



5º CONGRESO FORESTAL
ESPAÑOL

5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

REF.: 5CFE01-232

Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León
Ávila, 21 a 25 de septiembre de 2009
ISBN: 978-84-936854-6-1
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

El matorral como herramienta para la regeneración natural de *Pinus pinaster* Ait. en ambientes mediterráneos

RODRÍGUEZ-GARCÍA, E¹., SPIES, T. A². Y BRAVO, F¹.

¹Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales. E. T. S. II. Agrarias de Palencia. Universidad de Valladolid.

Avda. Madrid, 57. Palencia. 34004. España

²USDA, Forest Service. PNW Research Station. Forestry Sciences Lab.

Corvallis, Oregon, 97330. USA

Resumen

La vegetación de sotobosque puede intervenir en la regeneración forestal a través de su influencia en variables microclimáticas como la humedad relativa atmosférica y nutrientes del suelo, a través de la reducción de la temperatura y la radiación solar. Este resultado podría ser aprovechado por plántulas de especies forestales recién instaladas a la hora de soportar la irregularidad de las precipitaciones, condiciones de estrés típicas de ambientes mediterráneos. ¿Pero cómo es el balance de la relación de la regeneración natural de *Pinus pinaster* y el matorral acompañante en ambientes mediterráneos? ¿El matorral facilita o desfavorece la supervivencia y establecimiento de las plántulas? En el periodo de marzo-agosto de 2008, se evaluó la supervivencia de plántulas instaladas en otoño, y las emergidas durante la primavera de ese año a las condiciones del verano. El seguimiento se realizó en un total de veinticuatro parcelas circulares de radio 1 m distribuidas en 6 parcelas de 15 metros de radio con diferente cobertura de dosel, que se utilizaron para caracterizar la productividad y la estructura forestal.

La zona experimental es una masa monoespecífica de *Pinus pinaster* ubicada en las Navas del Marqués (Ávila). Se ha estudiado la relación entre la supervivencia de las plántulas de otoño y primavera de un año, la estructura y productividad forestal, y la influencia del matorral mediante Modelos Lineales Generalizados. El modelo seleccionado (menor AIC, evaluación de los estadísticos Wald y Deviance), indica que la probabilidad de mortalidad para las plántulas establecidas en otoño y en primavera difiere significativamente, siendo mayor para las de primavera. Que a mayor cobertura arbórea menor es la probabilidad de morir, pero que a mayor productividad, mayor es la probabilidad de muerte debido a competencia por recursos. La influencia de la distancia de las plántulas al matorral más cercano resultó significativa y positiva, indicando que a menor distancia, mayor probabilidad de sobrevivir. Estos resultados sugieren que bajo un gradiente de cobertura arbórea, la regeneración natural de *Pinus pinaster* en ambientes mediterráneos puede verse facilitada por la heterogeneidad creada por la presencia de matorral. Su interesante aplicación en los métodos de gestión-restauración de la vegetación, animan al estudio y la experimentación sobre la influencia del matorral en la regeneración natural de otras especies forestales de ambientes mediterráneos.

Palabras clave

Dinámica forestal, matorral, facilitación, ambientes mediterráneos.

1. Introducción

El pino marítimo de ambientes mediterráneos (*Pinus pinaster* subsp. *mesogeensis*) crece principalmente en ambientes xéricos. La gestión de estas masas se lleva a cabo mediante una silvicultura de baja intensidad donde la regeneración natural es un elemento clave.

Aunque en determinadas circunstancias favorables la perturbación de la vegetación natural es mínima, tradicionalmente se propone eliminar o atenuar el efecto de la vegetación espontánea en los programas de reforestación con el fin de reducir la competencia, y facilitar el establecimiento de los plántones o plántulas provenientes de siembra directa (GARCÍA-SALMERÓN, 1991; CUEVAS-SIERRA, ET AL., 1995; MESÓN Y MONTOYA, 1993). Sin embargo, son cada vez más numerosos los trabajos que resaltan la posibilidad de beneficiarse de los matorrales ya presentes, con el fin de reducir marras y aumentar el éxito de la regeneración en ambientes mediterráneos (por ejemplo CASTRO ET AL., 2004; GÓMEZ-APARICIO, ET AL. 2004).

