



6º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

6CFE01-337

Montes: Servicios y desarrollo rural
10-14 junio 2013
Vitoria-Gasteiz



Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013
ISBN: 978-84-937964-9-5
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Crecimiento de *Pinus nigra* tras los incendios ocurridos en Cataluña en el año 1994: implicaciones para la gestión forestal

VALOR IVARS, T.¹, PIQUÉ I NICOLAU, M.¹, GONZÁLEZ-OLABARRÍA, J.R.¹

¹ Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC), Solsona, Lleida.

Resumen

Los grandes incendios forestales que afectan vastas extensiones de territorio raramente queman de manera uniforme el paisaje forestal. Por tanto, es común observar zonas completamente calcinadas, así como zonas en las que el fuego no ha afectado o ha pasado por la superficie quemado el sotobosque. En éste último caso, gran parte del arbolado se mantiene vivo, siendo éstos árboles que sobreviven de gran importancia ecológica, ya que pueden ayudar en los procesos de regeneración post-incendio.

Aunque los árboles supervivientes a menudo resultan dañados por el fuego, a medio plazo se pueden ver beneficiados por la reducción de carga de combustible y competencia por los recursos. Así pues, el objetivo de este trabajo es estudiar, a corto y medio-largo plazo, el crecimiento post-incendio del *Pinus nigra* (incrementos anuales del área basimétrica) en una área quemada en el año 1994, en función de la severidad del fuego y del tamaño del arbolado. A corto plazo el fuego causa reducciones del crecimiento en los árboles más pequeños, pero a largo plazo se observa un efecto positivo en el crecimiento debido posiblemente a la reducción de la competencia.

Palabras clave

Fuego baja intensidad, fuego de superficie, severidad, quema prescrita, dendrocronología-crecimiento post-incendio.

1. Introducción

El pino laricio (*Pinus nigra subsp. salzmannii*) es una de las especies arbóreas más abundantes en Cataluña, abarca aproximadamente 127.300 hectáreas en la región, incluyendo formaciones puras y mixtas (PIQUE et al., 2011). No obstante, los bosques de pino laricio junto con los de pino carrasco (*Pinus halepensis*), representan unos de los ecosistemas más afectados por incendios forestales en Cataluña (GONZÁLEZ & PUKKALA, 2007). Un ejemplo, es el gran incendio que sucedió en las comarcas del Bages-Berguedà en el NE de Cataluña en el verano de 1994, afectando una superficie de 45.900, donde, en base a datos del CREA (1993, 2000), alrededor de 21.000 ha de formaciones de *Pinus nigra* fueron quemadas.

La ocurrencia de incendios forestales de gran tamaño es una característica común en los bosques mediterráneos (GONZÁLEZ & PUKKALA, 2007), y se espera que su recurrencia y severidad aumente en un futuro debido al cambio climático y social (FLANNIGAN et al., 2009). Sin embargo, una de las características de los incendios que propagan a través de grandes áreas y durante varios días, es que rara vez se comportan de manera uniforme en el tiempo y en el espacio, ni tampoco en lo relativo a su intensidad y severidad. Los incendios

forestales modelan el paisaje creando un mosaico de áreas afectadas por diferentes grados de severidad: áreas quemadas completamente, áreas no quemadas y áreas de vegetación donde los incendios propagan con menor intensidad y de superficie quemando el sotobosque y dejando la mayor parte de los árboles vivos (RETANA et al., 2002). La presencia, abundancia y el vigor de estos árboles supervivientes, dentro de los límites de un gran incendio, es de gran importancia para garantizar funciones ecológicas tales como la persistencia de los bosques a través de la dispersión de semillas (CHAPPELL & AGEE, 1996) o de servir de refugio a la fauna (HERRANDO et al., 2003). Aun así, la mayoría de la investigación post-incendio se ha centrado en los procesos de regeneración después de incendios de copa de alta intensidad, mientras que las consecuencias ecológicas y de gestión forestal de zonas afectadas por incendios de superficie han sido poco estudiadas, sobre todo en lo referente al crecimiento de los árboles supervivientes. Los pocos estudios que analizan el crecimiento post-incendio de los árboles supervivientes difieren en cuanto al origen del fuego que afecta a los árboles de estudio (incendios forestales vs quema prescrita), a los estimadores utilizados para evaluar la severidad del fuego (por ejemplo: porcentaje de copa chamuscada, altura del chamuscado del tronco, mortalidad o recurrencia del fuego), la escala espacial del estudio (árbol vs. parcela), y las especies estudiadas.

