

Análisis de la regeneración natural de *Pinus pinaster* Ait. en los arenales de Almazán-Bayubas (Soria, España)

E. Rodríguez-García*, L. Juez, B. Guerra y F. Bravo

*Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales. Campus de Palencia.
Universidad de Valladolid. Avda. de Madrid, 44. 34071 Palencia. España*

Resumen

La regeneración natural es un proceso clave para el mantenimiento de las masas forestales en el tiempo. Analizarlo, teniendo en cuenta los tratamientos selvícolas empleados para gestionar los rodales, es de vital importancia para el desarrollo de modelos de gestión forestal sostenible.

En este estudio se han inventariado numerosas variables relativas a la estación, a la masa y al diseminado de zonas en tratamiento de regeneración en la modalidad de corta a hecho en dos tiempos por fajas en rodales de Almazán-Bayubas (Soria). El muestreo está basado en el método de los cuadrantes ocupados y fue sistemático y de malla cuadrada de 100 m de lado. Las parcelas utilizadas fueron circulares, de radio fijo 2,5 m y 4,9 m² de superficie por cuadrante. Tras el análisis descriptivo de las variables se elaboraron varios modelos para predecir la probabilidad de éxito de regeneración, la densidad de pies viables, la capacidad productiva y el crecimiento medio anual en altura. Las variables explicativas incluidas resultaron estar relacionadas con el tipo de cobertura del suelo, siendo cobertura y altura del matorral total, de los restos de corta y contenido en arena del suelo las más significativas.

Palabras clave: cortas de regeneración, diseminado, análisis multivariante, *Pinus pinaster*.

Abstract

Natural regeneration analysis of *Pinus pinaster* Ait. in the sandy areas of Almazan-Bayubas (Soria, Spain)

Natural regeneration is a key factor for the maintenance of forest stands through the time. Research on this process, considering the different forestry treatments to manage them, it is high important for the development of sustainable forestry models.

In this study, numerous ecological variables, related to stand, site and seedlings, have been analysed in areas that have been undergone clearcutting leaving seed trees, in Almazán-Bayubas (Soria, Spain). The sampling was systematic using a 100 m squared grid and pots were divided into four quadrants of 4.9 m² of surface and 2.5 m of radius. After data descriptive analysis, several models were built to predict the regeneration probability, viable density, productivity and rate of height's growth. Explanatory variables including in were directly related to soil cover, being shrub cover, logging cover and soil sand content the more significant.

Key words: Regeneration thinning, seedling, multivariate analysis, *Pinus pinaster*.

Introducción

El análisis de la regeneración natural de las masas forestales es de gran importancia para optimizar su gestión. El éxito de este proceso está directamente relacionado con una serie de factores que interaccionan entre ellos y con la planta, y que pueden congregarse en dos grandes grupos; los naturales o intrínsecos al pro-

ceso, como el clima, condiciones edáficas y topográficas, y procesos de competencia, y los antrópicos como aprovechamiento de los montes o el pastoreo. Entre todos, el clima es uno de los principales agentes que controla la regeneración de las plantas a través de la temperatura, la radiación solar y la humedad, siendo la luz un elemento clave a la hora de analizar este proceso, ya que condiciona una dinámica natural absolutamente diferente dependiendo del «temperamento» de la especie en cuestión. Por otro lado, una condición necesaria para que pueda tener lugar la regeneración na-

* Autor para la correspondencia: ergarcia@pvs.uva.es
Recibido: 18-01-06; Aceptado: 24-11-06.

tural es la existencia de una buena producción de semillas, así como condiciones edáficas favorables para recibir las y propiciar la germinación y posterior desarrollo de las plántulas (Rojo y Montero, 1996).

Por lo tanto, la heterogeneidad ambiental a diferentes escalas, espacial y temporal, puede provocar diferencias en los patrones de establecimiento del diseminado, cambiando entre zonas y periodos de tiempo debido a la gran variabilidad climatológica interanual (Marañón *et al.*, 2005). Este hecho influirá directamente en la disponibilidad de micrositios apropiados para la germinación y establecimiento de las nuevas plántulas (Paluch, 2005), y por tanto en el éxito de la regeneración natural de las masas.

A pesar de la importancia de este proceso, debido a la demanda de desarrollo de nuevas estrategias de manejo para la permanencia y uso racional de los recursos forestales, aún no está claro cómo las condiciones estructurales y ambientales dentro de la masa, controlan el establecimiento y crecimiento del regenerado de *Pinus pinaster* bajo diferentes tratamientos selvícolas.

En España las investigaciones llevadas a cabo sobre regeneración natural se han centrado dentro de las pináceas en masas forestales de *Pinus sylvestris*, *P. nigra* y *P. halepensis*, profundizando en la regeneración post-incendio en la mayoría de los casos (González y Bravo, 1997 y 2001; Del Cerro Baraja *et al.*, 2005; Vega *et al.*, 2005). También existen numerosos estudios de regeneración del género *Quercus* (López-Serrano *et al.*, 2005), *Ilex aquifolium* (Gaibar y Arrieta, 2005), *Taxus baccata* (García, 2005), *Abies pinsapo* (Abellanas *et al.*, 2005) y otras especies típicamente europeas como el abeto blanco, el roble albar o el haya (Aunós *et al.*, 2003).

En cambio, los estudios realizados sobre regeneración natural de *P. pinaster* son escasos a pesar de ser una de las especies más representativas del paisaje español y altamente importante en la industria forestal en el norte de España (Barrio *et al.*, 2006). Se trata de una especie pionera y de gran plasticidad ecológica (Gil *et al.*, 1990), de temperamento robusto y que exige mucha luz para desarrollarse (Mesón y Montoya, 1993). Ocupa suelos muy diversos y soporta condiciones climáticas que varían desde el tipo mediterráneo propiamente dicho hasta un clima templado de tendencia oceánica (Blanco *et al.*, 2001). Es destacada su tolerancia a suelos con escasa fertilidad, especialmente los arenosos, y su preferencia por suelos bien drenados, aunque también soporta suelos ácidos pobremente drenados (Alía *et al.*, 1996).

En la meseta norte (comarcas pinariegas de Almazán o Bayubas en Soria, Coca o Cuéllar en Segovia, Medina del Campo o Iscar en Valladolid, o Arévalo en Ávila) el tratamiento de regeneración aplicado de forma tradicional a las masas de *P. pinaster* son las cortas a hecho (casi siempre por fajas) con reserva de árboles padre tras las que, si después de unos años de espera la regeneración natural no se ha instalado de forma pujante, se procede a la siembra con semilla de regiones de procedencia adecuada. En prácticamente todas las zonas se respeta la regeneración avanzada que pueda haberse instalado con anterioridad.

Los métodos de estudio de este proceso pueden enfocarse desde varios puntos de vista, ya sea de forma observacional o experimental, pero básicamente se centran en la descripción a una escala fina del microhábitat de las plántulas (sustrato y características del sotobosque) y de sus patrones espaciales y temporales de establecimiento (Marañón *et al.*, 2005), así como estudios de todas las fases demográficas que lo componen, como producción, dispersión y depredación de semillas, supervivencia y crecimiento de las plántulas.

La regeneración natural es un proceso dependiente de muchos factores ambientales, relativos a la masa, vegetación asociada, fisiográficos y de la interacción entre ellos, lo que produce grandes variaciones en el número de pies regenerados entre unas zonas y otras. Para maximizar las ventajas de la selvicultura relacionadas con tales características y ante esta posibilidad, es necesario valorar y predecir el éxito de regeneración, en términos de densidad y producción futura, bajo diferentes niveles de intervención selvícola y en zonas con distintas características ambientales. El objetivo de este trabajo es desarrollar modelos para estimar el éxito, o analizar las causas limitantes, de la regeneración, la densidad de diseminados viables y la capacidad productiva futura de rodales de *Pinus pinaster* sometidos a cortas de regeneración a hecho en dos tiempos por fajas en función de distintas variables referentes a la estación y a la masa de la zona.

