

Influencia de la luz y la disponibilidad hídrica en la germinación y supervivencia de *Pinus pinaster* Ait.

Irene Ruano, Valentín Pando, Felipe Bravo

RESUMEN

La germinación y supervivencia de las plántulas durante los primeros meses es una fase crítica para la regeneración forestal ya que son muchos los factores que influyen significativamente y que pueden producir un efecto negativo sobre la continuidad de las masas. Para evitarlo, es necesario conocer dichos factores y conocer el alcance de dicha influencia. En este capítulo se analiza la influencia de la luz y de la disponibilidad hídrica en el *Pinus pinaster* Ait. mediante el dispositivo experimental de Mata de Cúellar (ver capítulo 5). Para analizar la influencia de la luz se sembraron semillas en cuatro parcelas del dispositivo. Cada parcela tiene un peso de corta diferente: una parcela testigo (sin corta) y tres parcelas con distinto porcentaje de corta (a hecho, 50% y 25% del área basimétrica). Para analizar la influencia de la disponibilidad hídrica se simularon años húmedos y años secos. El primer verano se regaron la mitad de las semillas y el segundo verano otra mitad, pero de manera que tenemos semillas bajo dos años húmedos, bajo dos años secos, el primero seco y el segundo húmedo y viceversa. El seguimiento de las plántulas en campo duró 18 meses. En términos de germinación y supervivencia, la luz es más importante que la disponibilidad hídrica, obteniendo los mejores resultados con una corta suave (25%). En cambio, en términos de biomasa y crecimiento, la disponibilidad hídrica influye más que la luz. El resultado mejora cuando hay una mayor disponibilidad hídrica pasados unos meses.

1. INTRODUCCIÓN

La regeneración es un proceso complejo, ya que intervienen múltiples factores que condicionan el futuro desarrollo de la masa. Además, los bosques se enfrentan a escenarios ambientales cambiantes en los que las sequías van a ser cada vez más largas e intensas y las temperaturas subirán en términos generales (IPPC, 2007). Estos cambios tendrán una influencia mayor en los momentos claves de la dinámica de los rodales forestales, entre los que destaca la fase de regeneración. El conocimiento actual sobre la regeneración de algunas especies de coníferas o frondosas está bastante avanzado, sobre todo en los ecosistemas templados y boreales. Sin embargo, la extrapolación de esta información para las especies mediterráneas no siempre es posible por las diferencias climáticas y ecológicas (Rodríguez-García *et al.*, 2007).

En este capítulo se analiza, a partir de los resultados obtenidos por Ruano *et al.* (2009), el establecimiento y supervivencia de las plántulas bajo distintas condiciones de luz y de disponibilidad hídrica. Con ello se pretende comprender el impacto de la irregularidad climática sobre la regeneración y así poder definir la estrategia selvícola más adecuada para asegurar la persistencia a largo plazo de este tipo de bosques.

J. Gordó, R. Calama, M. Pardos, F. Bravo, G. Montero (ed.). *La regeneración natural de los pinares en los arenales de la Meseta Castellana. Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible (Universidad de Valladolid-INIA). Valladolid © 2012 (207-218).*

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para poder analizar la influencia de los factores luz y agua sobre la regeneración natural del pino resinero se realizó un ensayo durante los años 2006 y 2007 en el dispositivo experimental de Mata de Cuéllar (ver capítulo 5). Se sembraron 1.200 piñones en cuatro parcelas de dicho dispositivo experimental: parcela 5 con una corta del 25% del área basimétrica, parcela 7 con una corta del 50%, parcela 9 con una corta a hecho de toda la superficie (70 × 70 m) y parcela 10 o parcela testigo, donde no se cortó nada. Así se consideraron cuatro intensidades de luz ya que el peso de corta está directamente relacionado con esta variable. También se aplicaron riegos para simular tormentas de verano. Durante 18 meses se controló la germinación y la supervivencia de las plántulas germinadas. En la Tabla 1 se muestran las temperaturas medias, máximas y mínimas y las precipitaciones estivales y anuales como valores representativos de los cursos climáticos de los dos años considerados.

2.1. Diseño experimental y seguimiento

Se utilizaron semillas de la región de procedencia «Meseta Castellana» de cosecha 2005, suministradas por el Centro Nacional de Mejora Forestal «El Serranillo» (Dirección General del Medio Natural, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino). La siembra se realizó en abril de 2006 y durante los 18 meses siguientes se visitó el dispositivo cada 15 días para controlar la germinación de las semillas y la supervivencia de las plántulas germinadas.

