

TABLA DE SUPERVIVENCIA DE *PINUS HALEPENSIS* AFECTADO POR INCENDIOS FORESTALES

Pablo Bordón Pérez¹, Eduardo Pérez-Laorga Arias², Vicente Domingo Estruch Fuster³ y Eugènia Rodrigo Santamalia¹

¹Instituto Agroforestal Mediterráneo. E.T.S.I. Agronómica y del Medio Natural. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n. 46022-VALENCIA (España). Correo electrónico: erodrigo@eaf.upv.es

²Servicio de Ordenación y Gestión Forestal. Generalitat Valenciana. c/Francisco Cubells 7, 3ª planta. 46011-VALENCIA (España). Correo electrónico: perezlaorga_edu@gva.es

³Institut d'Investigació per a la Gestió Integrada de Zones Costaneres (IGIC). Escola Politècnica Superior de Gandia. Universitat Politècnica de València. Paranimf 1. 46730-GRAU DE GANDIA (Valencia, España). Correo electrónico: vdestruc@mat.upv.es

Resumen

En la Comunidad Valenciana se producen numerosos incendios forestales especialmente en los meses de verano, afectando principalmente a pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill), que es la especie más abundante. Se ha realizado el seguimiento de pinos parcialmente afectados por el fuego en dos incendios que se produjeron en agosto de 2007 y julio de 2009. En estos árboles se midieron: altura del árbol, altura del fuste, diámetro normal, diámetro basal, espesor de corteza, altura del fuste y altura del árbol afectadas por el fuego, porcentaje de copa quemada y porcentaje del diámetro normal quemado y se siguió la evolución de estos parámetros hasta el otoño siguiente al incendio, anotando los árboles muertos y los que sobrevivieron. Se ha realizado un análisis factorial por el método de las componentes principales para las variables analizadas con el objetivo de reducir la dimensión. Los resultados del análisis indican que es posible predecir la mortalidad post-incendio en *P. halepensis* basándose en cuatro variables: porcentaje de la altura del árbol afectada por el fuego, proporción de copa quemada, porcentaje del perímetro normal afectado y presencia o no de escolítidos, siendo el porcentaje de la altura del árbol afectada por el fuego y la proporción de copa quemada los parámetros más importantes para estimar la probabilidad de supervivencia de los árboles parcialmente quemados en un incendio. Por último se han identificado las especies de escolítidos encontradas en las zonas incendiadas y se aportan datos sobre el vuelo de los más abundantes.

Palabras clave: *Pinus halepensis*, Incendio, Mortalidad, Escolítidos

INTRODUCCIÓN

En la Comunidad Valenciana se producen numerosos incendios forestales sobre todo en los meses de verano. Para mejorar la gestión de las masas forestales quemadas se considera necesario disponer de herramientas útiles que permitan predecir la mortalidad de los árboles

parcialmente dañados tras un incendio forestal. La muerte del árbol parcialmente afectado por el fuego se produce bien porque el daño causado es de tal intensidad que impide que viva unos pocos meses más o bien porque aprovechando este estado de debilidad de los árboles, éstos son colonizados por insectos perforadores de la madera, fundamentalmente por coleópteros

escolítidos. La especie arbórea más abundante en la Comunidad Valenciana es el pino carrasco, *Pinus halepensis* Mill., por lo que se decidió centrar el presente estudio en esta especie. Se han realizado trabajos relacionados con esta problemática sobre todo en EE.UU. (SIEG et al., 2006; HANULA et al., 2002) y menos en Europa (PINTO, 1998; LOVREGGIO et al., 1999; RIGOLOT, 2004; VEGA et al., 2011). Nuestro grupo viene trabajando en este tema desde 2004 (RODRIGO et al., 2009) con el objetivo de diseñar un modelo predictivo para la mortalidad de los árboles afectados por el fuego a partir del análisis de determinadas variables características de los árboles quemados y teniendo en cuenta la influencia del ataque por escolítidos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Tabla de supervivencia