En el caso de la regeneración natural de *Pinus pinaster*, no se conoce bien la dinámica de establecimiento en etapas tempranas y su relación con la vegetación acompañante en ambientes mediterráneos. El matorral puede ser beneficioso para la regeneración natural, ya que se trata de un elemento del paisaje generador de heterogeneidad ambiental, influyendo en las condiciones microclimáticas a su alrededor, como la temperatura y la radiación solar, la humedad y contenido de nutrientes del suelo (CALLAWAY, 1995; GÓMEZ-APARICIO, ET AL., 2004)

2. Objetivos

Analizar la dinámica de supervivencia de plántulas de *Pinus pinaster* durante los primeros meses de vida y su relación con variables estructurales de la masa, y analizar la influencia del matorral en la supervivencia de las plántulas en esta etapa temprana de la regeneración natural.

3. Metodología

El sitio experimental se encuentra en la localidad de Las Navas del Marqués, Ávila. Se trata de un rodal monoespecífico de *P. pinaster* de 25 ha, a 1.050 m de altitud, con exposición NW, y un estrato de sotobosque formado casi exclusivamente por jara pingosa (*Cistus ladanifer* L.). El suelo es silíceo, de tipo Entisol, y el clima es de tipo Mediterráneo. El año de estudio (2008) se caracterizó por un periodo de aridez más largo que la media general (Figura 1), pero no se detectaron diferencias significativas entre ninguna de las variables climáticas de precipitación y temperatura usadas en el contraste entre el clima general de la zona y el del año de estudio. En el año 1996/1997 se realizó la última corta (a hecho en dos tiempos), y desde entonces se mantiene vallado para excluir al ganado.

Para el estudio se utilizaron 6 parcelas de 15 m de radio creadas previamente para otro ensayo. La disposición de estas parcelas fue aleatoria y en función de la cobertura del dosel. Tres parcelas fueron instaladas en áreas con dosel abierto y el resto en áreas con dosel cerrado (Tabla 1). Dentro de cada parcela se instalaron 4 subparcelas de 1 m de radio para el seguimiento de la germinación y supervivencia de las plántulas durante los primeros meses de vida y el estudio del efecto del matorral y la estructura y productividad forestal en dicho proceso. El ensayo comenzó a primeros de marzo y acabó a finales de agosto del 2008, con una evaluación mensual. Las plántulas fueron identificadas y etiquetadas para su seguimiento, y clasificadas en dos épocas de germinación: otoño (ya instaladas al comienzo del ensayo) y primavera (transcurso del ensayo). Se midió la distancia (cm) de cada plántula a su matorral más cercano, y se calculó la densidad inicial de plántulas y la densidad de plántulas supervivientes de



ambas categorías (extrapolado a la ha). Se calcularon las variables ES0 y ES1 para las plántulas de primavera y otoño, respectivamente. Estas variables son el ratio del número de plántulas iniciales total entre el número de supervivientes, e indican el número de plántulas necesarias para que al menos sobreviva una al final del verano. A su vez, se calculó la densidad de regenerados (extrapolado a la ha) instalados en un radio de 2.5 m alrededor del centro de la parcela de 1 m, y la altura (cm) y cobertura (%) del matorral en ese mismo radio. Las variables para la caracterización de la estructura y la productividad forestal se midieron teniendo como referencia la parcela de 15 m de radio, y fueron: área basimétrica (m^2ha^{-1}), densidad de árboles adultos (Nha^{-1}), altura dominante (m) de acuerdo con la definición de Assman, diámetro a la altura del pecho (cm) y cobertura arbórea (%) mediante un densiómetro esférico.

