



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-171

---

---

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Análisis del efecto de la densidad en el regenerado de *Pinus pinaster* y *Pinus halepensis*

RUANO, I.<sup>1</sup> y BRAVO, F.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible (iuFOR), Universidad de Valladolid-INIA. Av. Madrid

<sup>2</sup> Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Campus de Palencia-Universidad de Valladolid.

irene@pvs.uva.es

### Resumen

Hasta ahora la mayoría de los estudios sobre regeneración natural analizan masas puras pero apenas existen investigaciones que comparen masas mixtas y puras. Además la fase de establecimiento del regenerado se suele analizar ante la falta de regeneración, especialmente en ecosistemas como el mediterráneo, donde las plantas sufren estados de estrés. Por esto se pretende analizar las relaciones intra e inter-específicas en plántulas de *Pinus pinaster* y *Pinus halepensis* bajo altas densidades. Para llevarlo a cabo se instalaron cinco parcelas siguiendo el diseño de anillos Nelder. Este diseño permite analizar diferentes densidades en la misma parcela, en este caso desde 1000 a 80000 plántulas/ha. Además se situaron las especies mezcladas para poder analizar el efecto bajo diferentes niveles de mezcla de especies (masas puras, mezcla de 40-60 y mezcla de 80-20). Aparentemente los crecimientos en diámetro y altura fueron mayores para *Pinus halepensis* pero este dispositivo experimental se instaló en 2013 por lo que los datos disponibles hasta ahora solo permiten hacer un análisis preliminar del crecimiento y la supervivencia. Además se presenta un análisis crítico de este tipo de diseño experimental ya que tiene diferentes pros y contras, como por ejemplo el efecto de la mortalidad en el análisis de los datos.

### Palabras clave

Anillos Nelder, masas mixtas, índice de Hegyi

### 1. Introducción

En los estudios sobre regeneración natural, y especialmente en ecosistemas como el mediterráneo, donde las plantas sufren estados de estrés, se suele analizar la fase de establecimiento desde el punto de vista de la falta de regenerado. Pero también es necesario conocer el comportamiento de las especies mediterráneas ante altas densidades. En masas ya establecidas las altas densidades producen una competencia por los recursos que pueden llegar a reducir el crecimiento del árbol. Pero se pueden observar efectos de competencia y de facilitación al mismo tiempo en otras fases de desarrollo, como en la fase de establecimiento. Ante un regenerado con alta densidad se puede producir competencia, por ejemplo entre el regenerado por los recursos como la luz y el agua o con otras plantas que pueden inhibir el establecimiento o el crecimiento de las especies arbóreas. Pero al mismo tiempo se puede producir un efecto de facilitación ya que se reduce la velocidad del viento o la evapotranspiración, otras especies pueden ser una protección contra los herbívoros. También se ha observado que de una interacción positiva se puede cambiar a una interacción negativa cuando se desarrolla la especie beneficiaria (CALLAWAY et al, 1996; RODRÍGUEZ-GARCÍA et al, 2011a; UHL et al, 2015). Por lo tanto el balance neto de estas interacciones es un

punto a investigar. En este caso se ha trabajado con dos de las principales especies de los ecosistemas mediterráneos: *Pinus halepensis* y *Pinus pinaster*. Ambas especies están ampliamente presentes en la cuenca mediterránea y tienen una importancia ecológica por su capacidad de crecer en suelos pobres y su tolerancia a la sequía estival (ALÍA & MARTÍN 2003; FADY et al 2003). A pesar de compartir hábitat apenas hay estudios que analicen las interacciones entre ambas especies.

Hasta ahora la mayoría de los estudios analizan masas puras pero apenas existen investigaciones que comparen masas mixtas y puras en parcelas similares. A priori, si se conocen los nichos de las especies y sus diferencias, se podría simplificar el análisis como masa mixta integrando estos conocimientos, pero hay que conocer las estrategias de competencia de cada especie y sus comportamiento bajo presión por competencia inter- e intra-específica ya que, al estar compartiendo nicho en una masa mixta, puede que su comportamiento no sea el mismo que en una masa pura. De hecho se ha observado que, en términos de productividad, las masas mixtas adultas compensan más fácilmente las variaciones de densidad de la masa que las puras (PRETZSCH, 2009). La mayoría de los trabajos que analizan las interacciones intra- e inter-específicas lo hacen desde un punto de vista productivo en masas maduras (KUEHNE et al, 2013; VANCLAY et al, 2013; COLLET et al, 2014), pero es necesario desarrollar estudios que analicen las interacciones durante todos los estados de desarrollo del bosque y en términos más allá de la productividad, para poder conocer cómo responden las masas mixtas.

El diseño presentado por NELDER (1962), conocido como anillos o ruedas Nelder, permite analizar distintas densidades de plantación en una misma parcela y en un espacio relativamente pequeño en comparación a los diseños tradicionales. Consiste en una parcela circular que contiene anillos concéntricos y a su vez se definen radios que unen el centro con el anillo exterior. En las intersecciones de los radios y los anillos se sitúa un árbol. En estos casos la unidad experimental no será la parcela sino el árbol individual ya que se define la densidad por la superficie de terreno disponible para cada árbol en función de la posición de sus vecinos. De esta manera se obtienen distintas densidades de plantación a lo largo de los radios dentro de una sola parcela. Este diseño tiene la principal ventaja de poder analizar varias densidades en un espacio relativamente pequeño, pero la dificultad para su análisis estadístico no le hizo muy popular. Ha sido utilizado en experimentos con especies agrícolas, pero es escaso en el mundo forestal; en cambio con las nuevas técnicas estadísticas disponibles actualmente puede ser útil. Por ejemplo, puede ser una oportunidad para analizar interacciones inter-específicas bajo diferentes densidades, ya que el diseño experimental más común para llevar a cabo estudios de masas mixtas consiste en mezclar las especies en diferentes proporciones manteniendo una densidad total constante (VANCLAY 2013).

