



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-166

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017  
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Variabilidad espacio-temporal de la regeneración natural en masas mixtas de *Pinus pinea* y *Pinus pinaster* en la meseta castellana

VERGARECHEA ALEGRÍA, M.<sup>1, 2</sup>, CALAMA, R.<sup>1, 2</sup>, GORDO ALONSO, J.<sup>3</sup>, CUBERO, D.<sup>3</sup>, MARTIN, R.<sup>4</sup> y DEL RÍO, M.<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Selvicultura y Gestión Forestal, CIFOR-INIA:Ctra Coruña km 7.5, 28040 Madrid, Spain.

<sup>2</sup> Instituto Unviersitario de Gestión Forestal Sostenible. Universidad de Valladolid-INIA.

<sup>3</sup> Servicio Territorial de Medio Ambiente, Junta de Castilla y León, Duque de la Victoria, 5, 47071, Spain.

<sup>4</sup> Cándalo Ingeniería S.L, San Lorenzo, 22, 47001 Valladolid

### Resumen

Dentro de las masas mixtas, cada una de las especies que conforman la mezcla posee sus propios mecanismos de regeneración, controlados por distintos factores tanto bióticos como abióticos. Mediante el análisis de la variabilidad espacio-temporal es posible identificar esos factores y llevar a cabo estrategias que aumenten el éxito del regenerado. En este trabajo hemos utilizado 1936 parcelas de 0,02 ha establecidas en masas mixtas de *Pinus pinea* y *Pinus pinaster*. El establecimiento, supervivencia y viabilidad de las plántulas se monitorearon anualmente de 2003 a 2015, clasificando el regenerado en 4 categorías en función de su viabilidad. Los resultados muestran que el 17% de las parcelas nunca han presentado regeneración natural. Se observa también que la presencia de la mezcla ejerce un efecto positivo sobre el regenerado de las dos especies. Además, la falta de sincronización temporal entre ambas especies puede indicar que los factores climáticos que controlan la regeneración natural varían para cada especie, aspecto que puede favorecer la estabilidad de estos ecosistemas frente al cambio climático. Por lo tanto, debido a la importancia ecológica y socioeconómica de *P.pinea* y *P.pinaster* en la zona de estudio, se hace necesario el planteamiento de un esquema de cortas de regeneración que se adecuen a los requerimientos de la masa mixta.

### Palabras clave

Masas mixtas, Regeneración Natural, Establecimiento, Valladolid

### 1. Introducción

Numerosos estudios, como los realizados por KELTY (1992), DEL RÍO et al., (2014), PRETZSCH et al., (2013, 2015), RICHARDS et al., (2010) y METZ et al., (2013), reportan evidencias de que los bosques mixtos pueden ofrecer una serie de beneficios frente a los monoespecíficos. Mediante la mezcla de especies se puede conseguir una respuesta menos intensa a las perturbaciones (LOREAU et al., 2001, JACTEL et al., 2009), una mayor estabilidad frente a la variabilidad de los factores ambientales (DE DIOS-GARCÍA et al., 2015; DEL RÍO et al., 2017) o un aumento en la productividad mediante la mejora del suministro, captura o eficiencia de los recursos (FORRESTER, 2014, 2015) dependiendo de las condiciones del sitio (TOÍGO et al., 2015). En estos tipos de bosques cada una de las especies que conforman la masa mixta, tiene sus propios mecanismos de regeneración; diferentes grados de tolerancia a la sombra, a condiciones edáficas así como distintos grados de resistencia a la sequía o perturbaciones como insectos, enfermedades, viento o fuego (OLIVER & LARSON, 1996; MRNQ, 2013). Cada vez es más evidente que los ecosistemas mediterráneos se ven amenazados por su sensibilidad a las nuevas condiciones climáticas causadas por el cambio climático. Por ello, en este tipo de estructuras, se hace necesario identificar el papel que juegan los individuos de las distintas especies a través de los múltiples procesos que tienen lugar, como por ejemplo los procesos de facilitación y competencia (MARAÑÓN et al., 2004).

En bosques mixtos de pino piñonero (*Pinus pinea* L.) y pino negral o resinero (*Pinus pinaster* Ait.), las características del rodal (grado de mezcla, densidad, etc.) pueden influenciar significativamente en el éxito del establecimiento y posterior mantenimiento de la masa mixta. Ambas

especies son similares en términos de requerimientos ecológicos (DEL PESO et al., 2012; MANSO et al., 2012) y ambas sufren severos problemas de regeneración natural (GORDO et al., 2012). En el caso de *P. pinaster*, las difíciles condiciones edáficas y la sequía estival son los principales factores que limitan el éxito de la regeneración natural (DEL PESO et al., 2012; RODRÍGUEZ-GARCÍA et al., 2010, 2011), mientras que la dispersión y depredación de las semillas, así como el fenómeno de vecería son los principales factores que determinan el éxito de la regeneración en *P. pinea* (CALAMA et al., 2011; MANSO et al., 2012).

La relación espacial y temporal entre las diferentes especies de brinzales que forman parte del regenerado, así como su relación con factores del arbolado adulto (densidad y grado de mezcla) y del sitio (disponibilidad de los recursos, etc), es un proceso dinámico que está sujeto a continuos cambios, lo que agrega mayor complejidad y dificulta la generalización de resultados (FORRESTER, 2014). Por ello, para mantener una continuidad espacial y temporal de la regeneración natural es necesario definir estrategias dinámicas y flexibles que puedan ser aplicables a las masas mixtas y que permitan optimizar los beneficios potenciales derivados de la mezcla de especies a la vez que mitiguen los riesgos y daños predichos por el cambio climático.

