

Buscando la diversificación estructural y específica en repoblaciones de *Pinus pinaster* Ait: Entresaca por bosquetes pequeños y corta a hecho en dos tiempos

Searching for structural and specific diversification in *Pinus pinaster* Ait. reforestations: Group selection system (with small gaps) and seed tree system

de Frutos, S.^{1*}; Fernández-Ramírez, S.¹; Barrero, D.²; Martínez, G.²; García-Plasencia, S.²; Castilla, M.A.^{1,2}; del Río, M.³; Ruiz-Peinado, R.³; Roig-Gómez, S.¹; Bravo-Fernández, A.¹

¹ Departamento de Sistemas y Recursos Naturales. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid. C/ José Antonio Novais 10. 28040 Madrid

² LIGNUM Forestal. Calle Andorra, 65, 9º C, 28043 Madrid

³ Centro de Investigación Forestal (CIFOR-INIA). Ctra. de La Coruña, km. 7,5. 28040 Madrid

Autor para correspondencia: sergio.defrutos.lopez@alumnos.upm.es

Resumen

La gran superficie ocupada en España por repoblaciones protectoras con edades cercanas al turno exige abordar urgentemente su regeneración. El temperamento heliófilo de *Pinus pinaster* Ait. obliga a aplicar cortas continuas, justificadas selvicolamente pero que provocan impacto paisajístico y riesgo de erosión. Buscando regeneración suficiente y diversificación estructural y específica pero minimizando riesgos, se han instalado dos dispositivos experimentales en repoblaciones de *Pinus pinaster* de 50-65 años de edad situadas en Júcar (Arbancón, Guadalajara) y Nava del Horno (Fuencaliente, Ciudad Real), cortando a hecho en otoño de 2017 por bosquetes circulares pequeños; además, en Fuencaliente se han ejecutado cortas a hecho en dos tiempos sobre rodales contiguos. Un año después de las cortas, en Júcar se ha conseguido regeneración de pino abundante y uniformemente repartida en bosquetes con diámetros iguales a 1.5 y 2.5 veces la altura dominante de la masa: densidades medias en otoño de 4500 pies ha⁻¹ y supervivencia estival media del 67 %, valores significativamente superiores a los de las zonas sin tratar. En Nava del Horno, el otoño posterior a las cortas la regeneración media es de 1500 pies ha⁻¹ (en bosquetes, con diámetros de 2 a 3.5 veces la altura dominante) y de 2300 pies ha⁻¹ (cortas a hecho en dos tiempos), densidades inferiores a las de Júcar, posiblemente por los efectos del aprovechamiento sobre el suelo. No se han apreciado signos de erosión. La regeneración de otras especies aún es muy escasa, pero tamaños de bosquete inferiores a los habituales están consiguiendo regeneración suficiente.

Palabras clave: regeneración, erosión, repoblaciones protectoras, adaptación, cambio global.

Abstract

The large area occupied in Spain by protective reforestations with ages close to rotation requires urgently to focus on its regeneration. The shade intolerance trait of *Pinus pinaster* Ait. requires the application of continuous cuttings, silviculturally justified but which can cause landscape impacts and erosion hazard. With the aim of achieving enough regeneration and structural and specific diversification, but minimizing these risks, two experimental sites have been installed in 50-65 year old *Pinus pinaster* reforestations, located in Júcar (Arbancón, Guadalajara) and Nava del Horno (Fuencaliente, Ciudad Real). Group selection cuttings were applied in both sites along autumn 2017. Additionally, in Fuencaliente seed-tree method cuttings were also applied. A year after, first results show that in Júcar there is enough regeneration in the gaps of diameters equal to 1.5 and 2.5 times the top height of the stand with: average densities of 4500 trees ha⁻¹ and a summer average survival of 67%, values significantly higher than those in control plots. In Nava del Horno (gaps have diameters between 2 and 3.5 times the top height), in the following autumn average densities reach 1500 trees ha⁻¹ in gaps, and 2300 trees ha⁻¹ in seed tree method areas, lower than Júcar's densities, possibly because of the harvesting impacts on soil. No signs of erosion were detected. Other species regeneration is still low, but smaller gaps are being able to achieve enough pine regeneration.

Keywords: regeneration, erosion, protective reforestations, adaptation, global change.

1. Introducción

Durante la segunda mitad del siglo XX, el paisaje forestal de nuestro país cambió gracias a las numerosas repoblaciones realizadas, muchas de ellas con un objetivo protector frente a la erosión y ejecutadas con especies intolerantes a la sombra, en muchos casos del género *Pinus*, como pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) o pino resinero (*Pinus pinaster* Ait.). Actualmente, estas repoblaciones presentan una serie de problemas: monoespecificidad y coetaneidad, que hace las masas menos resilientes frente a algunas perturbaciones, como plagas o incendios (Griess and Knoke, 2011); problemas de adaptación al sitio; ausencia de tratamientos selvícolas y problemas de adaptación al cambio climático (Madrigal, 1998).

Incrementar la diversificación estructural y específica de las repoblaciones es actualmente uno de los principales retos de la gestión forestal, aumentando así los niveles de biodiversidad de las masas repobladas y consiguiendo que sean más resilientes y estén mejor adaptadas al cambio global (Yousefpour *et al.*, 2017). Algunas de las actuaciones que persiguen la diversificación de las repoblaciones, y, a su vez, hacen frente a los problemas detectados en estas masas, son:

1. Los tratamientos de mejora (clareos, claras, ...), para intervenir sobre la diversidad estructural del rodal (Montes *et al.*, 2004; Crecente-Campo *et al.*, 2009; Verschuyt *et al.*, 2011) o controlar la diversificación específica del mismo (Rodríguez-Calcerrada *et al.*, 2008, Castillo *et al.*, 2009).
2. La implantación de núcleos de dispersión (Martín-Alcón y Coll, 2013), que consiguen la diversificación específica en dos fases, una primera con la propia conformación del núcleo y la segunda con la dispersión de semilla de esos pies una vez sean maduros sexualmente.
3. Los tratamientos de regeneración (aclareos sucesivos uniformes (ASU), cortas a hecho con reserva de pies, entresacas, ...) (Solís, 2003).

Con respecto a esta última alternativa, aunque muchas de las masas de repoblación procedentes del Plan General de Repoblación Forestal de España (PGRFE) aún no han alcanzado la edad de madurez, es conveniente comenzar ya con cortas de regeneración para abordar su diversificación estructural y específica además de conseguir masas ordenadas (distribución equilibrada de clases de edad por superficies) para siguientes turnos, aunque ello exija asumir inevitables sacrificios de corcabilidad al principio por defecto y luego por exceso durante el primer turno (Madrigal, 1998).

