



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | **Plasencia**
Cáceres, Extremadura

7CFE01-230

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Comparación del crecimiento radial en masas regulares e irregulares de pino piñonero en el Sistema Central

RUIZ-PEINADO, R.^{1,2}, RIO, M.^{1,2}, SOTOMAYOR, M.A.³, MADRIGAL, G.¹, CONDE, M.¹, CALAMA, R.^{1,2} y PARDOS, M.^{1,2}

¹ Departamento de Selvicultura y Gestión Sistemas Forestales, INIA-CIFOR. Ctra. A Coruña km 7,5. 28040 Madrid

² Instituto Universitario de Investigación Gestión Forestal Sostenible (iuFOR), Universidad de Valladolid-INIA

³ ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid. Avenida de Ramiro de Maeztu s/n. 28040 Madrid

Resumen

La gestión de los pinares de *Pinus pinea* L. (pino piñonero) debe tener una marcada multifuncionalidad, donde a las clásicas producciones de piña y madera se unen la protección del suelo, mantenimiento de la biodiversidad y la fijación de carbono, como más importantes entre los servicios ecosistémicos. Disponer de modelos selvícolas adecuados para una correcta aplicación de la gestión forestal sostenible es una demanda de los profesionales de la gestión.

La gestión de estos pinares como masas irregulares puede ser la más adecuada cuando existen diferentes servicios ecosistémicos que se deben priorizar. Además, es importante conocer si las condiciones de competencia en las masas irregulares pueden ser menos severas cuando existen perturbaciones como, por ejemplo, las sequías típicas de los ambientes mediterráneos.

Para cuantificar estas condiciones de competencia, en este trabajo se analizan datos de incremento diametral provenientes de diferentes estructuras de masa de la parte oeste del Sistema Central. Se han muestreado 126 árboles de pino piñonero, 66 procedentes de masas regulares de distintas edades y 60 en masas irregulares. Con estos datos se realizó una comparación del crecimiento en ambos tipos de masa y se estudió la respuesta del crecimiento en distintos años de sequía identificados, mediante la utilización de índices de resistencia, resiliencia y recuperación.

Como resultados más significativos se ha encontrado que existe un patrón más homogéneo de crecimiento en las masas irregulares en comparación con masas regulares de distintas edades, y que las masas irregulares tienen una mejor respuesta en el crecimiento radial que las masas regulares frente a sequías.

Palabras clave

Pinus pinea, gestión forestal, incremento diametral, estructura irregular, resistencia a la sequía

1. Introducción

La gestión de masas forestales con el objetivo de producción de madera ha sido tradicionalmente realizada en forma de masas regulares. Pero, en ciertas ocasiones, la baja productividad de la estación, unida con la actividad para el aprovechamiento de otras producciones (pastos, frutos, leñas,...), así como la dificultad para conseguir la regeneración en los tiempos deseados, o la propia existencia de una regeneración natural anticipada, ha llevado a optar por la gestión de estas masas con estructuras irregulares. Uno de estos casos son aquellas masas de *Pinus pinea* L. en los que la gestión estaba orientada a la producción conjunta de madera y piña, pero donde los condicionantes anteriormente identificados, unidos a la bajas espesuras que requieren

estas producciones, han permitido la irregularización de muchas de ellas (MONTERO et al., 2003; CALAMA et al., 2005).

La irregularidad se ha venido tradicionalmente identificando con la mezcla íntima de individuos de todas las edades, en equilibrio perfecto y constante en el tiempo (AUNÓS, 2005). Sin embargo, la irregularidad en las masas de esta especie mediterránea se realiza mediante la mezcla de diferentes bosquetes donde los árboles tienen una edad similar pero diferente extensión superficial (MONTERO et al., 2003). La formación de estos bosquetes regulares es resultado del temperamento exigente en luz de la especie, por lo que la mezcla pie a pie no es posible (MONTERO et al., 2003). Además, la gestión de estas masas tiene que enfrentarse con los efectos del cambio climático en el medio mediterráneo, lo que hace que sus servicios ecosistémicos puedan verse reducidos.