Desde hace unos años, un número abundante de investigadores vienen afirmando que la implementación de políticas de manejo del fuego que permitan que se produzcan más incendios de baja intensidad, ya sea utilizando quemas prescritas o mediante la gestión de incendios de baja intensidad, deberían ayudar a evitar incendios catastróficos (PIÑOL et al., 2005; FLANNIGAN et al., 2009) e incluso podrían tener un impacto económico positivo en la gestión forestal (GONZÁLEZ-OLABARRIA et al., 2008), a través de la eliminación de los árboles más pequeños, reduciendo costes y disminuyendo el riesgo futuro de incendios de alta intensidad. Sin embargo, un requisito antes de pensar en el uso de fuegos de baja intensidad con fines de eliminación de combustible o como herramienta silvícola sería entender la respuesta de la vegetación a este tipo de fuego, incluyendo los efectos a largo plazo del fuego en el crecimiento de los árboles que sobreviven.

2. Objetivos

El objetivo general de este estudio es analizar el efecto de un incendio ocurrido en Cataluña en el 1994, concretamente en una zona donde propagó con menor intensidad y de superficie, sobre el crecimiento en diámetro de los individuos de pino laricio que sobrevivieron.

Así pues, los objetivos específicos son primero caracterizar selvícolamente los cambios producidos en la masa de pino laricio después de 15 años y describir las características climáticas de la zona y segundo, analizar la variación del crecimiento post-incendio en función de la severidad del fuego y el tamaño de los árboles afectados a lo largo del periodo post-incendio.

3. Metodología

3.1 Área de estudio

Para llevar a cabo el estudio se seleccionó una zona con los siguientes criterios: área afectada por un incendio de baja intensidad relativamente antiguo, donde la mayor parte del

arbolado permaneciera vivo y con variabilidad en relación a la severidad del fuego, que presentase una calidad de sitio y características de la masa homogéneas y, por último, sin presencia de signos de gestión posterior al incendio.

El área de estudio seleccionada cubre aproximadamente unas 83 ha de bosque de pino laricio, se encuentra en la ladera norte de la *Serra de la Canya*, situada en la Cataluña central al NE de España (42 ° 09 'N, 1 ° 69' E). Esta zona presenta una altitud de 769 ± 65 m, orientación noroeste, y una pendiente que oscila entre el 10% y el 40%. El clima es mediterráneo subhúmedo, con una temperatura media anual de 13,7 ° C y una precipitación media anual de 583 mm en los últimos 20 años. El área de estudio se vio afectada, parcialmente por el gran incendio del Bages-Berguedà y aunque el fuego fue calificado esencialmente como un fuego de copas activo de alta intensidad, una vez que éste llegó a la zona de estudio paso a propagarse pendiente abajo como fuego de superficie, ocasionalmente con antorcheos, extinguiéndose en las zonas más bajas de la ladera (Figura, 1).



Figura 1. Área de estudio. A la izquierda se observa la cara sur de la sierra afectada por el fuego de copas y a la derecha se observa la cara norte afectada por un fuego de superficie.

3.2 Diseño y recopilación de datos

Dentro del área de estudio, se instalaron 48 parcelas circulares de 7 m de radio. Basándonos en la idea de que las parcelas debían diferir en términos de severidad del fuego, las parcelas se establecieron en tres sectores con diferentes niveles de severidad dentro del área de estudio, concretamente se instalaron 16 parcelas en cada sector. Se utilizó la altura media del chamuscado del tronco de la parcela (ACT_p) como indicador de la severidad del fuego. En dos de estos sectores se emplazaron las parcelas afectadas por el incendio, definiéndose de alta severidad si $ACT_p > 3$ m, y de moderada severidad cuando la $ACT_p > 0$ y $< 2,5$ m (Figura 2).



Figura 2. Parcela de alta severidad: $ACT_p > 3$ m.

Además, 16 parcelas se establecieron cerca pero fuera de los límites del fuego para crear una zona no afectada por el fuego: sector control. Dentro de cada parcela, se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura del chamuscado del tronco (ACT_a) y la altura total (Ht) de todos los árboles supervivientes de más de 7,5 cm de DAP. Además, se evaluó el número de árboles muertos por el fuego dentro de los límites de cada parcela. En cada parcela se identificaron y se obtuvieron testigos de madera de los 10 árboles más cercanos al centro de ésta con DAP mayor de 10 cm, en total 480 árboles. La extracción de los testigos de madera se realizó mediante una barrena de Pressler a la altura del pecho (1,30 m) y lo más lejos posible de la marca del fuego.