Los piñones se sembraron en grupos de 25, en cinco filas y cinco columnas para poder controlar su germinación, y se protegieron de la predación con una malla metálica de 25 × 25 cm, formando lo que se denominó unidad experimental. En cada parcela del dispositivo experimental se pusieron 300 piñones, es decir, 12 unidades experimentales. A su vez las unidades experimentales se instalaron en grupos de cuatro en tres puntos diferentes de cada parcela. Así queda representada la variabilidad dentro de cada parcela de corta (Figura 1).

Para simular diferentes regímenes hídricos estivales se regó en los meses de máximo calor (desde el 1 de junio al 15 de septiembre). Durante los veranos del 2006 y 2007 se regaron la mitad de las unidades experimentales de forma cruzada para conseguir cuatro regímenes hídricos: dos años húmedos (las unidades experimentales que se regaron los dos veranos), dos años secos (las unidades experimentales que no se regaron ningún año), el primer año húmedo y el segundo seco (las que se regaron el primer verano pero el segundo no), y el primer año seco y el segundo húmedo (las que no se regaron el primer año y el segundo sí) (Figura 2).

Cada unidad experimental se regó con 2 litros de agua cada 15 días durante el período indicado. La dosis de riego se determinó tras el estudio de las precipitaciones estivales de los años húmedos en la zona de estudio y se duplicó la cantidad estimada para compensar la evapotranspiración ya que las temperaturas eran más altas que las que corresponden a los años húmedos.

TABLA 1

Temperatura y precipitación en el dispositivo experimental de Mata de Cuéllar durante 2006 y 2007

	Temperaturas de verano (°C)			Precipitaciones (mm)	
	Media	Máx.	Mín.	Total verano	Total anual
2006	20,13	30,6	9,8	101,8	412,9
2007	19,85	27,5	0,7	159,0	424,0