Esta estructura irregular requiere una gestión forestal más compleja y detallada, aunque las mayores producciones de piña (CALAMA et al., 2005) y de otros servicios como paisaje, ocio y recreo, pastos e incluso fijación de carbono (RÍO et al., 2008) pueden hacer que la implementación de la gestión en masas irregulares se generalice en aquellos casos adecuados (MONTERO et al., 2008).

Los escenarios de cambio climático indican que el área mediterránea sufrirá un aumento de las temperaturas y sequías durante el siglo XXI (IPCC, 2013). Estas predicciones han llevado a una mayor preocupación sobre los posibles impactos del cambio climático en los sistemas forestales mediterráneos, así como sobre las medidas de adaptación. La marcada variación interanual de las cosechas de piñas, el carácter frugal de los suelos, la marcada sequía estival en las localizaciones más continentales de la especie y las condiciones ecológicas necesarias para asegurar su regeneración natural (GORDO et al., 2012), convierten al pino piñonero en una especie especialmente vulnerable frente a escenarios de cambio climático. Entre otros fenómenos asociados al cambio climático observados en esta especie, se han identificado procesos de decaimiento y sustitución por *Quercus ilex* L. en masas del Sistema Central (LINDNER & CALAMA, 2013) y una reducción en el crecimiento y vigor individual (NATALINI et al., 2013).

Ante esta vulnerabilidad de la especie se han realizado estudios orientados a establecer medidas selvícolas que mitiguen el posible impacto climático, como el efecto de la reducción de la densidad de las masas sobre la respuesta a la sequía (RÍO et al., 2011) o el efecto de la composición específica en la respuesta al clima (DE DIOS-GARCÍA et al., 2015). Sin embargo, no se han realizado estudios sobre el posible efecto de la estructura de edades en la respuesta en crecimiento a las condiciones climáticas.

2. Objetivos

En este trabajo se pretende identificar cuál es el efecto de la estructura de edades de la masa en el crecimiento radial de los árboles, realizándose una comparación del crecimiento en árboles en masas regulares de distintas edades con árboles en masas irregulares de pino piñonero. Además, se examinará el efecto de las distintas estructuras de edad en la recuperación del crecimiento radial frente a distintos episodios de sequías fuertes identificados en el área de estudio, utilizando para su análisis índices de resistencia, resiliencia y recuperación.

3. Metodología

El área de estudio se encuentra en las masas de *Pinus pinea* de la zona oeste del sistema Central (valles del Tiétar y del Alberche), entre altitudes de 600 y 1000 m en las provincias de Ávila, Madrid y Toledo. Desde finales del siglo pasado el INIA-CIFOR viene estudiando las producciones de madera y piña en estas masas, instalándose para ello una serie de parcelas experimentales permanentes en masas regulares e irregulares donde se viene realizando un seguimiento temporal.

En este estudio se ha realizado una selección de 22 parcelas experimentales en masas regulares cubriendo el rango de edades existentes (30- 200 años) y 4 parcelas en masas irregulares para realizar la comparación entre ambas estructuras de masa, estando todas ellas en las zonas cercanas a la localidad de Hoyo de Pinares (Ávila). El clima medio en este punto muestra una temperatura media anual de 13,4 °C y una precipitación media anual de 591 mm (AEMET, 2011). Las parcelas establecidas en masas regulares tienen radio variable donde entran 10 árboles, que están identificados y donde se han venido controlando sus principales características dendrométricas desde su instalación (diámetro y altura, fundamentalmente). Las parcelas establecidas en masas irregulares tienen distinta forma y superficie (una de ellas es rectangular y las otras circulares), donde entra un número de pies variable recogiendo toda la estructura de edad de la masa irregular. Se han llevado a cabo tres inventarios en las parcelas de las masas regulares y dos en las de masas irregulares. En el último inventario se realizó una extracción de testigos de crecimientos (cores) a la altura del diámetro normal (1,30 m.) mediante barrena de Pressler (2 muestras perpendiculares por árbol hasta llegar al centro del mismo). El muestreo se realizó en tres pies de cada parcela en masa regular (aquellos más cercanos al centro de la parcela) y 15 en cada parcela en masa irregular (muestreando todo el rango de edades y tamaños de manera proporcional al número de pies existentes en cada clase diamétrica). Estas muestras de crecimiento fueron preparadas para su posterior digitalización y lectura con el software LIGNOVISION. Finalmente se obtuvieron los crecimientos radiales anuales, que fueron comparados de manera gráfica para comprobar que las lecturas eran correctas. A partir de estos crecimientos radiales y el diámetro del árbol, se reconstruyó el crecimiento en diámetro y en área basimétrica.

