



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-495

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Evaluación de la posible incidencia de agentes bióticos en el proceso de decaimiento de *Pinus pinaster* en masas mixtas de la Comunidad de Madrid

GARCÍA-GARRIDO, S.¹, HERNÁNDEZ, L.¹, ELVIRA-RECUENCO, M.¹, GEA-IZQUIERDO, G.¹, RAPOSO, R.^{1, 2}

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

² Instituto de Investigación de Gestión Forestal Sostenible, Universidad de Valladolid-INIA

Resumen

El cambio global puede provocar un aumento en la vulnerabilidad de ciertas especies. Por ello es necesario estudiar cómo diferentes agentes bióticos y abióticos provocan decaimiento forestal. En este estudio se evalúa la incidencia de agentes bióticos en el proceso de decaimiento de *Pinus pinaster* Ait., haciendo especial referencia al impacto de hongos patógenos. Se definieron varias parcelas de 10 m. de radio en la Comunidad de Madrid incluyendo árboles con o sin síntomas de decaimiento. En cada una de estas áreas se describió el estado sanitario general de la masa forestal e individualmente se caracterizó dasométricamente cada árbol seleccionado, así como se estimó el porcentaje de defoliación y decoloración y la incidencia de muérdago e insectos barrenadores. Se tomaron muestras de árboles con y sin síntomas de decaimiento. Concretamente se cogieron ramillos para detectar los agentes defoliadores, se describió la posible presencia de chancros y se tomaron barrenas del cuello y de las raíces del árbol. Una vez en el laboratorio se procedió al aislamiento de hongos en las muestras tomadas, mediante crecimiento en medios de cultivo.

Palabras clave

Vulnerabilidad, hongos patógenos, defoliación, barrenas

1. Introducción

Las emisiones de gases de efecto invernadero han alterado significativamente el clima y continuarán haciéndolo en el futuro. El aumento en la gravedad de la sequía asociada con el cambio climático podría alterar fundamentalmente la composición, estructura y biogeografía de los bosques en muchas regiones (IPCC, 2013). Estas sequías afectan a una gran variedad de ecosistemas en todo el mundo (ALLEN et al. 2010). En los bosques mediterráneos, el cambio climático conlleva a una menor precipitación anual o periodos de sequía más largos (FAO 2012). El aumento de la temperatura media y la disminución de la precipitación anual en el sur de Europa está afectando a la defoliación de los árboles y registrándose una mortalidad prematura en determinadas localizaciones (Allen et al. 2010; CARNICER et al. 2011). La defoliación, decoloración y un bajo crecimiento diametral, son indicadores de decaimiento. Los primeros estudios describiendo el proceso de decaimiento fueron en los años 80 (SICCAMA et al. 1982) en coníferas de Norteamérica. Más adelante, se fueron proponiendo teorías que sugerían que el decaimiento era el resultado de la interacción de factores abióticos, bióticos y antrópicos (MANION & LACHANCE, 1992).

Este decaimiento en los bosques, también ha sido visible en distintas localizaciones de la Península Ibérica (OLIVA & COLINAS 2007). Síntomas de decaimiento se han observado en encina (*Quercus ilex* L.), alcornoque (*Quercus suber* L.), *Pinus uncinata* Ram., *Pinus sylvestris* L. y *Abies alba* Mill. (MONTROYA et al., 2002, OLIVA & COLINAS 2007). Además, el pino resinero ha sufrido un decaimiento progresivo en las últimas décadas en ciertas localidades del centro peninsular (PRIETO-RECIO 2012). Una apresurada pérdida de acículas, microfilia acentuada, clorosis o decoloración de las hojas y muerte prematura del árbol, se traducen en síntomas de decaimiento para el *Pinus pinaster* en España. Dentro de esta interacción, no se sabe con certeza cómo influye cada factor en el

decaimiento de *Pinus pinaster* (PRIETO-RECIO et al. 2015). En otros trabajos realizados en coníferas como *Abies pinsapo* Boiss. (LINARES et al. 2010) sugieren que hongos como *Heterobasidion abietinum* Niemelä & Korhonen actúan como agentes que predisponen al decaimiento de la masa forestal y a las variaciones del clima como un factor que contribuye al mismo. En cambio, SÁNCHEZ-SALGUERO et al. (2012), expone que la competencia intraespecífica y la disposición de la masa de pinares de repoblación actúan como factores que predisponen al decaimiento y la sequía como factor contribuyente.