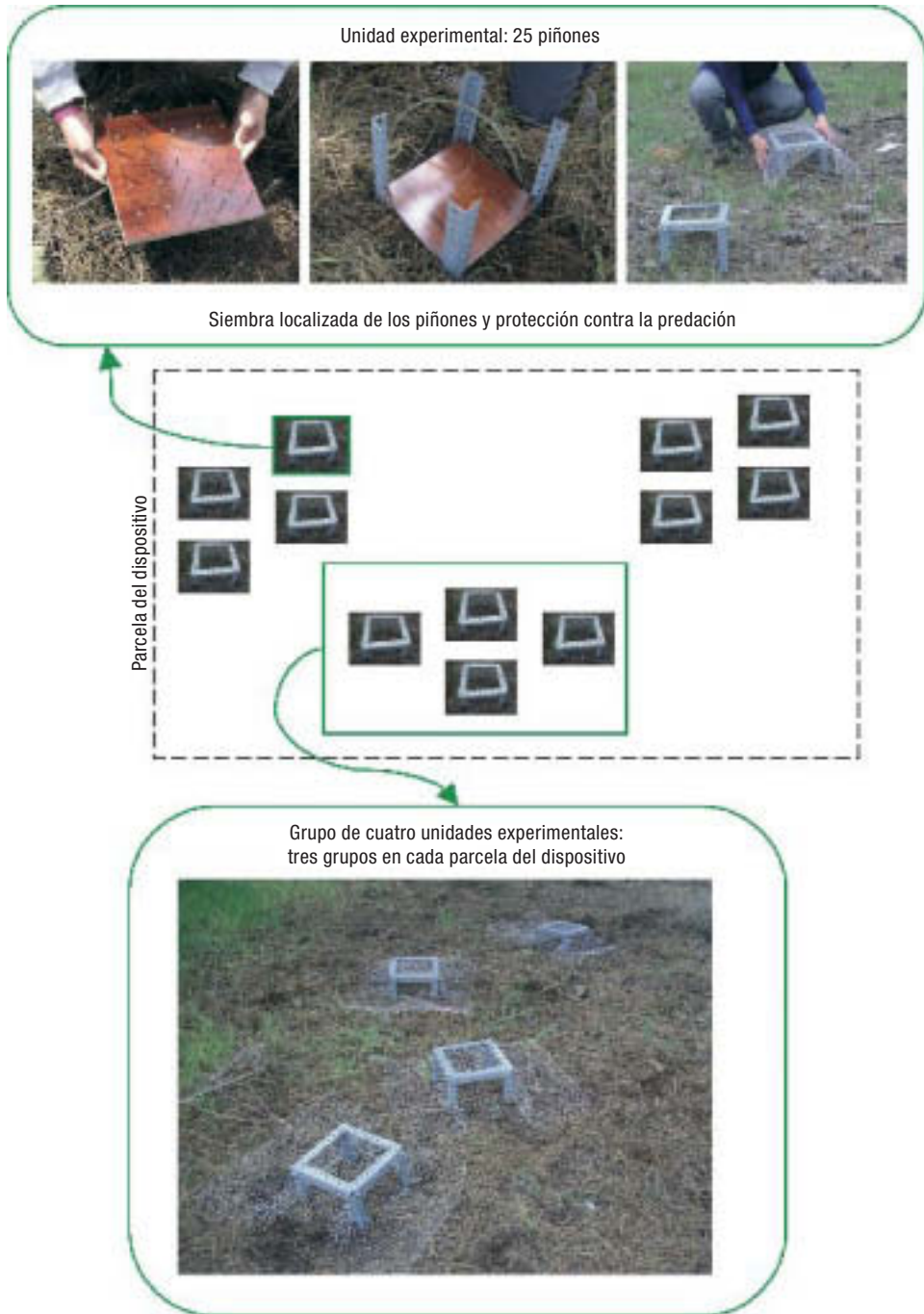


Figura 1

Unidad experimental: instalación y localización.

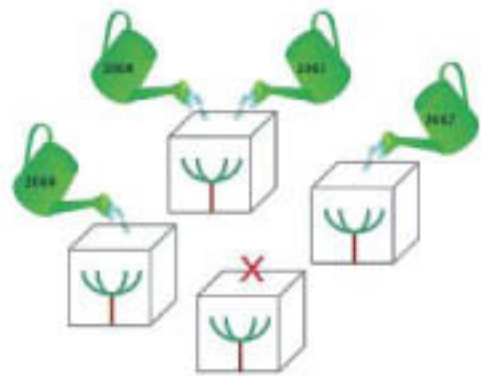


Figura 2

Representación esquemática de los riegos aplicados en cada grupo de 4 unidades experimentales.

Por último se tomaron doce fotos hemisféricas, una por cada grupo de cuatro unidades experimentales, para obtener la caracterización lumínica de las parcelas (Figura 3). Posteriormente dichas fotografías se analizaron con el software especializado Gap Light Analyzer (GLA versión 2.0) que permite calcular parámetros como: la cobertura del dosel (CO), el LAI (Índice de área foliar efectiva por m² de suelo) y la cantidad de radiación total transmitida (directa y difusa), durante la estación de crecimiento (Tabla 2).

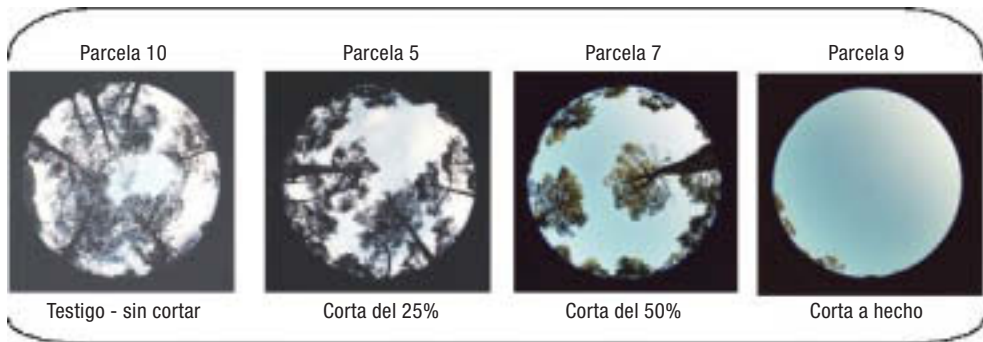


Figura 3

Fotos hemisféricas: equipo necesario y fotos representativas de cada parcela.