La respuesta del crecimiento ante una perturbación por sequía será analizada utilizando los índices propuestos por LLORET et al. (2011) de resistencia, recuperación y resiliencia. El cálculo de estos índices se realizará utilizando las ecuaciones 1 a 3, incluyendo los crecimientos en área basimétrica, ya que se considera que estos valores son menos dependientes de la edad y se evita tener que realizar correcciones (BIONDI, 1999).

$$Rt = \frac{Dr}{PreDr} \quad [1] \quad Rc = \frac{PostDr}{Dr} \quad [2] \quad Rs = \frac{PostDr}{PreDr} \quad [3]$$

donde Rt es el índice de Resistencia, Rc es el índice de Recuperación, Rs es el índice de resiliencia, Dr es el crecimiento observado durante el año seco, $PreDr$ es el crecimiento medio de los dos años anteriores al año seco, $PostDr$ es el crecimiento de los dos años siguientes al año seco.

La influencia de la estructura de masa en esta respuesta al crecimiento se analizará por medio de modelos mixtos utilizando R software v3.2.5 (R CORE TEAM, 2016) y la librería “nlme” (PINHEIRO et al., 2016). Como factor fijo se incluye el tipo de masa, como factor aleatorio la parcela y el diámetro normal de árbol se incluirá como covariable. La formulación del modelo es la que aparece en la ecuación 4.

$$Indice_i = \alpha + \beta_1 \cdot Tipo\ masa + \beta_2 \cdot diámetro_i + \beta_3 \cdot Tipo\ masa \cdot diámetro + \varepsilon_i \quad [4]$$

donde *Índice* es el índice de resiliencia considerado para el año i ; *Tipo masa* es la estructura de masa considerada (regular o irregular); *diámetro* es el diámetro del árbol en el año i ; *Tipo masa · diámetro* es la interacción entre ambas variables; α representa el valor medio, β_1 , β_2 , y β_3 son los parámetros del modelo para las variables; ε es el término del error.

Los años considerados como secos tras la observación de las series históricas son 1995, 2009 y 2012. Se han tenido en cuenta solamente los años secos encontrados en las últimas tres décadas, para incluir información sobre la respuesta de los árboles jóvenes en el análisis y no sólo de aquellos de mayor edad. En estos tres años secos considerados, la precipitación total anual se situó en un 45%, 79% y 59% de la media, respectivamente, con periodos de sequía (utilizando el índice

xerotérmico de Gaussen que clasifica como mes seco si la precipitación es inferior a 2 veces la temperatura media mensual) que incluyen desde marzo a septiembre en 1995, de mayo a agosto en 2009 y con dos periodos, de enero a marzo y de mayo a agosto, en el año 2012. En este trabajo se considera que al presentarse la sequía en la primavera-verano (no en el otoño), la influencia se verá reflejada principalmente en el crecimiento del año al existir una reducción importante del recurso hídrico. La influencia de la sequía también puede reflejarse en el crecimiento del año siguiente dada la disminución de las reservas del árbol, aunque al no observarse una sequía otoñal, se puede considerar que su influencia es comparativamente menor, por lo cual se estudian solamente los años secos.

4. Resultados

Los patrones de crecimiento obtenidos se pueden observar en las figuras 1 y 2. En ellos se puede observar que los años considerados como secos a partir de la observación de las series de precipitación históricas también presentan un crecimiento radial reducido.

En relación con los crecimientos medidos en los diferentes grupos de edad que se han considerado en las masas regulares (masas jóvenes con edades menores de 40 años), masas adultas con edad entre 40-100 años y masas añejas edades mayores de 100 años), se puede destacar la diferencia existente en el crecimiento medio anual (Figura 1). Sin embargo, las diferencias no son tan claras en los árboles dentro de las masas irregulares (Figura 2), al menos en los últimos 30 años, con una mayor similitud entre árboles jóvenes y adultos.