3.3 Transformación y medición de los datos de crecimiento

Los 480 testigos de madera se prepararon siguiendo las técnicas estándares dendrocronológicas (STOKES & SMILEY, 1968). Los anillos de crecimiento de cada árbol se midieron con una precisión de 0,001 mm utilizando un sistema de medición Lintab 3 acoplado al programa TSAP (RINN, 1996). Todos los testigos de madera se dataron y cros-dataron visualmente para detectar la presencia de anillos falsos e incompletos. La edad media y la desviación estándar de los árboles seleccionados fue de $75,8 \pm 24,6$ años. El cros-datado se validó dentro de cada uno de los sectores de severidad ($n = 160$ testigos de madera), utilizando el programa COFECHA (HOLMES, 1983), que calculó correlaciones cruzadas entre las series individuales de todos los árboles presentes en cada uno de los sectores. En total, 34 series fueron descartadas por presentar baja correlación y un total de 446 testigos de madera se conservaron para su posterior análisis. Los anillos de crecimiento de los árboles se transformaron en incrementos anuales de área basal (IAB). Para cada testigo de madera, estimamos la media anual de IAB del árbol durante los 5 años anteriores al incendio ($IAB_{1988-1993}$), y un IAB relativo (IAB_{rel}). IAB_{rel} se calculó para cada árbol y año después del incendio, dividiendo IAB anual del árbol para cada año post-incendio (IAB_{1995} , IAB_{1996} ... hasta IAB_{2009}) entre la media IAB de los 5 años anteriores al incendio ($IAB_{1988-1993}$). IAB_{rel} es una variable que no tiene unidades, ya que es el resultado de la normalización del crecimiento post-incendio por la tasa de crecimiento de antes del incendio (REINHARDT & RYAN, 1988), permitiendo que cada árbol sirva como su propio control (SALONIUS et al., 1982). Esto significa que cuando el valor de IAB_{rel} es menor que 1, se produce una disminución del crecimiento en comparación al crecimiento de antes del incendio, y cuando el IAB_{rel} es mayor que 1, el árbol muestra un incremento en su crecimiento.

3.4. Análisis de datos

3.4.1. Caracterización silvícola y climática de la masa de pino laricio afectada por el incendio del año 1994.

Se realizó un análisis descriptivo (medias y error típico) del ACT_p , de la mortalidad a nivel de sectores y de la densidad de árboles (N) antes (1994) y después (2009) del fuego con el objetivo de explorar los cambios sufridos por la masa a causa del fuego. Asimismo, se analizó visualmente la relación entre el crecimiento IAB (cm^2) y un índice de sequía. El índice de sequía (DRI) (1), se calculó utilizando la precipitación mensual y el índice Thornwait, donde P y ETP son la suma de la precipitación y la evapotranspiración potencial mensual, respectivamente, a partir de septiembre del año anterior a septiembre del año en curso:

$$DRI = P - ETP \quad (1)$$

3.4.2 Variación del crecimiento post-incendio en función de la severidad y el tamaño

Con el fin de detectar variaciones en el crecimiento de los árboles durante todo el periodo posterior al incendio, se calculó y graficó el IAB_{rel} medio de los árboles de cada sector de severidad y en función de su tamaño. Para ello, se consideraron las clases de severidad a nivel de parcela definidas (alta, moderada y control) y el tamaño del árbol, DAP en 1994, creando tres categorías de tamaño de árbol: grande ($DAP > 15$ cm), mediano (≤ 10 cm $DAP \leq 15$ cm) y pequeño ($DAP < 10$ cm) (Tabla 1).

Tabla 1. Media \pm desviación estándar de la altura media del chamuscado del tronco (ACT_p), diámetro a la altura del pecho (DAP), y altura total (Ht), para cada una de las categorías de ACT_p -severidad y combinaciones de tamaño del árbol.

	Alta ACT_p -severidad			Moderada ACT_p -severidad			Control		
	Grande	Mediano	Pequeño	Grande	Mediano	Pequeño	Grande	Mediano	Pequeño
n: árboles	33	65	50	20	63	73	21	62	59
ACT_p (m)	3,5 \pm 1,3	3,0 \pm 0,9	3,1 \pm 1,1	2,2 \pm 1,1	1,9 \pm 0,7	1,5 \pm 0,5	-----	-----	-----
DAP_{1994} (cm)	18,1 \pm 2,9	12,1 \pm 1,4	8,0 \pm 1,2	16,8 \pm 1,0	11,9 \pm 1,4	8,0 \pm 1,2	16,8 \pm 1,0	12,2 \pm 1,4	7,4 \pm 1,7
Ht (m)	12,8 \pm 2,2	10,7 \pm 2,4	9,8 \pm 2,0	12,6 \pm 1,6	11,6 \pm 2,1	10,1 \pm 1,8	13,4 \pm 2,3	13,8 \pm 2,7	10,9 \pm 2,5

4. Resultados

4.1 Efecto del fuego en la masa y relación clima-crecimiento

La ACT en cada uno de los sectores identificados, como era de esperar, fue significativamente diferente, siendo la media de la ACT del sector identificado como de alta severidad superior a 3 m (Figura 3, arriba). Asimismo, se observa una disminución en la

densidad a causa del fuego del orden de aproximadamente 400 pies/ha en el sector de alta ACT_p y de 200 pies/ha en el caso del sector de moderada ACT_p (Figura 3, abajo).