Anteriores estudios sobre el decaimiento en el pino resinero nos acercan al conocimiento de hongos patógenos asociados a las raíces como puede ser *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. (PRIETO-RECIO et al. 2012). También, hongos ofiostomatales entre ellos *Ophiostoma minus* (Hedgcock) H. & P. (ÁLVAREZ et al. 2015) que se encontró en pies afectados de la Meseta Central, además de otros hongos relacionados con esta sintomatología. Aun así, no hay daños causados por insectos en dichas masas de pino resinero que afecten a su estado de salud, a diferencia de otros trabajos (BUENO et al. 2010). Además, no se aprecia una relación clara entre los daños causados por resinación debidos a su anterior aprovechamiento y el grado de decaimiento (ÁLVAREZ et al. 2015). Por otro lado, sí se ha visto una relación entre decaimiento en coníferas y la presencia de la fanerógama semiparásita *Viscum album* L. (OLIVA & COLINAS 2007).

2. Objetivos

En la Meseta Central, *P. pinaster* tiene un alto valor protector además de su uso para extracción de resina, que en la actualidad se está recuperando. El estado de salud de las masas en nuestras latitudes que se ven afectadas por decaimiento forestal, hace necesario el estudio de las causas que lo provocan.

Por todo ello, los objetivos en los que se centra este estudio son: (1) caracterizar el proceso de mortalidad que se observa actualmente en la masa de pino resinero en la zona de estudio, (2) evaluar la posible implicación de agentes bióticos en el proceso de decaimiento, haciendo especial referencia al impacto de hongos patógenos.

3. Metodología

El estudio se ha desarrollado en masas mixtas de *Pinus pinaster* Aiton y *Pinus pinea* L. localizadas en Valdemaqueda (Comunidad de Madrid), MUP 185. El periodo de muestreo fue en otoño de 2016. Se diseñó un muestreo dirigido a lo largo de gradientes altitudinales en el que se seleccionaron en la medida de lo posible parcelas que incluyesen árboles con decaimiento y sin decaimiento. Es importante resaltar que todas las parcelas de estudio se encuentran a una altitud entre 800 y 1180 m, incluyendo el límite inferior altitudinal de distribución de la especie en la zona de estudio. La sintomatología principal para incluirlos en la categoría de árboles decaídos fue la defoliación junto con la presencia de muérdago, incluyendo así en no decaídos a árboles cuya copa tuviese menos de un 50% de defoliación y una infestación de muérdago distribuido en menos del 25% de la copa. De esta manera, se completó una muestra de 20 árboles sanos, 20 decaídos y 20 muertos. Aunque, solamente en 3 casos encontramos árboles totalmente sanos, es decir, siempre observamos cierto grado de defoliación comparado con un árbol tipo en masas sin decaimiento en la región.

Alrededor de cada árbol muestreado se caracterizó el rodal midiendo distancias, diámetros y alturas de los árboles incluidos en un radio de 10 metros. Además, dentro de cada parcela se evaluaron las características sanitarias siguientes (Tabla 1): defoliación, afecciones por daños bióticos, como muérdago, orificios o galerías de insectos barrenadores y chancros por hongos. En la caracterización selvícola se incluyeron datos como presencia de caras de resinación o no, evaluación de la vegetación acompañante y regeneración en cada parcela.

Tabla 1. Variables evaluadas en este estudio a nivel árbol y a nivel ramillos.

