



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-544

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Efecto de la severidad del fuego en la producción de corcho

HERNANDO LARA, C.^{1,2}, MADRIGAL OLMO, J.^{1,2}, SANTOS SÁNCHEZ, P.F.³, GUIJARRO GUZMÁN, M.^{1,2}, DÍEZ GALILEA, C.¹, ESPINOSA PRIETO, J.¹, CARRILLO GARCÍA¹, GARCÍA de CECA J.L.¹, NIETO ALMEIDA, E.³, GONZÁLEZ ADRADOS, J.R.⁴

¹ INIA, Centro de Investigación Forestal, Dpto. Selvicultura y Gestión de los Sistemas Forestales.

² iuFOR, Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible uVA-INIA

³ Junta de Extremadura, Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio

⁴ Universidad Politécnica de Madrid, ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural

Resumen

En el contexto del proyecto GEPRIF, se está realizando un estudio del efecto de la severidad del fuego en la resistencia del alcornoque en el monte Valcorchero (Plasencia; Cáceres) tras el incendio que tuvo lugar en agosto de 2014. Para conseguir el objetivo propuesto, se ha instalado un dispositivo experimental en el que se han marcado 100 árboles en una zona afectada por el fuego en los que se han evaluado visualmente los daños producidos en tronco y copa. En una zona próxima, no afectada por el fuego, se han marcado 50 árboles que han servido como testigos. Con el seguimiento de daños se persigue detectar el grado de afectación de los tejidos vivos y el estrés al que están sometidos los árboles quemados frente a los testigos, y su evolución después del incendio. Asimismo, se han muestreado calas para evaluar el efecto del fuego en el corcho mediante análisis de imagen. Los resultados obtenidos con las dos metodologías muestran que el espesor del corcho, el espesor de la raspa, el porcentaje de sofamado de copas y la altura de chamuscado explican el 69 % del nivel de daño producido por el fuego en el corcho. En cualquier caso, se persigue poner a punto una metodología que permita predecir, de manera temprana y fiable, el grado de afectación del felógeno en relación a la severidad fuego, lo cual tendría importantes repercusiones en la producción futura de corcho de reproducción. Esta información constituiría un elemento clave para la gestión de los alcornoques en producción.

Palabras clave

Valcorchero, incendios forestales, resistencia al fuego, *Quercus suber*, felógeno.

1. Introducción

Existe cada vez mayor consenso en que la severidad, definida como la magnitud de los efectos del fuego sobre un ecosistema, constituye un elemento clave para comprender e interpretar el papel del fuego en los ecosistemas forestales, y estimar su impacto medioambiental y socioeconómico. La severidad es una componente esencial del régimen de fuego, cuyas alteraciones están produciendo desajustes en la funcionalidad de los ecosistemas y aumentando la gravedad de los impactos ambientales de los incendios. Numerosos estudios han demostrado que el espesor de la corteza es un factor importante que afecta a la resistencia de los árboles al fuego. (e.g.: RYAN & REINHARDT, 1988; BRANDO et al., 2012; DEHANE et al., 2015). De hecho, el grosor de la corteza es un factor de adaptación clave en muchas especies presentes en ecosistemas propensos a los incendios y por lo general se cita como el principal agente que determina la supervivencia de los árboles en fuegos intensos (PAULA et al., 2009; HE et al., 2012, DEHANE et al., 2015). A escala individuo, la capacidad para sobrevivir al fuego depende de la protección que proporciona la corteza a los tejidos vivos y de la capacidad de renovación de tejidos. La resistencia de los troncos está influida tanto por las características del fuego como por las del tronco, que interactúan durante el fuego y determinan la severidad del fuego en el árbol. En el contexto de cambio climático, cada vez más autores asumen que nuestros ecosistemas deberán convivir con el fuego (e.g.: CATRY et al., 2012; FERNANDES, 2013; MORITZ et al., 2014;). En Europa, los mecanismos de regeneración de las especies mediterráneas tras incendios forestales han sido objeto de numerosos estudios, pero existe menos información