Material y Métodos

Área de estudio

Se han estudiado masas naturales de pino negral situadas en los Arenales de Almazán-Bayubas (Fig. 1), en los términos municipales de Matamala de Alma-

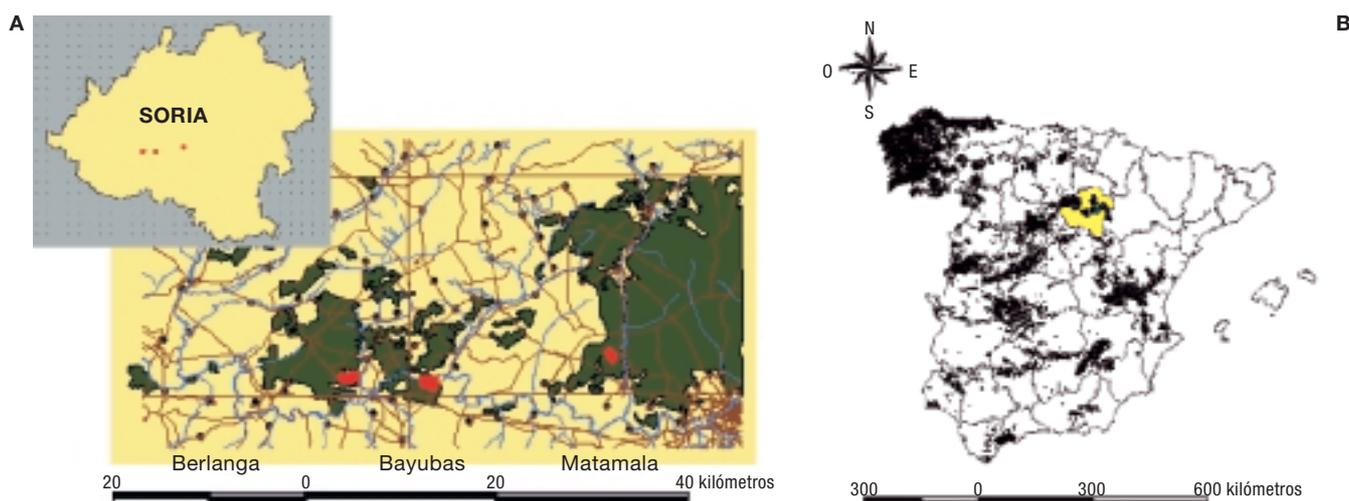


Figura 1. A: Zona de estudio. B: Superficie de *Pinus pinaster* Ait. en la Península Ibérica.

zán, Bayubas de Abajo y Berlanga de Duero (provincia de Soria). Las tres localidades quedan englobadas por las siguientes coordenadas geográficas: 41°30'-41°33' latitud norte; 2°39'-2°55' longitud oeste, y presentan unas características climáticas bastante homogéneas, determinadas por inviernos rigurosos, con hasta 5 meses de heladas, temperaturas mínimas absolutas de -22°C y precipitaciones medias anuales que no sobrepasan los 500-600 mm (Guerra y Bravo, 2004).

A finales del año 2003 se muestrearon 75 parcelas distribuidas en tres montes poblados por masas naturales de pino negral. Los tramos inventariados fueron elegidos de forma que el estudio abarcara la máxima variabilidad posible de calidades de estación y factores que pudieran influir en la regeneración. Todos cumplen las siguientes condiciones: 1) haber sido sometidos a cortas de regeneración en los últimos 10 años, 2) no se ha llevado a cabo ningún tipo de siembra ni plantación en ellos, 3) no han sufrido incendios, clareos u otros hechos que dificulten la interpretación de los resultados.

Las principales características de estos montes, y comunes a todos ellos, son: 1) inexistencia de ganado doméstico y escasa presencia de fauna silvestre, 2) abandono del aprovechamiento de miera, 3) todos han sido sometidos a cortas de regeneración por fajas en la modalidad de reserva de árboles semilleros (entre 1994 y 1999 en Matamala de Almazán y Bayubas de Abajo, y entre 1997 y 2001 en Berlanga de Duero) procurando mantener en pie 25 pies/ha, 4) la extracción de la madera se realizó mediante arrastre con tractor forestal, siendo el propio arrastre la única acción que se realizó sobre el terreno, 5) la eliminación de los restos de corta se realizó mediante quema hasta 1998-1999 y mediante trituración con desbrozadora de martillos a partir de esa fecha.

Los árboles semilleros aún permanecían en pie en el momento del inventario en los tres montes estudiados. En Berlanga, muchos de los elegidos se desarraigaron llegando a derrumbarse en un año hasta 20 pies en toda la zona de estudio (30 ha). En la Tabla 1 se resumen las características principales de los tramos muestreados en cada monte.

Tabla 1. Número de parcelas por término municipal y valores medios de altitud, pendiente, área basimétrica, textura del suelo y edad del regenerado

Término municipal	Monte	T	A (m)	P (°)	AB (m ² /ha)	Textura suelo	EM regenerado (años)	N.º parcelas
Matamala de Almazán	64	23 A	1.010	6,7	4,3	Arenoso-Franco	6,4	29
Bayubas de Abajo	55	3 C	921	6,2	5,9	Arenoso-Franco	7,1	30
Berlanga de Duero	57-78	3	837	5,8	1,6	Arenoso-Franco	3,4	16

T: tronzón. A: altitud. P: pendiente. AB: área basimétrica. EM: edad media. R: rango.

Diseño muestral y datos

Se muestreó la regeneración mediante el método de existencias por cuadrantes (*Stocked Quadrant*) en parcelas circulares, divididas en cuatro cuadrantes, de radio fijo (2,5 m) y 19,6 m² de superficie. El tamaño del cuadrante (4,9 m²) corresponde al espacio disponible para cada pie adulto hipotético con cabida completa, distribución regular y densidad aproximada de 2000 pies/ha, cantidad mínima según Matney y Hodges (1991) para considerar exitosa la regeneración. El método elegido ha sido utilizado en otros estudios de regeneración natural (González y Bravo, 1997, 2001; Gorgoso *et al.*, 2003; Guerra y Bravo, 2004).

Las parcelas se distribuyeron de forma sistemática en los nodos de una malla cuadrada de 100 m de lado, ubicando la primera parcela de forma aleatoria. Se consideró regenerado a todos los árboles con diámetro normal menor de 75 mm, y se denominó pie viable al árbol sano y dominante.

Para cada diseminado inventariable por cuadrante, se registró la altura (cm), desde el cuello de la raíz hasta el último año de crecimiento, el diámetro basal (cm), y normal si el regenerado alcanzaba o superaba los 1,30 m de altura, edad en años (número de verticilos sin tener en cuenta el año actual de crecimiento), viabilidad o estado sanitario y estatus social (dominante/dominado).