Entre los tratamientos de regeneración, la aplicación de ASU o cortas a hecho en dos tiempos ha sido lo más frecuente en pinares de *Pinus pinaster* (Guerra y Bravo, 2004; Rodríguez-Soalleiro *et al.*, 2008; Rodríguez-García *et al.*, 2011a; Vergarechea *et al.*, 2019). Sin embargo, la entresaca por bosquetes puede ser muy in-

interesante en la búsqueda de esa mayor diversificación, ya que con este tratamiento se puede conseguir una masa irregular a nivel de cantón y de cuartel a través de cortas a hecho en bosquetes menores de 5 ha, a la vez que posibilita la incorporación de otras especies al plantearse un gradiente de condiciones ambientales a pequeña escala entre el borde y el centro del bosquete (Serrada, 2011).

Este método de diversificación de repoblaciones ya fue planteado por Carreras y García Viñas (1998) para masas de pino carrasco y negral en Almería, y por Solís (2003) en los pinares de repoblación del PGRFE en Guadalajara, recomendando este tipo de cortas especialmente en zonas con presencia de especies acompañantes que se quieran potenciar. Galiana *et al.* (2001) pusieron en marcha un dispositivo experimental sobre *Pinus halepensis*, que ha sido monitorizado en diferentes estudios en años posteriores (Escrig *et al.*, 2005; Palacio, 2013), sin embargo, no tenemos constancia de ensayos similares sobre *Pinus pinaster*.

Si además tenemos en cuenta que las predicciones del IPCC marcan escenarios para el futuro en los que las masas forestales van a tener que afrontar unas nuevas condiciones climáticas, las cuales serán más adversas en el ámbito mediterráneo (Giorgi y Lionello, 2008; Ribalaygua *et al.*, 2013), adelantar los procesos de regeneración natural de las masas puede ser particularmente importante. Por una parte, ante las posibilidades de un decaimiento de la masa en el futuro que pueda llevar a una ausencia o disminución de producción de semilla fértil o ante mayores dificultades estacionales para la regeneración (Serrada *et al.*, 2011; Walck *et al.*, 2011), por otra, en la fase de regeneración se produce una importante selección natural, por lo que cabe esperar que la nueva generación esté más adaptada a unas condiciones climáticas más estresantes que las que sufrieron en su día sus progenitores (Lindner *et al.*, 2010). Es por ello que la selvicultura adaptativa para el cambio global constituye una herramienta imprescindible en la gestión actual y futura de las masas forestales, siendo sus pilares la diversificación específica y estructural y la reducción de la vulnerabilidad de los bosques ante los nuevos escenarios climáticos (García-Güemes y Calama, 2015; Améztegui *et al.*, 2017).

La selvicultura constituye además una herramienta para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que propuso la ONU en 2015 y que son abordados por la Agenda 2030. Con este fin, las masas de repoblación españolas constituyen una gran oportunidad y unas superficies clave para alcanzar dichos ODS.

El objetivo general de este trabajo es analizar la regeneración conseguida en repoblaciones de *Pinus pinaster* un año después de la ejecución de cortas de diferentes tipos y características. En concreto, se pretende:

1. Evaluar la realización de bosquetes de tamaño más reducido al empleado tradicionalmente como estrategia para garantizar la regeneración de *Pinus pinaster* en masas monoespecíficas, disminuyendo el riesgo de erosión.
2. Comparar distintos tratamientos (entresaca por bosquetes y cortas a hecho en dos tiempos) en relación con la regeneración y diversificación específica de las masas estudiadas.

3. Analizar los factores condicionantes para el éxito de la regeneración (especialmente competencia con matorral).
4. Observar si existe algún tipo de patrón espacial en la aparición del regenerado dentro del bosque y, en caso afirmativo, analizar qué factores condicionan dicho patrón.

2. Material y métodos

2.1. Sitios de estudio

Para la elaboración de este estudio se cuenta con dos dispositivos experimentales instalados sobre repoblaciones de *Pinus pinaster* procedentes del PGRFE, sobre los que se han ejecutado diversas cortas de regeneración. Dichos dispositivos se localizan en los montes de Utilidad Pública nº 261, “Jócar”, del término municipal de Arbancón (Guadalajara), situado en Sierra Gorda, cadena montañosa menor situada al sur de la sierra de Ayllón; y nº 6, “Nava del Horno”, del término municipal de Fuencaliente (Ciudad Real), en plena Sierra Madrona.

El dispositivo de Jócar (Arbancón) se encuentra situado sobre una repoblación forestal de *Pinus pinaster* monoespecífica, con escasos ejemplares de otras especies procedentes de colonización natural, ejecutada en 1969 mediante plantación sobre terrazas con subsolado, y sobre la cual se han realizado ya dos claras. La orientación general de la ladera es NW, la cota media es de 1070 m y las pendientes medias se sitúan en el entorno del 30%. El suelo, siguiendo la clasificación de la FAO (1988), es un alisol háplico, esto es, con un horizonte de acumulación de arcillas y baja saturación de bases en profundidad.

Por su parte, el dispositivo de Nava del Horno (Fuencaliente) se encuentra situado en un pinar de repoblación de *Pinus pinaster*, pero con abundante presencia de distintas especies de frondosas en el subpiso: *Quercus pyrenaica* Willd. y *Arbutus unedo* L. predominantemente, *Quercus faginea* Lam. y *Quercus suber* L. en menores proporciones. Según el proyecto de Ordenación vigente (Motos y Cabrera, 2009) la repoblación del monte, mediante siembra, tuvo lugar en 1954. La orientación general del dispositivo es NE, la altitud media de 900 m y la pendiente media del 22%. El suelo, en este caso, es un luvisol háplico, similar a los alisoles de Jócar, pero con alta saturación de bases en profundidad.

2.2. Dispositivos experimentales

2.2.1. Jócar

Las cortas, realizadas en diciembre de 2017 y consistentes en entresacas por bosquetes de diferentes tamaños, se ejecutaron mediante apeo manual de todos los pinos situados en el bosque, respetando las otras especies; y saca con skidder, eliminándose los restos a través de quema en hogueras dentro de los mismos bosquetes.

El dispositivo instalado en Júcar consta de 3 repeticiones, en cada una de las cuales encontramos 3 tratamientos: control (sin actuación; tres parcelas por repetición), bosquetes pequeños (tres bosquetes por repetición, circulares de 26 m de diámetro, 1.5 veces la altura dominante (H_0), consultar valor en *Tabla 1*) y bosquetes grandes (tres bosquetes por repetición, 44 m de diámetro, 2.5 veces H_0). Por tanto, en total se dispone de: 9 parcelas sobre área control, 9 bosquetes pequeños y 9 bosquetes grandes.

En cada área control se realizó un inventario dasométrico para caracterizar la masa en parcelas de 10 m de radio, tomando dos diámetros normales perpendiculares de todos los pies y la altura total y de copa de los 4 pies más gruesos por parcela. También se replantearon cinco subparcelas de regeneración por parcela, una en el centro de la parcela de 10 m y las otras cuatro en los cuatro radios principales (N, S, E y W), a 10 metros del centro (*Figura 1*).