## 2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo fue analizar las interacciones inter- e intra-específicas de plántulas de *Pinus pinaster* y *Pinus halepensis* bajo distintos niveles de densidad. Para cumplirlo se instaló una plantación siguiendo el diseño propuesto por NELDER (1962) en el que se pueden analizar distintas densidades en una misma parcela, en este caso desde 1000 hasta 80000 plantas/ha, para simular la fase de establecimiento con altas densidades. Dentro de la parcela se intercalaron las dos especies de manera que se obtienen tres proporciones de las especies. Las hipótesis planteadas en este estudio fueron: 1) la mortalidad de las plántulas es diferente entre las dos especies y varía a lo largo de la mezcla entre ellas y de las densidades analizadas; 2) el desarrollo

de las plántulas es diferente a lo largo del gradiente de densidades analizadas, observándose relaciones de facilitación y competencia; 3) el comportamiento de las dos especies analizadas es diferente; 4) el desarrollo de las plántulas se ve afectado por la proporción de las especies que la rodean; 5) se pueden encontrar interacciones entre las densidades analizadas, las especies y las proporciones de plantación. Además, a lo largo del trabajo se presenta un análisis crítico del diseño experimental ya que tiene diferentes pros y contras, como por ejemplo el efecto de la mortalidad en el análisis de los datos.

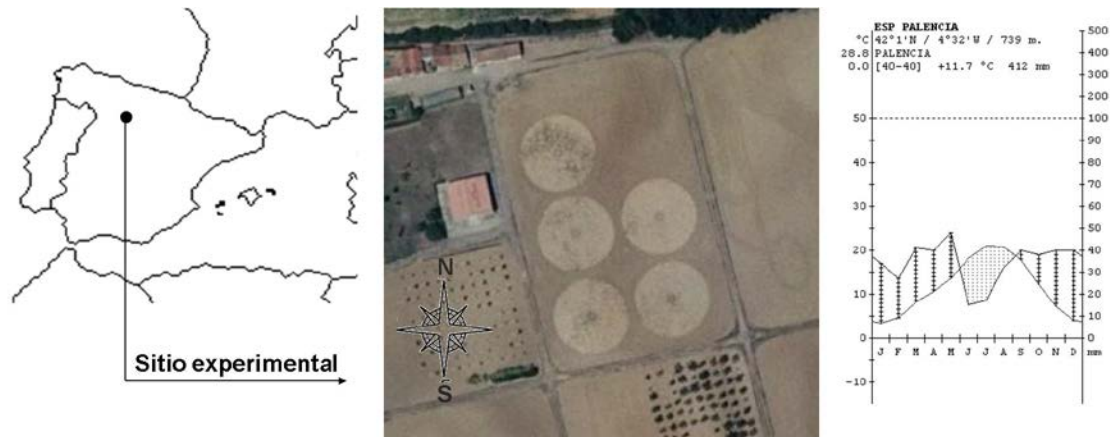
### 3. Metodología

#### 3.1 Dispositivo experimental

En otoño del 2013 se instaló el ensayo de densidad mediante el diseño de anillos Nelder en una finca de aproximadamente 1 ha en el antiguo vivero forestal de la Junta de Castilla y León y actual Centro de Sanidad Forestal localizado en Calabazanos (Palencia) (Figura 1). Este ensayo está formado por 5 dispositivos. Cada uno de ellos están formados por 12 anillos para analizar 10 densidades diferentes entre 1000 y 80000 plántulas/ha (Tabla 1 y Figura 1). Las densidades máximas y mínimas se definieron para comprobar el efecto de altas densidades en la regeneración. Según MATNEY & HODGES (1991) se considera la regeneración natural óptima con al menos 2000 plántulas/ha, aunque RODRÍGUEZ-GARCÍA et al (2010) consideraron 1000 plántulas/ha suficientes para regenerar masas con estrés abiótico. Por otro lado, varios estudios sobre regeneración natural post-fuego en ecosistemas mediterráneos encontraron altas densidades (OROZCO Y JORDÁN, 2007; RUANO et al, 2013). Por ejemplo, RUANO et al (2013) observaron densidades de regeneración post-fuego de *Pinus halepensis* de 80000 plántulas/ha, por lo que la densidad máxima a analizar fue 80000 plántulas/ha.

Tabla 1. Diseño de las parcelas siguiendo el diseño de anillos Nelder

anillo	distancia al centro (m)	espacio por planta (m <sup>2</sup> )	densidad analizada (plántulas/ha)
0	1,14	-	-
1	1,45	0,13	80000
2	1,85	0,20	49162,68
3	2,36	0,33	30212,11
4	3,01	0,54	18566,36
5	3,84	0,88	11409,65
6	4,90	1,43	7011,61
7	6,25	2,32	4308,87
8	7,97	3,78	2647,94
9	10,17	6,15	1627,25
10	12,97	10,00	1000
11	16,55	-	-