TABLA 2

Variables para caracterizar la luz de las parcelas: CO = cobertura del dosel; LAI = Índice de área foliar efectiva sobre un m² de suelo; Trans. Total = Cantidad de radiación total transmitida (directa y difusa)

Porcentaje de corta	CO	CO medio	LAI	LAI media	Trans. total (%)	Trans. total media (%)
0	56,37	49,36	0,54	0,83	54,3	45,20
0	39,00		1,21		34,4	
0	52,70		0,73		46,9	
25	53,84	53,55	0,57	0,62	56,2	52,70
25	55,62		0,63		54,7	
25	51,20		0,65		47,2	
50	48,19	58,26	0,91	0,59	38,2	56,70
50	64,46		0,36		66,3	
50	62,14		0,49		65,6	
100	95,72	91,99	0,00	0,03	99,6	96,00
100	96,96		0,00		99,7	
100	83,28		0,10		88,7	

2.2. Trabajos de laboratorio

Dieciocho meses después de la siembra (noviembre de 2007) se contabilizaron y cosecharon las plántulas supervivientes. Se separaron la parte aérea y la radical para poder tomar las variables que caracterizan el crecimiento individual de las plántulas (Figura 4). Se midió la longitud de la parte aérea, la longitud de la parte radical y el diámetro en el cuello de la raíz. Además las plántulas se secaron a 70°C durante 48 horas para obtener los pesos secos de ambas partes (PAS y PRS). Por último, se estimó el volumen de la parte aérea de las plántulas por semejanza a un cilindro. Estas variables las agrupamos como *variables biométricas* ya que nos indican el crecimiento de las plántulas bajo distintas intensidades de luz y distintos regímenes hídricos.



Figura 4

Extracción de las plántulas al final del ensayo y su división de la parte aérea y parte radical.

Para comprobar que el crecimiento individual de una plántula no está influenciado por el número de plántulas presentes en su unidad experimental calculamos el peso medio por cada unidad experimental, que denominamos peso medio seco (PMAS y PMRS), y la suma total de los pesos de las plántulas de cada unidad experimental, que denominamos biomasa seca (BAS y BRS). Estas variables las agrupamos para facilitar el análisis en el grupo denominado *biomasa total*.

Por último, se seleccionó una plántula superviviente de cada unidad experimental para obtener el área foliar. Se separaron las acículas de cada plántula, se contaron y se escanearon una muestra de 20 acículas por plántula. Con ayuda del software especializado WinNeedle V 4.3B se obtuvo el área foliar media de cada pino a partir de 20 acículas escaneadas y el conteo del total de las acículas para expandir el resultado a toda la plántula.

Las 17 variables obtenidas se agruparon en cuatro grupos: germinación y supervivencia, variables biométricas, biomasa total y área foliar (Tabla 3).

2.3. Análisis de datos

Para realizar el estudio del patrón de germinación y supervivencia (mediante los porcentajes de germinación y supervivencia obtenidos) y el análisis del crecimiento por unidades experimentales (me-

TABLA 3

Características de las variables: número de muestras (n), media, máximo, mínimo y desviación típica

	Variables		n	Media	Máx.	Mín.	Desv. típica
Germinación y supervivencia	Germinación (%)	G	1200	45,000	76,000	4,000	17,940
	Supervivencia sobre las semillas sembradas (%)	SS	1200	14,580	56,000	0,000	15,710
	Supervivencia de las germinadas (%)	SG	540	27,020	88,890	0,000	26,710
Variables biométricas	Peso aéreo seco (g)	PAS	175	0,143	0,561	0,011	0,085
	Peso radical seco (g)	PRS	175	0,051	0,224	0,006	0,036
	Relación entre pesos secos	PAS/PRS	175	3,447	14,250	0,722	1,727
	Longitud parte aérea (mm)	LA	175	71,490	131,210	22,830	19,420
	Longitud parte radical (mm)	LR	175	92,730	151,030	27,950	24,460
	Diámetro en el cuello de la raíz (mm)	D	175	1,140	2,100	0,320	0,250
	Volumen (mm ³)	V	175	81,810	454,460	1,840	57,890
Biomasa total	Peso medio aéreo seco (g)	PMAS	175	0,140	0,334	0,060	0,055
	Peso medio radical seco (g)	PMRS	175	0,051	0,167	0,013	0,028
	Biomasa aérea seca (g)	BAS	175	0,706	2,036	0,060	0,609
	Biomasa radical seca (g)	BRS	175	0,239	0,914	0,013	0,227
Área foliar	Número de acículas	N	37	84,380	174,000	40,000	28,000
	Área foliar media	AFM	37	18,170	29,000	11,000	4,000

diante las variables de biomasa total y área foliar) se realizó un análisis de la varianza con un diseño factorial con 4 niveles del factor luz y 4 niveles del factor riego con sus interacciones. Se utilizó un modelo lineal mixto con cuatro parámetros de covarianza porque se detectó heterogeneidad de varianzas entre los cuatro tratamientos de riego. La formulación matemática del modelo es la siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad [1]$$

siendo: $i = 1, 2, 3, 4$; $j = 1, 2, 3, 4$; $k = 1, 2, 3$.

donde: y_{ijk} \equiv variable a analizar para la jaula k , del tratamiento (i, j) .