La disposición de las subparcelas de regeneración dentro de los bosquetes fue la siguiente (*Figura 1*): 25 parcelas por bosquete pequeño y 29 por bosquete grande, distribuidas en 8 radios. En los radios cardinales principales (N, S, E y W) se han situado dos parcelas a distancias fijas en el caso de los bosquetes pequeños y tres en los grandes, mientras que en los radios secundarios (NE, SE, NW y SW) se han situado tres parcelas. Además, en las orientaciones de solana y umbría puras

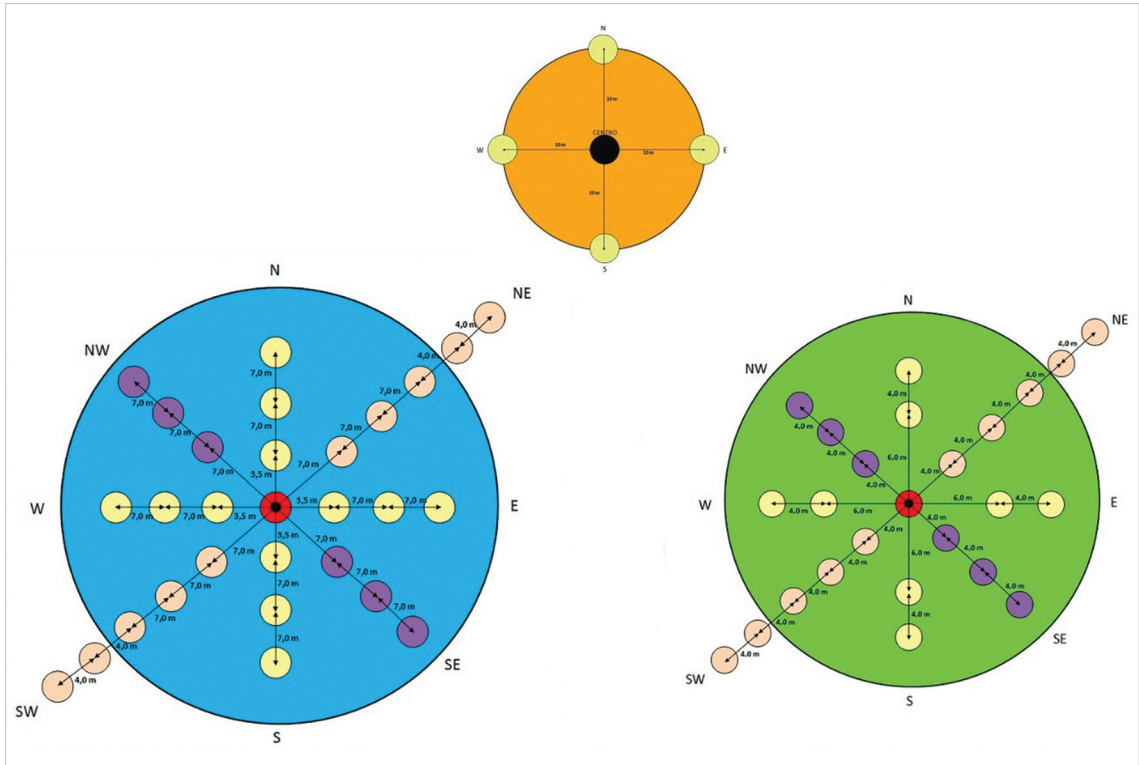


Figura 1. Disposición espacial de las subparcelas de regeneración en las parcelas control (arriba, centro), bosquetes grandes (abajo, izda) y bosquetes pequeños (abajo, dcha). Dispositivo de Júcar (Guadalajara).

(SW y NE) se han colocado dos parcelas en la prolongación del radio, pero fuera del bosque, para evaluar el efecto que abrir la masa puede tener en la regeneración de la masa no intervenida.

Las subparcelas de regeneración, utilizadas en todos los dispositivos con los que cuenta este estudio, son circulares con radio de 1 m, tamaño escogido por su facilidad para ser replanteadas y medidas por una sola persona. En cada subparcela de regeneración se anotó información sobre todos los ejemplares de menos de un año de pino resinero y otras especies arbóreas: numeración unívoca, localización en croquis y medición de diversas variables (no se detallan por no ser utilizadas en el presente trabajo). Además se efectuaron mediciones de: cobertura y altura del matorral y del estrato herbáceo; espesor y cobertura de restos orgánicos (distinguiendo entre finos —diámetro < 2,5cm— y leñas —diámetro > 2.5 cm); e indicios de erosión (laminar o en regueros).

En total se dispone del siguiente número de subparcelas de regeneración: 45 en áreas control, 225 en bosquetes pequeños y 261 en bosquetes grandes.

2.2.2. Nava del Horno

El dispositivo cuenta con dos tratamientos selvícolas diferentes: entresaca por bosquetes de diferentes tamaños y corta a hecho en dos tiempos (este último es el método de regeneración habitualmente empleado en la zona), situados uno al lado del otro en la misma ladera, y que fueron ejecutados en septiembre de 2017 mediante apeo y tronzado con cosechadora forestal y desembosque con autocargador.

En este dispositivo se cuenta con 14 bosquetes, con un rango de diámetros entre 36 y 62 m, equivalentes a entre 2 y 3.5 veces la altura dominante de la masa (*Tabla 1*). La distribución de las subparcelas de regeneración dentro de los bosquetes es similar a la de los bosquetes grandes de Júcar, replanteándose 29 parcelas por bosque, si bien en este caso las distancias entre subparcelas dentro de los radios varían entre bosquetes, habida cuenta del amplio rango de diámetros de bosque ejecutados, aunque para cada bosque estas distancias permanecen fijas.

Por su parte, en cuando al inventario de la masa adulta remanente dentro de los bosquetes, debido a la existencia de una relativa abundancia de pies adultos de especies acompañantes, principalmente *Arbutus unedo* y *Quercus pyrenaica*, se tuvo que realizar un inventario dasométrico de diámetros, alturas totales y de copa y proyecciones de copa y localización dentro de los bosquetes de estos pies.

Además, en la corta a hecho en dos tiempos situada junto a los bosquetes en Fuencaliente, se replantearon 14 parcelas de 20 metros de radio, en las que se ha realizado un inventario dasométrico de los pies adultos remanentes de la corta (tanto pinos como frondosas), con las mismas variables que el inventario dasométrico dentro de los bosquetes. En este caso, la localización de las subparcelas de regeneración fue similar al caso de las parcelas control de Júcar, con una subparcela en el centro de la parcela de 20 m de radio y otras 4 en los radios cardinales principales (N, S, E y W), a 10 m del centro de la parcela de inventario dasométrico.

Las mediciones realizadas en las subparcelas de regeneración en Nava del Horno fueron idénticas a las llevadas a cabo en Júcar, añadiendo la variable dico-

tómica “Suelo removido”, que se considera como tal cuando es muy evidente el efecto sobre el suelo del paso de la maquinaria empleada durante el aprovechamiento mecanizado.

En total se dispone del siguiente número de subparcelas de regeneración: 406 en bosquetes y 70 en la zona de cortas a hecho en dos tiempos.