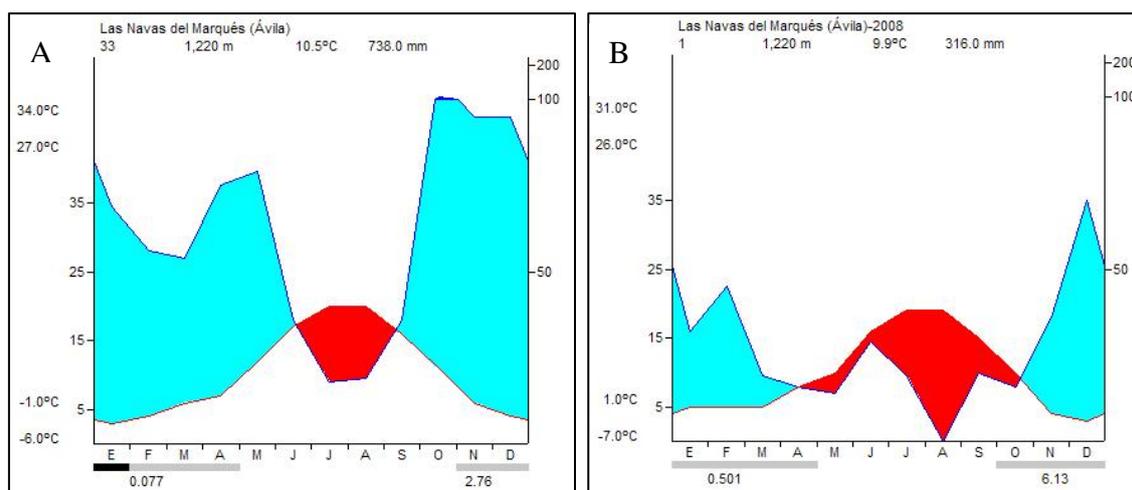


Figura 1. A) Diagrama climático de la zona de estudio (1973-2008). B) Diagrama climático de la zona de estudio para el año 2008

Para la caracterización de las condiciones de micrositio se consideraron dos microambientes: bajo matorral y espacios sin matorral. A finales de julio (mes con más déficit hídrico), se tomaron 3 muestras de suelo de los primeros 20 cm, de cada combinación de microambiente y subparcela ($n=144$). Las muestras de suelo fueron transportadas al laboratorio en bolsas de plástico herméticas para poder calcular la humedad edáfica (%) mediante gravimetría. Con estas mismas muestras se calculó el contenido de macronutrientes (mg/Kg), porcentaje de partículas en función del tamaño (arena, limo, arcilla), la textura (USDA), la conductividad eléctrica (dsm/m), el pH y el porcentaje de materia orgánica. Durante 6 días consecutivos (24-31 julio), se registraron las siguientes variables con ayuda de sensores tipo HOBO Pro v2 (Onset computers, Pocasset, MA, USA): temperatura (°C) del suelo en los primeros centímetros (3 cm) con una frecuencia de 15 min, y la temperatura (°C) y humedad atmosférica (%) sobre la superficie del suelo (10 cm), con una frecuencia de 30 min. La temperatura del suelo (°C) al medio día (12-5 pm) se calculó a posteriori. Se utilizaron tres sensores para cada microambiente y después se calculó la media con los valores de todos los días para evitar pseudoreplicación. El registro se hizo en dos parcelas, una de dosel abierto y otra de dosel cerrado ($n=12$).

El análisis estadístico consistió en un análisis previo de Correlación de Pearson y un Análisis Factorial (método de Componentes Principales) para la reducción del número de variables, las cuales fueron empleadas en el análisis de la probabilidad de

mortalidad de las plántulas mediante un Modelo Lineal Generalizado (GLZ, McCullagh y Nelder, 1989). La variable respuesta fue “supervivencia”, y fue ajustada a una distribución binomial con la función logit. El momento de germinación o categoría de la plántula (otoño/primavera) se utilizó como factor categórico y el resto de variables como factores continuos. Para la elección del mejor modelo se utilizó el Índice de Akaike (AIC) y para la evaluación del mismo se consideraron los estadísticos de Wald y Pearson Deviance. Se utilizó una ANOVA para el análisis de las variables de micrositio y un test de Chi-cuadrado para contrastar las variables categóricas significativas del GLZ. Para los análisis se ha utilizado el programa STATISTICA 6.0.