En la Tabla 2 se resume la relación de variables más importantes registradas por parcela y referentes a la estación y a la masa, así como las características edáficas más influyentes de un 10% de las parcelas, elegidas de forma que representaran la variabilidad de tipos de suelo presentes en la zona, y calculadas a partir de una muestra de suelo tomada a 20 cm de profundidad. Otras variables auxiliares fueron obtenidas para cuantificar y determinar la producción futura del rodal, como sumatorio de la altura de los regenerados por parcela, proporción de cuadrantes ocupados con al menos 1 pie sano por cuadrante o crecimiento me-

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las principales variables estudiadas

Variable	Media	Ds	Mín.	Máx.	N.º
Altitud (m)	951,35	43,41	903,3	1.010	75
Pendiente (°)	6,29	3,26	5	20	75
Dist. árbol semillero más cercano (m)	13,63	9,42	1,4	40,3	75
AB (m ² /ha)	4,33	3,79	0	21	75
Cob. pinocha (%)	29,27	30,37	0	100	75
Cob. restos de corta (%)	24,24	20,14	0	90	75
Cob. arbórea (%)	0,43	2,94	0	25	75
H arbórea (cm)	37,6	156,41	0	1.000	75
Cob. matorral total (%)	17,37	16,78	0	80	75
H matorral total (cm)	35,13	29,79	0	90	75
Cob. Cistáceas (%)	13,56	16,24	0	80	75
H Cistáceas (cm)	37,05	30,87	0	90	75
Cob. Thymus sp pl. (%)	2,13	4,15	0	20	75
H Thymus sp pl. (cm)	6,59	8,95	0	35	75
Cob. herbáceas (%)	23,49	30,80	0	100	75
H herbáceas (cm)	8,85	12,90	0	60	75
Cob. musgo (%)	3,53	9,44	0	50	75
Otros regenerados (pies/ha)	1,75	2,98	0	18	75
pH del suelo	6,32	0,26	5,93	6,68	75
M O. en suelo (%)	1,87	0,84	0,92	3,48	75
Arena en suelo (%)	84,26	4,67	77	94	75
ED (años)	3,62	2,86	0	14	75
D total (pies/ha)	8.222,21	8.504,70	0	34.285,71	75
D viables (pies/ha)	6.922,87	7.217,01	0	28.571,43	75
SUMA (cm)	685,38	830,76	0	4.031,00	75
CMAH (cm)	7,72	9,54	0	32,74	75

Cob.: cobertura. H: altura. D: densidad total. ED: edad dominante. AB: área basimétrica de la masa adulta. SUMA: sumatorio de alturas. CMAH: crecimiento medio anual en altura. Ds: desviación estándar. Mín.: mínimo. Máx.: máximo. N.º: número de parcelas.

dio anual en altura (CMAH) de 3 árboles sanos y mayores de cinco años por parcela.

Análisis estadístico

Tras un análisis descriptivo de las variables (intervalo de confianza del 95%), se estimaron los coeficientes de Correlación de Pearson y se realizó un análisis multivariante de todas las variables mediante Análisis de Componentes Principales (ACP) para describir de un modo sintético la estructura y las interrelaciones de las variables originales en el fenómeno estudiado, y encontrar aquellas variables más influyentes en el proceso y que pudieran representar de un modo global las características del medio y de la masa.

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

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

donde P es la probabilidad de éxito de regeneración y $\sum b_i x_i$ es una combinación lineal de parámetros b_i y variables x_i . La ecuación logística puede ser formulada para aceptar una variable dicotómica dependiente, como presencia/ausencia de regenerado o un indicador de supervivencia, y los parámetros pueden ser estimados por regresión lineal o por métodos de máxima probabilidad (Monserud y Sterba, 1999). En nuestro caso, la variable dicotómica dependiente fue *densidad de viables*, donde el éxito de la regeneración se codificó como 1 y el fracaso como 0. El éxito de la regeneración se estableció en una densidad de regenerados igual o superior a 2.000 pies viables/ha. Los parámetros de la ecuación final fueron estimados mediante métodos de máxima verosimilitud, y los ajustes alternativos fueron evaluados en función de los signos de las estimaciones de los parámetros y del criterio de información de Akaike (AIC).

La ecuación logística ha sido ampliamente utilizada para modelizar diferentes eventos binarios en investigación forestal (Hamilton, 1976, 1986; Hann y Wang, 1990; Monserud y Sterba, 1999; Álvarez *et al.*, 2004; Bravo-Oviedo *et al.*, 2005).

Por otra parte, se desarrollaron modelos lineales, cuya forma general puede expresarse como:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_{1i} + \beta_2 \cdot X_{2i} + \dots + \beta_k \cdot X_{ki} + \mu_i$$

donde Y_i es la variable dependiente o respuesta; X_{ji} las variables independientes o explicativas; β_j el coeficiente que mide el efecto marginal sobre la respuesta de un aumento unitario en X_{ji} cuando las otras variables permanecen constantes; μ es la perturbación del modelo, o variable aleatoria que presenta el efecto de toda variable que no ha sido incluida en el modelo (Peña, 2002).

Como variables respuesta se probaron las siguientes:

— *Densidad total* (pies/ha) de regenerados (futura masa).

— *Densidad de viables* (pies sanos/ha) sin competencia que determinarán el desarrollo de la masa.

— *Sumatorio de alturas y crecimiento medio anual en altura*, variables relacionadas con la vitalidad del regenerado (Aunós *et al.*, 2003) y la producción de la masa.

Y como variables independientes o regresoras se utilizaron aquellas cuyos coeficientes de Correlación de Pearson resultaron ser significativos y las variables que más varianza explicaron en el análisis de componentes principales. El nivel de significación establecido fue $P = 0,15$ y la evaluación de los modelos se llevó a cabo bajo criterios estadísticos (parámetros significativos al 95%) y biológicos, de forma que pudieran describir la conducta empírica esperada (Soares *et al.*, 1995; Vancly y Skovsgaard, 1997), ya que cada uno de los componentes del modelo debe ser consistente y ajustarse a lo previsto por la teoría selvícola.

Las variables dependientes no siguieron una distribución normal a causa de la gran frecuencia de ceros correspondientes a las parcelas sin regeneración. Para mejorar el análisis estadístico fueron transformadas calculando la raíz cuadrada después de sumarles el valor 0,5; transformación recomendada por Steel y Torrie (1980) para variables que toman valores menores de diez y, especialmente, cero. A pesar de esta transformación la presencia de valores atípicos continuó produciendo una desviación importante de la normalidad, lo que se manifestó en la no significación del Test de Shapiro-Wilk. La variable dependiente crecimiento medio anual en altura no necesitó ninguna transformación para adaptarse a la normal.

Resultados

Distribución de edades

La duración de las cortas de regeneración condiona la forma principal de la masa. El lapso de tiempo du-

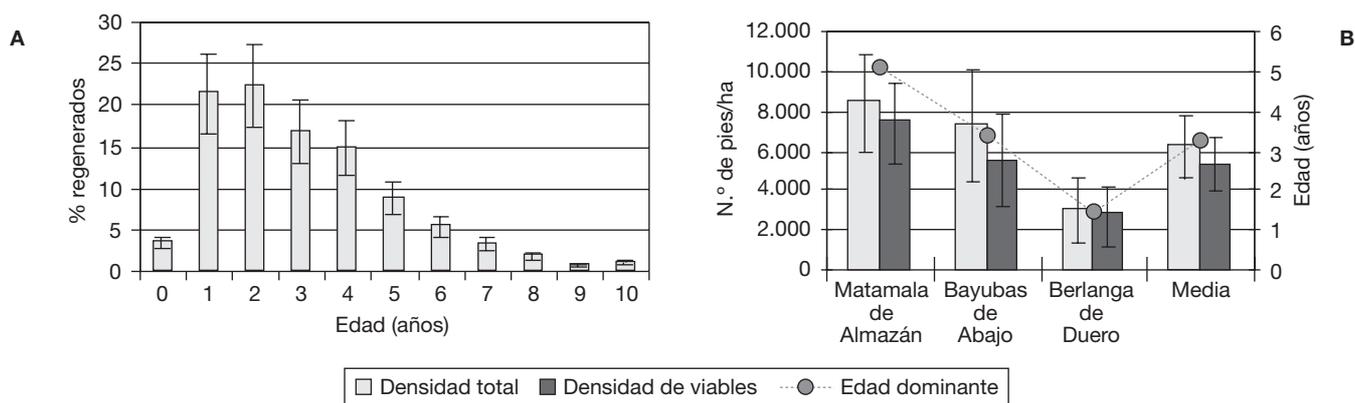


Figura 2. A: Distribución porcentual del número medio de regenerados por edades. B: Densidad total, densidad de viables, edad dominante y media general de los pies en las tres zonas de estudio Las barras representan un intervalo de confianza del 95%.

rante el cual se han regenerado los tranzones estudiados se amplía durante más de 10 años, por lo que la masa resultante será regular al pertenecer, al menos el 90% de los árboles, a una misma clase artificial de edad.