## 2. Objetivos

Los objetivos del presente trabajo son (1) evaluar la regeneración natural de *P. pinea* y *P. pinaster* en masas mixtas mediterráneas y (2) analizar el patrón espacial y temporal de la regeneración natural para poder identificar los factores determinantes en el establecimiento de los brinzales en cada una de las especies que conforman la masa mixta.

## 3. Metodología

### - Área de estudio

La zona de estudio abarca 32 montes de utilidad pública de la provincia de Valladolid, con presencia de *P. pinea* y *P. pinaster*, distribuidos en cuatro comarcas forestales: Tordesillas, Viana de Cega, Olmedo y Medina del Campo. El clima de la zona se caracteriza por extremas temperaturas en verano e invierno, 40° C y -10° C respectivamente, y escasas precipitaciones anuales (435 mm) con un mínimo en los meses de julio a septiembre (66 mm). Existe también un período de helada segura comprendida entre los meses de enero y febrero, así como un período de helada probable (marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre). Los suelos presentes en la zona de estudio se caracterizan por ser suelos pobres y arenosos, lo que condiciona en gran medida a la regeneración natural. Asimismo, dentro del área de estudio, GORDO (2004) y CALAMA et al., (2008) propusieron una estratificación de las masas de *P. pinea* de la provincia de Valladolid en unidades naturales a partir de atributos edáficos (capacidad de retención de agua), climáticos, litológicos (roca madre) y orográficos (altitud). Los montes que conforman estas masas mixtas se encuentran también dentro de esta clasificación, formando parte de las unidades naturales 6, 7, y 8.

### - Diseño experimental y seguimiento

Para llevar a cabo el estudio se ha hecho uso de una red de parcelas permanentes cuya instalación comenzó durante el invierno de 2001-2002, por el Servicio Territorial de Medio Ambiente de Valladolid. Estas parcelas comienzan a replantarse paulatinamente en los tramos en destino una vez que se inician las cortas de regeneración y según éstas comienzan a entrar dentro del periodo de regeneración, por esta razón el intervalo de estudio varía entre las diferentes parcelas que constituyen la base de datos. El muestreo que se realiza para el control de la regeneración es de tipo sistemático y con una intensidad de 1 parcela cada 2 ha, siendo el diseño de la malla rectangular con

ligeras variaciones al objeto de ajustarse a los perímetros de los montes. En concreto se cuenta con un total de 1.936 parcelas distribuidas en 32 montes de utilidad pública gestionados por la Junta de Castilla y León. Estas parcelas no tienen una distribución homogénea dentro de cada uno de los montes, ya que existen montes que únicamente contienen 5 parcelas mientras que otros pueden llegar a contener 155 parcelas.

El diseño experimental se planteó con el objetivo de realizar el seguimiento de la regeneración natural, mediante el estudio de la supervivencia y crecimiento de los brinzales, así como su distribución espacial. Se optó por utilizar el método de existencias por cuadrantes (Stock Quadrant) en el que las parcelas circulares, en este caso con un radio fijo de 8 m, se dividieron en 4 cuadrantes. Desde la orientación Norte y siguiendo el sentido horario se realizó el seguimiento de los brinzales (GORDO et al., 2012). Se indicó la especie a la que correspondía cada brinzal y su viabilidad, dentro de la cual se establecieron cuatro categorías: 1. débiles, deprimidos, puntisecos sin posibilidad de supervivencia; 2. estacionarios, sin los signos anteriores pero sin crecimientos importantes; 3. vigorosos, frescos, con futuro pero sin acículas adultas; y 4. con un óptimo estado vegetativo y acículas adultas (Fig 2). A lo largo del inventario quedaron excluidos los brinzales del año debido a su alta mortalidad. La toma de los datos se efectuó de manera sistemática una vez el año en los meses de octubre a diciembre, obteniendo así una serie de datos del intervalo 2001-2015 (con variaciones en el año de inicio en función de la parcela). Además de ello se indicaron otros datos de interés, como grado de encespedamiento o el número de pies padre, señalando en éste último caso la especie a la que pertenecían los individuos (GORDO et al., 2012).

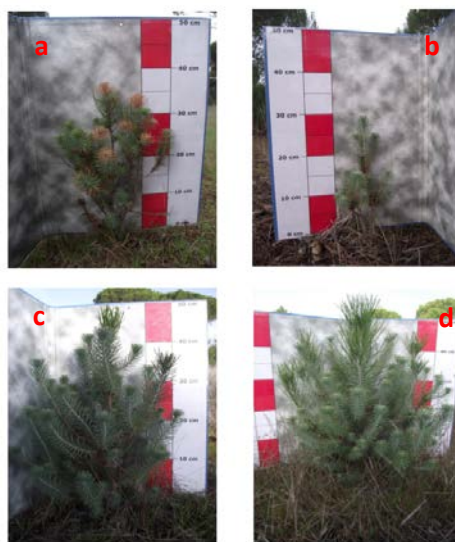


Figura 1. Ejemplo de brinzales de tipo 1 (a), 2 (b), 3 (c) y 4 (d).

