Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 40: 115-122 (2014)

Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales

Acceso abierto disponible en http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernossecf/index

V Reunión del Grupo de Trabajo de Selvicultura: Regeneración natural y cambio global

Influencia de la capa de hojarasca y mantillo en la regeneración natural de *Pinus pinaster* Ait. tras incendios forestales

Madrigal, J.,[1,3*] Hernando, C.,[1,3] Guijarro, M.,[1,3] Vega, J.A.[2,3]

[1] *INIA, Centro de Investigación Forestal. Ctra. de la Coruña Km 7,5. 28040 Madrid*
[2] *CIF- Lourizán, Xunta de Galicia. Aptdo. 127, 36080, Pontevedra*
[3] *Unidad Mixta INIA-Xunta de Galicia*
* *Autor de correspondencia* e-mail: incendio@inia.es

Resumen

Se analiza la influencia de la capa remanente de hojarasca y mantillo tras grandes incendios forestales en la densidad del regenerado post-incendio de *Pinus pinaster* Ait. en 13 grandes incendios ocurridos en 12 regiones de procedencia españolas entre los años 1991 y 2005. Los resultados muestran que la densidad de brinzales está influida positivamente por la abundancia de acícula soflamada y mantillo superficial en el suelo tras el incendio, tanto más significativas en las regiones menos serótinas, lo que advierte sobre la mayor importancia del efecto *"mulching"* ejercido por esta capa de hojarasca en procedencias de menor banco aéreo. Los resultados sugieren que las técnicas selvícolas de rehabilitación y restauración tras grandes incendios deben tener en cuenta la severidad del incendio, la presencia de fuego de copas, que disminuye drásticamente la presencia de acícula soflamada, y el establecimiento de criterios de saca de madera adecuados para alterar lo menos posible dicha capa de hojarasca y mantillo favoreciendo de esta manera la regeneración natural.

Palabras clave: Efecto *"mulching"*, Fuego de copas, Regeneración post-incendio, Rehabilitación del suelo, Restauración.

1. Introducción

En los nuevos escenarios de cambio global, la selvicultura debe asumir la convivencia con el fuego. Por tanto, la necesaria definición de criterios e indicadores para la gestión sostenible de las masas forestales mediterráneas exige también un conocimiento de los procesos implicados en la regeneración post-incendio que sigue sien-

do uno de los grandes retos a los que se enfrenta la gestión forestal. Ante la necesidad de ofrecer soluciones cada vez más económicas y acordes con la ecología de las masas afectadas, se deben revisar las técnicas empleadas hasta ahora para la ayuda a la regeneración natural. En los últimos años ha habido avances significativos en este sentido, tanto desde el campo de la ecología de la vegetación, de la conservación del suelo y la lucha contra la erosión como de las técnicas de restauración (Díaz-Raviña *et al.*, 2010). En líneas generales todos los estudios coinciden en que los sistemas forestales mediterráneos, con las conocidas adaptaciones al fuego de las especies que los conforman, son capaces de regenerarse en mayor o menor medida de la importante perturbación que supone un gran incendio forestal y que no siempre es un desastre natural. No obstante, también hay bastante consenso científico en relación a los cambios que estos grandes incendios supondrán en la dinámica de la vegetación y que por tanto hay que asumir que la tendencia es más a apoyar la *recuperación natural* de los ecosistemas que a *restaurar* la vegetación mediante siembras y plantaciones. Se debe asumir por tanto que la mayor recurrencia de grandes incendios en escenarios de cambio global obliga a planificar y gestionar las nuevas masas resultado de la regeneración natural, circunscribiendo las siembras y repoblaciones, espacial y temporalmente, a enclaves estratégicos donde la protección del suelo sea prioritaria por ausencia de regeneración natural.

En estudios regionales llevados a cabo en masas de *Pinus pinaster* de diferentes procedencias afectadas por grandes incendios (Madrigal *et al.*, 2006) se ha constatado la importancia de la presencia y grado de serotinia como la característica genética que más influye en la densidad del regenerado, sobre todo en aquellas masas de mayor serotinia como Sierra del Teleno, Sierra de Gata-Hurdes, Sierra del Espadán y Sierra Bermeja, en relación a aquellas masas sin esta característica de adaptación al fuego como Sierra de Guadarrama, Meseta Castellana, Rodenales de Molina o Serranía de Cuenca. En las regiones de procedencia del Noroeste Interior y Costero, aun existiendo poca o nula serotinia, el abundante banco aéreo y las buenas características climáticas aseguran, en general, la regeneración (Vega *et al.*, 2008) siendo la mayor preocupación los efectos erosivos tras el incendio y su influencia sobre la dinámica del regenerado (Fernández *et al.*, 2008).