Hasta el momento, se han realizado ya dos inventarios de regeneración en el dispositivo de Júcar (primavera y otoño de 2018) y un inventario en el dispositivo de Fuenaliente (otoño-invierno de 2018).

2.3. Análisis realizados

En este trabajo se presentan los resultados preliminares de los dos primeros inventarios en Júcar y el primer inventario en Nava del Horno. Por una parte, se ha realizado un análisis descriptivo y comparativo del regenerado de *Pinus pinaster* en los distintos tamaños de bosqueque disponibles, cortas a hecho en dos tiempos y parcelas control y, en el caso de Júcar, también de la supervivencia estival. Por otro lado, se presentan resultados sobre presencia de erosión, matorral y especies acompañantes. Para las comparaciones se han utilizado ANOVA unifactoriales, junto al test de Tukey para la comparación de medias, mediante el software estadístico RStudio.

3. Resultados y Discusión

3.1. Caracterización dasométrica

La caracterización dasométrica de la situación previa a la corta en los dos dispositivos experimentales arrojó densidades de pino ligeramente superiores a los 400 pies ha⁻¹ en el dispositivo de Júcar, mientras que en Nava del Horno la densidad era inferior, situándose en valores cercanos a los 300 pies ha⁻¹, con valores su-

Tabla 1. Caracterización dasométrica de los dispositivos experimentales.

Dispositivo	N Pt (pies ha ⁻¹)	G Pt (m ² ha ⁻¹)	Dg Pt (cm)	N Qp (pies ha ⁻¹)	G Qp(m ² ha ⁻¹)	DgQp (cm)	Ho (m)
Júcar (pre)	413.8	31.8	31.2			Sin presencia	17.5
Nava del Horno (pre)	318.8	36.3	38.6	30.0	0.7	16.6	18.0
Nava del Horno (post)	35.2	5.8	45.8	14.2	0.2	12.6	

(N: número de pies por hectárea, G: área basimétrica por hectárea, Pt: *Pinus pinaster*, Qp: *Quercus pyrenaica*, Ho: altura dominante *Pinus pinaster*, Dg: diámetro cuadrático medio). Nota: “Pre” hace referencia a la situación pre-corta, “Post” a la post-corta, y Nava del Horno (post) sólo hace referencia a la zona de corta a hecho en dos tiempos.

periores de área basimétrica y diámetro cuadrático medio en el segundo de los dispositivos (*Tabla 1*). Aparentemente la calidad de estación es algo superior en Júcar: calidad aproximada correspondiente a 18 m de altura dominante para Júcar, y a 15 m de altura dominante para Nava del Horno, en ambos casos para 80 años como referencia, según Bravo Oviedo *et al.* (2004).

Igualmente, se puede comprobar también la mayor diversidad específica previa a la corta en el dispositivo de Nava del Horno, pues presenta densidades apreciables de *Quercus pyrenaica*, entre otras frondosas.

En la corta a hecho en dos tiempos de Nava del Horno, tras la intervención han quedado tan solo unos 35 pies ha⁻¹ de *Pinus pinaster*.

3.2. Densidad del regenerado de *Pinus pinaster*

3.2.1. Júcar

Como se puede observar en la *Tabla 2*, la regeneración en los dos tamaños de bosque de Júcar (tanto en primavera como en otoño) es muy superior al umbral de los 2000 pies por hectárea que, siguiendo a Rodríguez Soalleiro *et al.* (2008), son considerados como límite inferior para una regeneración exitosa de *Pinus pinaster* (límite que lógicamente sólo debe ser tomado como referencia aproximada).

Tabla 2. Densidad de regenerado de *Pinus pinaster* por tratamiento y fecha de inventario (año siguiente a las cortas) en los distintos tratamientos ensayados en los dos dispositivos.

Tratamiento	Primavera		Otoño		Supervivencia	
	Media	Desv. típica	Media	Desv. típica	Media	Desv. típica
Júcar (bosquete pequeño)	5911.5	3184.3	4833.6	2990.4	67.1	23.7
Júcar (ext. bosq. pequeño)	6896.7	3770.0	3625.2	1723.6	53.8	23.8
Júcar (bosquete grande)	4187.5	2514.0	4230.0	2775.1	66.4	17.0
Júcar (ext. bosq. grande)	2033.6	3900.5	1149.5	1358.3	37.8	37.1
Júcar (control)	1909.9	1530.2	565.9	700.2	30.9	22.6
Nava del Horno (bosquetes)			1546.1	1005.8		
Nava del Horno (ext. bosquetes)	Sin datos		6479.9	4315.4	Sin datos	
Nava del Horno (CH2T)			2273.6	2214.7		

Notas: (i) CH2T significa corta a hecho en 2 tiempos; (ii) se incluyen los resultados de parcelas exteriores a bosquetes en ambos dispositivos, pese a no ser tratamientos; (iii) unidades: pies*ha⁻¹ para densidades, % para supervivencia

Tras aplicar un ANOVA unifactorial, encontramos diferencias significativas en primavera entre los tratamientos (nivel de significación del 95%, p-value: 0.0138); realizando un test de comparación de medias, comprobamos cómo la densidad de regenerado en bosquetes pequeños es significativamente mayor (p-value: 0.0104) a la existente en las parcelas control (*Figura 2*).

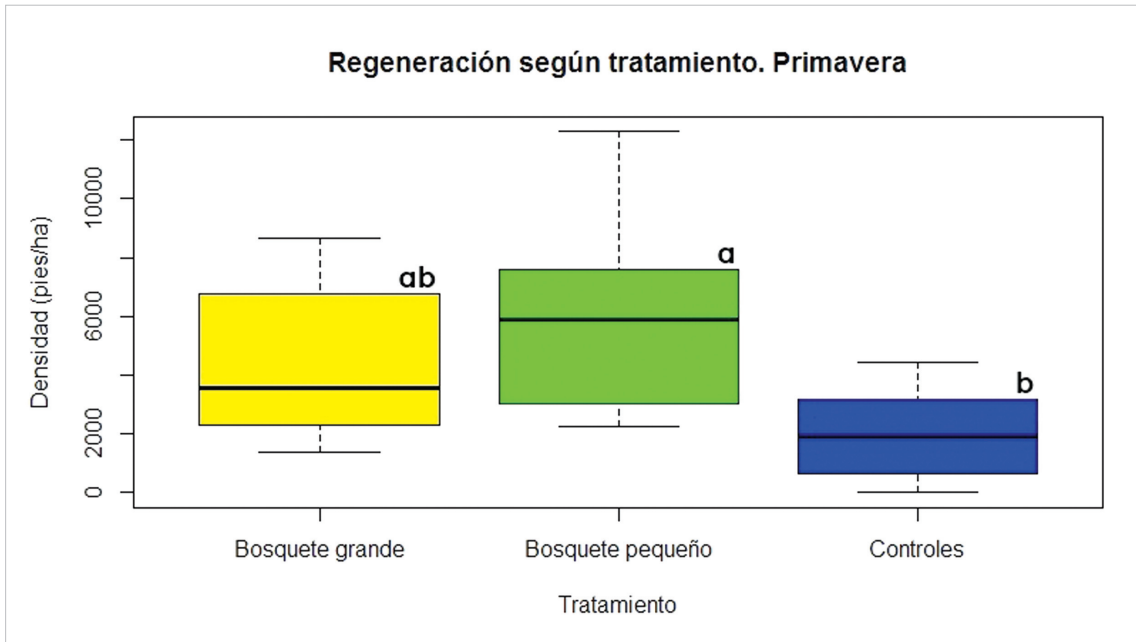


Figura 2. Comparación mediante diagrama de cajas y bigotes entre los distintos tipos de tratamientos presentes en Júcar, en primavera de 2018. La presencia o ausencia de la misma letra en distintos tratamientos indica la ausencia o presencia de diferencias significativas entre ambos tratamientos.