Tabla 1. Principales características (media \pm error estándar) de las variables de la estructura y productividad forestal del sitio de estudio

Variables	Dosel cerrado	Dosel abierto
CA (%)	33.17 \pm 0.55	5.10 \pm 0.57
Pendiente (°)	7 \pm 0.65	6 \pm 0.57
DA (Nha ⁻¹)	146.19 \pm 7.25	56.59 \pm 5.32
AB (m ² ha ⁻¹)	16.66 \pm 0.79	6.67 \pm 0.38
H0 (m)	17.94 \pm 0.22	14.95 \pm 0.48
dbh (cm)	38.16 \pm 0.07	35.92 \pm 1.17
CM (%)	48.75 \pm 5.43	49.17 \pm 5.14
HM (cm)	135.73 \pm 6.88	134.88 \pm 7.33
Número de parcelas	12	12

CA, cobertura arbórea; DA, densidad arbórea; AB, área basimétrica; H0, altura dominante de Assman; dbh: diámetro a la altura del pecho; CM, cobertura de matorral; HM, altura del matorral

4. Resultados

Del total de plántulas inventariadas, el 77.1% se encontraron en parcelas de dosel cerrado, el 62.1% resultaron estar y/o germinaron en zonas con matorral entre 0-30 cm, y el 60.8 % del total fueron clasificadas como plántulas germinadas en primavera (100 % en junio). El 56.2 % de todas las plántulas registradas estaban muertas al final del verano (agosto), con un porcentaje de mortalidad total del 94.1 % en parcelas con cobertura de dosel bajo y un 49.6 % de mortalidad en parcelas de dosel cerrado. La supervivencia de las plántulas de primavera fue baja en ambos ambientes de dosel, en comparación con la supervivencia de las plántulas de otoño. La muerte de las plántulas se debió a desecación en ambos tipos de plántulas.

La densidad de plántulas de otoño y densidad de germinadas en primavera estuvieron correlacionadas de forma moderada y significativamente, con variables de la estructura y productividad forestal, y con la densidad de regenerados instalados previamente (Tabla 2). La densidad de supervivientes de otoño y supervivientes de plántulas germinadas en primavera estuvieron altamente correlacionadas, y de forma significativa, con la estructura y productividad forestal, densidad de regenerados instalados previamente, y características edáficas de micrositio, principalmente nutrientes y tamaño de las partículas del suelo (arena, limo, arcilla). La densidad de ambos tipos de plántulas, así como la densidad de supervivientes tras el verano estuvieron correlacionadas, y de forma significativa, entre ellas. La densidad de supervivientes estuvo correlacionada de forma significativa con la densidad inicial de plántulas de ambas categorías.

El número medio inicial de plántulas de primavera, necesarias para que al final del verano sobreviviera al menos una, fue de 6 plántulas. La variable ES0, que expresa esta proporción, estuvo correlacionada positivamente y de forma significativa con la cobertura arbórea, el porcentaje de limo, humedad edáfica y concentración de Fósforo (Tabla 2). En el caso de las plántulas de otoño, el número medio inicial de plántulas necesario para que sobreviviera al menos una al final del verano, fue de 2 plántulas. Esta proporción (ES1) estuvo correlacionada significativamente y de forma negativa con la productividad forestal (Tabla 2).