### Diseño experimental:

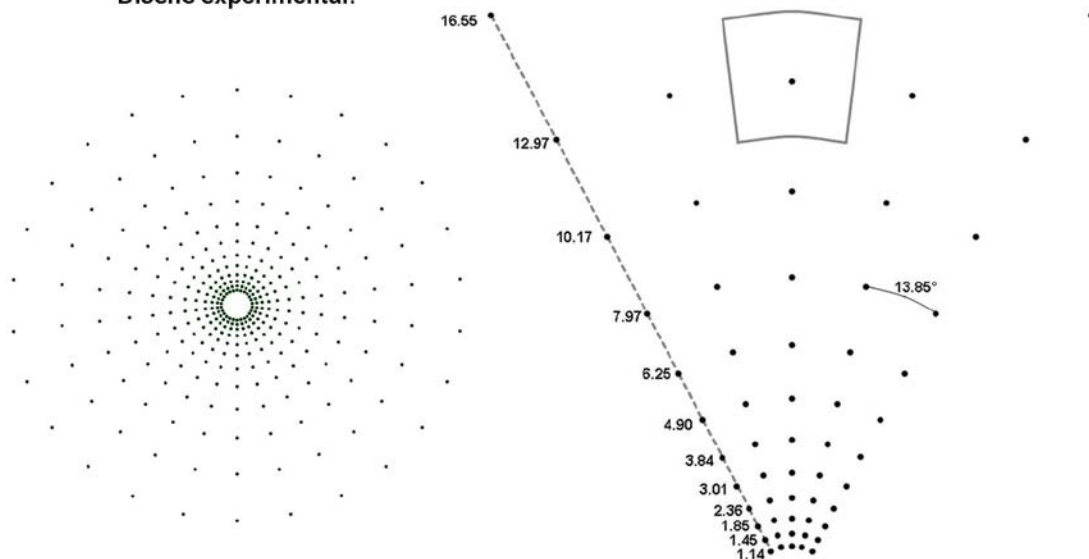


Figura 1. Localización del sitio experimental. El diseño experimental siguiendo el diseño de Nelder (1962): cada punto es una planta; distancias desde el centro de la parcela y el ángulo entre radios; superficie disponible para cada planta. Fuente del climodiagrama: RIVAS-MARTÍNEZ Y RIVAS-SÁENZ (1996-2009)

En este caso se mezclaron dos especies, *Pinus pinaster* y *Pinus halepensis*, para poder analizar el efecto intra e inter-específico. Las regiones de procedencia seleccionadas fueron “Meseta Castellana” para *P. pinaster* y la denominada “Replantaciones de la Meseta Norte” para *P. halepensis* para que la adaptación al sitio no fuera un factor significativo. La distribución de las especies dentro de las parcelas varía a lo largo de los radios para obtener tres niveles de competencia, considerando la especie de los cuatro árboles vecinos (Figura 2):

- 100: los cuatro árboles vecinos son de la misma especie que el árbol central, por lo tanto el 100% de los árboles son de la misma especie.
- 80: tres de los vecinos son de la misma especie que el árbol central y uno de los vecinos no, por lo tanto el 80% de los árboles son de la misma especie.
- 60: dos de los vecinos son de la misma especie que el árbol central y los otros dos no, por lo tanto el 60% de los árboles son de la misma especie.

Cuatro de las parcelas del ensayo siguen la misma distribución de las especies (Figura 2) pero la orientación de los radios fue diferente entre ellas. En el caso de la última parcela la distribución de las especies varía para poder hacer una cosecha en dos tiempos y poder analizar la biomasa seca.

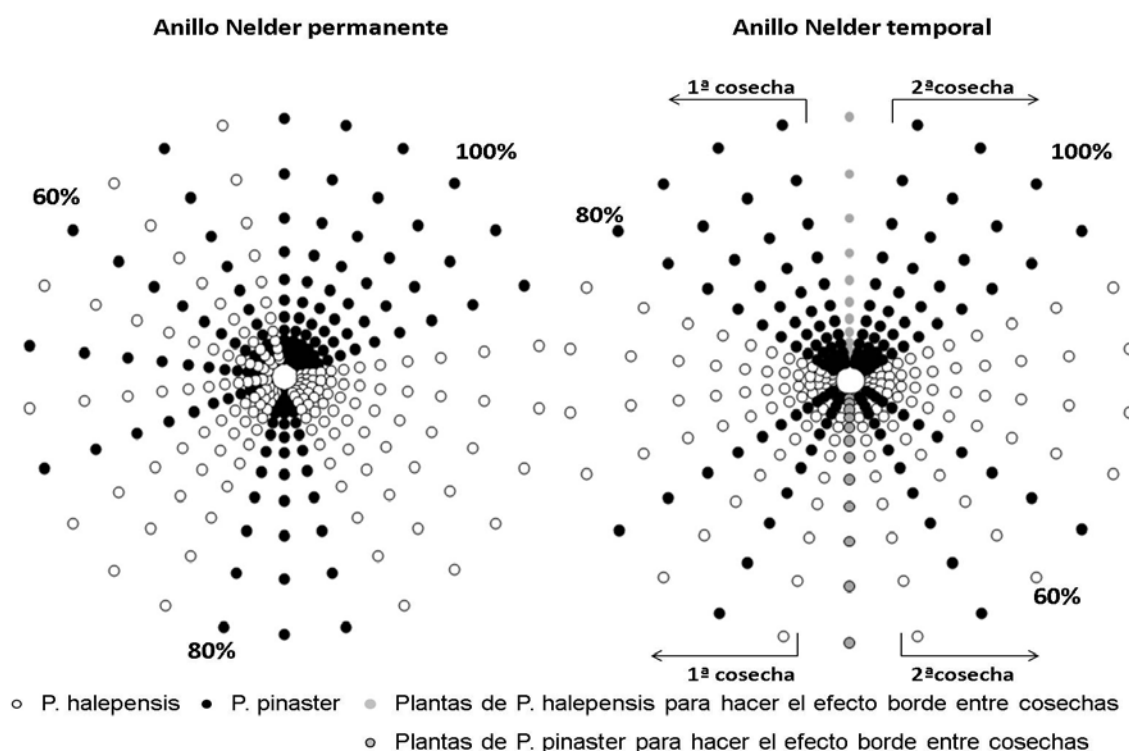


Figura 2. Distribución de las especies en las parcelas siguiendo el diseño en anillos Nelder: 4 parcelas permanentes (izquierda) y una parcela temporal (derecha) para cosechar en dos tiempos. Puntos blancos representan las plantas de *Pinus halepensis*, puntos negros representan las plantas de *Pinus pinaster* y puntos grises representan las plantas que sirven como efecto borde para las cosechas. Los niveles de competencia inter-específica considerados se muestran como ejemplo en porcentajes.

La plantación se realizó en el otoño de 2013 y en ese momento todos los pinos fueron medidos: dos diámetros en la base, altura y número de brotes laterales; repitiéndose las mediciones anualmente. Además 120 pinos sobrantes de la plantación (60 de cada especie) fueron también medidos y se realizó un análisis de la biomasa seca considerando tres partes: raíces, tallo y acículas. Los pinos ya divididos en tres partes se secaron en una estufa durante 48 h a 70 °C para pesarlos y obtener la biomasa seca de cada parte considerada. De esta manera está caracterizada la morfología y producción de biomasa al inicio de la plantación.