En la Figura 2a se presenta la distribución porcentual por edades del total de regenerados contabilizados. En ella se advierte que sólo unos pocos pies superan la fase de establecimiento, ya que el número de pies decrece gradualmente al aumentar la edad de los mismos.

Densidad total, densidad de viables y cuadrantes ocupados

La densidad media de regenerados (Fig. 2b) fue de 8.222,21 pies/ha ($\pm 1.956,75$) y la distribución en el área de estudio fue irregular, oscilando entre 0 pies/ha y máximos de hasta 34.286 pies/ha. La densidad media de pies viables (Fig. 2b) fue de 6.922 pies/ha ($\pm 1.660,48$) y la media de cuadrantes ocupados por parcela de 2,75 ($\pm 0,33$). En el 43% de las parcelas se contabilizó un pie en cada cuadrante y al requerir dos pies por cuadrante el porcentaje aumentó hasta un 80%. Del total, un 20% presentó entre uno y dos cuadrantes ocupados, lo que sugiere que en un futuro podrían darse pérdidas de producción si no se incorporan nuevos pies.

Crecimiento en altura

Los crecimientos medios anuales aumentaron progresivamente de 11,24 cm/año ($\pm 4,40$) en las parcelas con edad dominante (edad media de los cuatro re-

generados mayores de cada parcela) comprendida entre cero y dos años, a 18,67 cm/año ($\pm 3,91$) en las parcelas de entre seis y ocho años. Los mayores crecimientos individuales se han observado en Bayubas de Abajo con 31,20 cm/año y una edad dominante de 9,5 años.

Composición específica

Respecto a la composición específica del regenerado, en Matamala de Almazán el porcentaje de brinzales de *Pinus pinaster* contabilizados fue del 96,6%, el de *Quercus ilex* un 2,7%, 0,67% para *Quercus faginea* y 0% para *Juniperus thurifera*. En Berlanga de Duero el porcentaje de regenerados de *P. pinaster* supuso un 88,8% del total, de *Q. faginea* un 7,2%, *Q. ilex* un 3,1% y *J. thurifera* un 1%. En Bayubas de Abajo, el porcentaje de *P. pinaster* ascendió hasta un 75,8%, mientras que el de *Q. faginea* fue 11,3%, *Q. ilex* un 9% y *J. thurifera* un 4%. Según la clasificación de tipos de masa propuesta por Madrigal (1994) nos encontraríamos con una masa mono-específica de pino negral en Matamala de Almazán y masas mixtas de pino negral y quercineas en Berlanga de Duero y Bayubas de Abajo.

Se observa que la densidad de los regenerados disminuye de 7.000 a 4.000 pies/ha al aumentar el porcentaje de cobertura de la vegetación acompañante del 50-75% al 75-100%, definiéndose como la suma de cobertura del matorral total (Cistáceas y especies del género *Thymus*, principalmente), herbáceas y musgo.

Al hacer una regresión lineal de la variable densidad total y el porcentaje de cobertura total de matorral, obtenemos un Coeficiente de determinación ajustado ($Adj-r^2$) de $-0,884$.

Tabla 3. Valores de correlación de Pearson ($P < 0,05$)

Variables	D total	D viables	SUMA	CMAH
D total	1	0,97506	0,73	*
D viables		1	0,72	*
HD	*	*	0,68	0,58
DBD	*	*	0,60	0,61
E	*	*	0,45	*
ED	*	*	0,70	*
Edad parcela	*	*	0,50	*
Cob. restos de corta (%)	-0,28	-0,28	*	*
Cob. matorral total (%)	0,33	0,32	*	-0,43
H matorral total (cm)	0,36	0,35	0,42	*
Arena en suelo (%)	-0,33	-0,38	*	*

* No significativo.

Matriz de Correlación y Análisis de Componentes Principales (ACP)

A pesar de la correlación entre muchas de las variables, la mayoría de los valores de Correlación de Pearson fueron menores a 0,50. En la Tabla 3 se han resumido los coeficientes significativos más destacados. Debido al extenso número de variables se construyeron dos grupos según su naturaleza, masa y estación, para llevar a cabo el Análisis de Componentes Principales. En el caso de la estación, se seleccionaron tres factores representativos de las coberturas vegetales existentes, en concreto, cobertura de herbáceas, de pinocha y restos de corta, siendo las variables que mayor porcentaje de varianza explicaban (Tabla 4 y Fig. 3a). De forma que al seleccionar los tres ejes o factores se lograba explicar el 80,25% de la variabili-

dad total. De igual forma, al analizar las variables relativas a la masa residual, los tres factores seleccionados fueron distancia a la fuente de semilla más cercana, cobertura arbórea y altura arbórea (Tabla 4 y Fig. 3b), y al seleccionar los tres factores o ejes se explicaba el 93,62% de la variabilidad total.

Modelos para predecir el éxito de la regeneración

El modelo logístico ajustado, elegido en función del valor del criterio de información de Akaike (Tabla 5), incluye como variables la *cobertura de herbáceas* (Herb), la *cobertura de restos de corta* (Cort) al cuadrado y *cobertura de musgo* (Musg), obteniéndose la siguiente expresión:

Tabla 4. Carga factorial y varianzas explicadas por los factores seleccionados relativos a la estación y la masa

Variables relativas a la estación	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Cob. de herbáceas	0,892	-0,239	-0,239
Cob. de pinocha	-0,359	0,841	-0,357
Cob. restos de corta	-0,023	0,457	0,680
% de varianza representado	38,608	30,966	10,675
% de varianza acumulada	38,608	69,574	80,249
Variables relativas a la masa	Factor 1'	Factor 2'	Factor 3'
Distancia a la fuente de semilla más cercana	0,005	0,942	0,324
Cob. arbórea	0,303	-0,428	0,851
H arbórea	0,999	0,020	-0,036
% de varianza representada	72,184	12,731	8,704
% de varianza acumulada	72,184	84,915	93,619