Las condiciones microambientales bajo matorral y en espacios sin matorral, fueron diferentes significativamente para la humedad relativa del aire (mayor, bajo matorral), la temperatura del suelo al mediodía (menor, bajo el matorral) y el pH (mayor, bajo matorral), en las parcelas de dosel cerrado. En las parcelas de dosel abierto, sólo se observaron diferencias significativas entre los microhabitats, en la temperatura del suelo al medio día (menor, bajo matorral). Al comparar los microhabitats, en función del dosel, se observaron diferencias significativas en la humedad relativa del aire (mayor bajo matorral y con dosel cerrado), en la temperatura media del suelo y la temperatura media del suelo al medio día (menor bajo matorral y con dosel arbóreo), en el contenido de humedad edáfica (mayor bajo matorral y con dosel cerrado), conductividad eléctrica (menor bajo matorral y dosel cerrado) y concentración de Fósforo (mayor bajo matorral y dosel cerrado). No se encontraron diferencias significativas entre las variables microambientales para el microhabitat “sin presencia de matorral”, en función del tipo de dosel.

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Pearson entre las principales variables del regenerado y variables de la estructura forestal y microambiente

Variables	D2	D1	D0	DS1	DS0	ES1	ES0	dshr1	dshr0
D2	1	0.51*	0.46*	0.75*	0.55**				
D1	0.51*	1	0.66*	0.84*	0.95**				
D0	0.46*	0.66**	1	0.53*	0.68**				
DS1	0.75**	0.84**	0.53*	1	0.86**				
DS0	0.55**	0.95**	0.68**	0.86*	1				
AB		0.43*	0.45*		0.42*				
H0		0.45*	0.70*		0.44*	-0.56*			
CA		0.55**	0.65**	0.49*	0.53*		0.81**		
Limo					-0.41*		0.71*	-0.53**	
Arena					0.43*				
Arcilla				-0.50*					
VWC							0.81**		
Ca					-0.42*				
P							0.90**		
pH									0.47**
CM								-0.63**	

D2, densidad de regenerados instalados; D1, densidad de plántulas de otoño; D0, densidad de plántulas de primavera; DS1, densidad de supervivientes de otoño; DS0, densidad de supervivientes de plántulas de primavera;

ES1 y ES0 ver definición en texto; dshr0, distancia media de las plántulas de primavera a su matorral más cercano; dshr1, distancia media de las plántulas de otoño a su matorral más cercano; VWC, humedad edáfica; Ca, concentración de Calcio; P, concentración de Fósforo; Ver unidades de las variables en el texto y tabla 1;

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

Las variables rescatadas en el Análisis Factorial que mayor varianza explicaron (64.35 % de varianza acumulada con los tres primeros componentes), y utilizadas en el análisis de la probabilidad de mortalidad, indicaron un gradiente de microproductividad y disponibilidad de agua edáfica en el componente 1 (-arena>+materia orgánica>+[Mg]>+limo>+[Ca]>+Arcilla>+humedad edáfica>+[K]) y un gradiente de estructura o madurez forestal en el componente 2 (+AB>+CA>+DA>+H0) y 3 (+dbh). El signo delante de cada variable indica el signo de la variable en el componente. Las variables seleccionadas tuvieron una puntuación mayor del 0.60 y aquí se han ordenado en función de ésta.

El modelo para el análisis de la probabilidad de mortalidad seleccionado ($p < 0.000$; AIC=363) indicó que la supervivencia entre las plántulas de otoño y germinadas en primavera fue diferente significativamente ($p < 0.000$), siendo mayor la probabilidad de mortalidad durante el verano para las plántulas de primavera (nivel de efecto 0) que para las establecidas de otoño previamente. De entre las variables utilizadas, la altura dominante o productividad fue significativa ($p < 0.000$), y con signo positivo, indicando que a mayor productividad mayor probabilidad de mortalidad; al igual que la distancia de las plántulas al matorral más cercano ($p < 0.000$), la concentración de Magnesio ($p < 0.007$), y porcentaje de arena en el suelo ($p < 0.017$), también significativas y de signo positivo, indicando por tanto, que a mayor distancia entre la plántula y el matorral, mayor concentración de Mg y mayor porcentaje de arena en el suelo, mayor probabilidad de mortalidad.