Variables sanitarias por árbol	Tipo de variable	Escala	Observaciones
Defoliación	Categórica	0 - 4	1 < 25%, 2 = 25 - 50%, 3 = 50 - 75%, 4 > 75% de defoliación
Cantidad de muérdago	Categórica	0 - 4	1 < 25%, 2 = 25 - 50%, 3 = 50 - 75%, 4 > 75% presencia en copa
Presencia de chancros	Binaria	0 - 1	0 = ausencia 1 = presencia
Signos de barrenadores	Binaria	0 - 1	0 = ausencia 1 = presencia
Árbol resinado	Binaria	0 - 1	0 = ausencia 1 = presencia
Variables sanitarias por ramillo	Tipo de variable	Escala	
Decoloración	Categórica	0 - 4	0 = Nula 1 = Ligera 2 = Moderada 3 = Grave 4 = árbol seco (Manual Red de Nivel I, 2013)
Retención de acículas	Discreta	años	Número máximo de metidas en los ramillos recogidos por muestra
Microfilia	Binaria	0 - 1	0 = ausencia 1 = presencia
Insectos	Binaria	0 - 1	0 = ausencia 1 = presencia
Síntomas de hongos en acículas	Binaria	0 - 1	0 = ausencia 1 = presencia

Dentro de cada parcela, se seleccionaron entre 1 y 4 árboles para el muestreo de patógenos. Cuando la altura de la copa lo permitía, se muestrearon tres ramillos donde una vez en laboratorio, se examinaron los datos de forma visual: decoloración, daños por insectos, sintomatología de hongos en acículas, así como el parámetro de microfilia. De cada árbol muestra, se recogieron dos tipos de barrenas para analizar la presencia de agentes patógenos: una extracción del fuste a la altura del cuello de aproximadamente 12 cm. de longitud con la barrena de Pressler y otra en la raíz de 7 cm. de longitud, o en su defecto raíces finas cuando la raíz del árbol era muy profunda o pivotante.

Las barrenas muestreadas se desinfectaron superficialmente por inmersión sucesiva en etanol al 70% y lejía comercial al 30% con Tween20 al 0,1%. Por último, se lavaron en agua estéril y se secaron antes de colocarlas en placas petri de 90mm. de diámetro en dos medios semiselectivos: Hagem y BDS, en partes iguales.

El medio de cultivo BDS (WORRALL, & HARRINGTON, 1992) es selectivo para hongos patógenos de raíces y el medio Hagem (Laiho 1970) para hongos de pudrición de madera (AGUADÉ, et al. 2015). Para preparar el medio de cultivo BDS se mezclaron 4 ppm de benomilo, 0,1 g. de estreptomina, 1,5% de extracto de malta y 1,5% de agar. Para el medio Hagem 0,5% de glucosa, 0,5% de extracto de malta y 1,5% de agar. Las placas se mantuvieron en incubación a 18°C en oscuridad durante 3 meses y posteriormente se procedió al aislamiento de cada uno de los hongos que fueron creciendo.

4. Resultados

Se han evaluado las características selvícolas y sanitarias de la zona de estudio. En dicha zona, inventariadas un total de 45 parcelas, podemos encontrar parcelas mono-específicas de *Pinus pinaster* Ait., acompañado en algunas parcelas de *Pinus pinea* L., *Quercus ilex subsp. ballota* (Desf.) Samp. y *Juniperus oxycedrus* L. Las características dasométricas analizadas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Características dasométricas de los árboles muestreados, clasificados por su grado de defoliación.

	Nº de árboles	Media del dap	SD del dap	Media de la altura	SD de la altura
Sanos	20	42,81	11,28	15,74	4,93
0	3	40,42	11,34	14,37	4,80
1	13	46,44	10,15	16,24	5,35
2	4	32,81	10,58	15,13	4,55
Decaídos	20	40,47	7,76	13,91	3,48
2	7	43,89	5,84	14,63	3,47
3	13	38,63	8,23	13,52	3,55
Muertos	20	39,76	8,85	13,09	3,08
4	12	37,52	8,13	13,67	2,56
sín acículas	8	43,13	9,33	12,21	3,75
Total de la muestra	60	41,02	9,34	14,24	4,00

Dentro de nuestra zona de estudio es notable la gran presencia de muérdago presente en todos los pies muertos y decaídos. En cambio, tan sólo encontramos un árbol barrenado por escolítidos entre todos los estudiados, por lo que se hace notar la ausencia de insectos barrenadores.

En los ramillos de muestras recogidas, se aprecia un aumento del estado de decoloración en función del estado sanitario. También disminuye la retención de acículas reteniendo ramillos incluso de los 6 últimos años en los árboles sanos, mientras que en los decaídos tan sólo encontramos entre 3 y 4 metidas. La microfilia es otro dato a resaltar, ya que todos los árboles decaídos y muertos muestran microfilia notable con longitudes de menos de 7 cm. en algunas acículas.