Como mantenimiento de la plantación se protegieron las plantas con un protector específico contra los conejos, ya que hay una alta población de esta especie en la finca. Estos protectores se consideran de disuasión, y consisten en una malla de 60 cm de altura con una luz de 8 mm<sup>2</sup> que se sujeta alrededor de la planta con ayuda de dos tutores de bambú. En este caso la malla elegida es la más sencilla posible para que no cambie las condiciones micro-climáticas de la planta. Además durante el primer verano se realizaron dos escardas para evitar la proliferación de especies herbáceas no características de las masas forestales.

En el otoño del 2014 se controló la supervivencia de las plantas y se repitieron las mediciones de diámetros en la base y altura.

### 3.2 Análisis del crecimiento

En el caso del análisis del crecimiento se presenta un análisis descriptivo de los incrementos en diámetro y altura en función de las densidades propuestas en el diseño y la mezcla de las especies. En este tipo de diseños existe una alta autocorrelación espacial y temporal con una falta de independencia y de aleatorización. Esto se puede solventar utilizando modelos lineales mixtos o modelos de regresión aditiva general (PARROT et al, 2012; KUEHNE et al, 2013; UHL et al, 2015), pero la falta de datos a largo plazo ha impedido hacer este análisis estadístico más profundo.

### 3.3 Modelo de mortalidad

Durante el primer año el 5,4% de las plantas se secaron, y con estos datos se pretendió ajustar un modelo logístico binomial. La variable dependiente, por lo tanto, es una variable binaria donde se considera como éxito la supervivencia de la plántula y el fracaso su muerte. Como variables explicativas se consideraron tres factores: especie (*Pinus halepensis* o *Pinus pinaster*); densidad de la masa (1000, 1627, 2648, 4309, 7012, 11410, 18566, 30212, 49163 o 80000 plántulas/ha) y mezcla de especies (60, 80 o 100%). Se ajustaron diferentes modelos para cada factor y cada interacción entre los factores para identificar los factores significativos en la variable respuesta. Los modelos significativos se evaluarían en función del Criterio de Información de Akaike (AIC) (AKAIKE 1973).

### 3.4 Índice de Hegyi

El diseño propuesto por Nelder (1962) permite analizar diferentes densidades en una parcela, ocupando un espacio relativamente pequeño y evitando el efecto del sitio. La diferencia con los diseños tradicionales para analizar diferentes densidades es que la unidad experimental es la planta, no la parcela. Por lo tanto, la mortalidad de las plantas en este tipo de diseños es importante ya que, cuando una planta muere, el espacio disponible de las plantas vecinas cambia, y por lo tanto la densidad propuesta en el diseño inicial. Algunos autores proponen analizar la densidad en función de índices de competencia como el índice de HEGYI (1974) para caracterizar la competencia local (UHL et al, 2015; VANCLAY et al, 2013; WEISKITTEL et al, 2011; LINARES et al, 2009).

Debido a la mortalidad ocurrida durante el primer año se calculó el índice de Hegyi para calcular la competencia local de las densidades propuestas. Este índice se calcula de la siguiente manera:

$$C_i = \sum_{j=1}^{N(R)} (d_i/d_j)/Dist_{ij}$$

Donde:  $i$ : árbol a analizar;  $j$ : árboles competidores dentro de un radio  $R$  alrededor del árbol  $i$ ;  $d_i$ : diámetro del árbol a analizar;  $d_j$ : diámetro del árbol competidor  $j$ ;  $Dist_{ij}$ : distancia entre el árbol  $i$  y el árbol  $j$ .

HEGYI (1974) usó un radio de 3 m para definir los competidores potenciales, pero este radio puede variar entre 2 y 3 m y hasta 15 m dependiendo de los investigadores (WEISKITTEL et al, 2011),

por lo que definir este radio es importante para la efectividad del índice. UHL et al (2015) estimaron este radio como la altura media de los 100 árboles más altos multiplicada por el factor 1,25. Por otro lado LINARES et al (2009; 2013) propusieron un método para definir el radio óptimo en sus estudios sobre *Abies pinsapo* Boiss. LINARES et al (2013) estimaron el índice de Hegyi usando radios desde 1 a 10 m, con incrementos de 1 m y calcularon las correlaciones de Pearson entre los índices calculados y su variable. Finalmente se utilizó el radio con la correlación más alta. De manera similar LINARES et al (2009) analizaron el radio con regresiones lineales entre los índices de Hegyi calculados y su variable explicativa. Finalmente seleccionaron el radio con el coeficiente de determinación más alto. En este estudio se calculó el índice de Hegyi desde 1 a 13 m con incrementos de 0,5 m y se calcularon las correlaciones de Pearson y las regresiones lineales entre los índices y el incremento en diámetro. Este análisis no se realizó con el incremento en altura ya que el crecimiento en diámetro responde a la competencia de una manera más inmediata que la altura (RICHARDSON et al, 1999). Los índices de Hegyi se calcularon usando la librería “siplab” (GARCÍA, 2014) con el software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2014).

#### 4. Resultados

En las cinco parcelas instaladas se plantaron 1300 plántulas, 650 plántulas de *Pinus pinaster* y 650 de *Pinus halepensis*. A pesar de los protectores el 9,9% de las plántulas murieron y el 9,0% perdieron su guía terminal al ser roídos por los conejos. En este último caso las plántulas no murieron porque al menos un brote lateral se mantuvo vivo, pero estas plántulas no se pueden analizar junto con las vivas porque su crecimiento se ve claramente afectado por la pérdida de la guía terminal. También se observó en la remediación que el 5,4% de las plántulas se habían secado. Por lo tanto, después de un año de la instalación el 24,3% de las plántulas no se pueden incluir en el análisis, ya sea porque están muertas o porque han perdido la guía terminal.