μ \equiv efecto de media general.

α_i \equiv efecto de la intensidad de luz i ($i =$ corta 0%, corta 25%, corta 50%, corta 100%).

β_j \equiv efecto del tratamiento de riego j ($j =$ no riego + no riego, no riego + riego, riego + no riego, riego + riego).

$\alpha\beta_{ij}$ \equiv efecto de interacción entre la intensidad de luz i y el tratamiento de riego j .

ε_{ijk} \equiv error aleatorio para la jaula k , del tratamiento (i, j) con Distribución Normal $(0, \sigma^2)$ e independientes.

Para analizar las variables biométricas se utilizó un modelo lineal mixto similar al anterior pero considerando como unidades experimentales cada uno de los árboles supervivientes en cada jaula, no la unidad experimental de 25 semillas. La formulación matemática del modelo es la siguiente:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \gamma_{k(ij)} + \varepsilon_{ijkl} \quad [2]$$

siendo: $i = 1, 2, 3, 4$; $j = 1, 2, 3, 4$; $k = 1, 2, 3$; $l = 1, 2, \dots, nijk$

donde: y_{ijkl} \equiv variable a analizar para el pino l , de la jaula k , del tratamiento (i, j)

μ \equiv efecto de media general

α_i \equiv efecto de la intensidad de luz i ($i =$ corta 0%, corta 25%, corta 50%, corta 100%)

β_j \equiv efecto del tratamiento de riego j ($j =$ no riego + no riego, no riego + riego, riego + no riego, riego + riego)

$\alpha\beta_{ij}$ \equiv efecto de interacción entre la intensidad de luz i y el tratamiento de riego j

$\gamma_{k(ij)}$ \equiv efecto aleatorio de la jaula k , del tratamiento (ij) , con Distribución Normal $N(0, \sigma^2)$

ε_{ijkl} \equiv error aleatorio para el árbol l , de la jaula k , del tratamiento (i, j) con Distribución Normal $(0, \sigma^2)$ e independientes

Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS 9.1 Inc. (2004).

3. RESULTADOS

Se puede observar un patrón de germinación durante los 18 meses de estudio similar en las cuatro intensidades de luz analizadas ya que obtuvieron dos momentos claves de germinación: el otoño de 2006 y la primavera de 2007 (Figura 5). La diferencia entre tratamientos está en el número de semillas germinadas, por ejemplo en abril de 2007 germinaron 62 semillas en la parcela donde se cortó el 25% del área basimétrica frente a 41 semillas que germinaron en la parcela donde se realizó la corta a hecho.

A su vez también se observa un patrón para la supervivencia ya que a partir de la primavera del 2007 comienza a descender el número de plántulas vivas. En la parcela donde se cortó el 25% había 133 plántulas en mayo de 2007 pero al final del ensayo este número se redujo hasta 81. Las otras tres

4. DISCUSIÓN

A partir de los resultados del presente estudio, se ha observado que la intensidad de corta y las precipitaciones de verano tienen una influencia significativa sobre la germinación y el desarrollo temprano de *Pinus pinaster* Ait.

Existen trabajos sobre la germinación, supervivencia y el crecimiento en distintas situaciones de sombra y estrés hídrico: para especies mediterráneas como *Quercus coccifera* L. o *Arbutus unedo* L. (Sánchez-Gómez *et al.*, 2006 a, b y c); para especies calcícolas como *Colutea hispanica* Talavera y Arista, *Gypsophila struthium* (Wilk.) G. López., *Thymus lacaitae* Pau., *Lepidium subulatum* L. y *Helianthemum squamatum* (L.) Dum. (Matesanz *et al.*, 2008); para *Pinus pinaster* Ait., *Pinus halepensis* Mill., *Pinus canariensis* Sweet. y *Pinus pinea* L. (Chambel *et al.*, 2007)... Pero todos estos trabajos se realizaron en vivero, controlando no sólo la luz y el agua disponible, si no también la temperatura, la composición del suelo, las plagas... Además la duración de todos los trabajos consultados es menor de un año. Cabe resaltar que el trabajo presentado en este capítulo se realizó totalmente en campo y su seguimiento duró 18 meses, condiciones que hasta ahora no se habían estudiado para el pino negral.