La cobertura arbórea fue significativa ($p < 0.000$) y de signo negativo, indicando que a mayor cobertura, menor probabilidad de mortalidad. Las variables densidad de regenerados instalados previamente ($p < 0.010$) y la concentración de Calcio ($p < 0.030$) fueron significativas y de signo negativo, indicando que a mayor densidad de individuos instalados y mayor concentración de Ca, mayor probabilidad de supervivencia.

El análisis de contingencia para las variables distancia de las plántulas al matorral más cercano y supervivencia de las plántulas, teniendo en cuenta todo el gradiente de cobertura arbórea, indicó una relación significativa para las plántulas de otoño ($X^2=6.30$; $p=0.012$), pero una relación no significativa para las plántulas de primavera ($X^2=1.203$; $p=0.273$). Analizando por separado, en función del tipo de dosel arbóreo, observamos que la supervivencia de las plántulas de primavera no estuvo asociada significativamente con la distancia al matorral más cercano, ni en parcelas con dosel abierto (donde el 100% de las plántulas de esta categoría murieron), ni en parcelas con dosel cerrado ($X^2=1.14$; $p=0.285$). La supervivencia de las plántulas de otoño estuvo, sin embargo, relacionada de forma significativa con la distancia de las plántulas al matorral más cercano, sólo en parcelas con dosel cerrado ($X^2=6.99$; $p=0.008$).

5. Discusión

De forma general, podemos decir que la estructura y productividad forestal del sitio de estudio han sido los factores determinantes en la dinámica de establecimiento de plántulas de *P. pinaster* estudiada. Las diferencias en la supervivencia encontradas entre parcelas con diferente dosel son el reflejo de la heterogeneidad microambiental generada por la presencia del matorral y el gradiente de cobertura arbórea. De ahí que la densidad de regenerados sea mayor en parcelas con mayor cobertura de dosel y que la probabilidad de mortalidad se reduzca conforme aumenta ésta.

Pero la cobertura arbórea no asegura el establecimiento final, ya que el estrés hídrico puede debilitar la capacidad de tolerar la sombra al imponer una limitación en la asimilación de CO₂ (ARANDA ET AL., 2004, RODRÍGUEZ-CALCERRADA ET AL., 2008) y hacer que las plántulas mueran. Por otro lado, la relación negativa entre la densidad de plántulas supervivientes de primavera y la concentración de Ca, así como la relación positiva entre la variable ES0 y la concentración de P, sugiere una competencia intraespecífica alta en micrositios ricos en nutrientes, impuesta por la necesidad de crecer rápido (PAOLI ET AL., 2007). Estos resultados también indican la posible influencia del Fósforo en las primeras etapas de la regeneración natural de *Pinus pinaster*.

Las diferencias en el desarrollo de las plántulas (tamaño y edad) marcan la influencia y disponibilidad de recursos y la capacidad de asimilar C y acceso al agua (CAVENDER-BARES Y BAZZAZ, 2000). Los resultados aportados en este estudio indican que la probabilidad de supervivencia durante el verano del primer año de vida de las plántulas de *P. pinaster* establecidas en otoño, es diferente significativamente a las de primavera, y que las plántulas germinadas en primavera tienen mayor probabilidad de morir durante el verano que las establecidas en otoño.

Germinar cerca de la época de mayor estrés ambiental, aumenta la probabilidad de muerte por competencia intraespecífica (proceso denso-dependiente), microdistribución de nutrientes, y déficit hídrico impuesto por altas temperaturas y alto nivel de radiación solar. Es aquí donde el matorral podría actuar y ayudar a las plántulas en el establecimiento natural, ya que la heterogeneidad generada por el matorral aumentaría la disponibilidad de estos micrositios seguros.