Además, en este tipo de diseños, en los que la unidad experimental es la plántula y no la parcela, las densidades que se analizan se extrapolan a partir del espacio disponible que tiene la plántula para crecer. Si una de las plántulas muere, entonces el espacio disponible de las cuatro plántulas vecinas cambia. La mayoría de los autores recomiendan en estos casos sacar del análisis esas plántulas vecinas aunque estén vivas. En este estudio, al eliminar del análisis estos vecinos afectados por plántulas muertas se pierde el 52,3% de las plántulas, teniendo disponibles 620 plántulas para analizar. En este caso el tamaño muestral puede ser suficiente en un futuro para obtener conclusiones significativas, pero las tasas altas de mortalidad pueden hacer fracasar el experimento.

##### 4.1 Análisis de crecimiento

En el presente estudio se presentan las tendencias observadas analizando los promedios de los incrementos en diámetro en la base y altura de las 620 plántulas que tienen las cuatro plántulas vecinas vivas. Se puede observar que hay diferencias entre las dos especies analizadas, obteniendo mayores incrementos en las plántulas de *Pinus halepensis* en todos los casos. Las diferencias intra-específicas a lo largo de las densidades analizadas no son tan claras. Se observa un ligero incremento en el diámetro en la base de *Pinus halepensis* al disminuir la densidad, con un máximo incremento del diámetro bajo una densidad de aproximadamente 10000 plántulas/ha (Figura 3).



## 4.2 Modelo de mortalidad

Durante el primer año el 5,4% de las plántulas se secaron. Se intentó ajustar un modelo logístico binomial para estimar la probabilidad de supervivencia de las plántulas considerando tres factores: especie, densidad de la masa y mezcla de especies. Se realizaron diferentes ajustes pero ninguno de los factores considerados resultaron significativos, por lo que no se pudo cumplir este objetivo. Será necesario tener los datos de más años para poder realizarlo.

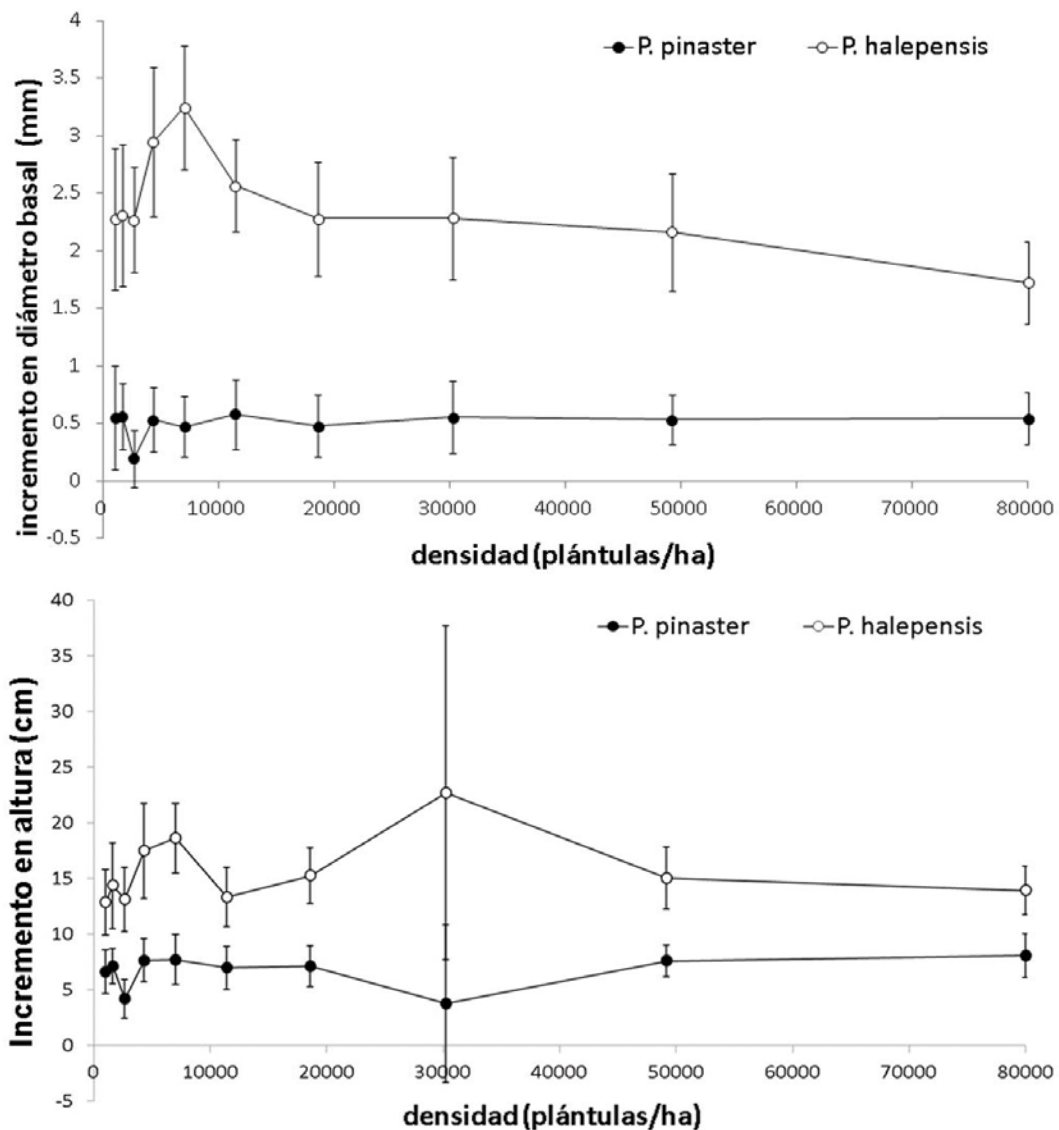


Figura 3. Promedio del incremento en diámetro en la base (mm) y en altura (cm) para cada especie en las densidades analizadas y sus intervalos de confianza ( $\alpha=0,05$ )