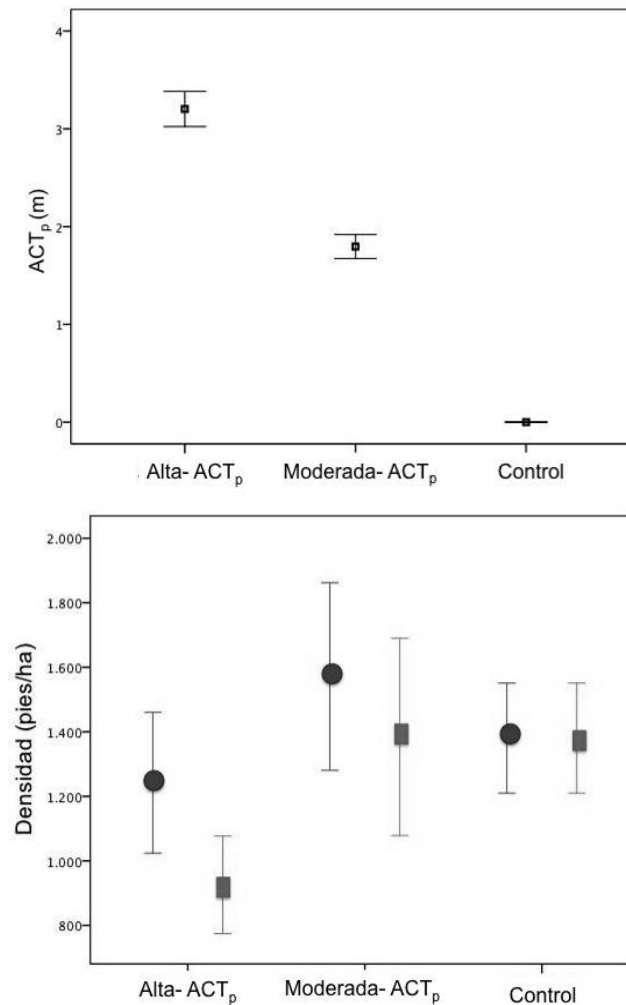


Figura 3. Arriba, media \pm dos veces error típico de la altura del chamuscado del tronco (ACT) en cada sector de severidad. Abajo, media \pm dos veces error típico de la densidad antes del incendio (círculos) y después del incendio (rectángulos) en cada sector de severidad.

El clima explica gran parte de la variación en el crecimiento intra-anual, la mayoría de los valores bajos y altos de DRI coinciden con crecimientos mayores o menores respectivamente (Figura, 4). Antes del incendio, los años 1993 y 1994, fueron dos años consecutivos de valores bajos de DRI en los que se observó una notable disminución del crecimiento.

