ecology*. doi: 10.1007/s11258-008-9490-2.
- González-Martínez, S., Bravo, F. (2001). Density and population structure of the natural regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the High Ebro Basin (Northern Spain). *Annals of Forest Science*, 58: 277-288.
- Härdle, W., Simar, L. (2007). Applied Multivariate statistical analysis. 2<sup>nd</sup> Edition. Springer Berlin Heidelberg New York.
- Holmgren, M., Scheffer, M., Huston, M. (1997). The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology*, 78 (7): 1966-1975.
- Keyes, C. R., Maguire, D. A. (2005). Positive seedling-shrub relationships in natural regeneration of ponderosa pine. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-198. Corvallis, OR. (pp. 95-107).
- Kozłowski, T. T. (2002). Physiological ecology of natural regeneration of harvested and disturbed forest stands: implications for forest management. *Forest Ecology and Management*, 158: 195-221.
- League, K., Veblen, T. (2006). Climatic variability and episodic *Pinus ponderosa* establishment along the forest-grassland ecotones of Colorado. *Forest Ecology and Management*, 228 (1-3): 98-107.
- López, B. C., Holmgren, M., Sabaté, S., Gracia, C. A. (2008) Estimating annual rainfall threshold for establishment of tree species in water-limited ecosystems using tree-ring-data. *Journal of Arid Environments*, 72: 602-611.
- Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., De Pooter, M. (2000). The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN). 12 pp.
- Matney, D. T., Hodges, D. J. (1991). Evaluating Regeneration Success. En: Duryea M. L., Dougherty P. M. (Eds.), *Forest Regeneration Manual*, Kluwer Academic.
- Noy-Meir, I. (1973). Deserts ecosystems I. Environment and Producers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4: 25-52.
- Paluch, J. (2005). The influence of the spatial pattern on forest floor vegetation and silver fir (*Abies alba* Mill.) regeneration in uneven-aged forest. *Forest Ecology and Management*, 205: 283-298.
- Park, A. D. (2001). Environmental influence on post-harvest natural regeneration in Mexican pine-oak forests. *Forest Ecology and Management*, 144: 213-228.
- Qinghong, L., Brakenhielm, S. (1995). A statistical approach to decompose ecological variation. *Water, Air and Soil pollution*, 85: 1587-1592.
- 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. Agrar.: Sist. Rec. For*, 16 (1): 25-38.
- Rodríguez-García, E., Juez, L., Bravo, F. (2010). Environmental influences on post-harvest natural regeneration of *Pinus pinaster* Ait. in Mediterranean forest stands submitted to the seed-tree selection method. *European Journal of Forest Research*, 129 (6): 1119-1128.
- Rodríguez-García, E., Gratzer, F., Bravo, F. (2011a). Climatic variability and other site factor influences on natural regeneration of *Pinus pinaster* Ait. in Mediterranean forests. *Annals of Forest Science*. *In Press*.
- Rodríguez-García, E., Ordóñez, C., Bravo, F. (2011b). Effects of shrubs and canopy cover on the relative growth rate of *Pinus pinaster* seedlings of different sizes. *Annals of forest Science*. doi: 10.1007/s13595-011-0039-5.

- Rodríguez, R. J., Serrada, R., Lucas, J. A., Alejano, R., Del Río, M., Torres, E., Cantero, A. (2008). Selvicultura de *Pinus pinaster* Ait. subsp. *mesogeensis* Fieschi, Gaussen. En Serrada, R., Montero, G., Reque, J. (Eds.), Compendio de selvicultura aplicada en España. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid (pp. 399-430).
- Ruano I., Pando V., Bravo, F. (2009). How do light and water influence *Pinus pinaster* Ait. germination and early seedling development? *Forest Ecology and Management*, 258: 2647-2653.
- Tapias, R., Climent, J., Pardos, J. A., Gil, L. (2004). Life histories of Mediterranean pines. *Plant Ecology*, 171 (1-2): 53-68.
- Tegelmark, D. O. (1998). Site factors as multivariate predictors of the success of natural regeneration in Scots pine forests. *Forest Ecology and Management*, 109: 231-239.
- Ter Braak, C. J. F., Smilauer, P. (2002). Canoco reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for canonical community ordination (version 4.5), Microcomputer Power, Ithaca, NY, USA.
- Vega, J. A., Fernández, C., Pérez-Gorostiaga, P., Fonturbell, M. T. (2008). The influence of fire severity, and post-fire management on *Pinus pinaster* Ait. recruitment in three burnt areas in Galicia (NW Spain). *Forest Ecology and Management*, 256: 1596-1603.