## 4.3 Índice de Hegyi

Una alternativa de análisis cuando existe mortalidad es el cálculo de índices de competencia para cada plántula. Así se obtiene un índice de competencia para cada individuo y no se eliminan del análisis plantas vivas que tienen vecinos muertos. Uno de los más usados para estos casos es el índice de Hegyi, que se calcula en función del tamaño y la distancia de las plantas que están dentro de un radio determinado. La clave es definir ese radio donde están las plantas que entran en competencia. Para definirlo, siguiendo el experimento de LINARES et al (2009), se calcularon los índices con radios de 1 a 13 m, en incrementos de 0,5 m y las correlaciones de Pearson entre los índices y el incremento en diámetro. En todos los casos se obtuvo una correlación negativa, pero el test de correlación fue significativo en todos los casos, así que no se pudo definir el mejor radio. También se intentó definir el radio siguiendo el experimento de LINARES et al (2013) calculando las regresiones lineales entre los índices de Hegyi estimados y el incremento en diámetro. Pero en todos los casos las regresiones ajustadas fueron significativas y los coeficientes de determinación aumentaron al aumentar también el radio, pero siempre con valores bajos (menores de 0,20), lo que impidió conocer el radio óptimo.

A pesar de la falta de conclusiones respecto al mejor radio para estimar el índice de Hegyi, en la Figura 4 se muestra la variación del índice a lo largo de los anillos del diseño, con el índice calculado con un radio de 5,5 m. Como era previsible, el índice tiende a disminuir al alejarse del centro, es decir, tiende a disminuir con densidades menores.

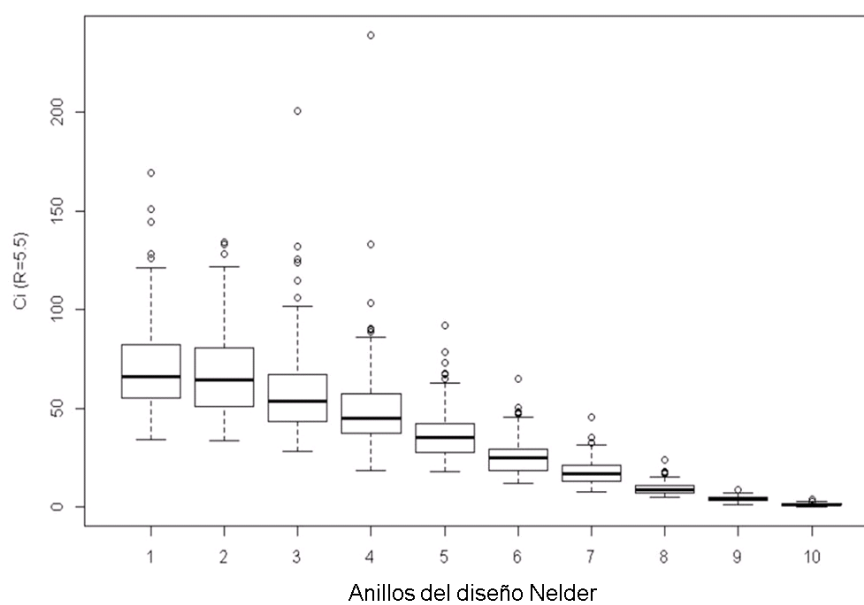


Figura 4. Diagrama de cajas con la variación del índice de Hegyi calculado con un radio de 5,5 m, a lo largo de los anillos de la parcela.

## 5. Discusión

### 5.1 Pros y contras del diseño experimental

El diseño de anillos Nelder permite trabajar en superficies más pequeñas y más irregulares que otros diseños en los que se necesitaría más espacio para analizar el mismo rango de densidades (VANCLAY 2013). Las masas puras se pueden describir a nivel de masa, pero masas más complejas

requieren aproximaciones más complejas a nivel de árbol individual. En este caso, el diseño de anillos Nelder es una buena oportunidad ya que la unidad experimental es la planta, no la parcela, como es común en un diseño factorial. Por lo tanto, este diseño experimental permite un análisis eficaz de la dinámica del árbol en un mismo lugar, al no necesitar grandes superficies, aunque implique cambios conceptuales y estadísticos (UHL et al 2015).

Desde el punto de vista estadístico hay una alta correlación espacial y temporal con una falta de independencia y falta de aleatorización. Hace unos años podría ser un problema, pero en la actualidad esto implica la necesidad de usar métodos estadísticos nuevos como modelos mixtos o modelos aditivos generalizados (PARROTT et al 2012; KUEHNE et al 2013; UHL et al 2015).

Otro reto que surge con este tipo de diseños es la sensibilidad del análisis a la mortalidad de las plantas, especialmente en experimentos forestales, donde el tiempo estimado para obtener resultados es de mínimo 5-10 años. El espacio estimado para crecer viene delimitado con las cuatro plantas vecinas. Al morir alguna de éstas, este espacio varía. En estos casos algunos investigadores aconsejan hacer tratamientos para aumentar la probabilidad de supervivencia, como control de plantas competidoras o, en el caso de pérdida de plantas, reponerlas. En este trabajo la mortalidad es una de las variables a analizar, ya que se pretende simular la fase de establecimiento de las plántulas en un ecosistema mediterráneo, donde la supervivencia de las plántulas durante el primer verano es normalmente baja debido a la sequía estival y la radiación solar (RUANO et al 2009; RODRÍGUEZ-GARCÍA et al 2011b). Durante el primer año se observó que el 5,4% de las plantas se secaron sin encontrar diferencias significativas entre las especies consideradas ni las densidades analizadas. Esto se puede deber a que ambas especies tienen una tasa de reposición similar, según los datos del Inventario Forestal Nacional (CARNICER et al 2014).