La presencia del matorral influyó significativamente en la temperatura media de los primeros centímetros de la superficie del suelo, la temperatura del suelo al mediodía y la humedad relativa del aire sobre la superficie del suelo. No es posible generalizar, pero existen evidencias de que las especies de pinos pueden absorber la humedad atmosférica a través de las acículas, mejorando así las relaciones hídricas foliares, ya que la apertura de los estomas de los pinos es sensible a varios indicadores de sequía, incluyendo humedad edáfica, potencial hídrico foliar y humedad atmosférica (RICHARDSON, 1998). El beneficio de una plántula al asociarse a un matorral para el éxito de la etapa de germinación y primer desarrollo también puede ser la mayor disponibilidad de nutrientes (CALLAWAY, 1995). La conductividad eléctrica, contenido de fósforo y el contenido de humedad edáfica en los primeros centímetros del suelo, también fue diferente significativamente en los microambientes con matorral, entre ambos tipos de cobertura de dosel, no encontrándose diferencias en sitios sin la presencia del matorral. Luego la combinación de dosel arbóreo con un sotobosque de matorral heterogéneo puede aumentar la probabilidad de éxito de la regeneración natural de *Pinus pinaster* en ambientes mediterráneos.

La relación entre la supervivencia y la distancia al matorral más cercano sólo resultó ser significativa para las plántulas de otoño y en ambientes de dosel cerrado con el análisis de contingencia. Es difícil saber qué paso con estas plántulas durante la época de invierno, y por qué se asociaron al matorral, pero si las plántulas establecidas en otoño tienen más probabilidad de sobrevivir en su primer año de vida, durante la primera época con más estrés ambiental, y además la proximidad de la plántula al matorral aumenta la probabilidad de supervivencia, podríamos decir que los matorrales



pioneros, y en este caso la jara pringosa, podrían facilitar el establecimiento natural de las plántulas de *Pinus pinaster* en edades tempranas y ambientes con estrés ambiental.

La relación positiva de las plántulas establecidas en otoño como de las germinadas en primavera con el regenerado juvenil, podría indicar la existencia de micrositios buenos o seguros para el establecimiento, o al menos para la germinación. Estos micrositios, podrían estar caracterizados por la presencia de micorrizas, suficientes recursos edáficos, diferenciación de nichos ecológicos impuesta por cambios ontogénicos en las plántulas de *P. pinaster*, o simplemente por la existencia de barreras físicas, como el matorral o troncos de árboles adultos, que a la hora de la dispersión, actúen como “trampa”, captando semillas siempre en los mismos lugares.

Por último, la relación observada entre la densidad inicial de plántulas, la densidad de plántulas supervivientes y el porcentaje de las partículas del suelo en función del tamaño (arena, limo, arcilla), pone también de manifiesto la importancia de las características de la textura y la estructura del suelo, en el proceso de la regeneración natural de *Pinus pinaster*. De los resultados obtenidos con el análisis de la probabilidad mediante GLZs, se desprende que a mayor contenido de arena, y por lo tanto menor humedad edáfica, mayor será la probabilidad de mortalidad de las plántulas, existiendo indicios previos de la influencia de la humedad edáfica en el crecimiento (BUTCHER, 1977) y en la regeneración de *P. pinaster*, controlada a partir de la estructura edáfica (RODRÍGUEZ-GARCÍA ET AL. enviado).

6. Conclusiones

Estos resultados sugieren que bajo un gradiente de cobertura arbórea, podría facilitarse la regeneración natural de *Pinus pinaster* de ambientes mediterráneos, a través de la heterogeneidad creada por la presencia de matorral, y la consecuente influencia en las condiciones bióticas como la temperatura del suelo o la humedad ambiental y edáfica. Su interesante aplicación en los métodos de gestión-restauración de la vegetación, animan al estudio y la experimentación sobre la influencia de la heterogeneidad microambiental creada por la presencia de matorral en la regeneración natural de otras especies forestales de ambientes mediterráneos y técnicas de gestión-restauración vegetal en general.