En relación a los factores locales, la regeneración de las masas de coníferas en general y de *Pinus pinaster* en particular, están en gran medida determinadas por el banco aéreo previo al incendio y la severidad del fuego (Vega *et al.*, 2008) que influyen en el proceso de diseminación tras el incendio (Martínez *et al.*, 2002) y las características del lecho de germinación (Madrigal *et al.*, 2010). La presencia de fuego de copas y los efectos erosivos posteriores al incendio determinan la presencia o ausencia de acícula soflamada en la superficie del suelo, así como el consumo de mantillo y materia orgánica, todos ellos factores que influyen en la protección del suelo en los primeros meses tras el incendio, la emergencia de las semillas y la supervivencia de los brinzales (Fernández *et al.*, 2008). En regiones de procedencia mediterráneas la fuerte sequía estival y la desaparición total o parcial de la capa de hojarasca y mantillo, que ejercen como protección de la capa superficial del suelo evitando la desecación de la semilla y el brinzal (efecto *"mulching"*), se han mostrado como li-

mitantes para la presencia, abundancia y supervivencia del regenerado (Madrigal *et al.*, 2010, Madrigal *et al.*, 2011).

En el presente trabajo se han recopilado los datos de parcelas temporales y permanentes de 13 grandes incendios que afectaron a masas pertenecientes a 12 regiones de procedencia de *P. pinaster*, con el objeto de explorar la influencia de la capa de hojarasca y mantillo, la presencia de fuego de copas, el grado de serotinia y la región de procedencia sobre la densidad de brinzales de la especie. En base a los resultados se realizan propuestas de mejora de la gestión preventiva y la gestión post-incendio que puedan ser incluidas en los modelos de gestión forestal sostenible aplicados a estas masas.

2. Material y métodos

2.1 Obtención de datos

Para el presente trabajo se han recopilado los datos procedentes de las parcelas temporales y permanentes utilizadas en estudios previos de regeneración de *P. pinaster* (Martínez *et al.*, 2002, Madrigal *et al.*, 2006, Madrigal *et al.*, 2011). En todas ellas se utilizaron parcelas cuadradas de un tamaño variable en función de la edad del regenerado y de las características del estudio. En aquellos incendios donde se pretendía modelar el proceso de regeneración se utilizó un diseño experimental de transectos lineales de rumbo fijo a lo largo de los cuales se disponían las parcelas sistemáticamente:

— Parcelas de 3x3 m^2 para aquellos incendios con regenerado menor de 2 años.

— Parcelas de 7x7 m^2 para aquellos incendios con regenerado mayor de 2 años (para más detalles consultar Madrigal *et al.*, 2006). En aquellos diseños experimentales donde se pretendía hallar el efecto de la severidad del fuego y del tratamiento post-incendio se replantearon, inmediatamente tras el incendio, parcelas de 20x20 m^2 con subparcelas interiores dispuestas de manera sistemática para la obtención de los datos promedio (para más detalles consultar Martínez *et al.*, 2002, Madrigal *et al.*, 2011). Se analizaron un total de 13 incendios pertenecientes a 12 regiones de procedencia natural de la especie, estando la región de Rodenales de Molina representada por dos grandes incendios (1994 y 2005). El conjunto de datos seleccionado ofrece como resultado un número total de 386 parcelas.

2.2 Variables estudiadas

Se seleccionaron como variables predictoras de la densidad del regenerado, aquellas variables relacionadas con la capa de hojarasca y mantillo (espesor, en cm y cobertura, en %). Asímismo se categorizaron otras variables que se creían de gran influencia para explicar la densidad: el tipo de fuego que tuvo lugar en la zona de estudio (dos niveles: 1=fuego de superficie, 2=fuego de copas), el grado de serotinia

(tres niveles: 3=alta, 2=media y 1=baja o nula) y la procedencia de la especie (12 niveles para las 12 procedencias estudiadas).