La mayoría de los investigadores sugieren, en el caso de mortalidad, eliminar del análisis las plantas vecinas de una planta muerta (PARROTT et al 2012; KUEHNE et al 2013). Esta opción puede ser viable cuando se tiene una baja tasa de mortalidad, pero como se ve en este trabajo, con una mortalidad observada de casi el 25%, siguiendo este consejo de eliminar del análisis las plantas vecinas salen del análisis más del 50% de las plantas, solo en el primer año de plantación.

Otra alternativa al problema de la mortalidad consiste en recalcular el espacio disponible para crecer de cada planta o analizar las interacciones utilizando índices de competencia (VANCLAY et al 2013; UHL et al 2015). WEISKITTEL et al (2011) explicaron la utilidad del índice de Hegyi para caracterizar la competencia local, aunque hay que definir la distancia que se considera para su cálculo.

Por lo tanto, aunque el diseño de anillos Nelder es una gran oportunidad para analizar diferentes densidades en parcelas relativamente pequeñas, la principal desventaja se presenta con la mortalidad de las plantas.

## 5.2 Análisis de crecimiento

*Pinus pinaster* y *Pinus halepensis* se consideran especies pioneras e invasoras en términos de sucesión ecológica, por lo que tienen un comportamiento similar en términos de crecimiento relativo (DAVIS et al 2000; GROTKOPP et al 2002). GROTKOPP et al (2002) analizaron el crecimiento de

plántulas de 29 pinos diferentes incluyendo *Pinus pinaster* y *Pinus halepensis*. Observaron similares tasas de crecimiento relativo entre ambas especies, aunque en este trabajo, durante el primer año, se han observado crecimientos mayores de diámetro en la base y altura en *Pinus halepensis*. Esto puede deberse a la teoría de que el peso de la semilla está relacionado negativamente con la tasa de crecimiento relativo. Esto significa que las especies con semillas más pequeñas tendrían crecimientos relativos mayores (MARAÑÓN & GRUBB 1993; GROTKOPP et al 2002). En este trabajo el peso de la semilla de *Pinus halepensis* es menor que el de *Pinus pinaster* (GROTKOPP et al 2002) y se han observado crecimientos mayores en diámetro y altura de *Pinus halepensis*. De todas maneras, sería necesario analizar estos datos considerando la biomasa de las plantas para analizar los crecimientos relativos y confirmar esta tendencia que se ha observado.

### 5.3 Modelo de mortalidad

Las funciones logísticas son muy útiles para ajustar la probabilidad de supervivencia o mortalidad de una planta, por lo que multitud de investigadores las han usado (por ejemplo: TRASOBARES et al 2004; GONZÁLEZ et al 2007). En este trabajo ningún factor ni sus interacciones resultaron significativos para la supervivencia durante el primer año, así que se necesitarán más años para obtener resultados concluyentes.

## 6. Conclusiones

Se ha presentado un análisis preliminar del crecimiento durante el primer año de establecimiento con resultados poco concluyentes, pero este tipo de dispositivos tienen un gran potencial para analizar interacciones intra- e inter-específicas, por lo que se espera continuar con el dispositivo al menos 10 años. Además se prevé hacer un primer análisis de biomasa a los 5 años de la plantación y un segundo a los 10 años. Estos datos de biomasa contribuirán al análisis de las interacciones y las tasas de crecimiento relativo.

Durante el primer año casi el 10% de las plántulas murieron por depredación de los conejos, a pesar de los protectores. Además, otro 9% sufrieron dicha depredación sobreviviendo, pero han perdido su guía terminal. Esto puede ser un problema ya que se han perdido casi el 20% de las plantas para un análisis inicial, pero también puede ser una oportunidad. Las plantas que han sobrevivido a la pérdida de la guía terminal pueden ofrecer datos interesantes para analizar el efecto de esa pérdida de guía por depredación de herbívoros en los primeros años de establecimiento.

En la actualidad se han observado diferencias intra- e inter-específicas, pero no se puede concluir si esas diferencias son estadísticamente significativas. En el futuro se espera poder analizar el crecimiento de las plántulas con un procedimiento estadístico más complejo. Primero habrá que redefinir la competencia local mediante el índice de Hegyi o re-calcular el espacio disponible para crecer cuando una planta vecina está muerta.

## 7. Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el proyecto “Mixed forest complexity and sustainability: dynamic, silviculture and adaptive management tools “ (AGL2014-51964-C2-1-R) del Ministerio de Economía y Competitividad. Los autores agradecen la ayuda recibida por parte de la Junta de Castilla y León

para la instalación y mantenimiento del dispositivo experimental. I. Ruano también agradece al programa de becas FPU del Ministerio de Educación su financiación.

## 8. Bibliografía

AKAIKE, H., 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In 2nd International Symposium on Information Theory. Edited by Csáki F. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp 267–281.

ALÍA, R., MARTÍN, S., 2003. EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for Maritime pine (*Pinus pinaster*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy

CALLAWAY, R.M., DELUCIA, E.H., MOORE, D., NOWAK, R., SCHLESINGER, W.H., 1996. Competition and facilitation: Contrasting effects of *Artemisia tridentata* on desert vs montane pines. *Ecology* 77, 2130–2141. doi:10.2307/2265707

CARNICER, J., COLL, M., PONS, X. 2014. Large-scale recruitment limitation in Mediterranean pines: the role of *Quercus ilex* and forest successional advance as key regional drivers. *Glob Ecol Biogeogr* 23:371–384. doi: 10.1111/geb.12111

COLLET, C., NINGRE, F., BARBEITO, I., ARNAUD, A., PIBOULE, A. 2014. Response of tree growth and species coexistence to density and species evenness in a young forest plantation with two competing species. *Ann. Bot-London* 113(4), 711-719. doi:10.1093/aob/mct285

DAVIS, M.A., GRIME, J.P., THOMPSON, K. 2000. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. *J Ecol* 88:528–534. doi: 10.1046/j.1365-2745.2000.00473.x

FADY, B., SEMERCI, H., VENDRAMIN, G.G., 2003. EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for Aleppo pine (*Pinus halepensis*) and Brutia pine (*Pinus brutia*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy

GARCÍA, O., 2014. Siplab, a spatial individual-based plant modelling system. *Comput. Ecol. Softw.* 4(4), 215–222.