En otoño la situación es similar: el ANOVA nos arroja diferencias significativas entre tratamientos (p-value: 0.003); realizando un test de comparación de medias comprobamos que son entre las parcelas control y los dos tamaños de bosque (p-valores: 0.004 para el bosque pequeño, 0.014 para el bosque grande). La *Figura 3* nos permite una visualización gráfica de estos resultados.

Seguramente este éxito en la regeneración venga provocado por las condiciones meteorológicas del año 2018, con una primavera y un verano bastante lluviosos —sobre todo, un mes de septiembre tres veces más lluvioso (108 mm) que la media de la última década (37 mm)—, pero también indica que pese al reducido tamaño de los bosquetes, el hueco es suficiente para conseguir regeneración en densidades consideradas exitosas. El efecto favorable de un verano fresco y húmedo ha sido comprobado en varios trabajos (Ruano *et al.*, 2009 y Rodríguez-García *et al.*, 2011a) en el ámbito geográfico de la Meseta Norte, y por de Frutos (2019) en otro estudio en el grupo de montes de Fuencaliente.

3.2.2. Nava del Horno

Para el dispositivo de Nava del Horno, tanto la *Figura 4* como la *Tabla 2* nos muestran que las densidades, en este primer año de inventario, no pueden ser todavía consideradas exitosas en los bosquetes cortados (1546 pies ha⁻¹), y superan tan solo ligeramente en su valor medio (2274 pies ha⁻¹) la referencia de los 2000 pies ha⁻¹ en el caso de la corta a hecho en dos tiempos.

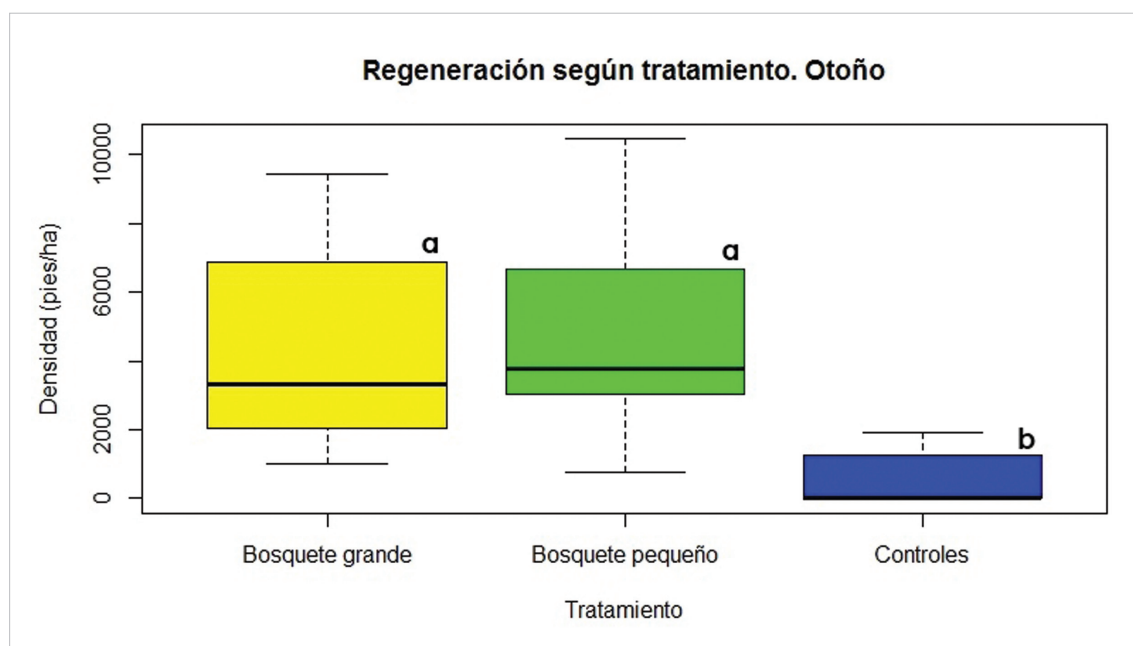


Figura 3. Comparación mediante diagrama de cajas y bigotes entre los distintos tipos de tratamientos presentes en Júcar, en otoño de 2018. La presencia o ausencia de la misma letra en distintos tratamientos indica la ausencia o presencia de diferencias significativas entre ambos tratamientos.

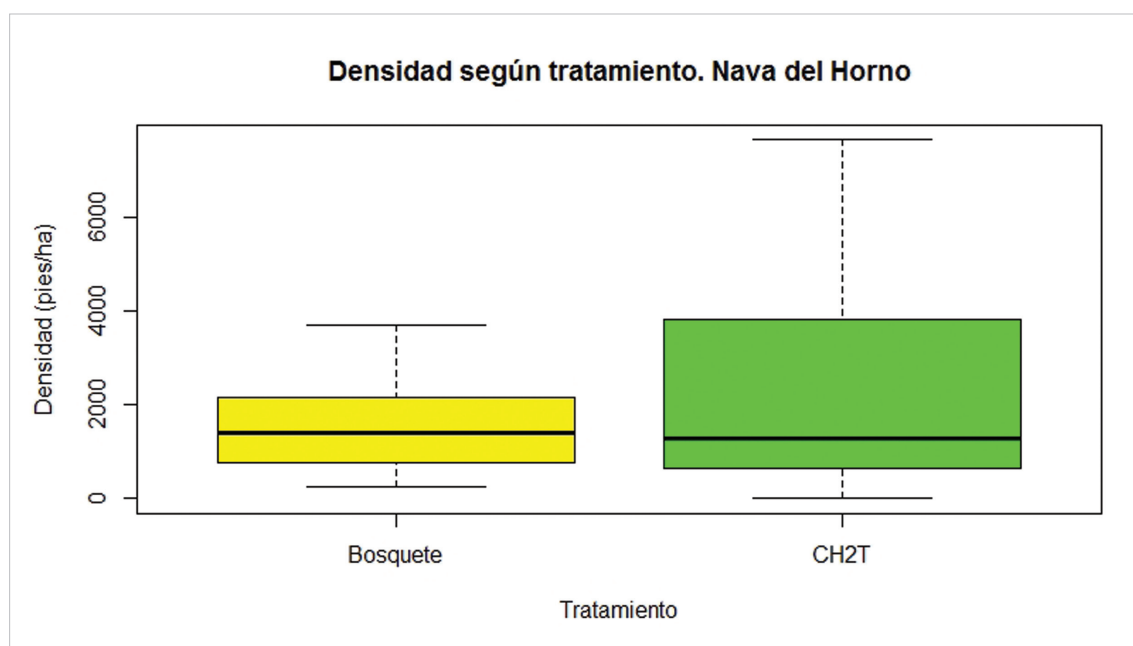


Figura 4. Comparación mediante diagrama de cajas y bigotes de la densidad de regenerado existente entre los distintos tipos de tratamientos presentes en Nava del Horno tras el primer verano. La ausencia de letras indica que no existen diferencias significativas entre ambos tratamientos. CH2T: corta a hecho en dos tiempos.