Se ha realizado un seguimiento de pinos parcialmente afectados por fuego en dos incendios que tuvieron lugar en agosto de 2007 y julio de 2009. Ambos incendios se produjeron en la provincia de Castellón, donde se quemaron aproximadamente 7.500 hectáreas en el primero y 1.000 hectáreas en el segundo. En ambas zonas la vegetación está constituida por matorral mediterráneo bajo dosel de *Pinus halepensis*. En el primer incendio, las parcelas de estudio estaban situadas en el monte Boalar, en el término municipal de Atzeneta del Maestrat y en el segundo incendio en las partidas del Cabezo y los Tintorares en el término municipal de Segorbe. Las características ambientales de las zonas incendiadas son similares, así como las características de los pinos afectados presentes en ambas zonas. Los dos estudios se iniciaron en el año siguiente al incendio, en Atzeneta en mayo de 2008 y en Segorbe en junio de 2010, finalizando el trabajo de campo en febrero de 2009 y 2011 respectivamente. En las parcelas de estudio de cada incendio se marcaron 200 árboles afectados por fuego y 100 árboles sanos que fueron utilizados como testigos. En total se analizaron 400 árboles afectados y 200 testigos. Cada árbol fue marcado con una chapa metálica y se realizó un seguimiento individualizado de cada uno de ellos y de la masa en su conjunto

durante el tiempo de estudio. Se intentó incluir el mayor rango de dimensiones de los árboles, así como diversos grados de afección por el fuego. Las características de los árboles medidas fueron: altura del árbol, altura del fuste, diámetro normal a 1,30 m desde el suelo (dbh), diámetro basal, espesor de corteza, altura del fuste y altura del árbol afectados por el fuego, porcentaje de copa quemada y porcentaje del diámetro normal quemado. Se anotó también la ausencia o presencia de escolítidos en los árboles marcados, basándonos en inspecciones visuales de signos externos tales como serrín, galerías u orificios de entrada y salida de los insectos. Durante todo el tiempo que duraron los estudios se realizaron muestreos quincenales donde se anotaban los cambios que se observaban en los árboles y la fecha de la muerte.

Especies de escolítidos presentes

Se ha estudiado la fauna de escolítidos presente en las dos zonas incendiadas. En el primer incendio, se talaron árboles recién muertos en dos fechas: junio y noviembre de 2008. Los árboles fueron cortados en trozas y posteriormente trasladados al laboratorio donde se identificaron todos los adultos de las diferentes especies que emergieron de las trozas (entre junio de 2008 y mayo de 2009). En el segundo incendio se instalaron trampas multiembudo en la zona quemada y en el testigo. Las trampas fueron cebadas con etanol, α -pineno (GALLEGO et al., 2008) y feromona de agregación de *Ips sexdentatus*. Se realizó un seguimiento quincenal de las trampas durante el periodo comprendido entre junio de 2010 y marzo de 2011.

Análisis estadístico

A partir de diversos análisis de ANOVA se han seleccionado, del total de variables medidas, aquellas variables que mostraban mayor relación con la mortalidad de los árboles. También se ha realizado un test χ^2 para verificar la influencia de la presencia de escolítidos en la mortalidad. Posteriormente, una vez seleccionadas las mejores variables en función de los resultados obtenidos de los ANOVA, mediante análisis factorial por el método de las componentes principales hemos reducido dichas variables a un único factor. Se ha comprobado, mediante el test de Kolmogorov-Smirnov,

que puede aceptarse la hipótesis de normalidad para dicho factor tanto en el caso de los árboles vivos como muertos. En base a este factor, utilizando el teorema de Bayes, se han podido estimar probabilidades de mortalidad y supervivencia condicionados a los valores de valores concretos de los parámetros. En todos los análisis estadísticos realizados se ha utilizado el programa Statgraphics© centurion XVI (StatPoint Technologies, Warrenton-Virginia, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla de supervivencia y su aplicación en gestión de pinos post-incendio

Al final del estudio el 27,5% de los árboles muestreados murieron en el incendio de Atzeneta y el 11,5% en Segorbe. Los resultados del ANOVA simple indican que cuatro de todos los parámetros analizados están significativamente relacionados con la mortalidad de los árboles. Estos parámetros son: porcentaje de la altura del árbol afectada por el fuego ($F=49,18$; $gl=1$; $p=0,0000$), proporción de copa quemada ($F=13,92$ $gl=1$; $p=0,0002$), porcentaje del perímetro normal afectado ($F=10,00$ $gl=1$; $p=0,0017$) y la presencia o no de escolítidos ($\chi^2=28,960$; $gl=1$; $p=0,0000$).