2.3 Tratamiento estadístico

Se han usado modelos lineales de mínimos cuadrados parciales (Partial Least Squares PLS, *Algoritmo NIPALS Nonlinear Iterative Partial Squares,* selección de componentes mediante el criterio de la Q^2 *de Stone-Geiser*) para explorar la influencia de las variables regionales (serotinia, región de procedencia) y las características locales del incendio (Tipo de fuego, espesor y cobertura de la capa de hojarasca y mantillo) en la densidad de brinzales de *P. pinaster*. Los modelos permiten estimar también la importancia relativa de cada una de ellas en la construcción del modelo (estadístico VIP, *Variance importance in projection*) y por tanto la influencia en la variable dependiente "densidad". Finalmente se han obtenido las correlaciones entre la densidad del regenerado post-incendio y las variables descriptivas de la capa de hojarasca y mantillo mediante el test no paramétrico de *Kendall-Tau*. Se ha utilizado el paquete estadístico STATISTICA®.

3. Resultados y discusión

El modelo PLS obtenido para el total de los datos seleccionados explica el 32% de la variabilidad de la densidad de regenerado (R^2Y=0,32; 1 Componente; n=386). La importancia relativa de las variables estudiadas (Estadístico VIP, *Figura 1*) muestra que el grado de serotinia y la región de procedencia, ambas variables directamente relacionadas, son las que explican en mayor medida la densidad del regenerado post-incendio *(Figura 1)* (Madrigal *et al.*, 2006, Vega *et al.*, 2008). La construcción de otro modelo excluyendo las regiones con un alto grado de serotinia (Sierra de Teleno, Sierra Bermeja, Sierra de Gata-Hurdes y Sierra del Espadán) ofrece un ajuste algo menor (R^2Y=0,20; 1 Componente, n= 256) pero muestra que son el tipo de fuego (1=fuego de superficie, 2=fuego de copas) y las características de la capa de hojarasca y mantillo remanente, las variables más relacionadas con la densidad del regenerado *(Figura 1)*. A su vez dichas variables están también muy autocorrelacionadas entre sí, ya que la presencia de fuego de copas limita la presencia y abundancia de hojarasca y mantillo (Test de Kendall-Tau = -0,50, $p<0,01$ entre tipo de fuego y cobertura de hojarasca y mantillo; Test Kendall-Tau = -0,47 $p<0,01$ entre tipo de fuego y espesor de hojarasca y mantillo).

Según los resultados obtenidos, las estrategias de gestión preventiva frente a fuegos de copa y la gestión post-incendio del regenerado para la recuperación de la vegetación debería ser acusadamente distinta en las regiones de procedencia con abundante serotinia respecto al resto de regiones. Mientras que en las regiones serótinas la regeneración está prácticamente asegurada y el problema estriba en la dosificación de la competencia a medio plazo, en regiones con moderada, baja o nula serotinia, la presencia de fuego de copas y como consecuencia las características del lecho de

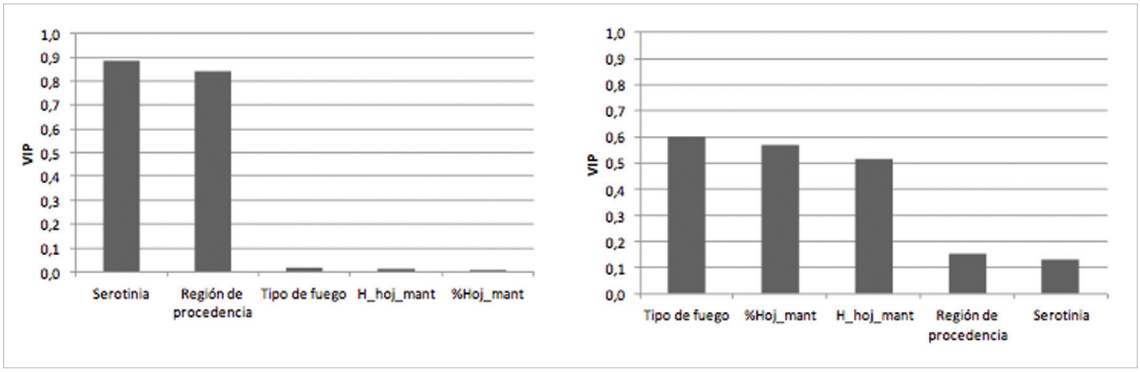

Figura 1. Importancia relativa de las variables en la construcción de los modelos PLS con todos los datos (izquierda, n=386) y con los datos de las regiones de procedencia de serotinia media, baja o nula (derecha, n=256). %Hoj_mant=Cobertura de hojarasca y mantillo tras el incendio; H_hoj_mant=espesor de la capa de hojarasca y mantillo tras el incendio.