Se podría achacar esta regeneración aún escasa a la ausencia de semilla (hipótesis de año vecero), pero si esto ocurriera la ausencia de regenerado sería generalizada, y no localizada en las zonas centrales del bosque, donde se ha concentrado el impacto del tratamiento selvícola empleado y existe acumulación de restos orgánicos (si se observa la *Tabla 2*, se puede comprobar como en la periferia exterior de los bosquetes se alcanzan como media 6500 pies ha⁻¹).

Realizando un ANOVA multifactorial, en el que se incluye como variable dependiente la densidad de pimpollos, y como factores el tipo de corta, el espesor de restos finos, de leñas y la presencia/ausencia de suelo removido, se comprueba que son los restos de mayor tamaño (leñas) (p-value: 0.034) y la remoción del suelo (p-value: 0.003) los factores influyentes en la densidad de regenerado, de modo que aquellas parcelas donde ha habido remoción del suelo y se producen acúmulos importantes de leñas presentan menor cantidad de regenerado.

La influencia de una capa importante de restos orgánicos puede ser positiva, como ocurre en Rodríguez-García *et al.* (2010), donde el efecto de barrera mecánica del litter queda compensado por el efecto nodriza que realiza sobre los pimpollos, al permitir protección de los mismos frente a la predación y una mejora de las condiciones de temperatura y humedad. Sin embargo, en otros trabajos como el de Guerra y Bravo (2004), el de Rodríguez-García *et al.* (2008) o el de De Frutos (2019) en otro estudio realizado en el grupo de montes de Fuencaliente, parecen encontrar que si los restos son de suficiente tamaño, el efecto barrera impide conseguir una densidad adecuada de regenerado, siendo aconsejable en esos casos no dejar tal cantidad de restos en superficie.

Por otro lado, realizando un ANOVA de dos factores, con la densidad de pimpollos de *Pinus pinaster* como variable dependiente y la distancia al centro y la orientación de cada subparcela de regeneración como variables independientes, e incluyendo como factor aleatorio los bosquetes, se comprueba la existencia de diferencias significativas en densidad según la distancia al centro (p-value: <0.001), siendo la relación positiva entre distancia y densidad, lo que se relaciona también con la remoción del suelo, que es menor en la corona exterior del bosque. No se observan diferencias significativas según la orientación de la parcela dentro de cada bosque, lo cual no indica que no pueda producirse este efecto en años posteriores, seguramente no tanto por la aparición del regenerado más en unas situaciones que en otras sino por los patrones espaciales de supervivencia a medio plazo.

3.3. Supervivencia estival del regenerado de *Pinus pinaster*

Como se puede comprobar en la *Figura 5* y en la *Tabla 2*, la supervivencia estival en el dispositivo de Júcar (que no es posible analizar en Nava del Horno, al disponerse sólo de un inventario), es aproximadamente de un 67% en ambos tamaños de bosque. Gracias a la numeración y localización en croquis de cada pimpollo podemos conocer con exactitud qué plantas han muerto entre inventarios, lo que confiere importantes ventajas a la metodología empleada frente a los conteos habituales.

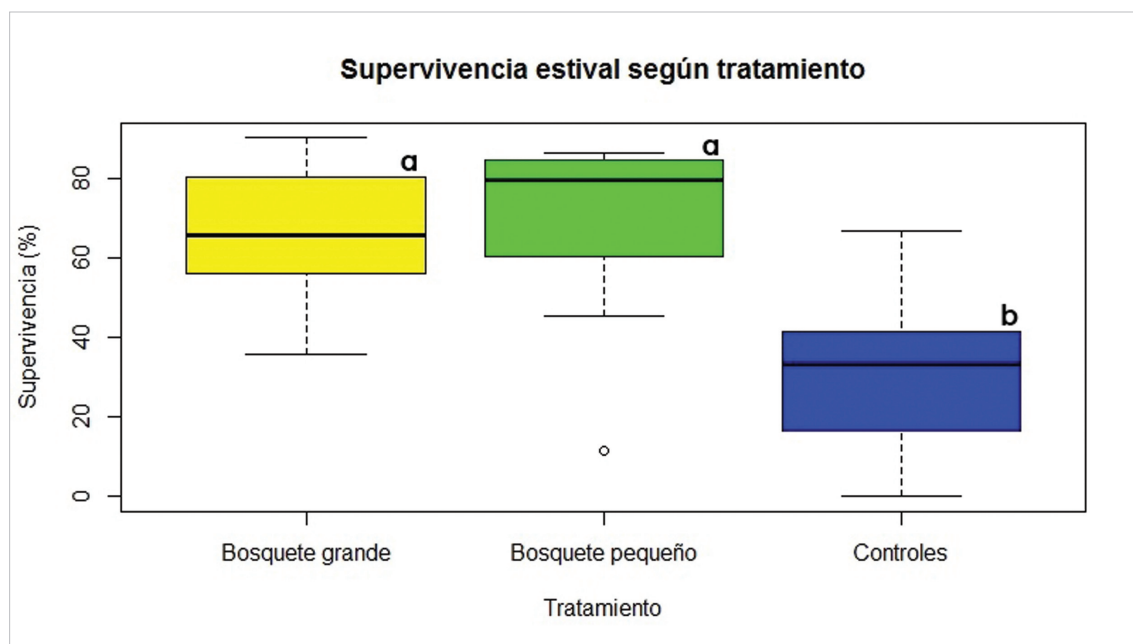


Figura 5. Comparación mediante diagrama de cajas y bigotes de la supervivencia entre los distintos tipos de tratamientos presentes en Júcar tras el primer verano. La presencia o ausencia de la misma letra en distintos tratamientos indica la ausencia o presencia de diferencias significativas entre ambos tratamientos.

El ANOVA aplicado a los datos de supervivencia informa de la existencia de diferencias significativas entre tratamientos (p -value: 0.0067), y tras hacer un test de comparación de medias se puede concluir que la supervivencia estival ha sido significativamente mayor en los dos tamaños de bosqueque con respecto a las parcelas control (0.013 para bosqueque grande, 0.0011 para pequeño).