De las cuatro variables analizadas, el porcentaje de la altura del árbol afectada (HA%) y el porcentaje de copa quemada (CQ%) son las que mejor predicen la mortalidad de los árboles. El porcentaje de la altura del árbol afectada con-

sideramos que es un parámetro fácilmente observable y cuantificable en campo, por lo que puede ser fácilmente usado por los técnicos forestales, al igual que el porcentaje de copa quemada, para decidir qué árboles se cortan y cuáles no después de un incendio. Por lo tanto, con el objetivo de proporcionar una herramienta de trabajo útil en el manejo de las masas forestales quemadas, a partir de estas dos variables y mediante análisis factorial por el método de las componentes principales, se ha reducido la información a una única variable, denominada factor, que es una combinación lineal de los dos parámetros seleccionados ($K = 0,867066 \text{ HA}\% + 0,867066 \text{ CQ}\%$). En base a la distribución probabilística normal, tanto en el caso de árboles vivos ($p=0,619004$) como muertos ($p=0,734932$), de este nuevo factor y a partir del Teorema de Bayes podemos estimar la probabilidad de supervivencia de los árboles parcialmente quemados en un incendio condicionada a la situación de dichos árboles en lo que respecta a las variables consideradas (Tabla 1).

El porcentaje de copa quemada es un parámetro que predice bien la mortalidad post-incendio en coníferas de diferentes especies. SIEG *et al.* (2006) indican para *P. ponderosa* Dougl. ex Laws. como mejores parámetros, el porcentaje de copa quemada y el volumen de copa consumida. HANULA *et al.* (2002) para varias especies de pino (*P. elliotii* Englem. y *P. palustris* Mill.) indican la altura quemada del tronco, seguido del porcentaje de copa quemada. RIGOLOT (2004) en *P. halepensis* consi-

		% Copa quemada ¹			
		1	2	3	4
Altura árbol afectada %	10-20%	90,09	85,60	79,78	72,67
	20-30%	87,15	81,75	75,03	67,13
	30-40%	83,59	77,28	69,72	61,19
	40-50%	79,40	72,22	63,95	55,00
	50-60%	74,60	66,64	57,85	48,74
	60-70%	69,25	60,67	51,60	42,58
	70-80%	63,44	54,47	45,37	36,68
	80-90%	57,32	48,21	39,34	31,18
	90-100%	51,07	42,06	33,64	26,18

Tabla 1. Probabilidad de supervivencia de los árboles parcialmente quemados en un incendio forestal, en función de los parámetros considerados (porcentaje de altura del árbol afectada y porcentaje de copa quemada). 1 Los números representan el porcentaje de copa quemada (1: 0-25%; 2: 25-50%; 3: 50-75%; 4: > 75%). Las líneas gruesas indican las probabilidades de supervivencia inferiores al 65% y 50%

dera buenos parámetros el porcentaje de copa quemada, espesor de corteza carbonizada y dbh, coincidiendo en parte con nuestros resultados. VEGA et al. (2011) en *P. pinaster* consideraron el volumen total de copa dañado, la proporción de cambium muerto y la presencia de escolítidos, como mejores predictores. Coincidimos con los últimos autores en la importancia de los escolítidos, aunque el estudio se realizó sobre *P. pinaster* y no sobre *P. halepensis*.

La tabla de supervivencia obtenida (Tabla 1) constituye una herramienta para el técnico forestal que ha de decidir si un árbol parcialmente quemado ha de ser cortado o no, teniendo en cuenta la probabilidad de que dicho árbol sobreviva. Una probabilidad de supervivencia del 50% significa que el árbol tiene las mismas posibilidades de morir que de sobrevivir. Por lo tanto parece razonable proponer cortar el árbol cuando la probabilidad de supervivencia sea inferior al 50%. A medida que va aumentando la probabilidad de supervivencia del árbol, por encima del 50%, parece evidente que la decisión de cortar el árbol se justificaría cada vez menos. No obstante, la cuestión que habría que resolver es

si se puede establecer un valor crítico de probabilidad de supervivencia por debajo del cual sea razonable decidir el corte del árbol. En este sentido, teniendo en cuenta otros condicionantes de carácter climático, aparición de escolítidos, etc., que pueden darse tras el incendio, es lógico establecer un margen de incertidumbre y considerar, teniendo en cuenta los condicionantes antes mencionados, el corte de árboles con probabilidades de supervivencia superiores al 50%.