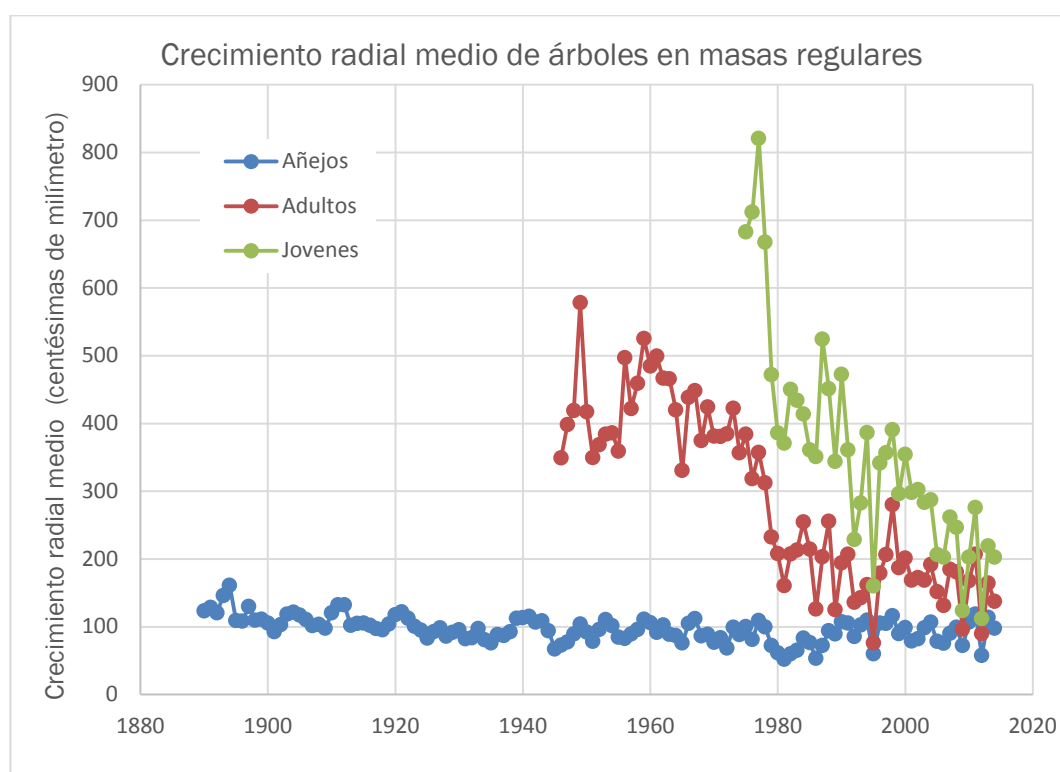


Figura1. Crecimientos radiales en masas regulares de Pinus pinea de distintas edades.