sobre la supervivencia de la mayoría de la especies a fuegos de media o baja intensidad. En consecuencia, parece crucial estudiar el efecto protector de la corteza para adaptar la gestión de las masas a las nuevas perspectivas del régimen de incendios forestales. Generalmente, los trabajos realizados en esta materia se realizan en campo, bien mediante la evaluación tras incendios forestales de los daños producidos en los troncos, o bien mediante la medición en quemas experimentales de las temperaturas alcanzadas en la corteza y en los tejidos vivos (CATRY et al., 2012; FERNANDES et al., 2008). En cuanto a estudios de laboratorio, no se tiene conocimiento de la existencia de modelos de transmisión de calor en cortezas de árboles mediterráneos y existen muy pocas referencias sobre ensayos de inflamabilidad en cortezas de árboles y las que se han llevado a cabo han sido en ecosistemas boreales y con dispositivos no estandarizados que no incluyen el efecto de intensidad del fuego en el proceso (FREJAVILLE et al., 2013). DEHANE et al. (2015) han puesto a punto una metodología para caracterizar la reacción al fuego de cortezas de especies mediterráneas y la transmisión de calor hacia los tejidos vivos (felógeno) que es necesario corroborar en campo y encontrar aplicaciones para estimar la afectación temprana de la capa madre. No se conocen referencias de estudios al respecto y en el caso del alcornoque es prioritario tener elementos en la toma de decisión, no sólo en la supervivencia de los ejemplares, sino en la afectación del felógeno que influirá en producciones futuras tras el paso del fuego de los árboles supervivientes.

Un ejemplo bien conocido de corteza de alta resistencia a la transmisión de calor, por sus propiedades aislantes es el corcho (SILVA et al., 2005; CARDILLO et al., 2007)), es decir, la corteza del alcornoque (*Quercus suber* L.). Esta especie además tiene una alta resiliencia al fuego, siendo la única europea con capacidad de rebrote de tronco y de copa tras el paso de fuegos de copa intensos (PAUSAS, 1997, PAULA et al. 2009). El alcornocal constituye un componente característico de los ecosistemas mediterráneos, ocupando en la Cuenca Oeste Mediterránea una superficie total de aproximadamente 2,5 millones de hectáreas (PAUSAS et al., 2009). En España existen 506.000 ha, lo que supone un 27 % del total mundial, y se producen alrededor de 88.000 ton/año, lo que representa casi el 30 % de la producción mundial, siendo Andalucía la región con mayor producción seguida de Extremadura (ASECOR, www.asecor.com). Por lo tanto, además de su alto valor ecológico, estos ecosistemas juegan un importantísimo papel socioeconómico (PEREIRA & FONSECA, 2003; BUGALHO et al., 2011) constituyendo un ejemplo económico sostenible por su alta repercusión en la economía, el empleo y, en definitiva en el desarrollo rural de las zonas, tanto productoras como donde se encuentran ubicadas las industrias de transformación.

A pesar de estos reconocidos valores, varios factores como son las plagas y enfermedades, la sobreexplotación, el sobrepastoreo y los cambios de usos del suelo están poniendo en peligro las masas de *Quercus suber*. Estas amenazas, incrementadas por el cambio climático, afectan el estado sanitario del arbolado e incrementan su vulnerabilidad al fuego (DEHANE et al., 2015; CATRY et al., 2010). Como es conocido, los alcornocales abandonados son formaciones de tipo esclerófilo, lo que provoca acumulación de combustible forestal (PASALODOS-TATO et al., 2015). Ya se han detectado problemas de regeneración en alcornocales tras incendios (COCA & PAUSAS, 2009) a pesar de ser una especie altamente resistente y resiliente al fuego.

El corcho es el segundo producto forestal no maderable más importante en los países de la cuenca oeste Mediterránea (MENDES & GRAÇA, 2009), con un valor mundial de las exportaciones próximo a los 2 billones de dólares anuales (APCOR, 2009). Teniendo en cuenta que más del 70% del corcho es utilizado por el sector vitivinícola para tapones de calidad y que el paso del fuego lo hace inservible para este uso, resulta estratégico evaluar de manera temprana y fiable los posibles daños para adaptar la gestión de las masas a las nuevas perspectivas del régimen de incendios, de forma que se puedan proponer medidas para aumentar la resiliencia y resistencia al fuego de estos ecosistemas.

2. Objetivos

El objetivo final del estudio es la puesta a punto de una metodología que permita predecir en masas de *Quercus suber*, de manera temprana y fiable, el grado de afectación del felógeno en relación a la severidad fuego, lo cual tendría importantes repercusiones en la producción futura de corcho de reproducción. Los resultados del estudio pretenden ofrecer elementos de ayuda para la toma de decisiones en la gestión post-incendio de estas masas, así como para la planificación futura, de cara a la prevención de incendios que puedan afectar a esta especie en diferentes estadios de crecimiento y descorche. El objetivo de la presente comunicación, primera fase del trabajo, es evaluar y comparar las mediciones realizadas en campo y mediante análisis de imagen el grado de afectación del corcho, con el fin de establecer las bases para la obtención de la metodología perseguida.