Como conclusión, proponemos como norma general en la gestión post incendio de pinares de *P. halepensis*, cortar aquellos árboles cuya probabilidad de supervivencia resulte inferior al 50%. Sin embargo tenemos que tener en cuenta que el mantenimiento en el monte de pinos dañados que se estima que pueden morir, puede provocar en ellos el desarrollo de insectos escolítidos que posteriormente generen daños en el pinar no afectado por el incendio o en pinos que podrían sobrevivir. Por lo tanto el valor de referencia del 50% se podría incrementar en función de las condiciones climáticas del año siguiente al incendio y la presencia de escolítidos. Así si la primavera y el otoño del año siguiente al incendio son secos

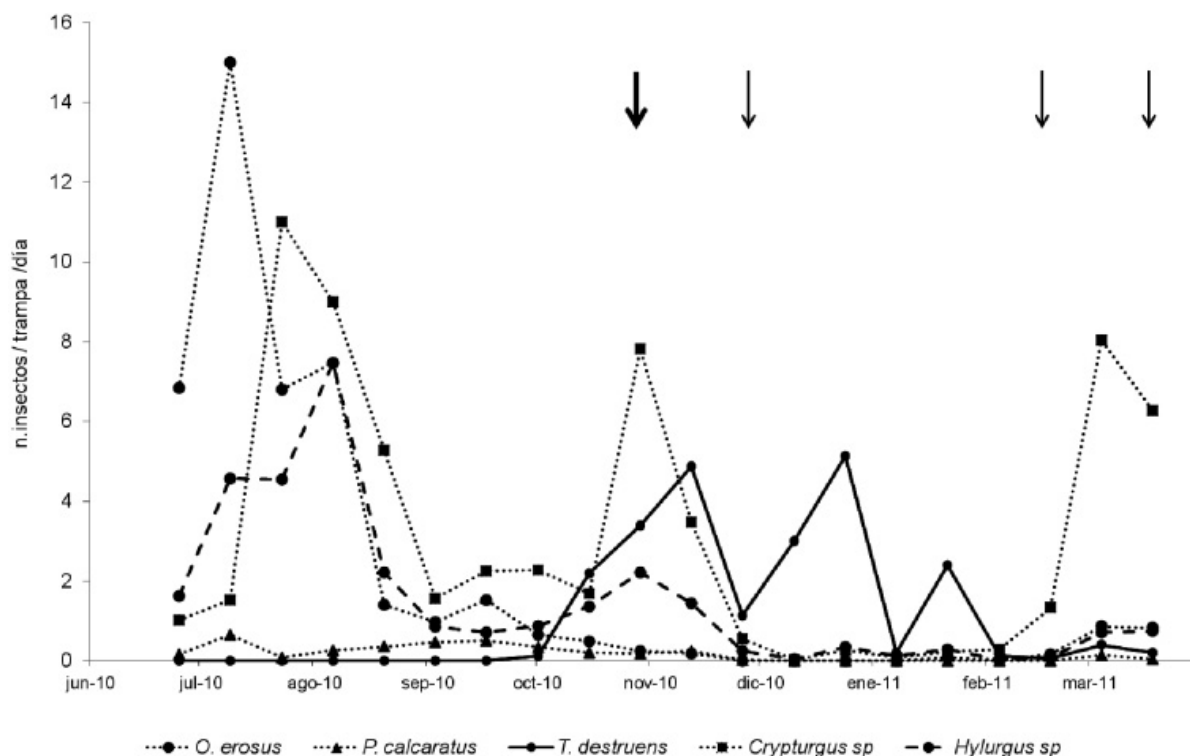


Figura 1. Curvas de vuelo de los escolítidos presentes en la parcela de Segorbe. Las flechas indican los momentos de mayor mortalidad de los árboles

y cálidos, pueden favorecer el desarrollo de los insectos y que aumente la mortalidad real de los árboles. En estas condiciones se debería ser menos conservador introduciendo un margen de incertidumbre que consideramos razonable establecer inicialmente en un 15%. De esta forma, se podría tomar la decisión de cortar los árboles cuando la probabilidad de supervivencia fuese inferior al 65%, lo que conllevaría cortar árboles con menor porcentaje de altura afectada y menor porcentaje de copa quemada (Tabla 1).