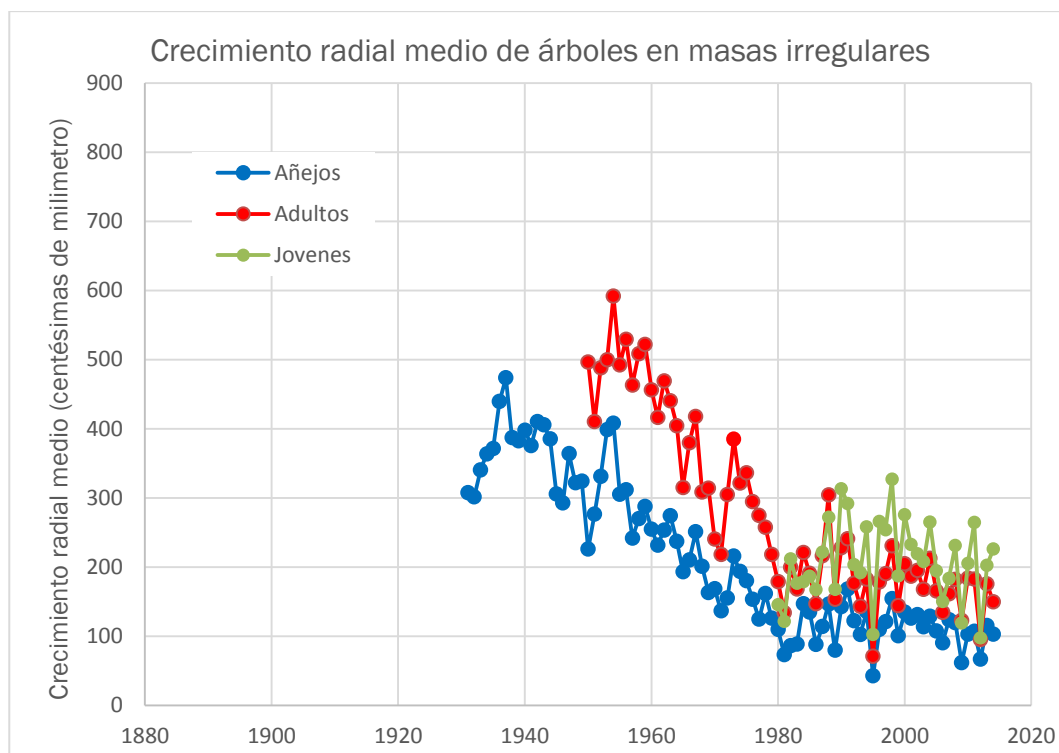


Figura 2. Crecimiento radial medio en masas irregulares de *Pinus pinea* en función de la edad.

Los valores de crecimiento radial medio, expresado como crecimiento anual medio por década, se muestran en la tabla 1 para los distintos grupos considerados en masas regulares y también para las masas irregulares. La presentación de los resultados en masas irregulares se realiza sin diferenciar la clase de edad para identificar el efecto de la mezcla y no la tendencia de cada grupo. Los valores medios encontrados para las masas irregulares son muy similares a los valores medios de masas regulares adultas. Ambas tipologías muestran valores menores que las masas regulares jóvenes y mayores que las masas regulares añejas.

Tabla 1. Crecimiento radial anual medio agrupado por décadas en masas regulares e irregulares.

Periodo	Crecimiento radial medio (centésimas mm año ⁻¹)			
	Masas regulares			Masas irregulares
	Jóvenes	Adultos	Añejos	
1980-1989	408,5 (57,1)	196,7 (53,5)	70,6 (14,8)	161,1 (36,7)
1990-1999	327,5 (89,0)	176,9 (46,0)	98,5 (16,3)	179,4 (50,5)
2000-2009	256,5 (65,1)	164,7 (31,2)	87,9 (12,1)	165,1 (32,5)
2010-2014	202,4 (59,0)	153,2 (43,3)	98,8 (24,3)	152,0 (37,8)

El análisis de la respuesta del crecimiento en área basimétrica del árbol, expresado en los índices de LLORET et al. (2011), muestra que el tipo de masa fue significativo para el índice de resistencia en los años 1995 ($p\text{-value}=0,0335$) y 2009 ($p\text{-value}=0,0202$), no siendo significativa la covariable diámetro, pero en cambio sí lo fue la interacción del tipo de masa con el diámetro ($p\text{-value}=0,0070$ y $p\text{-value}=0,0162$, respectivamente) para cada año. En ambos casos el valor del índice de resistencia es superior en las masas irregulares que las regulares. También fue significativo el tipo

de masa en el índice de recuperación para el año 2009 ($p\text{-value}=0,0239$) y la interacción ($p\text{-value}=0,0418$). En este caso, el valor de éste índice es superior en las masas regulares (Tabla 2 y Figura 3).

Tabla 2. Valores medios y desviación estándar de los índices de resistencia, recuperación y resiliencia para cada año y tipo de masa.