Con respecto a los insectos, o plagas presentes en los ramillos muestreados, podemos reflejar la presencia de las especies *Brachyderes suturalis* (Graëlls, 1851) y *Leucaspis pini* (Hartig, 1839), *Cryptocephalus pini* L. y *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiffermüller, independientemente de que procedan de árboles con mayor o menor decaimiento.

También encontramos la presencia de hongos saprófitos en las acículas, presentes en un 50% de los árboles muestreados sanos, especies como *Phoma* sp., *Sclerophoma* sp. y *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. (1912). En las muestras de árboles decaídos podemos encontrar síntomas en acículas en un 40% de las muestras, con la presencia de los mismos saprófitos.

Por otro lado, se ha encontrado el patógeno *Thyriopsis halepensis* (Cooke) Theiss. & Syd. en el 20% de las muestras recogidas tanto de árboles decaídos, como sanos, por lo que no se considera que sea causante primario del decaimiento.

Por lo que respecta a los hongos aislados en los medios de cultivo, se han obtenido unos 250 aislados aproximadamente, entre ellos han aparecido saprófitos como: *Alternaria alternata*, *Gliocladium roseum* (Link) Schroers, (1999), *Paecilomyces variotii* Biourge & Bainier, *Trichoderma viride* Pers. (1794), *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. y *Rhizopus* spp. En la búsqueda de hongos patógenos, no hemos encontrado en las muestras recogidas ningún patógeno asociado a árboles en decaimiento, como *Armillaria* spp. o *Heterobasidion annosum*, por lo que posiblemente los hongos patógenos no están determinando el nivel de decaimiento de la masa.

En cuanto a la regeneración de pino resinero medida en la zona de estudio, es de destacar que solo han aparecido plántulas en una quinta parte de las parcelas estudiadas.

5. Discusión

En este trabajo exponemos los resultados preliminares del muestreo llevado a cabo en la zona de Valdemaqueda (Madrid) para identificar los posibles agentes bióticos asociados al decaimiento de *P. pinaster*. Los principales patógenos que podrían estar causando estos síntomas, *Armillaria* spp. y *Heterobasidion annosum*, no se han encontrado. Recientemente se ha citado *H. annosum* (PRIETO-RECIO et al. 2012) y *Ophiostoma minus* (ÁLVAREZ 2015) en *P. pinaster* en algunas zonas de la Meseta Norte y se han descrito como posibles agentes asociados al decaimiento. Sin embargo, la contribución de estos patógenos al decaimiento y muerte de los árboles es todavía objeto de debate (AGUADÉ 2015, OLIVA 2016). OLIVA & COLINAS (2007) encontraron presencia abundante de *Armillaria* spp. y *Heterobasidion annosum* en los bosques de Pirineos, pero no pudieron establecer una correlación positiva con la cantidad de árboles con síntomas de decaimiento.

De acuerdo con la teoría de MANION & LACHANCE (1992) el decaimiento y muerte de los árboles tiene lugar después de la ocurrencia en el tiempo de factores de predisposición, incitación y contribución. Un análisis de los principales parámetros medidos en varias parcelas de la meseta en cuanto a clima, propiedades físico-químicas del suelo y gestión de la masa sugiere que los principales factores de predisposición que intervienen en la aparición del decaimiento en la meseta son el déficit hídrico y la competencia (PRIETO-RECIO 2015). Los resultados aquí obtenidos, dado que no se ha encontrado un patógeno virulento mayoritario, sugieren igualmente que estamos ante un proceso complejo, con interacción de factores bióticos y abióticos que están causando el decaimiento de los árboles de la zona. Por tanto, el no haberse detectado ningún agente biótico dominante sugiere que podría haber otros agentes abióticos de predisposición como el clima o la historia de perturbaciones de los rodales que podrían estar relacionados con el fenómeno de decaimiento.