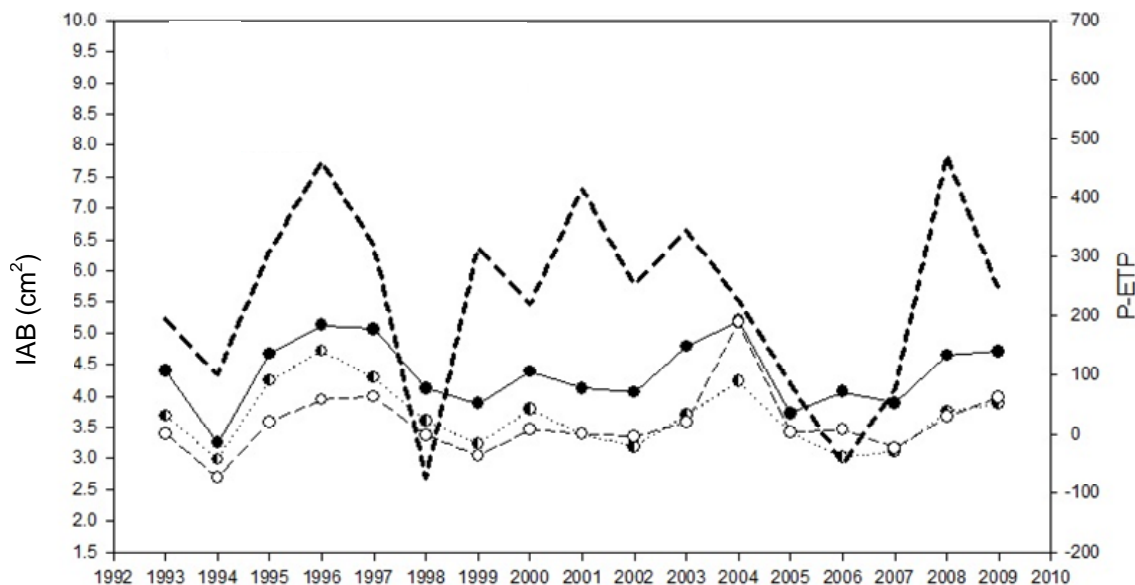


Figura 4. IAB durante el periodo 1993-2009 de los arboles pertenecientes a cada grupo de severidad. Línea discontinua muestra el valor del índice de sequía ($DRI=P-ETP$); línea con círculos negros: IAB para la severidad alta ACT_p ; línea con círculos negros y blancos: IAB para la severidad moderada ACT_p ; línea con círculos blancos: IAB para el sector control.

El evento más fuerte de sequía del período estudiado fue 1998, en el que el crecimiento fue similar al del año del incendio 1994 y entre los años 2005-2007 en los que también se experimentó un periodo de sequía extrema.

4.2 Variación del crecimiento en función de la severidad y el tamaño de los árboles.

A corto plazo, se observó que los arboles de tamaño pequeño y mediano, caracterizados por sufrir una alta severidad a nivel de parcela, mostraron una disminución de IAB_{rel} , mientras que los árboles grandes con semejante ACT_p aumentaron su tasa de crecimiento (Figura 5, a).

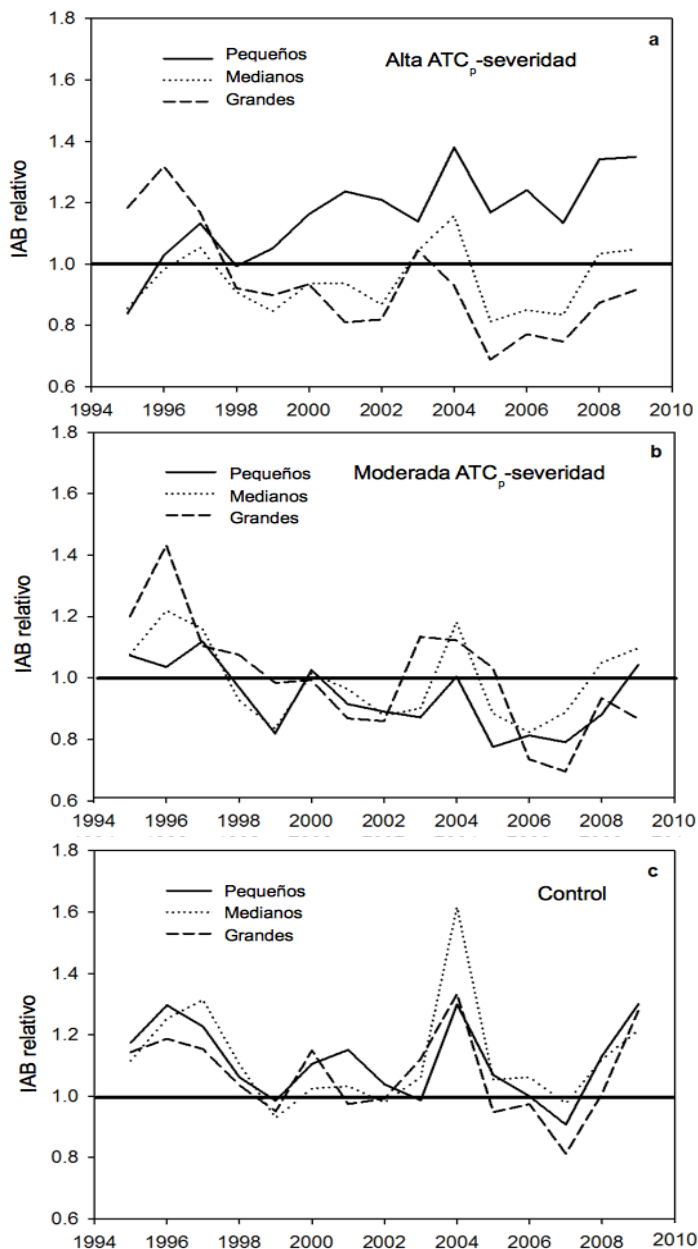


Figura 5. IAB relativo para las combinaciones de tamaño y grupos de severidad alta (a) y moderada (b) en función de la altura del chamuscado del tronco media de la parcela (ACT_p) y no afectadas por el fuego: control (c).