3. Metodología

Área de estudio

El estudio se está desarrollando en el monte Valcorchero, localizado muy próximo al casco urbano de Plasencia (Cáceres), limitando por el suroeste con el río Jerte (UTM: 4.441542; 4.436.791; 234.270; 238.831). El monte, tiene una superficie forestal de 1.126,85 ha, distribuidas entre los 280 y 670 m de altitud. La vegetación principal está formada por un alcornocal (*Quercus suber* L.), con una edad aproximada de 100 años y Fracción de Cabida Cubierta comprendida entre 35 y 40 %, acompañado por encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.)) y acebuche (*Olea europaea* subsp. *europaea* L.), situado sobre un berrocal granítico con abundantes afloramientos rocosos. El matorral acompañante está dominado por Cistáceas (*Cistus* sp., *Halimium* sp.), Ericáceas y Fabáceas (*Genista* sp., *Lavandula* sp.). Tradicionalmente el monte se ha dedicado a la saca del corcho y al aprovechamiento ganadero y en el año 2005 fue declarado Paisaje Protegido de Extremadura (Decreto 82/20051). El clima corresponde a las clasificaciones de mediterráneo templado y mediterráneo fresco, influido por el microclima del Valle del Jerte y la Sierra de Gredos, que por un lado suavizan las temperaturas y, por otro, hacen que se produzcan mayores precipitaciones que en el resto de la meseta central. La precipitación media anual es de 717,4 mm y la temperatura media anual es de 15,3 °C.

El 12 de agosto de 2014 se inició un incendio que afectó a 304,8 ha, de las que el 80 % correspondía a alcornocal (Tabla 1 y Figura 1). De acuerdo al informe de simulación que se realizó mediante Wildfire Analyst (<http://www.wildfireanalyst.com>) el fuego fue de baja intensidad (<346 kW/h) en la mayor parte del incendio, alcanzando solo puntualmente valores de intensidad moderada (346-1730 kW/h). La longitud de las llamas fue, en general, menor a 1,5 m y la velocidad de propagación alcanzó valores entre menos de 0,1 y 0,6 km/h. A pesar de estos valores de los parámetros descriptores del comportamiento del fuego, se produjo fuego pasivo de copas en alguna zona del perímetro afectado.

Tabla 1. Superficie afectada por el incendio de Valcorchero (agosto de 2014)

Término Municipal	Titularidad	Tipo de Vegetación	Superficie afectada
Oliva de Plasencia	Particular	Alcornocal	6,2 ha
Plasencia	Particular	Alcornocal	83,1 ha
Plasencia	Particular	Dehesa	55,2 ha
Plasencia	Particular	Pastizal	28,5 ha
Plasencia	Particular	Roquedos	0,5 ha
Plasencia	Valcorchero CC-111	Alcornocal	71,7 ha
Plasencia	Valcorchero CC-111	Dehesa	46,7 ha
Plasencia	Valcorchero CC-111	Pastizal	12,8 ha

Toma de Datos y Mediciones

Para la evaluación de la severidad del fuego de los alcornoques se instaló, en julio de 2015, un dispositivo experimental en el monte Valcorchero. Se realizaron dos transectos dentro del perímetro del incendio (Figura 1), coincidiendo con carreras del fuego, seleccionando en cada uno de ellos 50 árboles. El transecto 1 (rumbo 150°) tiene 143,46 m de longitud, situándose el inicio del mismo a una altitud de 375 m y el final a 509 m. En el caso del transecto 2 (rumbo 130°) la longitud es de 100,38 m y las altitudes de inicio y fin son de 444 y 617 m, respectivamente. La vegetación acompañante más frecuente en ambos transectos está compuesta por: *Q. ilex* L., *Prunus spinosa* L., *Genista* sp., *Pistacia terebinthus* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Arrhenatherum* sp., *Agrostis* sp., *Poa* sp., y *Stipa tenacissima* L. Para evaluar los daños producidos, tanto en el tronco como en la copa, se realizaron las siguientes mediciones de cada uno de los pies: Altura total (Ht, cm), altura primera rama viva (H1rv, cm), altura primera rama muerta (H1rm, cm), altura de chamuscado (Hch, cm) altura de descorche (Hd, cm), diámetro en la base del tronco (D_0 , cm) diámetro normal (D, cm) diámetro de copa (Dc, cm), espesor del corcho (ec, mm) y de la raspa (er, mm), tanto a barlovento como a sotavento en la dirección de propagación del fuego, a la altura de la base del tronco (H_0) y a 1,30m ($H_{1,30}$). En una zona próxima, no afectada por el fuego, se realizó otro transecto en el que se seleccionaron y realizaron las medidas pertinentes de otros 50 árboles que han servido como testigos. Todos los árboles seleccionados fueron marcados con una chapa metálica numerada y referenciados con GPS para realizar seguimientos periódicos. Además se han realizado mediciones de pendiente local, pedregosidad, indicadores erosivos y grado de severidad en suelo en el entorno de cada árbol.