#### - Análisis de datos

Para la exploración de los datos se ha trabajado con el número de brinzales existentes en cada una de las parcelas de estudio. Por un lado, se ha analizado cual ha sido el porcentaje de parcelas que nunca han presentado signos de regeneración natural, para ello se ha utilizado el total de las clases de regenerado (definidas anteriormente) y todos los años que abarca el periodo de estudio. Esta exploración se ha realizado también para cada una de las especies por separado, de esta manera se ha podido observar el número de parcelas que nunca han presentado regeneración natural de *P.pinea* y el número de parcelas que nunca han presentado regeneración natural de *P.pinaster*. Además, se han utilizado los datos correspondientes al año 2015, para estudiar la

frecuencia de brinzales dentro de las parcelas en este mismo año. Para este último caso únicamente se han utilizado los brinzales correspondientes a las clases más establecidas, 3 y 4.

Para analizar el grado de relación que existe entre el regenerado de ambas especies se ha realizado un análisis de correlación de Pearson. Con ese fin, los brinzales se separaron en función de la especie y de las categorías (clases 3-4 por un lado y clases 1-2 por otro lado). De nuevo, para esta parte del análisis solamente se tuvo en cuenta los datos correspondientes al año 2015, ya que el objetivo fue obtener una visión espacial de la regeneración conseguida en el área de estudio.

Se utilizó un análisis de contingencia para estudiar la relación de dependencia que existe entre el regenerado establecido de ambas especies y el arbolado adulto de las mismas. Con el fin de observar mejor el comportamiento del regenerado, el análisis se ha dividido en dos partes.

- Por un lado se ha querido observar la asociación que existe entre el regenerado de *P.pinaster* y el arbolado adulto, por lo tanto, dentro de este primer análisis en la categoría “Na” se han incluido las parcelas sin ningún tipo de regenerado y aquellas parcelas con brinzales exclusivamente de *P.pinea*. “Pr” lo comprenden las parcelas con regenerado mixto y las parcelas con brinzales de *P.pinaster* únicamente.
- Igualmente se ha analizado la asociación entre el regenerado de *P.pinea* y el arbolado adulto, en este caso la clasificación es similar, simplemente dentro de la categoría “Na” las parcelas con regenerado de *P.pinea* se han sustituido por aquellas que contienen solamente brinzales de *P.pinaster*. De igual manera, dentro del grupo “Pa”, las parcelas con regenerado puro de *P.pinea* sustituyen a las parcelas puras de *P.pinaster*.

Para analizar la variación temporal del regenerado en los distintos montes se ha utilizado el análisis de sincronía Tau-Kendall, el cual, a través del estadístico  $\tau$  de Kendall (LEGENDRE, 2005) y su p.valor analiza la presencia de un patrón temporal en la regeneración natural. Se ha indicado en cada caso el intervalo de años de estudio, el estadístico  $\tau$  de Kendall (W), el valor de la correlación de Spearman, la significación positiva o negativa de esta correlación, el valor de Chi-cuadrado y el valor de significación. En esta parte del análisis los montes que conforman la base de datos han sido agrupados en las Unidades Naturales indicadas anteriormente. Para aplicar el análisis Tau-Kendall los brinzales han sido clasificados en función de la especie y de las clases de categorías, de esta forma, es posible observar si existe un patrón temporal común para cada especie entre las diferentes unidades naturales, o lo que es lo mismo, una sincronía entre los años que presentan un número de brinzales alto, bajo o intermedio.

También se ha querido observar si para cada grupo de categorías existía algún patrón de sincronía entre *P.pinea* y *P.pinaster*. Para ello, se han utilizado los datos de todo el área de estudio agrupándolo según la especie. En este caso, el análisis de sincronía se ha aplicado por un lado a los brinzales pertenecientes a las categorías 1 y 2, y por otro lado a los brinzales pertenecientes a las categorías 3 y 4.

Todos los análisis se hicieron en el software R (R CORE EQUIPO, 2016)

#### 4. Resultados

- Exploración de los datos:

El 17% de las parcelas no ha presentado en ningún momento del periodo de estudio signos de regeneración natural. Si analizamos únicamente el regenerado de *P. pinea* se observa que en torno al 20% de las parcelas no han presentado, durante este intervalo de años, regeneración natural de dicha especie. Este porcentaje alcanza una mayor importancia al analizar la regeneración natural de *P. pinaster*, ya que en el 79% de las parcelas nunca se ha observado regeneración natural de la citada especie durante el periodo 2001-2015. La distribución del regenerado establecido -clases 3 y

4- durante el último año, 2015, se puede observar en la Figura 2. Se advierte que la mayor parte de las parcelas presentan una densidad de brinzales en torno a 1-10 pies/parcelas, un número muy reducido tratándose de regeneración natural. Nuevamente destaca la abundancia de valores 0 dentro del histograma, lo que indica, que durante el año 2015 un gran número de parcelas no presentaban regenerado establecido.

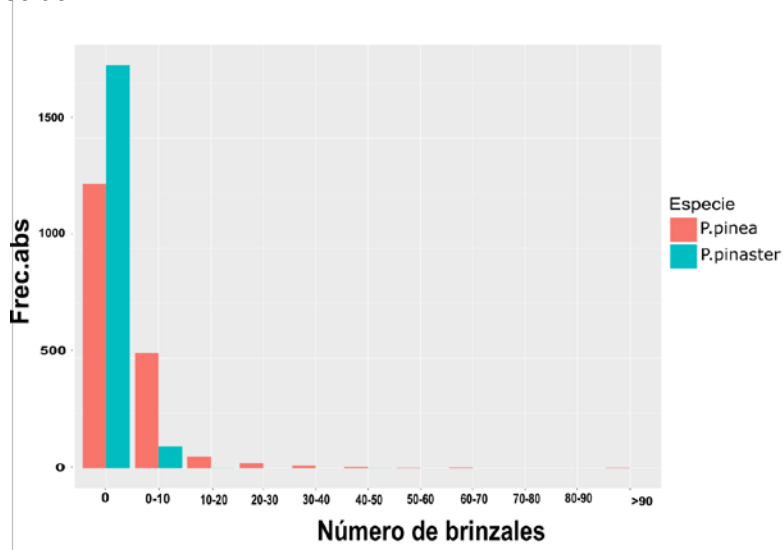


Figura 2. Histograma del número de brinzales en cada una de las parcelas de estudio.