A partir del segundo año post-incendio los árboles clasificados como de alta severidad a nivel de parcela presentaron tendencias de crecimiento diferentes en función de su tamaño: los árboles más pequeños mostraron un aumento constante en IAB_{rel} mientras que los árboles grandes y medianos mostraron un aumento débil y menos constante en IAB_{rel} a lo largo del tiempo (Figura 5, a).

En el grupo de árboles afectados por moderada ACT_p se observó una reducción en IAB_{rel} inmediatamente después del incendio, exceptuando en los de mayor tamaño (Figura 5, b). A largo plazo, los árboles pequeños y medianos tendieron a disminuir su IAB_{rel} , se observó que el IAB_{rel} fue menor de 1.0 en 8 de los 15 años posteriores al incendio (Figura 5, b), mientras que los árboles grandes mantuvieron un IAB_{rel} por encima de 1,0 durante más

años (Figura 5, b). Por último, los árboles no afectados por el fuego crecieron más rápidamente después del año del incendio 1994 que durante el período anterior al fuego, sin importar el tamaño y exceptuando el año 1998 y el periodo comprendido entre 2005 y 2007 (Figura 5, c).

5. Discusión

5.1. Efectos del fuego en el crecimiento de *Pinus nigra*

Nuestros resultados muestran que cuando el impacto del fuego en el crecimiento del árbol se evalúa un año después del fuego, el efecto de éste sobre el crecimiento del árbol individual depende del daño causado por el fuego y del tamaño del árbol. Sin embargo, se asume generalmente que la severidad del fuego es el factor más importante que controla esta respuesta. En este sentido, muchos estudios confirman una marcada reducción en el crecimiento inmediato post-incendio en árboles altamente afectados (PETERSON et al., 1994; 1995; GONZALEZ-ROSALES & RODRÍGUEZ-TREJO, 2004), mientras que no hay variación en el crecimiento cuando el porcentaje de copa chamuscada es inferior a un umbral determinado, que varía entre estudios y especies (LILIEHOLM & HU, 1987; GONZÁLEZ ROSALES & RODRÍGUEZ-TREJO, 2004). En nuestro estudio encontramos que inmediatamente después del incendio la reducción en el crecimiento fue de mayor magnitud en los árboles pequeños. Este hecho parece lógico, ya que la base de la copa de éstos árboles está próxima al combustible de superficie permitiendo que las llamas consuman una porción elevada del follaje de sus copas, dando lugar a mayores tasas de transpiración, ineficiencia fotosintética, y por lo tanto afectando de forma perjudicial al crecimiento del árbol. Por el contrario, en los árboles grandes el efecto del fuego en el crecimiento fue de menor importancia debido posiblemente a que la copa se encuentra más alejada del suelo y a que presentan una corteza más gruesa. También en el caso de severidades moderadas, se encontró una reducción significativa en el crecimiento de los árboles, de acuerdo con los estudios antes mencionados. Durante el segundo y tercer año, como se muestra en la figura 5, todos los árboles experimentan un aumento significativo en el crecimiento radial. Este aumento en el crecimiento fue probablemente causado por las condiciones climáticas favorables, alta precipitación en el año 1996 y 1997 (Figura, 4), y el efecto fertilizador a través de la liberación de nutrientes de fuego.

5.2. Relación entre la severidad del fuego y la reducción competencia.

El marcado incremento en la tasa de crecimiento a largo plazo (2006-2009) de los árboles pequeños afectados por el fuego de alta severidad, podría atribuirse a la mayor tasa de mortalidad entre los árboles vecinos (Figura 6). Esto demuestra la importancia de considerar la reducción de la densidad de la masa debido al fuego junto al tamaño del árbol, para analizar los efectos del fuego sobre el crecimiento de árboles a largo plazo (Figura 7). Aunque en el medio-largo plazo severidades altas podrían afectar negativamente el crecimiento debido a la presencia de cicatrices o afecciones por plagas, la reducción de la competencia arbolada podría ganar importancia como el principal impulsor de un efecto positivo del fuego en el crecimiento de los árboles supervivientes. Sin embargo, el tamaño de los árboles que sobreviven tiene que ser considerado para mejorar nuestro conocimiento sobre el efecto de la mortalidad inducida por el fuego en el crecimiento de los árboles restantes.