GROTKOPP, E., REJMÁNEK, M., ROST, T.L. 2002. Toward a Causal Explanation of Plant Invasiveness: Seedling Growth and Life-History Strategies of 29 Pine (*Pinus*) Species. *Am Nat* 159 (4):396–419.

GONZÁLEZ, J.R., TRASOBARES, A., PALAHÍ, M., PUKKALA, T., 2007. Predicting stand damage and tree survival in burned forests in Catalonia (North-East Spain). *Ann. For. Sci.* 64, 733–742. doi:10.1051/forest:2007053

HEGYI, F., 1974. A simulation model for managing Jack-pine stands. In Growth models for tree and stand simulation. Edited by Fries, J. Royal College of Forest, Stockholm, Sweden. pp 74-90

KUEHNE, C., KUBLIN, E., PYTTEL, P., BAUHUS, J., 2013. Growth and form of *Quercus robur* and *Fraxinus excelsior* respond distinctly different to initial growing space: results from 24-year-old Nelder experiments. *J. For. Res.* 24, 1–14. doi:10.1007/s11676-013-0320-6

LINARES, J.C., CAMARERO, J.J., CARREIRA, J.A., LAMRANI-ALAOUI, M., OCHOA, V., GARCÍA-RUIZ, R., 2013. Patrones espacio-temporales en los pinsapares del Macizo Bético-Rifeño. En *Avances en el Analisis Espacial de Datos Ecologicos Aspectos Metodologicos y Aplicados*. Editado por De La Cruz, M., Maestre, F.T. Asociación Española de Ecología Terrestre, Móstoles, Madrid, España. pp 185-201

LINARES, J.C., DELGADO-HUERTAS, A., CAMARERO, J. J., MERINO, J., CARREIRA, J. A., 2009. Competition and drought limit the response of water-use efficiency to rising atmospheric carbon dioxide in the Mediterranean fir *Abies pinsapo*. *Oecologia* 161(3), 611-624

MARAÑÓN, T., GRUBB, P.J. 1993. Physiological Basis and Ecological Significance of the Seed Size and Relative Growth Rate Relationship in Mediterranean Annuals. *Funct. Ecol.* 7 (5):591–599.

MATNEY, D.T., HODGES, D.J., 1991. Evaluating regeneration success. In *Forest Regeneration Manual*. Edited by Duryea M.L. and Dougherty P.M. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands pp. 321-331

NELDER, J.A., 1962. New kinds of systematic designs for spacing experiments. *Biometrics* 18(3): 283-307

OROZCO, E., JORDÁN, E., 2007. Estudio de la influencia de la intensidad de poda en *Pinus halepensis* Mill. sobre diversos parámetros morfológicos, fisiológicos y biológicos. Universidad de Castilla-La Mancha y Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural. Dirección General del medio Natural. España.

PARROTT, D.L., BRINKS, J.S., LHOTKA, J.M., 2012. Designing Nelder wheel plots for tree density experiments. *New For.* 43, 245–254. doi:10.1007/s11056-011-9278-4

PRETZSCH, H., 2009. *Forest dynamics, growth and yield*. Springer, Berlin-Heidelberg, Germany

R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org>

RICHARDSON, B., KIMBERLEY, M.O., RAY, J.W., COKER, G.W., 1999. Indices of interspecific plant competition for *Pinus radiata* in the central north island of New Zealand. *Can. J. For. Res.* 29, 898–905.

RIVAS-MARTÍNEZ, S., RIVAS-SÁENZ, S., 1996-2009. Sistema de Clasificación Bioclimática Mundial. Centro de Investigaciones Fitosociológicas, España. <http://www.ucm.es/info/cif>

RODRÍGUEZ-GARCÍA, E., BRAVO, F., SPIES, T.A., 2011a. Effects of overstorey canopy, plant-plant interactions and soil properties on Mediterranean maritime pine seedling dynamics. *For. Ecol. Manage.* 262, 244–251. doi:10.1016/j.foreco.2011.03.029

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, 1119–1128. doi:10.1007/s10342-010-0399-7

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. doi:10.1007/s13595-011-0039-5

RUANO, I., PANDO, V., BRAVO, F., 2009. How do light and water influence *Pinus pinaster* Ait. germination and early seedling development? *For. Ecol. Manage.* 258, 2647–2653. doi:10.1016/j.foreco.2009.09.027

RUANO, I., RODRÍGUEZ-GARCÍA, E., BRAVO, F. 2013. Effects of pre-commercial thinning on growth and reproduction in post fire regeneration of *Pinus halepensis* Mill. *Ann. For. Sci.* 70(4), 357-366

TRASOBARES, A., PUKKALA, T., MIINA, J., 2004. Growth and yield model for uneven-aged mixtures of *Pinus sylvestris* L. and *Pinus nigra* Arn. in Catalonia, north-east Spain. *Ann. For. Sci.* 61, 9–24. doi:10.1051/forest:2003080

UHL, E., BIBER, P., ULBRICHT, M., HEYM, M., HORVÁTH, T., LAKATOS, F., GÁL, J., STEINACKER, L., TONON, G., VENTURA, M., PRETZSCH, H., 2015. Analysing the effect of stand density and site conditions on structure and growth of oak species using Nelder trials along an environmental gradient: experimental design, evaluation methods, and results. *For. Ecosyst.* 2, 17. doi:10.1186/s40663-015-0041-8

VANCLAY, J.K., LAMB, D., ERSKINE, P.D., CAMERON, D.M., 2013. Spatially explicit competition in a mixed planting of *Araucaria cunninghamii* and *Flindersia brayleyana*. *Ann. For. Sci.* 70, 611–619. doi:10.1007/s13595-013-0304-x

WEISKITTEL, A.R., HANN, D.W., KERSHAW, J.A., JR., VANCLAY, J. K., 2011. *Forest Growth and Yield Modeling*. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, USA