Índice	Año	Masas regulares	Masas irregulares
Resistencia (R_t)	1995	0,21 (0,13) *	0,51 (0,09) *
	2009	0,30 (0,14) *	0,66 (0,08) *
	2012	0,50 (0,14)	0,45 (0,08)
Recuperación (R_c)	1995	3,36 (0,77)	2,89 (0,73)
	2009	2,87 (0,45) *	1,78 (0,26) *
	2012	1,89 (0,63)	2,20 (0,34)
Resiliencia (R_I)	1995	1,32 (0,26)	1,34 (0,25)
	2009	1,16 (0,11)	0,98 (0,20)
	2012	0,96 (0,19)	0,90 (0,11)

* señala diferencias significativas ($p\text{-value} < 0,05$) entre estructuras de masa

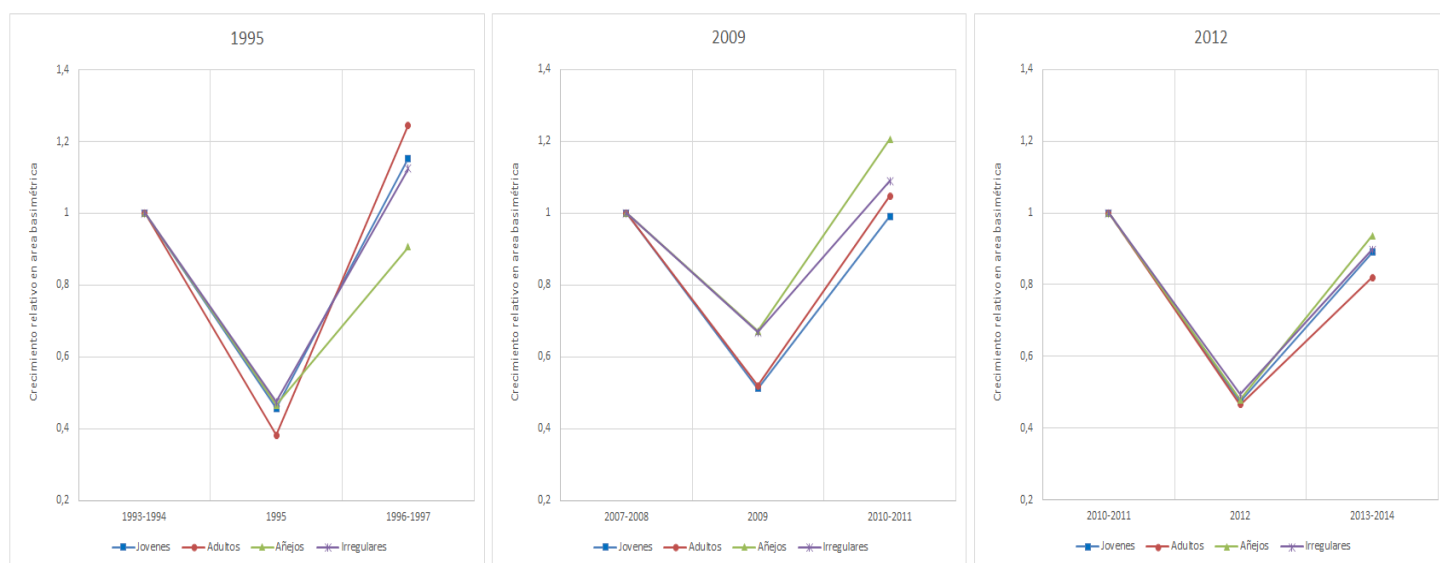


Figura 3. Reacción del crecimiento relativo a la sequía (años 1995, 2009 y 2012), en masas regulares (jóvenes, adultas y añejas) y masas irregulares.

5. Discusión

El patrón de crecimiento identificado revela una diferenciación clara en el crecimiento entre grupos de edad en las masas regulares. Así, las masas regulares jóvenes presentan crecimientos superiores a las adultas, y éstas a su vez mayores que las añejas (Figura 1). Sin embargo, en las masas irregulares el crecimiento tiende a ser más homogéneo entre clases de edad (Figura 2). Este hecho es acorde con lo observado en CALAMA et al. (2008). Este resultado se explica por el hecho de que en una estructura multiedad un árbol joven está rodeado por pies de diferente tamaño, que ejercen una menor competencia por el agua ya que los sistemas radicales se sitúan a diferentes

profundidades, en comparación con el caso de una estructura regular donde los pies se rodean por individuos de su mismo tamaño donde la competencia no se estratifica (SCHUTZ, 1997). En el caso del pino piñonero las espesuras bajas existentes por la gestión para la producción de piña pueden favorecer la estratificación de los sistemas radicales en las masas irregulares, siendo adecuada para el acceso a los recursos hídricos, pues normalmente hay espacio suficiente (en el suelo) para acceder al recurso.