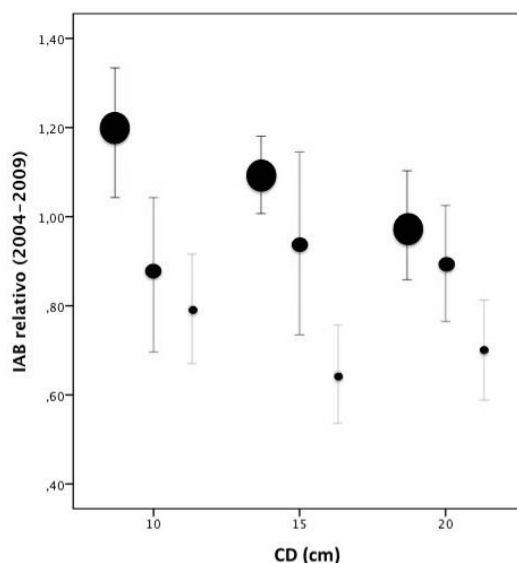


Figura 6. Media \pm dos veces error típico del IAB relativo para el periodo 2004-2009 por clases diamétricas (CD) y severidad en función de la mortalidad. Círculos grandes, mortalidad >15%; círculos medianos, mortalidad <15% y círculos pequeños, parcelas no afectadas por el fuego.



Figura 7. Izquierda, parcela afectada por el fuego con elevada mortalidad y derecha, parcela afectada por el fuego pero con baja mortalidad.

5.3 Implicaciones para la gestión

Este último resultado nos lleva a reflexionar sobre que tipo de implicaciones para la gestión forestal post-incendio pueden tener los resultados obtenidos. Aunque en nuestro estudio los árboles pequeños recuperaron su vigor y crecimiento a largo plazo alcanzando tasas de crecimientos similares o superiores a los árboles no quemados, el efecto positivo esperado por la reducción de la competencia inducida por el fuego no resultó ser lo suficientemente sustancial a lo largo de todas las clases de tamaño de árboles. Por lo tanto el fuego de media-baja intensidad capaz de reducir la competencia arbolada no se puede utilizar de forma generalizada con el único propósito de mejorar el crecimiento de los árboles. Ahora bien, considerando la disminución del riesgo de incendios de alta intensidad que se produce en estas zonas por la reducción en la carga de combustible y que el pino laricio está adaptado a los incendios de baja intensidad, siendo capaces de sobrevivir después de incendios de superficie recurrentes debido a su gruesa corteza y a las pocas ramas inferiores que presenta (FULE et al., 2008), no se debería descartar el uso del fuego de media-baja intensidad en ésta

especie. Además, cabe recordar, que los incendios de copas pueden poner en peligro la persistencia del pino laricio debido a la ausencia de piñas serótinas (TAPIAS et al., 2004) y a la intolerancia a las altas temperaturas de las semillas de ésta especie (HABROUK et al., 1999) dando lugar a una escasa regeneración post-incendio (RETANA et al., 2002). En este sentido, se podrían recomendar estrategias de gestión de combustible basadas en el uso de quemas controladas o la gestión de incendios (en aquellas zonas donde el fuego sea de baja intensidad y sobretodo si la causa del incendio es natural y las condiciones lo permiten) con el fin de reducir la carga de combustible en bosque de pino laricio, sin afectar sustancialmente su crecimiento e incluso aumentándolo en algunos casos, mejorando su resistencia al fuego y asegurando su persistencia.

6. Conclusiones

Se concluye que el fuego causa una reducción en el crecimiento de *Pinus nigra* a corto plazo, de mayores magnitudes cuanto mayor es la severidad del fuego y menor es el tamaño del árbol. En cambio, a largo plazo (entre 11 y 15 años después del incendio) el crecimiento en diámetro aumenta, sobretodo en el caso de árboles de menor tamaño (CD 10 cm, para este caso de estudio) afectados por severidades altas de fuego. Esto se explica, posiblemente, debido a una mayor reducción de la competencia inducida por el fuego en el caso de severidades altas, que en el caso de árboles pequeños tiene un mayor efecto en el crecimiento de los árboles restantes, mientras que en árboles de mayor tamaño la reducción de la competencia a su alrededor (similar a una clara por lo bajo) no tiene un efecto tan marcado en el crecimiento.

Esta información puede proporcionar un marco de apoyo a las decisiones futuras tanto de planificación y gestión post-incendio como en las estrategias de extinción. Además, consideramos que encontrar un equilibrio entre las consecuencias negativas del fuego en el crecimiento a corto plazo y los efectos positivos de la reducción de la competencia a largo plazo es clave para la correcta aplicación de operaciones de gestión de combustible. En última instancia la aceptación de estos *trade-offs* dependerá del propietario o gestor del monte y de los objetivos que se busquen con la gestión.