- Variación espacial:

Como era de esperar, existen fuertes relaciones positivas entre las distintas categorías dentro de una misma especie (Figura 3). Sin embargo, cabe destacar la correlación positiva que existe entre las categorías más establecidas, 3 y 4, de ambas especies (p.valor = 0,04).

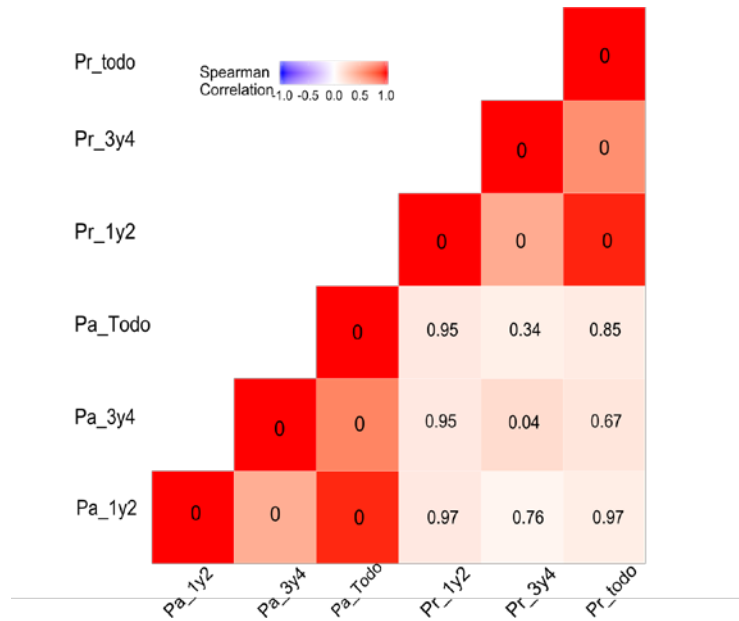


Figura 3. Mapa de correlación entre las categorías de Pinus pinea (Pa) y Pinus pinaster (Pr). En número que aparece dentro de cada celda se refiere al nivel de significación.

La Tabla 1 muestra la asociación que existe entre el regenerado establecido – clases 3 y 4- de ambas especies (filas) y el arbolado adulto de las mismas (columnas). Dentro de la tabla, el valor de significación determina si existe, o no, asociación entre el regenerado y el arbolado adulto.

Se observa, que bajo condiciones conespecíficas el número observado de parcelas con regeneración de *P.pinaster* (50) es notablemente mayor que el número esperado (16,9), sin embargo, el número observado de parcelas con regeneración de *P.pinea*, también bajo condiciones conespecíficas, es menor (340) que el número que se esperaría obtener (365). Destacar que bajo condiciones de mezcla, el número observado de parcelas con regenerado establecido, en ambas especies, es mayor que el número esperado.

Tabla1. Tabla de contingencia entre el regenerado establecido – clases 3 y 4- (filas) y la masa adulta (columnas) de *Pinus pinea* y *Pinus pinaster*.

	Regenerado	Mix	Na	Pa	Pr	Total	Chi-Cuadrado	P-valor
Caso 1	Na	103	381	1080	268	1832	101,03	2,20E-16*
	(Na + Pa)	109,9	380,6	1041,4	301,1			
	Pr	12	21	20	50	103		
	(Pr + Mx)	6,1	21,4	58,6	16,9			
Caso 2	Na	69	259	760	204	1292	7,023	0,07117
	(Na + Pr)	76,8	268,4	734,5	212,3			
	Pa	46	143	340	114	643		
	(Pa + Mx)	38,2	133,6	365,5	105,7			

(\*)  $P < 0,05$ , (\*\*)  $P < 0,01$

#### - Variación temporal

Los resultados observados en la tabla 2 muestran la existencia o no de un patrón de sincronía en el valor medio del número de brinzales dentro de las diferentes Unidades Naturales. Se comprueba que el análisis aplicado a los dos grupos de categorías de *P. pinea*, tanto el estadístico  $\tau$  de Kendall como el p.valor muestran valores muy similares (0,50-0,51 para la  $\tau$  de Kendall y 0,02 en ambos casos para el p.valor). Sin embargo, no ocurre lo mismo cuando analizamos la sincronía en el regenerado de *Pinus pinaster*, donde el valor del estadístico de Kendall solamente alcanza un valor significativo (0,002) dentro de las clases 1 y 2.

El análisis de sincronía entre el número de brinzales de *P.pinea* y el número de brinzales de *P.pinaster* dentro de cada una de las Unidades Naturales, no mostró ningún patrón de sincronía significativa.

Tabla 2. Resumen de los parámetros estimados en el análisis de Sincronía. Donde; *n*: número de años del periodo de estudio; *W*: Estadístico de Kendall; *r*: correlación de Spearman; *Sig*: signo positivo o negativo de la correlación.