Para el caso de árboles de la misma edad, en aquellos existentes en una masa añeja regular donde se compite con individuos del mismo tamaño, los crecimientos son menores que en los pies añejos de las masas irregulares, donde sus inmediatos competidores suelen ser pies de menor tamaño.

O'HARA & NAGEL (2006) identifican que las masas irregulares de *Pinus ponderosa* en Estados Unidos presentan una mayor eficiencia del crecimiento en volumen, dado que tienen una mayor eficiencia del uso del agua al tener los sistemas radicales en varios niveles en el suelo, aunque la productividad no fue diferente y ésta estaba más influenciada por la gestión que por la estructura de edades. Sin embargo, CALAMA et al. (2005) identifican que las producciones de madera a lo largo del ciclo en las masas de pino piñonero son mayores en masas regulares, aunque la producción de piña es mayor en masas irregulares. Los datos que se han obtenido en este estudio muestran que, comparativamente, el crecimiento medio en masas irregulares es similar al encontrado en masas regulares en edad adulta (40-80 años), siendo mayor que las masas regulares añejas (mayores de 100 años) y menor que las masas regulares jóvenes (menores de 40 años).

La respuesta del crecimiento en los años secos muestra que el índice de resistencia es mayor en las masas irregulares en los años 1995 y 2009. Esto es, la disminución del crecimiento asociada a la sequía es menor en las masas irregulares. Este resultado, en parte puede explicarse por la teoría de complementariedad de nichos, referida a la diferente profundidad que alcanzan las raíces de los individuos en una masa irregular, lo que permite que distintos individuos tomen agua de distintas capas del suelo, y que, asimismo, se produzca un efecto de bombeo de agua desde capas inferiores del suelo, que puede ser aprovechado por los pies menores cuyas raíces se sitúan en horizontes superiores (ZAPATER et al., 2011). Esto es un hallazgo importante, ya que estructuras irregulares podrían tener una mejor adaptación a perturbaciones por sequía y episodios de precipitación irregulares que van a ser más frecuentes en el futuro en el contexto de cambio climático en el área Mediterránea (LINDNER & CALAMA, 2013).

6. Conclusiones

En las masas regulares, el patrón de crecimiento está muy influenciado por la edad, con diferencias bastante importantes entre masas jóvenes y añejas. Sin embargo, en las masas irregulares el crecimiento tiende a ser más homogéneo entre las clases de edad debido a que la competencia por recursos hídricos es con individuos de diferente tamaño y puede estar más estratificada a nivel radical.

De igual manera se ha encontrado que las masas irregulares de pino piñonero presentan una mayor resistencia a la sequía que las masas regulares. La desigual distribución de la competencia, mayor en una masa regular donde los individuos son de un tamaño similar y la masa no está estratificada, permite superar mejor el periodo adverso de sequía a los individuos en la masa irregular.

7. Agradecimientos

El establecimiento, medición y conservación en el tiempo de los dispositivos experimentales siempre involucra a un gran número de personas, desde aquí nuestro agradecimiento a todos ellos,

en especial a Gregorio Montero que fue el precursor de la instalación de estos dispositivos. El objetivo de este trabajo se centra en el proyecto RTA 2013-00011-CO2-01 “Gestión adaptativa y multifuncional de las masas de *Pinus pinea* ante un escenario de cambio global”.

8. Bibliografía

AEMET; 2011. Atlas Climático Ibérico. Agencia Estatal de Meteorología (España) e Instituto de Meteorología (Portugal). 79 p. Madrid.

AUNOS, A.; 2005. Configuración y potencialidad de los bosquetes en las estructuras irregulares. En: SECF-Gobierno de Aragón (eds.), Actas del IV Congreso Forestal Español. CD-Rom. Imprenta Repes, SC Zaragoza.

BIONDI, F.; 1999. Comparing tree-ring chronologies and repeated timber inventories as forest monitoring tools. *Ecol Appl* 9: 216-227.