Los resultados del estudio realizado, aportan un herramienta que pueden utilizar los técnicos forestales para decidir si cortar o no un árbol afectado por el fuego. Investigaciones y estudios futuros permitirán validar o aportar información para mejorar y ajustar el modelo y el criterio de decisión propuestos.

Especies de escolítidos identificadas y curvas de vuelo:

Las especies de escolítidos capturadas en las dos zonas incendiadas han sido, *Tomicus destruens* (Wollaston), *Crypturgus* sp, *Orthotomicus erosus* (Wollaston), *Hylurgus ligniperda* (Fabrizius), *H. micklitzi* Wachtl y *Pytiogenes calcaratus* (Eichhoff). En la Figura 1 se ha representado el vuelo de *T. destruens*, *Crypturgus* sp, *Hylurgus* sp y *P. calcaratus* en Segorbe. Se ha constatado que la mortalidad de los pinos aumenta en el otoño del año siguiente al incendio. En relación con este hecho, en este incendio, los momentos de mayor mortalidad de los árboles se produjeron previamente al vuelo de los adultos de *T. destruens* detectado en las trampas. Estudios posteriores permitirán también determinar con exactitud la relación entre escolítidos y mortalidad de los pinos.

Agradecimientos

Agradecemos a los técnicos forestales su apoyo en el trabajo de campo. Este estudio se ha realizado mediante convenio de colaboración entre la Consellería de Infraestructuras, Territorio

y Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana y la Universitat Politècnica de València.

BIBLIOGRAFÍA

- GALLEGO, D.; GALIÁN, J.; DIEZ, J.J. & PAJARES, J.A.; 2008. Kairomonal responses of *Tomicus destruens* (Col, Scolytidae) to host volatiles α -pinene and ethanol. *J. Appl. Entomol.* 132: 654-662.
- HANULA, J.; MEEKER, J.R.; MILLER, D.R. & BARNARD, E.L.; 2002. Association of wildfire tree health and numbers of pine bark beetles, reproduction weevils and their associates in Florida. *Forest Ecol. Manage.* 170: 233-247.
- LOVREGGIO, R.; FIDANZA, F. & LEONE, V.; 1999. Un modello per la stima della sopravvivenza post-incendio in *Pinus halepensis* Mill. *L'Italia Forestale e Montana.* 4: 178-190.
- PINTO, M.A.; 1998. Modelos de previsão de ataque de escolítidos em povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton. *Bol. San. Veg. Plagas* 24: 429-434.
- RIGOLOT, E.; 2004. Predicting postfire mortality of *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus pinea* L. *Plant Ecol.* 171: 139-151.
- RODRIGO, E.; BARREDA QUEROL, E.; BIEL SANCHIS, M^a.J. Y PÉREZ-LAORGA, E.; 2009. Estudio de la mortalidad de árboles posterior a un incendio en una masa de *Pinus halepensis* mill. (Castellón, España). En: S.E.C.F.-Junta de Castilla-León (eds.), *Actas 5^o Congreso Forestal Español 5CFE 01-516*: 2-7. Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- SIEG, C.H.; MCMILLIN, J.D.; FOWLER, J.F.; ALLEN K.K.; NEGRON J.F.; WADLEIGH, L.L.; ANHOLD, J.A. & GIBSON, K.E.; 2006. Best predictors for postfire mortality of ponderosa pine trees in the intermountain West. *For. Sci.* 52: 718-728.
- VEGA, J.; JIMÉNEZ, E.; VEGA, D.; ORTIZ, L. Y PÉREZ, J.R.; 2011. *Pinus pinaster* Ait. tree mortality following wildfire in Spain. *Forest Ecol. Manage.* 261: 2232-2242