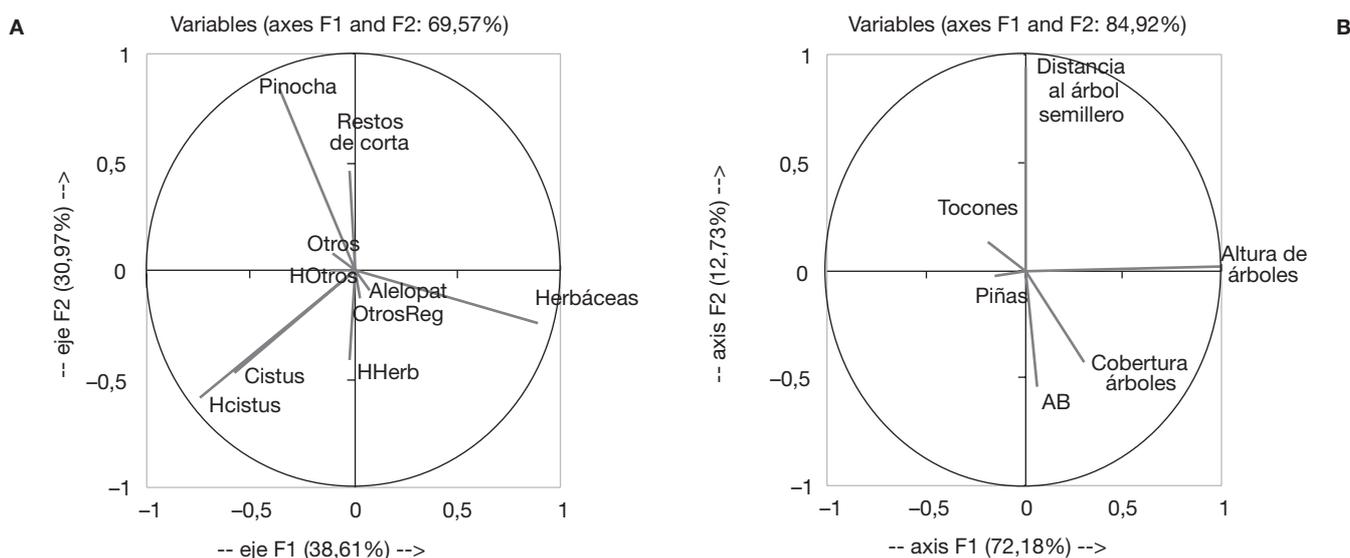


Figura 3. A: Análisis gráfico de la distribución de las variables relativas a la estación y a la masa residual (B) sobre los ejes de los componentes principales.

$$p = \frac{1}{1 + e^{-2.3537 + 0.0278 * Herb + 0.000364 * Cort^2 + 0.0798 * Musg}}$$

De forma que valores altos de cobertura de herbáceas, restos de corta y musgo hacen que la probabilidad de éxito de regeneración en la zona estudiada sea baja, es decir, disminuye la probabilidad de obtener densidades iguales o mayores a 2.000 pies sanos y dominantes por hectárea.

El valor umbral de discriminación de probabilidades establecido para la ecuación seleccionada según el criterio gráfico (Fig. 4a) es de 0,275. Este punto de corte nos proporciona una especificidad de 71,7% y una sensibilidad de 72,7%, siendo la sensibilidad la proporción de sucesos correctamente clasificados sobre el total de positivos y la especificidad, la proporción de sucesos negativos correctamente clasificados sobre su respectivo total. El área bajo la curva ROC es

Tabla 5. Componentes del análisis de máxima probabilidad y criterio (AIC) de ajuste del modelo logístico

Variables	Estima de los parámetros	Error estándar	Chi-square	P>Chi-square
T. independiente	-2,3537	0,5413	10,9045	<,0001
Herb	0,0278	0,00908	9,3636	0,0022
Cort	0,000364	0,000181	4,0307	0,0447
Musg	0,0798	0,0332	5,7780	0,0162

AIC: 82,834.

de 0,793, indicando una buena discriminación (Fig. 4b).

Modelos lineales

El análisis de la varianza y la estimación de los parámetros del modelo lineal final para *densidad total* de regenerados se indican en las Tablas 6 y 7. Los residuos del modelo son normales (Test de Shapiro-Wilk = 0,98; $P < W = 0,62$) y presentan una buena forma, distribuyéndose aleatoriamente a ambos lados del valor cero. Las variables significativas que explican casi el 36% de la varianza de esta variable son contenido en arena del suelo y cobertura de restos de corta, relacionadas de forma negativa, y cobertura de pinocha y altura media del matorral total, relacionadas de forma positiva.

En cuanto al modelo para la *densidad de viables*, incluye las mismas variables que el realizado para la *densidad total*, pero su Coeficiente de determinación ajustado es mayor (un 0,43 frente a un 0,36). El análisis de la varianza y la estimación de los parámetros pueden observarse en las Tablas 6 y 7. Los residuos son normales (Test de Shapiro-Wilk = 0,98; $P < W = 0,36$) y gran parte de las consideraciones referentes al modelo de *densidad total* son igualmente válidas para este modelo. De nuevo, el contenido en arena y los restos de corta tienen una influencia negativa, mientras que la cobertura de pinocha y la altura media del matorral total se relacionan de forma positiva.

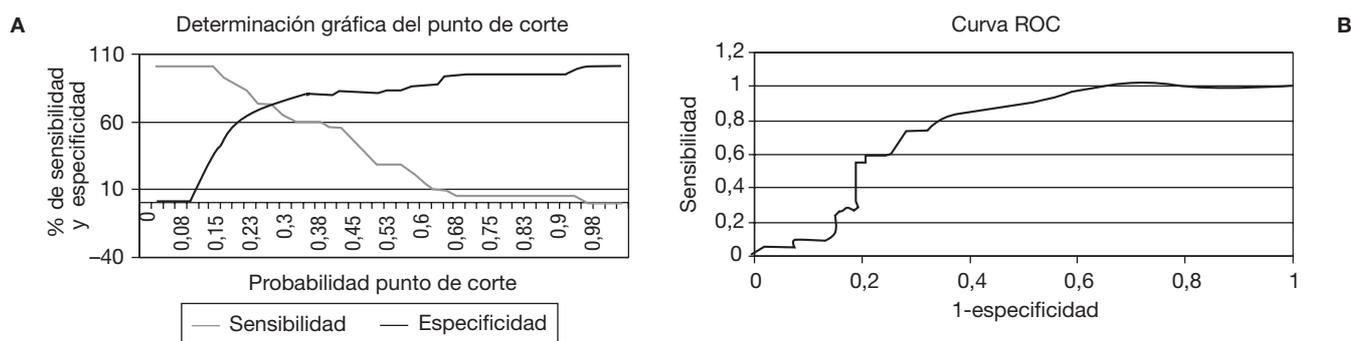


Figura 4. A: Determinación gráfica del umbral de clasificación de las parcelas como éxito o fracaso. B: Curva ROC para el modelo logístico seleccionado.

El *sumatorio de alturas*, parámetro elegido para estimar la producción, está notablemente relacionado con altura media de matorral total y las variables *densidad total* y *densidad de viables* (Tabla 3). El análisis de la varianza y la estimación de los parámetros para del modelo se presentan en las Tablas 6 y 7. Los residuos del modelo son normales (Test de Shapiro-Wilk = 0,99; $P < W = 0,86$) y presentan un buena distribución frente a los valores predichos. El signo positivo del parámetro edad dominante y altura media del matorral total indica un incremento de la suma de las alturas según aumenta la edad de los regenerados y la altura de la vegetación acompañante, en cambio, disminuye cuando aumenta el porcentaje de contenido de arena en el suelo.

Los parámetros estadísticos más representativos de la ecuación elegida para el modelo de *crecimiento me-*

dio anual en altura aparecen en las Tablas 6 y 7. El Test de Shapiro-Wilk es de 0,97 y $P < W = 0,43$ y la forma de los residuos es adecuada. Esta variable está relacionada positivamente con el diámetro dominante del regenerado y la altura media de las herbáceas, mientras que lo hace de forma negativa con la cobertura arbórea.