Especie	Grupo Categorías	Primer año	Último año	n	W	r	Sig	Chi-cuadrado	P-valor
<i>P. pinea</i>	Cat_1y2	2004	2015	12	0,517	0,360	+	22,74	<b>0,0200*</b>
	Cat_3y4	2003	2015	13	0,504	0,340	+	24,21	<b>0,0200*</b>
<i>P. pinaster</i>	Cat_1y2	2003	2015	13	0,851	0,780	+	30,63	<b>0,0022**</b>
	Cat_3y4	2004	2015	12	0,396	0,009	+	13,08	0,2880

(\*)  $P < 0,05$ , (\*\*)  $P < 0,01$



## 5. Discusión

Este estudio analiza la variabilidad de la regeneración natural en masas mixtas de *P.pinea* y *P.pinaster* localizadas en la provincia de Valladolid. A través del uso de análisis espaciales y temporales, se provee de una descripción de determinados factores, como el efecto de la mezcla del arbolado adulto, las asociaciones espaciales de las diferentes clases de regenerado o la sincronía entre diferentes zonas de estudio, condicionada posiblemente por factores climáticos, influyen significativamente en el éxito de la regeneración natural.

Muchas son las investigaciones que se han llevado a cabo sobre regeneración natural en España, la mayoría centradas en masas de *Pinus sylvestris*, *P nigra* y *P.halepensis*, con frecuencia estudiada con posterioridad al incendio (GONZÁLEZ & BRAVO, 1997 y 2001; DEL CERRO BARAJA et al., 2005; VEGA et al., 2005). Sin embargo, menos son los estudios sobre regeneración natural en masas mixtas de especies con requerimientos ecológicos similares, como es el caso de la mezcla *P.pinea* y *P. pinaster*. En presente estudio se ha comprobado el efecto positivo que esta mezcla de especies ejerce sobre la regeneración natural. Los resultados revelados por la tabla de contingencia (Tabla 1) muestran que bajo masas mixtas de *P.pinea* y *P.pinaster*, el número de parcelas con regenerado establecido, tanto de una especie como de la otra, es mayor que el número que se esperaría obtener. Sin embargo, bajo masas puras de *P.pinea* y *P.pinaster*, así como en zonas sin ningún tipo de arbolado adulto, la regeneración natural muestra un comportamiento que difiere según la especie. El hecho de que los valores observados del regenerado establecido de *P.pinaster* bajo el arbolado adulto de *P.pinea* sean menores que los valores esperados, puede deberse al carácter heliófilo de la especie, que intentaría evitar el exceso de sombra ocasionada por la copa globosa de *P.pinea*. Por el contrario, la existencia de un número mayor de parcelas de regenerado de *P.pinaster* bajo condiciones de arbolado adulto conespecífico, es posible que tenga que ver con el hecho de que bajo las copas de la masa adulta, existen zonas más húmedas donde el regenerado sufre en menor medida los efectos de las altas temperaturas (DEL PESO et al., 2012; RODRIGUEZ-GARCÍA et al., 2010, 2011), muy frecuentes en la zona de estudio durante la sequía estival. Esta circunstancia, junto con el efecto de copa irregular y abierta que presenta la masa adulta de *P.pinaster* puede explicar la existencia de una mayor proporción de regeneración natural de dicha especie bajo la masa adulta conespecífica. No obstante, hay que resaltar la escasa presencia de regenerado de *P.pinaster* para todas las categorías de arbolado adulto.

Asimismo, es interesante el número elevado de parcelas de *P.pinea* que regeneran en zonas sin arbolado adulto. Esta circunstancia podría explicarse mediante el hecho de que el regenerado de *P.pinea* es capaz de emerger a la sombra de árboles adultos antes de la corta y mantenerse allí varios años. Una vez producida la corta, este regenerado se libera y crece. Esta hipótesis coincide con las expuestas por MANSO et al., (2012, 2013a, 2013b), que demuestran, que determinadas circunstancias, como una densidad de la masa adulta relativamente alta, es crucial para la incorporación de nuevas cohortes. Sin embargo, el mantenimiento de una alta densidad hace que el exceso de sombra impida el desarrollo viable de los brinzales de *P.pinea* debido al temperamento de media sombra de la especie (AWADA et al., 2013; MANSO et al., 2013a). Teniendo en cuenta que la regeneración natural es un proceso dinámico sujeto a continuos cambios, sería de gran interés analizar la asociación existente entre las distintas fases que atraviesa el regenerado y la masa adulta, ampliando estos análisis a fases más vulnerables del regenerado, como sería en nuestro caso los brinzales de las clases 1 y 2.

La sincronía entre las unidades naturales, muestran la existencia de un patrón temporal (p.valor < 0,05) dentro de cada una de las fases de establecimiento de la regeneración natural de cada especie. Dentro de los ambientes mediterráneos, es ampliamente conocido que determinados factores climáticos, como la duración de la sequía estival, condiciona particularmente el éxito de la regeneración natural (BARBEITO et al., 2011). MONTES & CAÑELLAS (2007) mostraron también la existencia de una gran variabilidad espacial y temporal en la regeneración de natural de *P. sylvestris*,



dependiente en gran medida de factores climáticos así como de la disponibilidad de semillas. Teniendo en cuenta que las unidades naturales en las que se clasifican los montes, varían en cuanto a sus condiciones edáficas, climáticas, litológicas y orográficas, podemos suponer que estas fases de establecimiento del regenerado pueden estar condicionadas por factores climáticos. La ausencia de sincronía para las categorías 3 y 4 de *P.pinaster* sugiere que el establecimiento definitivo del regenerado de esta especie se ve más influenciado por factores del sitio que por factores climáticos. A su vez, el hecho de que no tengamos una sincronía entre *P.pinea* y *P.pinaster*, indica que existen factores cuya influencia difiere en función de la especie, es decir, que los factores que pueden llegar a influir en una especie no tienen por qué tener una influencia en la otra o que la intensidad que ejercen sobre éstas es diferente. Este resultado pone de manifiesto la complejidad de las interacciones entre especies, las cuales pueden depender de múltiples factores como la etapa del desarrollo, densidad del rodal, condiciones del sitio, etc (FORRESTER, 2014). La diferente dependencia de las condiciones climáticas del regenerado de las dos especies confirma el interés de favorecer estas masas mixtas como medida de adaptación al cambio climático, ya que aumenta las posibilidades de perpetuar la cubierta forestal.