El nivel de daño o severidad del fuego en las copas se ha categorizado de acuerdo al grado de afectación, estimado visualmente: 1=sin soflamar; 2=soflamado parcial; 3=soflamado total; 4=calcinado total. Del mismo modo, la severidad del fuego en el corcho se ha categorizado de acuerdo a la siguiente escala: 1=sin afectar; 2=afectación superficial; 3=afectación parcial; 4=afectación total.

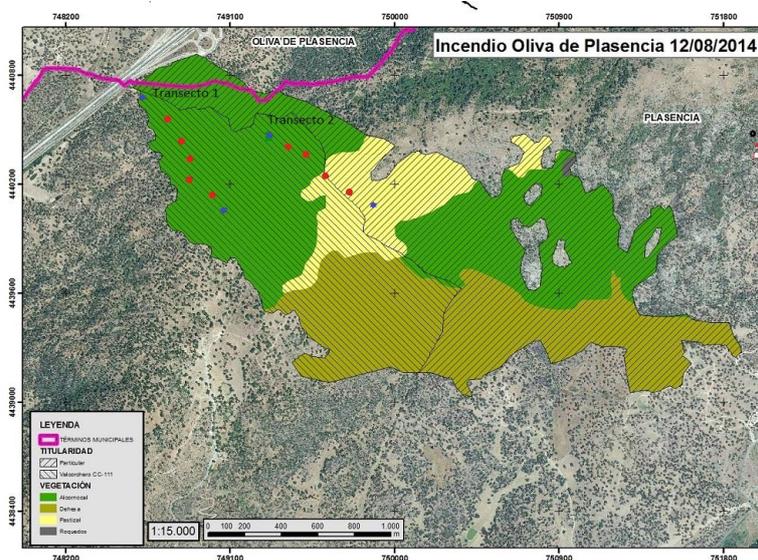


Figura 1. Perímetro del incendio, tipo de vegetación y de propiedad afectada, y localización de los transectos

De los 150 árboles marcados, se seleccionaron 26 árboles representativos de la muestra, de los cuales 20 habían sido afectados por el incendio y 6 eran testigos. De los afectados por el incendio, solo dos presentaban corcho bornizo (B) y 18 tenían corcho de reproducción (R); todos los testigos (T) tenían corcho de reproducción. Con el apoyo de IPROCOR (Junta de Extremadura) de cada árbol seleccionado se tomaron, en verano de 2016, dos muestras (calas) de corcho de dimensiones 10 cm x 10 cm x calibre, una a barlovento y otra a sotavento en la dirección de propagación del fuego. Se digitalizó una imagen de la sección transversal de cada una de las 52 muestras. En función de la situación respecto del incendio y del aspecto general de la imagen se calificó cada muestra como sana (S), quemada (Q) o testigo (T). Se utilizó el programa “Stream Essentials” (Olympus) para calcular las siguientes variables: espesor total de la muestra o calibre (et, mm), espesor de la raspa (er, mm), espesor de corcho no afectado (es, mm) “color normal”, espesor de corcho afectado (ea, mm) “color más oscuro de lo normal”, espesor de corcho carbonizado (ec, mm) “color negro”. Cada valor se obtuvo como media de cinco determinaciones (Figura 2).