En este sentido, también la gestión forestal puede ser un factor que lleva a algunos árboles a que entren en el proceso de decaimiento. Las masas de *P. pinaster* aclaradas tienen un mejor estado sanitario que en las que no se ha llevado a cabo ningún tipo de gestión (PRIETO-RECIO 2015) aunque por otro lado los árboles remanentes en rodales con mayor grado de gestión o perturbaciones antrópicas parecen morir antes (CAMARERO et al. 2011; GEA-IZQUIERDO et al. 2014). En este sentido, el decaimiento de *Abies alba* en Pirineos está más localizado y avanzado en árboles madre que fueron preservados de las talas para usar como semilleros (OLIVA & COLINAS 2007; Camarero et al. 2011). En este caso, en nuestra zona de estudio, hay signos de antiguas resinaciones que indican que fue el aprovechamiento principal del monte. También hay árboles actualmente en resinación aunque ninguno de los muestreados son árboles resinados o con signos de ello. Con respecto a incendios forestales, esta es una zona donde ocurren frecuentemente, y su incidencia en la estructura de rodal y efecto sobre el suelo podría estar relacionada con el decaimiento analizado. En los últimos diez años la frecuencia ha sido de 24 incendios en 155 Ha. de superficie media (MAPAMA, 2016). Existen patógenos que se activan y están asociados a incendios forestales como es el caso del hongo *Rhizinia undulata* Fr.:Fr, aunque no se ha detectado en la zona de muestreo.

En el caso del muérdago, una de las posibles causas de su abundancia puede ser algún factor biótico de predisposición (clima, perturbaciones) unido a una estructura más o menos abierta y una mayor entrada de luz en las copas que el muérdago aprovecha, ya que necesita grandes cantidades de luz para su germinación y crecimiento (MELLADO & ZAMORA 2014). Esto da lugar a árboles que pierden su vitalidad, se debilitan e incluso llegan a morir cuando estaban parasitados por muérdago, el cual parece ser un factor más incluido en el fenómeno de decaimiento (OLIVA & COLINAS 2007; GEA-IZQUIERDO et al. 2014).

Finalmente, la escasez de regeneración de *P. pinaster* y mayor presencia de otras

especies, en principio más tolerantes a la sequía como encina o pino piñonero también sugiere la situación de decaimiento de la especie estudiada.

6. Conclusiones

Los resultados nos llevan a sugerir que en nuestra zona de estudio no hay una relación directa entre hongos patógenos y el decaimiento de la masa, aunque queda patente la sintomatología de defoliación y presencia abundante de muérdago que parecen tener relación con la presencia de focos de mortalidad de pies en la zona.

7. Agradecimientos

Me gustaría agradecer la colaboración entre el departamento de Selvicultura y Gestión de Sistemas Forestales del INIA-CIFOR y el Instituto de Gestión Forestal Sostenible de la Universidad de Valladolid, Campus de Palencia, gracias a la misma ha sido posible la realización de este proyecto.

8. Bibliografía

AGUADE, D., POYATOS, R., GOMEZ, M., OLIVA, J. and MARTINEZ-VILALTA, J., 2015. The role of defoliation and root rot pathogen infection in driving the mode of drought-related physiological decline in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Tree Physiology*, vol. 35, no. 3, pp. 229–242. ISSN 0829-318X. DOI 10.1093/treephys/tpv005.

ALLEN, C.D., MACALADY, A.K., CHENCHOUNI, H., BACHELET, D., MCDOWELL, N., VENNETIER, M., KITZBERGER, T., RIGLING, A., BRESHEARS, D.D., HOGG, E.H. (Ted), GONZALEZ, P., FENSHAM, R., ZHANG, Z., CASTRO, J., DEMIDOVA, N., LIM, J.-H., ALLARD, G., RUNNING, S.W., SEMERCI, A. and COBB, N., 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, vol. 259, no. 4, pp. 660–684. DOI 10.1016/j.foreco.2009.09.001.

ÁLVAREZ, G., FERNÁNDEZ, M. and DIEZ, J.J., 2015. Ophiostomatoid fungi associated with declined *Pinus pinaster* stands in Spain. *Forest Systems*, vol. 24, no. 1, pp. 6. ISSN 2171-9845. DOI 10.5424/fs/2015241-05707.