A diferencia de los resultados obtenidos por RODRIGUEZ-GARCIA et al., (2007) sobre la regeneración natural de *P.pinaster* en la zona de Almazán (Soria) donde dicha especie no parece presentar problemas de regeneración, observamos que dentro de la zona de la meseta Norte, la regeneración de *P.pinaster* sufre serios problemas de regeneración natural. Esta discrepancia en la capacidad de éxito de la regeneración, puede venir determinada por los factores que interactúan entre ellos y con la planta (RODRIGUEZ-GARCIA et al., 2007) y que son clave en el éxito del establecimiento y posterior mantenimiento del regenerado, condicionando una dinámica natural diferente en cada uno de los sitios de estudio. De la misma forma, resultados obtenidos por MANSO et al., (2013a) y LEDO et al., (2014) muestran una sorprendente capacidad adaptativa de *P.pinea* bajo el contexto del cambio climático. Nuestros resultados reflejan una dinámica similar, con una predominancia clara de la regeneración natural de *P. pinea* frente a la regeneración natural de *P.pinaster*, determinada posiblemente por la mayor capacidad adaptativa de la primera. Sin embargo, a pesar de esta mayor adaptabilidad de *P. pinea*, se ha observado que el regenerado establecido de ambas especies parece compartir ciertos requerimientos, posiblemente espaciales, haciendo que las condiciones que hacen que se establezca una de las especies tengan también un efecto favorable sobre la otra. De esta forma, para poder conservar el carácter mixto de la masa y así evitar la reconversión a una futura masa pura de *P. pinea* como indicó LEDO et al., (2014), se hace necesario la implementación de tratamientos selvícolas adicionales que promuevan la regeneración natural de la especie menos favorecida, *P. pinaster* en este caso. De igual forma, en determinados lugares podría plantearse la imposibilidad de regeneración de una de las especies ya instaladas debido a la aridificación del clima (SERRADA, 2003) o la alteración sensible del hábitat.

Ambas especies son relevantes social y económicamente para la zona. *P. pinaster*, ha sido tradicionalmente objeto de un aprovechamiento encaminado a la obtención de resina, con la producción de madera como objetivo secundario, mientras que el aprovechamiento de *P. pinea* se ha centrado sobre todo en la producción de piña frente a otros como la madera y la resina (GORDO et al., 2012). Estos diferentes modelos de aprovechamiento hacen necesario el planteamiento de un esquema de cortas de regeneración que se adecúen a las características y a los requerimientos propios de la masa mixta. Una adecuada gestión selvícola, habría de tener en cuenta el papel que juega el arbolado adulto y el efecto de la mezcla en el éxito de la regeneración natural de ambas especies. Por ello, la extracción progresiva y flexible de los pies adultos, reparando siempre en la repercusión de éstos sobre el regenerado, parece ser clave para para mantener un equilibrio en la coexistencia de ambas especies en un contexto de cambio global.

## 6. Conclusiones

La identificación de los diferentes patrones que influyen en la dinámica del regenerado de *P.pinea* y de *P.pinaster* es clave para el estudio más profundo sobre el establecimiento y mantenimiento de la regeneración natural. La mezcla de especies parece ejercer un efecto positivo en la instalación y posterior mantenimiento de los brinzales de ambas especies. La sincronización temporal en el número de brinzales demuestra que existen factores climáticos que condicionan las diferentes fases de establecimiento del regenerado entre las diferentes zonas estudiadas. Sin embargo, el hecho de que no exista una sincronización temporal entre *P. pinea* y *P. pinaster* indica que la regeneración natural de cada especie viene determinada por diferentes factores, o que la manera en que éstos actúan sobre la regeneración natural en cada especie varía en intensidad.

### Agradecimientos

Los autores desean expresar su más sincero agradecimiento a los Agentes Medioambientales del servicio forestal de Valladolid encargados de realizar los conteos anuales de la regeneración natural, sin cuya ayuda no hubiera sido posible la obtención de una base de datos tan amplia. Este trabajo ha sido financiado por el proyecto " Complejidad y sostenibilidad en bosques mixtos: dinámica, selvicultura y herramientas de gestión adaptativa. Subproyecto 2" del Plan Nacional de I+D+i (Código: AGL2014-51964-C2-2-R) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad).

### 7. Bibliografía

AWADA, T.; RADOGLU, K.; FOTELLI, M.N.; CONSTANTINIDOU, H.I.A.; 2003. Ecophysiology of seedlings of three Mediterranean pine species in contrasting light regimes. *Tree Physiol.* 23, 33-41.

BARBEITO, I.; LEMAY, V.; CALAMA, R.; CAÑELLAS, I.; 2011. Regeneration of Mediterranean *Pinus sylvestris* under two alternative shelterwood systems within a multiscale framework *Can. J. For. Res.* 41, 341–351

CALAMA, R.; MUTKE, S.; GORDO, F.J.; MONTERO, G.; 2008. An empirical ecological-type model for predicting stone pine (*Pinus pinea* L.) cone production in the Northern Plateau (Spain). *For. Ecol. Manage.* 255, 660–673.