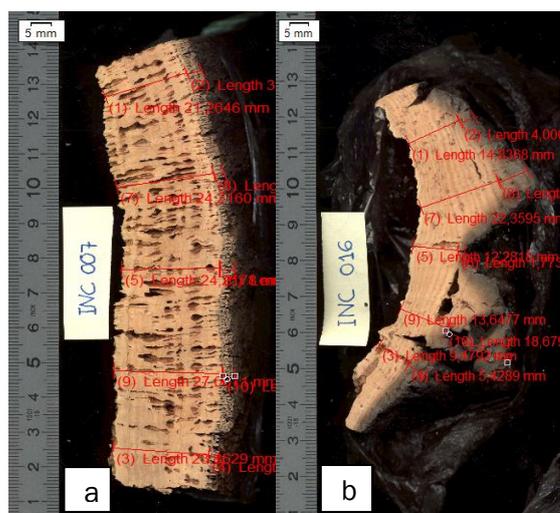


Figura 2. Determinación de la afectación en secciones transversales de muestras de corcho. a) corcho de reproducción no afectado. b) corcho bornizo afectado.

Con la base de datos elaborada se realizó un análisis previo de depuración de datos para eliminar o cambiar datos sin sentido físico achacable a errores en la toma de datos en campo. En primer lugar se analizó la matriz de correlaciones. De las variables que resultaron significativas ($p < 0,05$) se exploraron ajustes a modelos lineales o no lineales. Con el objeto de obtener un modelo descriptivo del efecto del fuego en el corcho de las muestras analizadas, se exploraron modelos de regresión por mínimos cuadrados parciales (*Partial Least Squares* PLS). Este método combina el Análisis de Componentes Principales (ACP) y el Análisis de Regresión Múltiple explorando las relaciones entre variables respuesta de forma simultánea y permitiendo obtener modelos con un elevado número de variables explicativas para un reducido número de muestras. Se utilizó el paquete estadístico Statistica 10.0 ®

4. Resultados

La mortalidad, en la fecha que se realizaron las mediciones, por el paso del fuego, era de seis pies en el transecto 1 y de cinco en el transecto 2, lo que supone un 10 %. En la Tabla 2 se presentan los datos medios de los 50 árboles medidos por transecto, así como los testigos, y el rango (valores mínimos y máximos) obtenidos para cada una de las variables objeto de medición. Como se puede observar, el mayor valor medio de la altura de chamuscado (11,3 cm) se ha obtenido para los árboles descorchados del transecto 2. Precisamente, son los árboles más grandes de toda la muestra. No obstante, los rangos obtenidos para este parámetro, en todos los casos considerados, ha sido muy amplio. También lo son los correspondientes a todas las variables dasométricas medidas.

Los datos relativos a los distintos espesores medidos en cada árbol: espesor del corcho (ec, mm) y de la raspa (er, mm), tanto a barlovento como a sotavento en la dirección de propagación del fuego, a la altura de la base del tronco (H_0) y a 1,30m ($H_{1,30}$) se presentan en la Tabla 3. Tanto en la cara de barlovento como en la de sotavento, los espesores máximos de corcho se registran en los pies descorchados del transecto 2, que como se ha comentado son los pies más grandes de la muestra. Los rangos también han sido grandes, en casi todas las mediciones consideradas.

Tabla 2. Valores medios y rango (entre paréntesis) de Alturas (total= H_t ; chamuscado= H_{ch} ; 1ª rama viva= H_{1rv} ; 1ª rama muerta= H_{1rm} , descorche= H_d , Diámetros de tronco (Basal= DH_0 ; normal= $DH_{1,30}$) y Diámetro de copa (Dc). PD=Pies descorchados, PND=Pies no descorchados; n.d.= dato no disponible