Discusión

Los procesos de regeneración son fenómenos altamente estocásticos dentro de la dinámica forestal (Paluch, 2005) que varían de un año a otro en función de la interacción de distintos parámetros ambientales. Aunque hasta el momento son escasos los estudios de

Tabla 6. Análisis de la varianza de los modelos lineales de densidad, densidad de viables, suma de alturas y crecimiento medio anual en altura

Fuente	GL	c.v.	R ²	Adj-r ²	s.c.	c.m.	P
Densidad total	4	32,04872	0,407	0,3586	133.512	33.378	<0,001
Error	49				194.546	3.970,31869	
Total	53				328.058		
Densidad de viables	4	32,04872	0,4724	0,4293	141.298	35.325	<0,001
Error	49				157.829	3.220,99894	
Total	53				299.127		
SUMA	3	31,11518	0,6112	0,5879	23.177	7725,6092	<0,001
Error	50				14.741	294,81372	
Total	53				37.918		
CMAH	3	18,70807	0,5609	0,5139	409,87601	136,62534	<0,001
Error	28				320,863	11,45939	
Total	31				730,739		

Tabla 7. Estimación de los parámetros de los modelos lineales de densidad, densidad de viables, suma de alturas y crecimiento medio anual en altura

Modelo	Variable	Estima de los parámetros	P
Densidad total	T. independiente	1.000,11501	<0,0001
	Arena en suelo (%)	-9,91747	0,0001
	Cob. restos de corta	-1,35681	0,0057
	Cob. pinocha	0,77588	0,0177
	H media del matorral total	0,91773	0,0054
Densidad de viables	T. independiente	1.061,6112	<0,0001
	Arena en suelo (%)	-10,84167	<0,0001
	Cob. restos de corta	-1,37733	0,002
	Cob. pinocha	0,8738	0,0035
	H media del matorral total	0,84091	0,0047
SUMA	T. independiente	158,53743	0,0027
	Edad dominante	7,10125	<0,0001
	Arena en suelo (%)	-1,74109	0,0058
	H media del matorral total	0,21987	0,0137
CMAH	T. independiente	12,7609	<0,0001
	Diámetro dominante	1,23011	<0,0001
	H herbáceas	0,10192	0,028
	Cob. arbórea	-0,12979	0,0478

regeneración de *Pinus pinaster*; esta especie no parece presentar problemas de regeneración, al menos a gran escala, aunque si podría darse el caso de tener rodales con densidades insuficientes o pies distribuidos de forma irregular o en grupos, dependiendo del año y condiciones del medio en el que germinen las semillas. Esta distribución podría ser consecuencia de la falta de preparación del terreno o de la heterogeneidad espacial, sobre todo a pequeña escala o de microhábitat.

El análisis de la regeneración en la zona de Almazán revela que un porcentaje muy bajo del diseminado supera la fase de establecimiento y que el número de pies decrece al aumentar gradualmente la edad de los mismos. Y aunque la densidad de pies viables fue superior a 2.000/ha y podemos considerar la regeneración como exitosa, la media de cuadrantes ocupados por parcela fue muy baja, es decir, el regenerado no se encontró distribuido de forma uniforme. Este hecho es característico de regeneraciones como la estudiada, no explosivas y que no ocupan todo el espacio disponible de una vez (González y Bravo, 1997). Por otra parte, el crecimiento en altura aumentó progresivamente con la edad, incremento descrito por otros autores para *Pinus sylvestris* (González y Bravo, 1997), en estudios de regeneración realizados en el Alto Valle del Ebro.

Estudios realizados por Ackzell (1993) con *Pinus sylvestris* y densidades similares a las obtenidas en este estudio indican que la diferencia media de altura entre los árboles que sobreviven y los que mueren es sólo de 40 cm. La diferenciación social y la selección que conlleva son de gran importancia para la estructura y producción futura del rodal. Estos resultados también parecen indicar que la tendencia de estas masas, si se sigue llevando a cabo la regeneración natural, es hacia un aumento paulatino de la proporción de encinas, quejigos y sabinas.

Tras el estudio de correlación entre las variables y el análisis de componentes principales, es patente la influencia que la vegetación acompañante, así como los restos de corta, ejercen en el número de pies viables totales. La cobertura media de restos de corta por parcela observada fue de casi el 25%, lo que supone una ocupación de un cuarto del espacio inventariado y disponible para la instalación y desarrollo de las nuevas plántulas. En cambio, la variable altura media del matorral parece influir de forma positiva en la densidad total, densidad de viables y en la variable sumatorio de alturas, y la altura media de herbáceas en el crecimiento medio anual. Este hecho, *a priori* contradictorio, puede ser consecuencia de la competencia que se establece por la luz (Tíscar, 2003) o por las condiciones de facilitación que podría producir el mato-

rral en los regenerados, ya que pueden proporcionar unas condiciones edáficas y microclimáticas óptimas para el crecimiento, sobre todo en ambientes o épocas de acusado estrés ambiental (Zamora *et al.*, 2001). Bertness y Callaway (1994) consideran que los fenómenos de competencia son menos importantes que los de facilitación en ambientes poco productivos, que la frecuencia de estos puede variar dependiendo del medio en el que se encuentren o época del año y que bajo un arbusto las semillas pueden encontrar un sustrato de germinación más favorable que en los espacios abiertos. En este caso, la media del porcentaje de cobertura del matorral total por parcela fue de un 17%, mientras que la media de la altura del matorral total fue 35%. Estos valores no son muy altos pero podrían marcar el límite, sobre todo la cobertura, entre condiciones favorables para la germinación, establecimiento y supervivencia del regenerado o condiciones de competencia por recursos como la luz, agua y espacio, y por tanto baja probabilidad de éxito. Sin embargo, son muchos los autores que han propuesto que los matorrales pueden facilitar la supervivencia de las plántulas (Zamora *et al.*, 2001, 2005) mejorando las condiciones extremas de temperatura, compartiendo hongos ectomicorrízicos o enriqueciendo el suelo con nitrógeno disponible (Oakley *et al.*, 2003; Gray *et al.*, 2005). Estas observaciones deben considerarse provisionales ya que el diseño de muestreo utilizado no nos permite extraer conclusiones sobre relaciones de causa-efecto. Se precisan nuevos dispositivos experimentales, que ya se encuentran en planificación, para obtener conclusiones del tipo descrito.

Aún así, la importancia de la vegetación de sotobosque queda reflejada de forma parecida en el modelo logístico, donde todos los parámetros incluidos representan una forma de cobertura del suelo, algo que tiene mucho sentido, ya que ésta influye directamente sobre propiedades edáficas como temperatura y humedad. De forma que, al aumentar el porcentaje de cobertura de herbáceas, restos de corta y musgo, la probabilidad de obtener al menos 2.000 pies por hectárea disminuye. Todas suponen a su vez una barrera física que impide el contacto de la semilla con el suelo y su germinación, o el crecimiento y la supervivencia si llegan a instalarse en tales condiciones.

La ecuación obtenida difiere de la presentada por Guerra y Bravo (2004) debido a la inclusión de la variable cobertura de musgo. Esto podría deberse a la omisión en el análisis de la regeneración de algunas observaciones relativas a las variables explicativas del modelo.

Por otra parte, la densidad total aumentó al hacerlo el porcentaje de cobertura de pinocha. El efecto positivo de la pinocha se ve corroborado por Rojo y Montero (1996) que califica a la capa de acículas de pino como productora de una serie de efectos beneficiosos, como retención de agua (hasta 2,5 veces su peso), disminución de la evaporación del agua del suelo, amortiguación de la oscilación térmica y choque de las gotas de lluvia, por lo que disminuye el apelmazamiento del suelo, la erosión, la escorrentía superficial y aumenta la infiltración. Sin embargo, otros autores (Montero *et al.*, 1992) consideran que la pinocha impide que las plántulas nacidas en primavera puedan sobrevivir al verano debido a la acumulación excesiva de restos orgánicos que cubren el suelo.