germinación, limitan significativamente la presencia de regeneración que en muchos de los casos puede ser insuficiente para asegurar una masa de porvenir (Madrigal *et al.*, 2010). El probable aumento de la sequía estival que predicen la mayoría de las simulaciones de escenarios climáticos futuros condicionará además la supervivencia del regenerado en los primeros años tras el incendio (Madrigal *et al.*, 2011).

La variabilidad explicada por los modelos es bastante baja (no superior al 30 % en todos los casos), aunque significativa en la mayoría de ellos *(Tabla 1, Figura 2)*.

Tabla 1. Correlaciones no paramétricas (test de Kendall-Tau) entre la densidad de regenerado y las variables descriptivas de la capa de hojarasca y mantillo (Espesor cm, Cobertura %) para los 13 incendios estudiados

Incendio (Región procedencia)	*Kendall-Tau* Espesor (cm)	*Kendall-Tau* Cobertura (%)	n
Verín (Noroeste interior)	0,33**	0,66**	50
Tabuyo (Sierra del Teleno)	–0,01n.s.	0,02n.s.	53
Matamala de Almazán (Meseta Castellana)	0,11n.s.	0,38*	10
Robledillo de Gata (Sierra de Gata-Hurdes)	0,25*	0,32**	13
Pedro Bernardo (Sierra de Gredos)	0,35*	0,39*	14
Abantos (Sierra de Guadarrama)	0,56**	0,58**	50
Alcolea del Pinar (Rodenales de Molina)	0,02n.s.	0,22**	41
Riba de Saelices (Rodenales de Molina)	0,39**	0,61**	18
Boniches (Serranía de Cuenca)	0,36**	0,13n.s.	25
Pinar de Rubiales (Maestrazgo)	0,93**	0,69*	8
Espadilla (Sierra del Espadán)	0,31**	0,18n.s.	32
Los Guájares (Sierra Nevada-Almijara)	0,18*	0,21*	40
Sierra del Real (Sierra Bermeja)	0,22*	0,44**	32

Se muestra el número n de parcelas estudiadas en cada incendio. Con superíndices se muestra la significación *p<0,1, **p<0,05, n.s (no significativo). Se destaca el incendio de Tabuyo (Sierra de Teleno) como el único sin efectos significativos de la capa de hojarasca y mantillo sobre la densidad del regenerado post-incendio de *P. pinaster* en las procedencias estudiadas.