BECKER, M. and DRAPIER, J., 1984. Rôle de l'allélopathie dans les difficultés de régénération du sapin (*Abies alba* Mill.). I: Propriétés phytotoxiques des hydrosolubles d'aiguilles de sapin. *Acta oecologica. Oecologia plantarum*, vol. 5, no. 4, pp. 347–356. ISSN 0243-7651.

BRAVO-OVIEDO, A., STERBA, H., DEL RÍO, M. and BRAVO, F., 2006. Competition-induced mortality for Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. and *P. sylvestris* L. *Forest Ecology and Management*, vol. 222, no. 1, pp. 88–98. DOI 10.1016/j.foreco.2005.10.016.

BUENO, A., DIEZ, J.J. and FERNÁNDEZ, M.M., 2010. Ophiostomatoid Fungi Transported by *Ips sexdentatus* (Coleoptera; Scolytidae) in *Pinus pinaster* in NW Spain. *Silva Fennica*, vol. 44. ISSN 0037-5330.

CAMARERO, J.J., BIGLER, C., LINARES, J.C., GIL-PELEGRÍN, E., 2011. Synergistic effects of past historical logging and drought on the decline of Pyrenean silver fir forest. *Forest Ecology and Management*, vol. 262, no. 5, pp. 759-769. DOI 10.1016/J.FORECO.2011.05.009

CARNICER, J., COLL, M., NINYEROLA, M., PONS, X., SÁNCHEZ, G. and PEÑUELAS, J., 2011. Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proceedings of the National Academy*

of *Sciences of the United States of America*, vol. 108, no. 4, pp. 1474–8. ISSN 1091-6490. DOI 10.1073/pnas.1010070108.

CRUICKSHANK, M.G., MORRISON, D.J. and LALUMIÈRE, A., 2011. Site, plot, and individual tree yield reduction of interior Douglas-fir associated with non-lethal infection by *Armillaria* root disease in southern British Columbia. *Forest Ecology and Management*, vol. 261, no. 2, pp. 297–307. DOI 10.1016/j.foreco.2010.10.023.

DOBBERTIN, M. and RIGLING, A., 2006. Pine mistletoe (*Viscum album ssp. austriacum*) contributes to Scots pine (*Pinus sylvestris*) mortality in the Rhone valley of Switzerland. *Forest Pathology*, vol. 36, no. 5, pp. 309–322. ISSN 1437-4781. DOI 10.1111/j.1439-0329.2006.00457.x.

FAO, 2012. *Forest Management and Climate Change: a literature review*. Rome.

GALIANO, L., MARTÍNEZ-VILALTA, J. and LLORET, F., 2010. Drought-Induced Multifactor Decline of Scots Pine in the Pyrenees and Potential Vegetation Change by the Expansion of Co-occurring Oak Species. *Ecosystems*, vol. 13, no. 7, pp. 978–991. DOI 10.1007/s10021-010-9368-8.

GEA-IZQUIERDO, G., VIGUERA, B., CABRERA, M. and CAÑELLAS, I., 2014. Drought induced decline could portend widespread pine mortality at the xeric ecotone in managed mediterranean pine-oak woodlands. *Forest Ecology and Management*, vol. 320, pp. 70–82. DOI 10.1016/j.foreco.2014.02.025.

Geoportal del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2016. URL: <http://sig.mapama.es/geoportal/visor.html>

LINARES, J.C., CAMARERO, J.J., BOWKER, M.A., OCHOA, V. and CARREIRA, J.A., 2010. Stand-structural effects on *Heterobasidion abietinum*-related mortality following drought events in *Abies pinsapo*. *Oecología*, vol. 164, no. 4, pp. 1107–1119. DOI 10.1007/s00442-010-1770-6.

LINARES, J.C., CAMARERO, J.J. and CARREIRA, J.A., 2009. Interacting effects of changes in climate and forest cover on mortality and growth of the southernmost European fir forests. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 18, no. 4, pp. 485–497. ISSN 1466822X. DOI 10.1111/j.1466-8238.2009.00465.x.

MADRIGAL-GONZÁLEZ, J. and ZAVALA, M.A., 2014. Competition and tree age modulated last century pine growth responses to high frequency of dry years in a water limited forest ecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 192, pp. 18–26. ISSN 01681923. DOI 10.1016/j.agrformet.2014.02.011.