CALAMA, R.; FINAT, L.; GORDO, F.J.; BACHILLER, A.; RUIZ-PEINADO, R.; MONTERO, G.; 2005. Estudio comparativo de la producción de madera y piña en masas regulares e irregulares de *Pinus pinea* en la provincia de Valladolid. En: SECF- Gobierno de Aragón (eds.), Actas del IV Congreso Forestal Nacional, CD-Rom. Imprenta Repes, SC Zaragoza.

CALAMA, R.; BARBEITO, I.; PARDOS, M.; RÍO, M.; MONTERO, G.; 2008. Adapting a model for even-aged *Pinus pinea* L. stands to complex multi-aged structures. *For Ecol Manage* 256: 1390-1399.

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.

GORDO, J.; CALAMA, R.; PARDOS, M.; BRAVO, F.; MONTERO, G.; (Eds.). 2012. La regeneración natural de *Pinus pinea* L. y *Pinus pinaster* Ait. en los arenales de la Meseta Castellana. Instituto Universitario Gestión Forestal Sostenible UVA-INIA. 254 p.

LINDNER, M.; CALAMA, R.; 2013. Climate change and the need for adaptation in Mediterranean forests. In: LUCAS-BORJA, M.E.; (Ed.), Forest Management of Mediterranean forests under the new context of climate change. pp. 13-30. Nova Science Pub, New York.

LLORET, F.; KEELING, E.G.; SALA, A.; 2011. Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos*, 120: 1909-1920.

MONTERO, G.; CALAMA, R.; RUIZ-PEINADO, R.; 2008. Silvicultura de *Pinus pinea* L. En: SERRADA, R.; MONTERO, G.; REQUE, J.; (eds.), Compendio de silvicultura aplicada en España, pp. 431-470. INIA-Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid.

MONTERO, G.; CAÑADAS, N.; YAGÜE, S.; BACHILLER, A.; CALAMA, R.; GARRIGA, E.; CAÑELLAS, I.; 2003. Aportaciones al conocimiento de las masas de *Pinus pinea* L. en los montes de Hoyo de Pinares (Ávila - España). *Montes* 73: 30-40.

NATALINI, F.; ALEJANO, R.; VÁZQUEZ-PIQUÉ, J.; CAÑELLAS, I.; GEA-IZQUIERDO, G.; 2013. Dendroecología de *Pinus pinea* L. en el suroeste de España y su aplicación para el estudio de la vulnerabilidad de especies forestales ante el cambio global. Actas del 6º Congreso Forestal Español, Sociedad Española de Ciencias Forestales. Vitoria.

O'HARA, K.L.; NAGEL, L.M.; 2006. A functional comparison of productivity in even-aged and multiaged stands: a synthesis for *Pinus ponderosa*. *For Sci* 52: 290-303.

PINHEIRO, J.; BATES, D.; DEBROY, S.; SARKAR, D.; R CORE TEAM; 2016. *_nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models_*. R package version 3.1-128, url: <http://CRAN.R-project.org/package=nlme>

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/>

RÍO, M.; AGUIRRE, M.; CALAMA, R.; MADRIGAL, G.; MUTKE, S.; ÁLVAREZ, D.; GORDO, J.; FINAT, L.; MONTERO, G.; 2011. Early thinning for crown expansion and drought stress reduction. AgroPine 2011 International Meeting on Mediterranean Stone Pine for Agroforestry, Valladolid.

RÍO, M.; BARBEITO, I.; BRAVO-OVIEDO, A.; CALAMA, R.; CAÑELLAS, I.; HERRERO, C.; BRAVO, F.; 2008. Carbon sequestration in Mediterranean pine forests. In: BRAVO, F.; LEMAY, V.; JANDL, R.; GADOW, K.V.; (eds). Managing forest ecosystems: the challenge of climate change. pp. 221-245. Kluwer Academic Publishers.

SCHÜTZ, J.P.; 1997. Sylviculture 2. La gestion des forêts irrégulières et mélangées. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Laussane, 178 pp.

ZAPATER, M.; HOSSANN, C.; BRÉDA, N.; BRÉCHET, C.; BONAL, D.; GRANIER, A.; 2011. Evidence of hydraulic lift in a young beech and oak mixed forest using 18O soil water labelling. *Trees - Struct Funct* 25: 885-894.