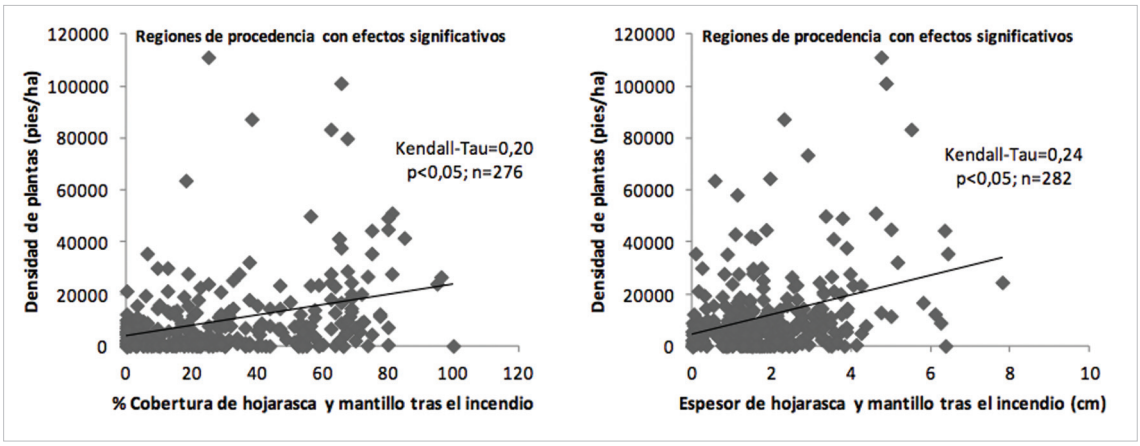

Figura 2. Correlaciones (test no paramétrico de Kendall-Tau) entre la densidad de regenerado y las variables descriptivas de la capa de hojarasca y mantillo (Espesor cm, Cobertura %) para el total de regiones de procedencia en los que se obtuvo correlación significativa (se excluye el incendio de Sierra del Teleno).

Existen otros factores ecológicos que explicarían el resto de la variabilidad no explicada por la capa de hojarasca y mantillo, como la fisiografía (altitud, pendiente, exposición, posición ocupada en la ladera) que a su vez está relacionada con otras variables como las características del suelo, la pedregosidad, afloramientos (Madrigal *et al.*, 2011) y la presencia de erosión (Robichaud 2010 en Díaz-Raviña *et al.*, 2010) que pueden condicionar la acumulación de semillas y diferentes condiciones del lecho de germinación. El estudio detallado de estos incendios (Madrigal, 2005) también mostró la influencia de la competencia interespecifica con matorral y herbáceas como uno de los factores que más condicionaron la densidad de plantas, incluso para brinzales de 1-3 años y hasta 6-9 años. Por tanto existen factores regionales que condicionan la disponibilidad de semillas y la calidad de sitio, factores locales que condicionan la competencia y la diversidad de micrositios y, a su vez, las características del incendio, cuya severidad modulará la disponibilidad de semillas y las características del lecho de germinación, entre otras la presencia y abundancia de la capa de hojarasca y mantillo.

La correlación de la cobertura y/o espesor de la capa de hojarasca y mantillo y la densidad del regenerado para cada uno de los 13 incendios *(Tabla 1, Figura 2)* fue significativa para todas los incendios excepto para la región de Sierra de Teleno. Existe una aparente contradicción entre el hecho de que al eliminar las regiones de procedencia de alta serotinia, las variables *serotinia* y *procedencia* pierdan importancia relativa *(Figura 1)* y sin embargo luego, al analizar las correlaciones univariables, las regiones de procedencia con alta serotinia, excepto Sierra de Teleno, presentan relaciones significativas con la cobertura de hojarasca y mantillo. Existe un evidente efecto de escala en el cual cuando se consideran las densidades medias a escala monte (densidad media por incendio, *Figura 1*) se pueden obtener resultados diferentes a considerar la escala rodal (densidad por parcela, *Tabla 1* y *Figura 2*). Por tanto las condiciones locales como la fisiografía, la microtopografía, la presencia de afloramientos y la severidad del fuego, condicionan las acumulaciones de hojaras-

ca y mantillo donde las semillas tienen más probabilidades de germinar y los brinzales más probabilidades de sobrevivir, al disminuir la erosión y ofrecer un efecto *"mulching"* a la semilla y a la plántula (Robichaud, 2010 en Díaz-Raviña *et al.*, 2010). Estas diferencias y tendencias son muy críticas cuando el aporte de semillas es moderado o bajo (regiones con baja o nula serotinia) pero ocurre también en las regiones de procedencia con alta serotinia (Sierra de Gata-Hurdes, Sierra del Espadán, Sierra Bermeja), ya que la emergencia depende, entre otros, de dichos factores de micrositio. Probablemente esto no ocurrió en Sierra de Teleno debido a que el altísimo aporte de semillas tras el incendio (cosecha viable estimada de 1,88 millones de semillas por ha, Madrigal *et al.*, 2006) generó regeneración abundante en todas las parcelas estudiadas, independientemente de la severidad del incendio. En este caso fueron la fisiografía (exposición de la ladera, posición en la ladera) y las características físicas del suelo (profundidad de suelo, pedregosidad, presencia de depósitos coluviales) lo que determinó las diferencias en la densidad a escala de micrositio (Madrigal *et al.*, 2005).