CALAMA, R.; MUTKE, S.; TOMÉ, J.A.; GORDO, F.J.; MONTERO, G.; TOMÉ, M.; 2011. Modelling spatial and temporal variability in a zero-inflated variable: the case of Stone pine (*Pinus pinea* L.) cone production. *Ecol. Model.* 222, 606–618.

DEL CERRO BARAJA, A.; NAVARRO LÓPEZ, R.; LÓPEZ SERRANO, F.R.; ANDRÉS ABELLÁN, M.; GARCÍA MOROTE, F.; LUCAS BORJA, M.E.; 2005. La regeneración de los montes de *Pinus nigra* Arn. en la serranía de Cuenca: un problema para la ordenación sostenible. IV Congreso Forestal Español.

DE DIOS-GARCÍA, J.; PARDOS. M.; CALAMA, R.; 2015. Interannual variability in competitive effects in mixed and monospecific forests of Mediterranean stone pine. *For. Ecol. Manage.* 358, 230-239.

DEL PESO, C.; BRAVO, F.; RUANO, I.; PANDO, V.; 2012. Patrones de diseminación y nascencia de *Pinus pinaster* Ait. En la Meseta castellana. In: Gordo, F.J., Calama, R., Pardos, M., Bravo,

F., Montero, G. (Eds.), La regeneración natural de los pinares en los arenales de la meseta castellana. *IUGFS-Uva-INIA*. 161–174.

DEL RIO, M.; SCHUTZE, G.; PRETZSCH, H.; 2014. Temporal variation of competition and facilitation in mixed species forests in Central Europe. *Plant biol.* 16, 166-176.

DEL RÍO, M.; PRETZSCH, H.; RUÍZ-PEINADO, R.; AMPOORTER, E.; ANNIGHÖFER, P.; BARBEITO, I.; BIELAK, K.; BRAZAITIS, G.; COLL, L.; DRÖSSLER, L.; FABRIKA, M.; FORRESTER, D. I.; HEYM, M.; HURT, V.; KURYLYAK, V.; LÖF, M.; LOMBARDI, F.; MADRICKIENE, E.; MATOVIĆ, B.; MOHREN, F.; MOTTA, R.; DEN OUDEN, J.; PACH, M.; PONETTE, Q.; SCHÜTZE, G.; SKRZYSZEWSKI, J.; SRAMEK, V.; STERBA, H.; STOJANOVIĆ, D.; SVOBODA, M.; ZLATANOV, T. M.; BRAVO-OVIEDO, A.; 2017. Species interactions increase the temporal stability of community productivity in *Pinus sylvestris*-*Fagus sylvatica* mixtures across Europe. *J. Ecol.*

FORRESTER, D.I.; 2015. Transpiration and water-use efficiency in mixed-species forests versus monocultures: effects of tree size, stand density and season. *Tree. Physiol.* 35, 289-304.

FORRESTER, D.I.; 2014. The spatial and temporal dynamics of species interactions in mixed-species forests: from pattern to process. *For. Ecol. Manage.* 312, 282–292.

GONZÁLEZ MARTÍNEZ, S.C.; BRAVO, F.; 1997. Inventario y descripción de la regeneración natural. Aplicación a grupos ordenados de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.). *Montes* 50, 21-28.

GONZÁLEZ MARTÍNEZ, S.C.; BRAVO, F.; 2001. Density and population structure of the natural regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the High Ebro Basin (Northern Spain). *Ann. For. Sci.* 58, 277-288

GORDO, F.J.; 2004; Selección de grandes productores de fruto de *Pinus pinea* L. en la Meseta Norte. Ph. Dr. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

GORDO, F.J.; MONTERO, G.; GIL, L.; 2012. La problemática de la regeneración natural de los pinares en los arenales de la Meseta Castellana. In: Gordo, J., Calama, R., Pardos, M., Bravo, F., Montero, G. (Eds.), La regeneración natural de los pinares en los arenales de la meseta castellana. Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible, Valladolid.

JACTEL, H.; NICOLL, B.C.; BRANCO, M.; GONZÁLEZ-OLABARRÍA, J.R.; GRODZKI, W.; LÅNGSTRÖM, B.; MOREIRA, F.; ET AL.; 2009. The Influences of forest stand management on biotic and abiotic risks of damage. *Ann. For. Sci.* 66, 701.

KELTY, M.J.; 1992. Comparative productivity of monocultures and mixed stands. In: Kelty MJ, Larson BC, Oliver MJ (eds) The ecology and silviculture of mixed-species forests. *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, 125–141.

LEDO, A.; CANELLAS, I.; BARBEITO, I.; GORDO, F.J.; CALAMA, R.A.; GEA-IZQUIERDO, G.; 2014. Species coexistence in a mixed Mediterranean pine forest: Spatio-temporal variability in trade-offs between facilitation and competition. *For. Ecol. Manage.* 332, 89-97

LEGENDRE, P.; 2005. Species associations: the Kendall coefficient of concordance revisited. *JABES*. 10, 226-245

LOREAU, M.; NAEEM, S.; INCHAUSTI, P.; BENGTSSON, J.; GRIME, J.P.; HECTOR, A.; HOOPER, D.U.; HUSTON, M.A.; RAFAELLI, D.; SCHMID, B.; TILMAN, D.; WARDLE, D.A.; 2001. Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*. 294, 804-808

MANSO, R.; PARDOS, M.; KEYES, C.; CALAMA, R.; 2012. Modelling the spatio-temporal pattern of primary dispersal in stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in the Northern Plateau (Spain). *Ecol. Model.* 226, 11–21.