3.4. Efecto sobre la diversificación específica (matorral y especies acompañantes)

Salvo en parcelas aisladas, la altura y cobertura de matorral en los dos dispositivos es todavía baja. Mientras en Júcar nos encontramos con una cobertura de matorral de un 5.94%, altura media del mismo de unos 22 cm y una distribución generalizada y uniforme en el espacio (362 de un total de 414 parcelas, un 87.4%, cuentan con matorral), en Nava del Horno, la cobertura de matorral es prácticamente nula en promedio; su altura es menor de 10 cm, y su presencia es mucho más restringida (sólo 44 de 350 parcelas, un 12.6%, cuentan con matorral). Interpretamos que, de la misma manera que ha ocurrido con el regenerado de *Pinus pinaster*, la acumulación de restos y el suelo removido han dificultado también la instalación de matorral en cantidades apreciables en Nava del Horno. Por la escasa cobertura y altura actual del estrato de matorral, este factor no parece influir todavía ni positiva ni negativamente sobre el establecimiento y crecimiento del regenerado, efec-

tos que sí se han observado en trabajos realizados en la Meseta Norte (Rodríguez-García *et al.*, 2011b). Durante este primer año, las especies que han aparecido han sido mayoritariamente cistáceas, en especial *Cistus ladanifer* L. y *Cistus laurifolius* L., si bien en Júcar la diversificación específica de este estrato es mayor, apareciendo también otras especies como *Crataegus monogyna* Jacq. y *Rosa* sp.

En ambas localizaciones, la aparición de regenerado de otras especies que puedan alcanzar tamaño arbóreo, como pueden ser *Quercus* spp., es todavía muy limitada, con densidades puntuales muy elevadas pero distribución superficial muy irregular. En el caso de Nava del Horno, la densidad media, considerando todas las especies de *Quercus*, es de 245 pies ha⁻¹, pero mostrando una elevada variabilidad: donde aparecen alcanzan densidades de hasta 3800 pies ha⁻¹, si bien, sólo están en el 7% de las subparcelas. En Júcar este porcentaje es algo mayor (un 10% aproximadamente), con una densidad de *Quercus* también superior (media de 322 pies ha⁻¹, aunque donde aparece lo hace con densidades superiores a 3900 pies ha⁻¹), encontrando también varios ejemplares de *Frangula alnus* Mill. (media de 146 pies ha⁻¹; si bien en las escasas parcelas donde aparece llega a alcanzar densidades equivalentes a 5380 pies ha⁻¹) y *Juniperus oxycedrus* L. (media de 77 pies ha⁻¹, con densidades localizadas de unos 3400 pies ha⁻¹), estos últimos con una distribución aún mucho más restringida.

3.5. Indicios de erosión

De la misma manera, en este primer año no se han encontrado indicios de erosión dentro de los bosquetes en ninguna de las parcelas, por lo que de momento nuestra hipótesis de un bajo impacto erosivo de la entresaca por bosquetes con los pequeños tamaños de bosque empleado se confirma. Por otro lado, es de prever que el riesgo de erosión sea progresivamente menos importante con el paso del tiempo, gracias a la instalación y desarrollo de la vegetación herbácea, arbustiva y arbórea.

Obviamente, un solo periodo vegetativo únicamente permite extraer unas primeras conclusiones, por lo que será imprescindible repetir muestreos y análisis en los próximos años.

4. Conclusiones

Pasado un año desde la ejecución de las cortas, podemos destacar las siguientes conclusiones preliminares:

En el dispositivo de Júcar (Gualadajara), se puede considerar que hay regeneración suficiente de *Pinus pinaster* en los dos tamaños de bosquetes ensayados (1.5 y 2.5 veces la altura dominante de la masa), tanto en cantidad (más de 4000 pies ha⁻¹) como por su uniforme distribución (no se aprecia patrón espacial alguno). La supervivencia media tras el primer verano supera el 67 % para ambos tamaños de bosquetes, seguramente favorecida por unas buenas condiciones meteorológicas para la germinación y establecimiento del regenerado, y es significativamente

mayor que en las zonas control. El grado de competencia establecido con el matorral es aún reducido, tanto por su poca cobertura como por la escasa talla del mismo. No se aprecian indicios de erosión. Por tanto, con bosquetes de un tamaño reducido la regeneración de la especie principal ha sido un éxito a corto plazo; sin embargo, la regeneración de otras especies arbóreas aún es muy reducida.

En el dispositivo de Nava del Horno (Fuencaliente, Ciudad Real), la regeneración todavía no puede darse por conseguida totalmente, habiéndose alcanzado como media aproximadamente 1500 pies ha⁻¹ en los bosquetes, concentrados en la periferia del bosquete, y 2300 pies ha⁻¹ en la corta a hecho en dos tiempos. En los bosquetes se observa cómo el espesor de leñas y la remoción del suelo, consecuencia directa del aprovechamiento, parecen estar teniendo un efecto negativo sobre la regeneración, efecto que debe ser comprobado con sucesivos inventarios y que debería ir progresivamente desapareciendo según estos materiales se vayan descomponiendo e incorporando al sustrato. Por otro lado, la cantidad de matorral y la regeneración de otras especies arbóreas son escasas todavía.

Agradecimientos

El presente trabajo se ha realizado gracias a la colaboración entre la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural, de la Universidad Politécnica de Madrid (proyecto FORADMIT, AGL2016-77863-R) y el CIFOR-INIA (proyectos AGL2014-51964-C2-2-R y AGL2017-83828-C2-1-R). Así mismo queremos destacar la imprescindible implicación y participación de los técnicos de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha responsables de la gestión de los montes de utilidad pública sobre los que se sitúan los dispositivos experimentales, en Guadalajara y Ciudad Real.

5. Referencias bibliográficas

- Améztegui, A.; Cabon, A.; de Cáceres, M.; Coll, L.; 2017. Managing stand density to enhance the adaptability of Scots pine stands to climate change: a modelling approach. *Ecol. Model.*, 356, 141-150. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.04.006>
- Bravo Oviedo, A.; Del Río, M.; Montero, G.; 2004. Site index curves and growth model for Mediterranean maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Spain. *For. Ecol. Manage.*, 201, 187-197. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.06.031>
- Carreras, C.; García-Viñas, J.I.; 1998. Propuesta de Ordenación para pinares artificiales de carrasco y negral en Almería". *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.*, 6, 61-65.
- Castillo, V.M.; Barberá, G.G.; Querejeta, J.I.; Martínez-Sánchez, M.A.; Martínez-Fernández, F.; 2009. Diversificación de masas repobladas de pino carrasco mediante claras e introducción de sotobosque. *Act. 5º Congr. For. Esp. Ávila*.
- Crecente-Campo, F.; Pommerening, A.; Rodríguez-Soalleiro, R.; 2009. Impacts of thinning on structure, growth and risk of crown fire in a *Pinus sylvestris* L. plantation in northern