Además, destaca la relación negativa entre el porcentaje de contenido en arena del suelo y la densidad total, densidad de viables y sumatorio de alturas. Esto podría deberse a las características impuestas al medio por la presencia de arena, en los que la vegetación se ve sometida a unas condiciones ecológicas particularmente duras como elevada porosidad y permeabilidad, y compacidad baja, lo que implica capacidad de retención de agua disponible baja, elevadas temperaturas edáficas estivales, minerales poco meteorizables, pobreza en nutrientes, riesgo de erosión eólica y movilidad del sustrato por otras acciones mecánicas alto. Estos resultados contrastan con los obtenidos por González-Martínez y Bravo (2001) en estudios de regeneración natural de *Pinus sylvestris*, donde la densidad de regenerados viables fue mucho mayor en zonas arenosas que en sitios sin arenas, y con González-Martínez y Bravo (1997), que encontraron significativa la variable contenido de arena en el suelo en un modelo donde se evaluaba el sumatorio de las alturas de los regenerados de *Pinus sylvestris*.

Bravo y Montero (2001), observaron que parámetros edáficos relacionados con la productividad forestal, como la textura y la capacidad de asimilación de nutrientes, contribuían en gran medida a la discriminación entre diferentes clases de sitio para pino silvestre en el Alto Valle del Ebro. Según estos autores, los suelos arenosos generalmente suelen tener menor índice de sitio, mientras que los suelos arcillosos tienden a tener un índice de sitio mayor, y aunque no se puede generalizar de forma clara, tiene sentido que en ambientes mediterráneos los parámetros relacionados con la disponibilidad hídrica sean claves.

En cuanto a la utilización de la variable *sumatorio de alturas* como estimador, tiene el inconveniente de

no introducir variables relacionadas con el diámetro en la evaluación de la producción, pero su justificación teórica radica en el menor crecimiento del diámetro frente a la altura en las primeras etapas de desarrollo del árbol (Carvalho, 1985). A pesar de ello, está bien correlacionada con la producción futura en volumen del rodal (Ackzell, 1993), por lo que adquieren importancia la densidad y los crecimientos iniciales como base de las producciones futuras (González y Bravo, 1997).

En relación a la variable *crecimiento medio anual en altura*, la relación positiva existente entre el diámetro dominante y crecimiento es lógica, ya que el crecimiento de los pies no se realiza sólo en altura sino también en sección. La altura de las herbáceas influye positivamente, mientras que el crecimiento en diámetro de los regenerados decrece conforme aumenta la cobertura del dosel arbóreo.

Conclusiones

Podemos concluir que la regeneración de la zona presenta una distribución contagiosa que ha sido constatada por la alta variabilidad de los datos, teniendo en cuenta el método sistemático del muestreo. En la mayor parte de las parcelas estudiadas se ha registrado la densidad de viables exigida (2.000 pies/ha) para considerar exitoso este proceso, lo que confirma que el tratamiento de corta es apropiado para fomentar la regeneración de *Pinus pinaster* en la zona estudiada. Los criterios a seguir para la elección de los árboles semilleros deben ser principalmente selvícolas, como árboles dominantes sin deformaciones o enfermedades, con buenas copas y con suficiente estabilidad frente al viento o la nieve (índice de esbeltez < 80). En el caso de que no hubiera en la masa suficientes árboles con probabilidades de permanecer en pie hasta la consecución de la regeneración, sería necesario disminuir la espesura de la misma y esperar unos años hasta que el índice de esbeltez de los árboles sea el adecuado.

Las acumulaciones de restos de corta y cobertura de herbáceas y musgo son los factores que más condicionan el éxito o fracaso de la regeneración. En zonas con características similares a las de las zonas estudiadas, la preparación del terreno y la eliminación de los restos de corta podrían ser una buena actuación para incrementar la probabilidad de obtener densidades y crecimientos buenos.

Como ya hemos comentado antes el efecto positivo que hemos detectado entre la altura del matorral y la densidad de la regeneración y el crecimiento debería estudiarse con más detalle para conocer su interacción y proponer pautas de gestión que maximicen el éxito y la producción futura de los rodales.

Las variables fisiográficas de la estación no han resultado significativas. La causa puede radicar en la escasa importancia de estas frente a los factores relacionados con la vegetación, a la competencia en edades tempranas o a la relativa homogeneidad edafoclimática de la zona.

Creemos necesario el desarrollo de nuevos inventarios en épocas distintas a la del muestreo para realizar un seguimiento de la regeneración, y poder así evaluar su estado y desarrollo como masa instalada. También sería interesante realizar estudios de competencia de los diseminados con la vegetación acompañante para entender mejor el patrón de interacción, y otros relacionados con la productividad y el contenido de arena.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos AGL2001-1780 y AGL2004-07094-CO2-O2, del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (2000-2003 y 2005, respectivamente) y por los programas de becas FPI y FPU. También agradecemos la colaboración de Cristóbal Ordóñez, por la ayuda e información prestada.

Referencias bibliográficas

- ABELLANAS OAR B., COCA PÉREZ M., CUADROS TAVIRA S., OLIET PALÁ J., 2005. Análisis de la diversidad estructural del pinsapar puro en la sierra de Grazalema. Influencia sobre la dinámica de la regeneración. IV Congreso Forestal Español, Zaragoza, 26-30 septiembre. pp. 115
- ALÍA R., MARTÍN S., DE MIGUEL J., GALERA R.M., AGÚNDEZ D., GORDO J., SALVADOR L., CATALÁN G., GIL L., 1996. Regiones de procedencia de *Pinus pinaster* Aiton. Servicio Material Genético. Área de Selvicultura y Mejora. INIA-CESEFOR. Cátedra de Anatomía, Fisiología y Genética de la E.T.S.I. de Montes, Madrid.
- ÁLVAREZ GONZÁLEZ J., CASTEDO-DORADO F., RUIZ GONZÁLEZ A.D., LÓPEZ SÁNCHEZ C.A., VON GADOW K., 2004. A two-step mortality model for even-aged stands of *Pinus radiata* D. Don in Galicia (Northwest Spain). *Annals of Forest Science* 61, 441-450.