La gestión post-incendio puede aprovechar las posibilidades de regeneración natural en estas zonas y centrar los esfuerzos económicos en apoyar la regeneración en las áreas de alta severidad donde el fuego de copas haya calcinado la hojarasca y parte del banco aéreo. De igual manera los resultados obtenidos sugieren los posibles beneficios positivos del tratamiento de *"mulching"* superficial para rehabilitar los suelos severamente quemados y recuperar la vegetación, imitando el proceso natural de caída de la acícula. Desde esta perspectiva la saca de madera quemada tendría que esperar al menos tres meses para asegurar la caída de acícula soflamada y semillas procedentes del banco aéreo (Martínez *et al.*, 2002, Vega *et al.*, 2008) y realizarse con los menores arrastres posibles.

4. Agradecimientos

Este estudio se ha elaborado en el contexto de los proyectos del Plan Nacional I+D Recursos y Tecnologías Agrarias RTA2009-00153-C03-02 (Protección contra incendios forestales: condiciones de inicio, propagación e impacto socio-económico de los fuegos de copa en masas de pinares) y RTA2011-00065-C02-02 (Rehabilitación y restauración post-incendio: Efectos en el tiempo sobre la recuperación de la vegetación afectada y su inflamabilidad y en las características del suelo), cofinanciados con fondos FEDER.

5. Bibliografía

Díaz Raviña, M., Benito, E., Carballas, M.T., Fontúrbel, M.T., Vega, J.A. (eds.), 2010. Fuegored 2010. Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas forestales afectados por incendios forestales. Jornadas Internacionales. Santiago de Compostela 6-8 Octubre de 2010. 334 p.

Fernández, C., Vega, J.A., Fontúrbel, M.T., Jiménez, E., Pérez-Gorostiaga, P., 2008. Effects of wildfire, salvage logging and slash manipulation on *Pinus pinaster* Ait. recruitment in Orense (NW Spain). *For Ecol Manage* 225: 1294-1304

Madrigal, J., Hernando, C., Guijarro, M., Díez, C., Vega, J.A., Pérez-Gorostiaga, P., Fontúrbel, T., Cuiñas, P., 2006. Situación de la regeneración post-incendio de *Pinus pinaster* Ait. en España. *Montes* 85: 27-34

Madrigal, J., Hernando, C., Guijarro, M., Díez, C., Vega, J.A., Pérez-Gorostiaga, P., Fontúrbel, T., Pérez-Gorostiaga, P., 2010. Smouldering fire-induced changes in a Mediterranean soil (SE Spain): effects on germination, survival and morphological traits of 3-years-old *Pinus pinaster* Ait. *Plant Ecol* 208(2): 279-292.

Madrigal, J., Hernando, C., Guijarro, M., 2011. La gestión post-incendio como apoyo a la regeneración natural y a la restauración tras el gran incendio del Rodenal de Guadalajara: efectos sobre la supervivencia y crecimiento de los Brinzales de *Pinus pinaster* Ait. *Spanish Journal of Rural Development* 2 (Special Number 3):1-13

Madrigal, J., Hernando, C., Vega, J.A., Martínez-Herranz, E., Guijarro, M., Díez, C., Pérez-Gorostiaga, P., Fontúrbel, T., Cuiñas, P., 2005. Regeneración natural de *Pinus pinaster* tras el gran incendio de Tabuyo del Monte en la Sierra del Teleno: Factores influyentes. En: Seminario de Restauración de Áreas Afectadas por Grandes Incendios. (Rey, E. y Ruiz, I. coord.). Centro para la Defensa contra el Fuego. Junta de Castilla y León. León. Pp.153-165.

Martínez, E., Madrigal, J., Hernando, C., Guijarro, M., Vega, J.A., Pérez-Gorostiaga, P., Fontúrbel, M.T., Cuiñas, P., Alonso, M., Beloso, M.C., 2002. Effect of fire intensity on seed dispersal and early regeneration in a *Pinus pinaster* forest. En: Viegas DX (ed) Forest Fire Research and Wildland Fire Safety. Millpress, Rotterdam

Vega, J.A., Fernández, C., Pérez-Gorostiaga, P., Fontúrbel, T., 2008. The influence of fire severity, serotiny and post-fire management on *Pinus pinaster* Ait. recruitment in three burnt areas in Galicia (NW Spain). *For Ecol Manag*e 256:1596-1603