- Spain. *For. Ecol. Manage.*, 257(9), 1945-1954. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.02.009>
- de Frutos, S.; 2019. *Patrón de la regeneración tras cortas a hecho en dos tiempos sobre masas de repoblación de Pinus pinaster Ait. con presencia variable de frondosas (Sierra Madrona)*. Trabajo Fin de Máster. Universidad Politécnica de Madrid.
- Escrig, A.; Pérez, R.; Estruch, F.; 2005. Evolución de la estructura y diversidad de la vegetación en un tratamiento selvícola experimental sobre pinar de carrasco en Tuéjar y Chelva (Valencia). *Act. 4º Congr. For. Esp.* Zaragoza.
- Galiana, F.; Pérez, R.; Reyna, S.; Sancho, J.; Prats, G.; González, E.; 2001. Efectos sobre la diversidad y estructura de la vegetación de tratamientos selvícolas por cortas finales en pinares de *Pinus halepensis*. *Act. II Congr. For. Esp.* Pamplona.
- García-Güemes, C.; Calama, R.; 2015. La práctica de la silvicultura para la adaptación al cambio climático. En: Herrero, A.; Zavala, M.A.; (Eds.): *Los bosques y la biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*, pp. 501-512.
- Giorgi, F.; Lionello, P.; Climate change projections for the Mediterranean región. *Global Planet. Change*, 63 (2-3), 90-104. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>
- Griess, V.C.; Knoke, T.; 2011. Growth performance, windthrow, and insects: meta-analyses of parameters influencing performance of mixed-species stands in boreal and northern temperate biomes. *Can. J. For. Res.*, 41, 1141–1159.
- Guerra, B.; Bravo, F.; 2004. Análisis y modelización de la regeneración de *Pinus pinaster* Ait. en el Sistema Ibérico Meridional. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.*, 18, 167–172
- Lindner, M.; Maroschek, M.; Netherer, S. *et al.*; 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *For. Ecol. Manage.*, 259(4), 698–709. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.023>
- Madrigal, A.; 1998. Problemática de la ordenación de masas artificiales en España. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.*, 6, 13-20.
- Martín-Alcón, S.; Coll, L.; 2013. Plantaciones de enriquecimiento en pinares puros submediterráneos: resultados preliminares en un estudio sobre la plasticidad ecológica de las principales especies de frondosas rebrotadoras acompañantes. *Act. 6º Congr. For. Esp.* Vitoria-Gasteiz.
- Montes, F.; Cañellas, I.; del Río, M.; Calama, R.; Montero, G.; 2004. The effects of thinning on the structural diversity of coppice forests. *Ann. For. Sci.*, 61, 771–779. <https://doi.org/10.1051/forest:2004074>
- Motos, J.; Cabrera, M.; 2009. Proyecto de Ordenación Integral del Grupo de montes de Fuencaliente (Ciudad Real).
- Palacio, A.M.; 2013. *Evaluación de la regeneración en una masa de pino carrasco (Pinus halepensis Mill.) sometida a distintos tratamientos selvícolas en el monte de Tuéjar (Valencia)*. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Valencia.
- Ribalaygua, J.; Pino, R.M.; Pórtoles, J.; Roldán, E.; Gaitán, E.; Chinarro, D.; Torres, L.; 2013. Climate change scenarios for temperature and precipitation in Aragón (Spain). *Sci. Total Environ.*, 463, 1015–1030. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.089>
- Rodríguez-Calcerrada, J.; Mutke, S.; Alonso, J.; Gil, L.; Pardos, J.A.; Aranda, I.; 2008. Influence of overstory density on understory light, soil moisture, and survival of two underplanted oak species in a Mediterranean montane Scots pine forest. *Investig. Agrar. Sist. Recur. For.*, 17, 31–38. <https://doi.org/10.5424/srf/2008171-01021>

- Rodríguez-García, E.; Juez, L.; Guerra, B.; Bravo, F.; (2008). Análisis de la regeneración natural de *Pinus pinaster* Ait. en los arenales de Almazán-Bayubas (Soria, España). *For. Syst.*, 16(1), 25–38. <https://doi.org/10.5424/srf/2007161-00995>
- Rodríguez-García, E.; Juez, L.; Bravo, F.; (2010). Environmental influences on post-harvest natural regeneration of *Pinus pinaster* Ait. in Mediterranean forest stands submitted to the seed-tree selection method. *Eur. J. For. Res.*, 129(6), 1119–1128. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0399-7>
- Rodríguez-García, E.; Gratzer, G.; Bravo, F.; 2011a. Climatic variability and other site factor influences on natural regeneration of *Pinus pinaster* Ait. in Mediterranean forests. *Ann. For. Sci.*, 68, 811–823. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0078-y>
- Rodríguez-García, E.; Ordóñez, C.; Bravo, F.; 2011b. Effects of shrub and canopy cover on the relative growth rate of *Pinus pinaster* Ait. seedlings of different sizes. *Ann. For. Sci.*, 68, 337-346. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0039-5>
- Rodríguez-Soalleiro, R.; Serrada, R.; Lucas, J.A.; Alejano, R.; del Río, M.; Torres, E.; Cantero, A.; 2008. Selvicultura de *Pinus pinaster* Ait. subsp. *mesogeensis*. En: Montero, G.; Serrada, R.; Reque, J.A.; (Eds.), Compendio de selvicultura aplicada en España., INIA, Madrid, pp. 399-430.
- Ruano, I.; Pando, V.; Bravo, F.; 2009. How do light and water influence *Pinus pinaster* Ait. germination and early seedling development? *For. Eco. Manage.*, 258, 2647–2653. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.027>
- Serrada, R.; 2011. Apuntes de Selvicultura. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.
- Serrada, R.; Aroca, M.J.; Roig, S.; Bravo-Fernández, A.; Gómez Sanz, V.; 2011. Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector forestal. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Solís, A.; 2003. Planteamientos sobre la regeneración en pinares de repoblación que alcanzan la edad de turno. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.*, 15, 49–57
- Vergarechea, M.; del Río, M.; Gordo, J.; Martín, R.; Cubero, D.; Calama, R.; 2019. Spatio-temporal variation of natural regeneration in *Pinus pinea* and *Pinus pinaster* Mediterranean forests in Spain. *Eur. J. For. Res.*, 138, 313–326. <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01172-8>
- Verschuyt, J.; Riffell, S.; Miller, D.; Wigley, T.B.; 2011. Biodiversity response to intensive biomass production from forest thinning in North American forests – A meta-analysis. *For. Ecol. Manage.*, 261, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.10.010>
- Walck, J.L.; Hidayati, S.N.; Dixon, K.W.; Thompson, K.; Poschlod, P.; 2011. Climate change and plant regeneration from seed. *Glob. Change Biol.*, 17: 2145-2161. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02368.x>
- Yousefpour, R.; Temperli, C.; Jacobsen, J.B. *et al.*; 2017. A framework for modeling adaptive forest management and decision making under climate change. *Ecol. Soc.*, 22(4): 40. <https://doi.org/10.5751/ES-09614-220440>