- AUNÓS GÓMEZ R., BLANCO R., CANET M^a.A., SANGERMAN M., 2003. Pautas de regeneración en las masas monoespecíficas de abeto (*Abies alba*) y haya (*Fagus sylvatica*) del Valle de Arán. Actas de la III Reunión sobre Regeneración Natural- IV Reunión sobre Ordenación de Montes. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- ACKZELL L., 1993. A comparison of planning, sowing and natural regeneration for *Pinus sylvestris* (L.) in boreal Sweden. *Forest Ecology and Management* 6, 229-245.
- BARRIO ANTA M., CASTEDO DORADO F., DIÉGUEZ-ARANDA U., ÁLVAREZ GONZÁLEZ J.G., PARRESOL B.R., RODRÍGUEZ SOALLEIRO R., 2006. Development of a basal area growth system for maritime pine in north-west Spain using the generalized algebraic difference approach. *Canadian Journal of Forest Research* 36, 1461-1474.
- BERTNESS M.D., CALLAWAY R.M., 1994. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology and Evolution* 9, 191-193.
- BLANCO E., CASADO GONZÁLEZ M.A., COSTA TENORIO M., ESCRIBANO BOMBÍN R., GARCÍA ANTÓN M., GÉNOVA FUSTER M., GÓMEZ MANZANEQUE A., GÓMEZ MANZANEQUE F., MORENO SAIZ J.C., MORLA JUARISTI C., REGATO PAJARES P., SAINZ OLLERO H., 2001. Los Bosques Ibéricos. Una interpretación geobotánica. Ed. Planeta. Barcelona.
- BRAVO F., MONTERO G., 2001. Site index estimation in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in the High Ebro Basin (northern Spain) using soil attributes. *Forestry* 74(4), 395-406.
- BRAVO-OVIEDO A., STERBA H., DEL RÍO M., BRAVO F., 2005. Competition induced mortality for Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. and *P. sylvestris* L. *Forest Ecology and Management*. In Press.
- CARVALHO OLIVEIRA A.M.M., 1985. Teoria da produção florestal. 2.^a ed. Centro de Estudos Florestais.
- CEBALLOS L., RUIZ DE LA TORRE J., 1979. Árboles y Arbustos de la España Peninsular. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.
- DEL CERRO BARAJA A., NAVARRO LÓPEZ R., LÓPEZ SERRANO F.R., ANDRÉS ABELLÁN M., GARCÍA MOROTE F., LUCAS BORJA M.E., 2005. La regeneración de los montes de *Pinus nigra* Arn. en la serranía de Cuenca: un problema para la ordenación sostenible. IV Congreso Forestal Español, Zaragoza, 26-30 septiembre. pp. 316.
- GAIBAR ALONSO M., ARRIETA ALGARRA S., 2005. El vallado favorece la regeneración del acebo *Ilex aquifolium* L. en el parque natural de los alcornocales. IV Congreso Forestal Español, Zaragoza, 26-30 septiembre. pp. 394.
- GARCÍA D., 2005. Regeneración natural de tejo (*Taxus baccata* L.) en la Cordillera Cantábrica: implicaciones para su conservación. II Congreso de Biología de la Conservación de Plantas, Gijón, 2-2 septiembre.
- GIL L., GORDO R., ALÍA R., CATALÁN G., PARDOS J.A., 1990. Ecología. Fuera de Serie N.º 1, 469-495.
- GONZÁLEZ MARTÍNEZ S.C., BRAVO F., 1997. Inventario y descripción de la regeneración natural. Aplicación a grupos ordenados de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.). *Montes* 50, 21-28.
- GONZÁLEZ MARTÍNEZ S.C., BRAVO F., 2001. Density and population structure of the natural regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the High Ebro Basin (Northern Spain). *Annals of Forest Science* 58, 277-288.
- GORGOSO VARELA J., LÓPEZ S.C., ROJO A., SÁNCHEZ R.F., 2003. Regeneración natural de *Pinus pinaster* D. Don en las Rías Bajas gallegas. Actas de la III Reunión sobre Regeneración Natural- IV Reunión sobre Ordenación de Montes. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- GRAY A.N., ZALD H.S.J., KERN R.A., NORTH M., 2005. Stand conditions associated with tree regeneration in Sierran Mixed Conifer Forest. *Forest Science* 51(3), 198-210.
- GUERRA B., BRAVO F., 2004. Estudio y modelización de la regeneración de *Pinus pinaster* Ait. en el Sistema Ibérico Meridional. Reunión del grupo de trabajo sobre «Modelización Forestal» de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 18, 167-172.
- HAMILTON D.A., 1976. Modelling the probability of individual tree mortality. USDA Forest Service. Research Paper INT-185.
- HAMILTON D.A., 1986. A logistic model of mortality in thinned and unthinned mixed conifer stands of northern Idaho. *Forest Science* 32, 989-1000.
- HANN D.W., WANG C.H., 1990. Mortality equations for individual trees in the mixed-conifer zone of southwest Oregon. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis Res Bull 67.
- LÓPEZ-SERRANO F.R., DE LAS HERAS J., GONZÁLEZ OCHOA A.I., GARCÍA MOROTE F.A., MOYA NAVARRO D., 2005. Los claros tempranos (a los 5 años de edad) realizados en masas procedentes de la regeneración natural post-incendio mejoran el crecimiento como una consecuencia de una mayor disponibilidad de nitrógeno. IV Congreso Forestal Español, Zaragoza, 26-30 septiembre. pp. 444.
- MADRIGAL A., 1994. Ordenación de montes arbolados. ICONA. Madrid.
- MARAÑÓN T., CAMARERO J.J., CASTRO J., DÍAZ M., ESPELTA J.M., HAMPE A., JORDANO P., VALLADARES F., VERDÚ M., ZAMORA R., 2005. Heterogeneidad ambiental y nicho de regeneración. En: Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ed. Fernando Valladares. Ministerio de Medio Ambiente. Organismo Autónomo Parques Nacionales. pp. 69-101
- MATNEY D.T., HODGES D.J., 1991. Evaluating Regeneration Success. En: Forest Regeneration Manual. Duryea M.L., Dougherty P.M., eds. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.
- MESÓN M., MONTOYA M., 1993. Dendrología. En: Silvicultura Mediterránea. Ed. Mundi-Prensa. pp. 111-115.
- MIROV N.T., 1967. The Genus *Pinus*. The Ronald Press Company. New York. 602 pp.
- MONSERUD Y STERBA, 1999. Modelling individual tree mortality for Austrian forest species. *Forest Ecology and Management* 113, 109-123.

- MONTERO G., ROJO A., ALÍA R., 1992. Determinación del turno de corta de *Pinus sylvestris* en el Sistema Central. Montes 29, 42-48.
- OAKLEY B.B., FRANKLIN J.F., 2003. The effects of fire on soil nitrogen associated with patches of the actinorhizal shrub *Ceanothus cordulatus*. Plant and Soil 254, 35-46.
- PALUCH J., 2005. The influence of the pattern of trees on forest floor vegetation and silver fir (*Abies alba* Mill.) regeneration in uneven-aged forests. Forest Ecology and Management 205, 283-298.
- PEÑA D., 2002. Regresión y diseño de experimentos. Ciencias Sociales. Alianza Editorial. Madrid.
- ROJO A., MONTERO G., 1996. El pino silvestre en la Sierra de Guadarrama. MAPA, Madrid.
- SOARES P., TOMÉ M., SKOVSGAARD J.P., VANCLAY J.K., 1995. Evaluating a growth model for forest management using continuous forest inventory data. Forest Ecology and Management 71, 251-265.
- STEEL R.G.D., TORRIE J.H., 1980. Principles and Procedures of Statistic: A Biomedical Approach. 2nd edition. McGraw-Hill, New York.
- TÍSCAR OLIVER P.A., 2003. Condicionantes y limitaciones de la regeneración natural en un pinar oromediterráneo de *Pinus nigra* subsp. *salzmannii*. Invest Agrar: Sist Recur Fore 12(2), 55-64.
- VANCLAY J.K., SKOVGAARD J.P., 1997. Evaluating forest growth models. Ecological Modelling 98, 1-12.
- VEGA J.A., HERNANDO C., MADRIGAL J., PÉREZ-GOROSTIAGA P., GUIJARRO M., FONTURBEL M.T., CUIÑAS P., 2005. Regeneración de *Pinus pinaster* Ait. tras incendios forestales y medidas selvícolas para favorecerla. IV Congreso Forestal Español, Zaragoza, 26-30 septiembre. pp. 352.
- ZAMORA R., CASTRO J., GÓMEZ J.M., GARCÍA D., HÓDAR J.A., GÓMEZ L., BARAZA E., 2001. El papel de los matorrales en la regeneración forestal. Quercus. 187. Septiembre. pp. 41-47.
- ZAMORA R., GARCÍA-FAYOS P., GÓMEZ-APARICIO L., 2005. Interacciones planta-planta y planta-animal en el contexto de la sucesión ecológica. En: Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ed. Fernando Valladares. Ministerio de Medio Ambiente. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid, España. pp. 371-397.