7. Agradecimientos

Damos las gracias al Dr. Miquel de Cáceres y a Bernat Claramunt por sus comentarios y a Mario Beltrán por la producción de algunas de las figuras. También agradecemos a Asier Larrañaga y al equipo GRAF por su ayuda en la identificación de la zona de estudio, y Martín Muller y Marta Vegas por su colaboración y ayuda en el trabajo de campo.

8. Bibliografía

CREAF, 1993. Mapa de cobertes del sòl de Catalunya. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, Departaments de Medi Ambient i Habitatge i Planificació Territorial i Obres Públiques. Generalitat de Catalunya.

CREAF, 2000. Mapa de cobertes del sòl de Catalunya v3. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, Departaments de Medi Ambient i Habitatge i Planificació Territorial i Obres Públiques. Generalitat de Catalunya.

FLANNIGAN, M.D.; KRAWCHUK, M.A.; DE GROOT, W.J.; WOTTON, B.M.; GOWMAN, L.M. 2009. Implications of changing climate for global wildland fire. *Int J Wildland Fire* 18: 483-507

FRITTS, H.C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press. 567 pp. London

FULE, P.Z.; RIBAS, M.; GUTIERREZ, E.; VALLEJO, R.; KAYE, M.W. 2008. Forest structure and fire history in an old *Pinus nigra* forest, eastern Spain. *For Ecol Manage* 255: 1234-1242

GONZALEZ, J.R.; PUKKALA, T. 2007. Characterization of wildfire events in Catalonia (north-east Spain). *Eu J Forest Res* 126: 421-429

GONZALEZ-OLABARRIA, J.R.; PALAHI, M.; PUKKALA, T.; TRASOBARES, A. 2008. Optimising the management of *Pinus nigra* Arn. stands under endogenous risk of fire in Catalonia. *Inv Agrar—Sist Recursos Fores* 17: 10-17

GONZALEZ-ROSALES, A.; RODRIGUEZ-TREJO, D.A. 2004. Effect of crown scorch on diameter growth of *Pinus hartwegii* Lindl. at the Distrito Federal, Mexico. *Agrociencia* 38: 537-544

HABROUK, A.; RETANA, J.; ESPELTA, J.M. 1999. Role of heat tolerance and cone protection of seeds in the response of three pine species to wildfires. *Plant Ecol* 145: 91-99
HOLMES, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree ring dating and measurement. *Tree Ring Bull* 43: 69-75

LILIEHOLM, R.J.; HU, S.C. 1987. Effect of crown scorch on mortality and diameter growth of 19-year-old loblolly pine. *South J Appl For* 11: 209-211

PETERSON, D.L.; SACKETT, S.S.; ROBINSON, L.J.; HAASE, S.M. 1994. The effects of repeated prescribed burning on *Pinus ponderosa*. *Int J Wildland Fire* 4: 239-247

PIQUÉ, M.; VERICAT, P.; CERVERA, T.; BAIGES, T.; FARRIOL, R. ; 2011. Tipologies forestals arbrades. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible de Catalunya (ORGEST). Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya. 341 p. Barcelona.

PIÑOL, J.; BEVEN, K.; VIEGAS, D. 2005. Modelling the effect of fire-exclusion and prescribed fire on wildfire size in Mediterranean ecosystems. *Ecol Model* 183: 397-409

REINHARDT, E.D.; RYAN, K.C. 1988. Eight-year tree growth following prescribed underburning in a western Montana Douglas-fir/western larch stand. Research Note - USDA Forest Service Intermountain Research Station

RETANA, J.; ESPELTA, J.M.; HABROUK, A.; ORDONEZ, J.L.; DE SOLA-MORALES, F. 2002. Regeneration patterns of three Mediterranean pines and forest changes after a large wildfire in northeastern Spain. *Ecoscience* 9: 89-97

RINN, F. 1996. TSAP-reference manual. Version 4.67. Rinntech. Heidelberg, Germany

SALONIUS, P.O.; FISHER, R.A.; MAHENDRAPP, M.K. 1982. An alternative method of measuring fertilizer effects in forest stands. *Can J Forest Res* 12: 146-150

STOKES, M.A.; SMILEY, T.L.1968. An introduction to tree-ring dating. University of Chicago Press. 73pp. Chicago, Illinois, USA

TAPIAS, R.; CLIMENT, J.; PARDOS, J.A.; GIL, L. 2004. Life histories of Mediterranean pines. *Plant Ecol* 171: 53-68