MANSO, R.; CALAMA, R.; MADRIGAL, G.; PARDOS, M.; 2013a. A silviculture-oriented spatio-temporal model for germination in *Pinus pinea* L. in the Spanish Northern Plateau based on a direct seeding experiment. *Eur. J. For. Res* 132, 969-982.

MANSO, R.; FORTIN, M.; CALAMA, R.; PARDOS, M.; 2013b. Modelling seed germination in forest tree species through survival analysis. The *Pinus pinea* L. case study. *For. Ecol. Manage.* 289, 515-524.

MARAÑÓN, T.; CAMARERO, J.J.; CASTRO, J.; DÍAZ, M.; ESPELTA, J.M.; HAMPE, A.; JORDANO, P.; VALLADARES, F.; VERDÚ, M.; ZAMORA, R.; 2004. Heterogeneidad ambiental y nicho de regeneración. In: Valladares, F. (Ed.), *Ecología Del Bosque Mediterráneo En Un Mundo Cambiante*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 69–99.

METZ, J.; SEIDEL, D.; SCHALL, P.; SCHEFFER, D.; SCHULZE, E.D.; 2013. Crown modeling by terrestrial laser scanning as an approach to assess the effect of aboveground intra- and interspecific competition on tree growth. *For. Ecol. Manage.* 30, 275-288.

MONTES, F.; AND CAÑELLAS, I.; 2007. The spatial relationship between the remaining trees from the previous crop and the establishment of saplings in *Pinus sylvestris* stands in Spain. *Appl. Veg. Sci.* 10, 151–160.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUEBEC; 2013. Le guide sylvicole du Québec, Tome 2–Les concepts et l'application de la sylviculture. In: Larouche C, Guillemette F, Raymond P, Saucier JP (eds). *Les Publications du Québec*, Québec

OLIVER, C.D.; LARSON, B.C.; 1996. *Forest stand dynamics*. Wiley, New York.

PRETZSCH, H.; 2009. *Forest dynamics, growth and yield*. Springer, Berlin.

PRETZSCH, H.; BIELAK, K.; BLOCK, J.; BRUCHWALD, A.; DIELER, J.; EHRHART, H.P.; KOHNLE, U.; NAGEL, J.; SPELLMANN, H.; ZASADA, M.; 2013. Productivity of mixed versus pure stands of oak (*Quercus petraea* (MATT.) LIEBL. and *Quercus robur* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) along an ecological gradient. *Eur. J. For. Res.* 132, 263-280.

PRETZSCH, H.; DEL RIO, M.; AMMER, CH.; AVDAGIC, A.; BARBEITO, I.; BIELAK, K.; BRAZAITIS, G.; COLL, L.; DIRNBERGER, G.; DROSSLER, L.; FABRIKA, M.; FORRESTER, D.I.; GODVOD, K.; HEYM, M.; HURT, V.; KURYLYAK, V.; LÖF, M.; LOMBARDI, F.; MATOVIC, B.; MOHREN, F.; MOTTA, R.; DEN OUDEN, J.; PACH, M.; PONETTE, Q.; SCHUTZE, G.; SCHWEIG, J.; SKRZYSZEWSKI, J.; SRAMEK, V.; STERBA, H.; STOJANOVIC, D.; SVOBODA, M.; VANHELLEMONT, M.; VERHEYEN, K.; WELLHAUSEN, K.; ZLATANOV, T.; BRAVO-OVIEDO, A.; 2015. Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L) and European beech (*Fagus sylvatica* L) analysed along a productivity gradient through Europe. *Eur. J. For. Res.* 134, 927–947.

R CORE TEAM.; 2016. R A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL <https://www.R-project.org/>.

RICHARDS, A.E.; FORRESTER, D.I.; BAUHUS, J.; 2010. The influence of mixed tree plantations on the nutrition of individual species: a review. *Tree. Physiol.* 30, 1192-1208.

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). *InvestAgrar:SistRecurFor* 16, 25-38.

RODRÍGUEZ-GARCÍA, E.; JUEZ, L.; BRAVO, F.; 2010. Environmental influences on postharvest natural regeneration of *Pinus pinaster* Ait. in Mediterranean forest stands submitted to the seed-tree selection method. *Eur. J. For. Res.* 129, 1119–1128.

RODRÍGUEZ-GARCÍA, E.; GRATZER, F.; BRAVO, F.; 2011. Climatic variability and other site factor influences on natural regeneration of *Pinus pinaster* Ait. Mediterranean forests. *Ann. For. Sci.* 68, 811–823.

SERRADA, R.; 2003. Regeneración natural: situaciones, concepto, factores y evaluación. En: Actas del grupo de trabajo de Selvicultura y Ordenación de Montes, III Reunión sobre regeneración natural y IV Reunión sobre Ordenación de Montes. Ed. Silva-Pando F.J. et al. *Cuadernos de la SECF*, 15.

TOÏGO, M.; VALLET, P.; PEROT, T.; BONTEMPS, J-D.; PIEDALLU, C.; COURBAUD, B.; 2015. Overyielding in mixed forests decreases with site productivity. *J. Ecol.* 103, 502–512

VEGA J.A.; HERNANDO C.; MADRIGAL J.; PÉREZ-GOROSTIAGA P.; GUIJARRO M.; FONTURBEL M.T.; CUIÑAS P.; 2005. Regeneración de *Pinus pinaster* Ait. tras incendios forestales y medidas selvícolas para favorecerla. IV Congreso Forestal Español, Zaragoza. 352.