Fernández *et al.* (1999) analizaron la respuesta de cuatro procedencias de *Pinus pinaster* a la disponibilidad hídrica considerando dos regímenes hídricos. La supervivencia de las cuatro procedencias fue mayor del 97% cuando el agua disponible era suficiente pero este porcentaje fue menor (entre el 67% y el 80%) bajo el tratamiento de sequía. En el presente trabajo no se observó esa influencia tan clara de la disponibilidad hídrica sobre la supervivencia y además dichas tasas no fueron nunca tan altas. Tal vez las condiciones de sequía consideradas por Fernández *et al.* (1999) no fueron tan fuertes como las del presente trabajo.

Sofo *et al.* (2009) analizaron la reacción de olivos de 7 años de edad a la sequía por parámetros de crecimiento de raíces y copa. Observaron que el olivo, ante la falta de agua aumentó el peso seco de las raíces y el volumen de suelo explorado y no creció el dosel. Así consiguió aguantar las fuertes sequías. En cambio en el presente trabajo no se observó en *Pinus pinaster* este aumento de peso seco de las raíces en condiciones de sequía. Al contrario, el peso radical seco es mayor cuando se ha regado, es decir, cuando la disponibilidad hídrica ha sido mayor. Esto puede deberse a la diferencia de edad en las plántulas estudiadas en los dos trabajos, ya que los olivos tenían 7 años y se consideraron como plantas ya establecidas.

González-Alday *et al.* (2008) analizaron la influencia de las tres intensidades de corta sobre la riqueza, diversidad y grupos funcionales de especies bajo el dosel y plántulas de *Pinus pinaster* en el mismo sitio experimental que este capítulo. Observaron que las cortas redujeron el número de plántulas de pino en comparación con la parcela control. La densidad más baja se obtuvo en la parcela de corta a hecho y la más alta en la parcela control, obteniendo en las parcelas del 25% y 50% densidades intermedias, pero no se comprobó la supervivencia de esas plántulas. En cambio en el presente capítulo se ha observado la mayor tasa de germinación y supervivencia en la parcela donde se cortó el 25%.

En este capítulo se han presentado datos que muestran que la intensidad de corta influye más que el régimen hídrico sobre la germinación y la supervivencia, mientras que la disponibilidad hídrica influye más sobre el crecimiento y la biomasa de las plántulas que la luz. Se obtuvo el número más alto de semillas germinadas y de plántulas supervivientes al aplicar cortas suaves (25% del área basal métrica). En dicha parcela aumentó aproximadamente un 50% el porcentaje de germinación comparado con las otras tres opciones y aproximadamente entre un 96 y 226% la supervivencia de las plántulas germinadas.

En cambio, respecto a los cursos climáticos, no se puede definir claramente la mejor opción ya que el segundo año del ensayo (2007) fue más húmedo. Si analizamos los datos climáticos de la estación meteorológica de Cuéllar (Segovia), se observa una diferencia clave entre los dos años de seguimiento. Durante el mes de mayo de 2007 llovieron 107,4 mm repartidos en 18 días, mientras que en mayo de 2006 llovieron sólo 8,6 mm repartidos en 7 días. Según Bogino y Bravo (2008) la precipitación antes y durante la temporada de crecimiento está directamente relacionado con el crecimiento radial para el *Pinus pinaster*. Por lo tanto, la diferencia de precipitación en el mes de mayo probablemente haga que la simulación de las precipitaciones estivales no tenga el efecto esperado. Entonces no podemos afirmar que el segundo año fue igual de seco que el primero. Habría que estudiar más profundamente el agua total que recibieron las plántulas, para ver la influencia de la disponibilidad hídrica en la germinación y la supervivencia en los primeros meses de esta especie.

5. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos se puede decir que la luz regulada por las cortas y la disponibilidad hídrica influyen significativamente sobre la germinación y los primeros meses del *Pinus pinaster*. Por un lado la luz muestra una mayor influencia que la disponibilidad hídrica sobre la germinación y la supervivencia a corto plazo. Por otro lado, la disponibilidad hídrica muestra mayor influencia que la luz sobre las variables biométricas y de biomasa, variables que reflejan el crecimiento de las plántulas una vez instaladas.

La parcela donde se cortó el 25% del área basimétrica muestra los mejores resultados de germinación y supervivencia. Por lo que, a la hora de entrar en la fase de regeneración, aplicar una corta suave favorece la aparición de regenerado y su supervivencia. En cambio las variables biométricas y de biomasa que han sido influidas por la luz nos indican que los mejores resultados se obtienen en las parcelas con las cortas a hecho o del 50%. Esto indica que una vez instalado el número adecuado de plántulas se puede aplicar una corta más fuerte para favorecer el crecimiento de dichas plántulas. El problema está en conseguir un número suficiente de dichas plántulas para considerar la regeneración como adecuada.

Por último, respecto a la disponibilidad hídrica, dado que los dos años analizados fueron diferentes entre sí, no se puede afirmar qué régimen hídrico ofrece mayores beneficios en cuestión de germinación y supervivencia aunque los resultados obtenidos muestran que el agua disponible después de pasados unos meses da lugar a mayores crecimientos.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se llevó a cabo dentro del proyecto de investigación AGL2007-65795-C02-01 financiado por el Plan Nacional de I+D+i del Ministerio de Ciencia e Innovación. Ha sido posible realizarlo gracias al Contrato cofinanciado por el Ministerio de Ciencia e Innovación mediante el subprograma de Personal Técnico de Apoyo y el Fondo Social Europeo. La Red CE de nivel II del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino facilitó los datos climáticos.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA LA GESTIÓN

La luz tiene una mayor influencia que la disponibilidad hídrica sobre la germinación y supervivencia temprana de *Pinus pinaster*.

Sin embargo, la disponibilidad hídrica tiene una mayor influencia que la luz sobre el tamaño y el crecimiento de las plántulas una vez instaladas.

Las cortas progresivas favorecen la aparición del regenerado y su supervivencia mientras que una puesta en luz una vez que el regenerado está instalado favorece el crecimiento de las plántulas.

7. LISTADO DE REFERENCIAS

- Bogino, S., Bravo F. (2008). Growth response of *Pinus pinaster* Ait. to climatic variables in central Spanish forests. *Annals of Forest Science* 65: 506.
- Chambel, M. R., Climent, J., Alía, R. (2007). Divergence among species and populations of Mediterranean pines in biomass allocation of seedlings grown under two watering regimes. *Annals of Forest Science* 64: 87-97.
- Fernández, M., Gil, L., Pardos, J. A. (1999). Response of *Pinus pinaster* Ait. provenances at early age to water supply. I. Water relation parameters. *Annals of Forest Science* 56: 179-187.
- González-Alday, J., Martínez-Ruiz, C., Bravo, F. (2009). Evaluating different harvest intensities over understory plant diversity and pine seedlings, in a *Pinus pinaster* Ait. natural stand of Spain. *Plant Ecology* 201: 211-220.
- Matesanz, S., Escudero, A., Valladares, F. (2008). Additive effects of a potentially invasive grass and water stress on the performance of seedlings of gypsum specialists. *Applied Vegetation Science* 11 (3): 287-296.
- 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). *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 16 (1): 25-38.
- 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.
- Sánchez-Gómez, D., Valladares, F., Zavala, M. A. (2006a). Functional traits and plasticity in response to light in seedlings of four Iberian forest tree species. *Tree Physiology* 26: 1425-1433.
- Sánchez-Gómez, D., Valladares, F., Zavala, M. A. (2006b). Performance of seedlings of Mediterranean woody species under experimental gradients of irradiance and water availability: trade-offs and evidence for niche differentiation. *New Phytologist* 170: 795-806.
- Sánchez-Gómez, D., Valladares, F., Zavala, M. A. (2006c). Seedling survival responses to irradiance are differentially influenced by low-water availability in four tree species of the Iberian cool temperate-Mediterranean ecotone. *Acta Ecologica* 30: 322-332.
- Sofo, A., Manfreda, S., Fiorentino, M., Dichio, B., Xiloyannis, C. (2008). The olive tree: a paradigm for drought tolerance in Mediterranean climates. *Hydrology and Earth System Sciences* 12: 293-301.