Es necesario continuar con esta investigación durante varios años y más sitios de estudio para conocer el efecto del clima en esta interacción y tener conclusiones consistentes. Con ayuda de la modelización forestal y la selvicultura, podría estudiarse el potencial de dominancia relativo de diferentes especies de matorral y la regeneración natural de *P. pinaster* y adaptar o desarrollar nuevas técnicas de manejo de vegetación que fomenten el éxito de la regeneración natural.

7. Agradecimientos

Al Ministerio de Ciencia e Innovación por la financiación otorgada a cargo de los proyectos AGL2004-07094-C02-02 y AGL2007-65795-C02-01, y la beca FPI: BES-2005-7498. A Pedro Abati y la Sociedad de Las Navas por facilitarnos la zona experimental. A la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) por los datos climáticos facilitados. A todos los compañeros del Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales por la ayuda prestada en el trabajo de campo. A Valentín Pando y Manuela Huso por su ayuda con el análisis estadístico.

8. Bibliografía

- ARANDA, I. ;PARDO, F.; GIL, L.; PARDOS, J. A.; 2004. Anatomical basis of the change in leaf mass per area and nitrogen investment with relative irradiance within the canopy of eight temperate tree species. *Acta Oecologia* 25: 187-195
- BUTCHER, T.B. 1977. Impact of moisture relationships on the management of *Pinus pinaster* Ait. plantations in western Australia. *For Ecol Manag* 1: 97-107
- CALLAWAY, R. M.; 1995. Positive interactions among plants. *The Botanical review* 61: 306-349
- CASTRO, J.; ZAMORA, R.; HÓDAR, J.A.; GÓMEZ, J.M.; GÓMEZ-APARICIO, L.;2004. Benefits of using shrubs as nurse plants for restoration in Mediterranean mountains: a 4 year study. *Restoration Ecol* 12: 352-358
- CAVENDER-BARES, J.; BAZZAZ, F.A.;2000. Changes in drought response strategies with ontogeny in *Quercus rubra*: implications for scaling from seedlings to mature trees. *Oecologia* 124: 8-18
- CUEVAS SIERRA, Y.; JEREZ DE LA VEGA, M.; JOVELLAR LACAMBRA, L. C.; MARTÍN MUÑOZ, J. C.; MUÑOZ TORRECILLA, E.; RUEDA FERNÁNDEZ, J.; VELASCO FERNÁNDEZ, M. S.; 1995. Manual de forestación. Junta de Castilla y León. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.
- GARCÍA SALMERÓN, J.; 1991. Preparación del terreno. En: Manual de repoblaciones forestales. E. T. S. De Ingenieros de Montes. Ciudad Universitaria. Madrid. pp 411-497
- GÓMEZ-APARICIO, L.; ZAMORA, R.; GÓMEZ, J. M.; HÓDAR, J. A.; CASTRO, J.; BARAZA, E.; 2004. Applying plant facilitation to forest restoration: a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecol Applications* 14: 1128-1138
- MCCULLAGH, P.; NELDER, J.A.; 1983. Generalized Linear Models. 2nd edition. Chapman & Hall. London
- MESÓN, M.; MONTOYA, M; 1993. Selvicultura Mediterránea, Madrid.
- RICHARDSON, D.M. (Ed.). *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge.
- PAOLI, G. D.; CURRAN, L. M.; 2007. Soil nutrients limit fine litter production and tree growth in lowland tropical rain forest of south western Borneo. *Ecosystems* 10: 503-518
- RODRÍGUEZ CALCERRADA, J.; PARDOS, J. A.; GIL, L.; ARANDA, I.; 2008. Ability to avoid water stress in seedlings of two oaks species is lower in a dense forest understory than in a medium canopy gap. *For Ecol Manag* 255: 421-430



RODRÍGUEZ-GARCÍA, E.; JUEZ, L.; BRAVO, F. Effects of soil properties, understory vegetation and shelter tree characteristics as the main factors controlling natural establishment at stand level in Mediterranean forests. The case of *Pinus pinaster* Ait. Enviado a: *European J Forest Reseach*