MANION, P. D., AND LACHANCE, D. 1992. *Forest Decline Concepts*. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN.

MELLADO, A. and ZAMORA, R., 2014. Linking safe sites for recruitment with host-canopy heterogeneity: The case of a parasitic plant, *Viscum album subsp. austriacum* (Viscaceae). *American journal of botany*, vol. 101, no. 6, pp. 957–964. ISSN 1537-2197. DOI 10.3732/ajb.1400096.

OLIVA, J., CAMARERO, J.J. and STENLID, J., 2012. Understanding the role of sapwood loss and reaction zone formation on radial growth of Norway spruce (*Picea abies*) trees decayed by *Heterobasidion annosum*. *Forest Ecology and Management*, vol. 274, pp. 201–209. DOI 10.1016/j.foreco.2012.02.026.

OLIVA, J. and COLINAS, C., 2007. Decline of silver fir (*Abies alba* Mill.) stands in the Spanish Pyrenees: Role of management, historic dynamics and pathogens. *Forest Ecology and Management*, vol. 252, no. 1, pp. 84–97. DOI 10.1016/j.foreco.2007.06.017.

OLIVA, J., STENLID, J. and MARTÍNEZ-VILALTA, J., 2014. The effect of fungal pathogens on the water and carbon economy of trees: implications for drought-induced mortality. *New Phytologist*, vol. 203, no. 4, pp. 1028–1035. ISSN 0028646X. DOI 10.1111/nph.12857.

POYATOS, R., AGUADÉ, D., GALIANO, L., MENCUCCINI, M. and MARTÍNEZ-VILALTA, J., 2013. Drought-induced defoliation and long periods of near-zero gas exchange play a key role in accentuating metabolic decline of Scots pine. *New Phytologist*, vol. 200, no. 2, pp. 388–401. ISSN 0028646X. DOI 10.1111/nph.12278.

PRIETO-RECIO, C., 2012. *Factores que Influyen en el Decaimiento del Pino Negral en Castilla y León*. S.l.: Universidad de Valladolid.

PRIETO-RECIO, C., MARTÍN-GARCÍA, J., BRAVO, F. and DIEZ, J.J., 2015. Unravelling the associations between climate, soil properties and forest management in *Pinus pinaster* decline in the Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management*, vol. 356, pp. 74–83. DOI 10.1016/j.foreco.2015.07.033.

PRIETO-RECIO, C., ROMERALO, C., BEZOS, D., MARTÍN-GARCÍA, J., MARTÍNEZ-ÁLVAREZ, P., BOTELLA, L. and DIEZ, J.J., 2012. First Report of *Heterobasidion annosum* on *Pinus pinaster* in Spain. *Plant Disease*, vol. 96, no. 5, pp. 770–770. DOI 10.1094/PDIS-10-11-0890-PDN.

SÁNCHEZ-SALGUERO, R., NAVARRO-CERRILLO, R.M., CAMARERO, J.J. and FERNÁNDEZ-CANCIO, Á., 2012. Selective drought-induced decline of pine species in southeastern Spain. *Climatic Change*, vol. 113, no. 3–4, pp. 767–785. DOI 10.1007/s10584-011-0372-6.

SANGUESA-BARREDA, G., LINARES, J.C. and CAMARERO, J.J., 2012. Mistletoe effects on Scots pine decline following drought events: insights from within-tree spatial patterns, growth and carbohydrates. *Tree Physiology*, vol. 32, no. 5, pp. 585–598. ISSN 0829-318X. DOI 10.1093/treephys/tps031.

SICCAMA, T.G., BLISS, M. and VOGELMANN, H.W., 1982. Decline of Red Spruce in the Green Mountains of Vermont. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, vol. 109, no. 2, pp. 162. ISSN 00409618. DOI 10.2307/2996256.

ZWEIFEL, R., BANGERTER, S., RIGLING, A. and STERCK, F.J., 2012. Pine and mistletoes: how to live with a leak in the water flow and storage system? *Journal of Experimental Botany*, vol. 63, no. 7, pp. 2565–2578. ISSN 0022-0957. DOI 10.1093/jxb/err432.