VALORES MEDIOS y (RANGO)		Alturas (m)					Diámetros fuste (cm)		Diámetro copa (m)
		Ht	Hch	H1rv	H1rm	Hd	DH0	DH1,30	Dc
Testigo (N= 50 pies)	General (N= 50 pies)	9,5 (4,5-16,6)		2,5 (1,1-4,4)	2,6 (2,2-3,1)	2,4 (1,1-4,3)	66,7 (18,0-125,0)	56,8 (13,0-111,0)	9,9 (2,5-15,8)
	PD (N=42)	9,8 (5,7-16,6)		2,5 (1,1-4,4)	2,5 (2,2-3,1)	2,4 (1,1-4,3)	72,0 (41,0-125,0)	61,3 (38,5-111,0)	10,5 (5,8-15,8)
	PND (N=8)	6,9 (4,5-8,9)		2,1 (1,2-3,3)	2,7 (2,7-2,7)		38,5 (18,0-51,0)	31,6 (13,0-45,5)	6,8 (2,5-8,9)
Transecto 1 (N= 50 pies)	General (N=50)	9,0 (5,3-16,6)	4,1 (1,6-9,0)	2,6 (1,1-4,4)	2,5 (2,1-3,1)	2,6 (1,1-6,8)	65,4 (16,4-125,0)	55,5 (12,5-111,0)	9 (2,4-15,2)
	PD (N=43)	9,2 (5,7-16,6)	4,1 (1,6-9,0)	2,7 (1,1-4,4)	2,5 (2,1-3,1)	2,6 (1,1-6,8)	67,1 (41,0-125,0)	56,8 (38,5-111,0)	9,2 (4,9-15,2)
	PND (N=7)	7,5 (5,3-10,0)	4,8 (3,0-8,0)	2,2 (1,2-3,4)	2,5 (2,2-2,7)		54,6 (16,4-104,0)	47,7 (12,5-88,0)	7,6 (2,4-14,3)
Transecto 2 (N= 50 pies)	General (N= 50)	7,7 (3,1-15,0)	5,7 (1,8-13,0)	2,1 (0,6-3,7)	2,1 (1,4-2,8)	2,3 (1,3-4,3)	51,2 (11,5-122,0)	42,8 (7,0-98,0)	7,9 (1,6-19,7)
	PD (N=19)	11,3 (6,5-15,0)	7,3 (1,8-13,0)	2,3 (1,6-3,7)	n.d.	2,3 (1,3-4,3)	84,4 (47,0-122,0)	73,7 (47,5-98,0)	13,8 (6,8-19,7)
	PND (N=31)	5,4 (3,1-8,4)	4,5 (2,6-6,3)	1,9 (0,6-2,8)	2,1 (1,4-2,8)		30,8 (11,5-114,0)	23,2 (7,0-64,5)	3,9 (1,6-8,9)

Los mayores niveles de severidad en tronco, de acuerdo a la escala propuesta, se han alcanzado en la cara de sotavento, ratificando el conocido como “efecto chimenea”, y especialmente en árboles del transecto 2 (Figura 3). Coincide que en árboles de este transecto se habían registrado también, como resulta lógico, las mayores alturas de chamuscado (Tabla 2).

En cuanto al nivel de severidad en copa también es superior en árboles de transecto 2 en el que nueve pies presentan un porcentaje de soflamación mayor o igual a 50 %. En el transecto 1 solamente han alcanzado ese valor tres árboles (Figura 4).

Tabla 3. Valores medios y rango de los espesores de corcho y raspa medidos a barlovento y sotavento en la base del tronco (H0) y a 1,30m (H1,30). PD=Pies descorchados, PND= Pies no descorchados

VALORES MEDIOS y (RANGO)		Espesor corcho (mm)				Espesor raspa (mm)			
		Barlovento		Sotavento		Barlovento		Sotavento	
		H0	H1,30	H0	H1,30	H0	H1,30	H0	H1,30
Testigo (N = 50 pies)	General (N= 50)	22 (2-57)	20 (1-52)	22 (4-45)	21 (4-63)	4 (1-17)	5 (1-30)	5 (2-15)	5 (1-16)
	PD	22 (2-57)	19 (1-52)	22 (4-45)	21 (4-63)	4 (1-17)	5 (1-30)	5 (2-15)	5 (1-16)
	PND	22 (12-45)	25 (12-45)	23 (4-35)	22 (4-10)				
Transecto 1 (N = 50 pies)	General (N= 50)	20 (2-45)	19 (1-75)	20 (1-50)	19 (4-50)	4 (1-17)	5 (1-30)	5 (2-15)	4 (1-12)
	PD (N=43)	20 (2-45)	19 (1-75)	20 (1-50)	19 (4-50)	4 (1-17)	6 (1-30)	5 (2-15)	4 (1-12)
	PND (N=7)	20 (16-23)	18 (11-23)	21 (19-24)	16 (7-29)				
Transecto 2 (N = 50 pies)	General (N= 50)	26 (11-80)	23 (8-52)	24 (4-41)	24 (4-63)	4 (2-10)	4 (2-6)	4 (2-6)	5 (1-16)
	PD (N=19)	29 (14-57)	26 (12-52)	28 (11-41)	29 (15-63)	4 (2-10)	4 (2-6)	4 (2-6)	5 (1-16)
	PND (N=31)	24 (11-80)	21 (8-50)	22 (4-35)	21 (4-49)				

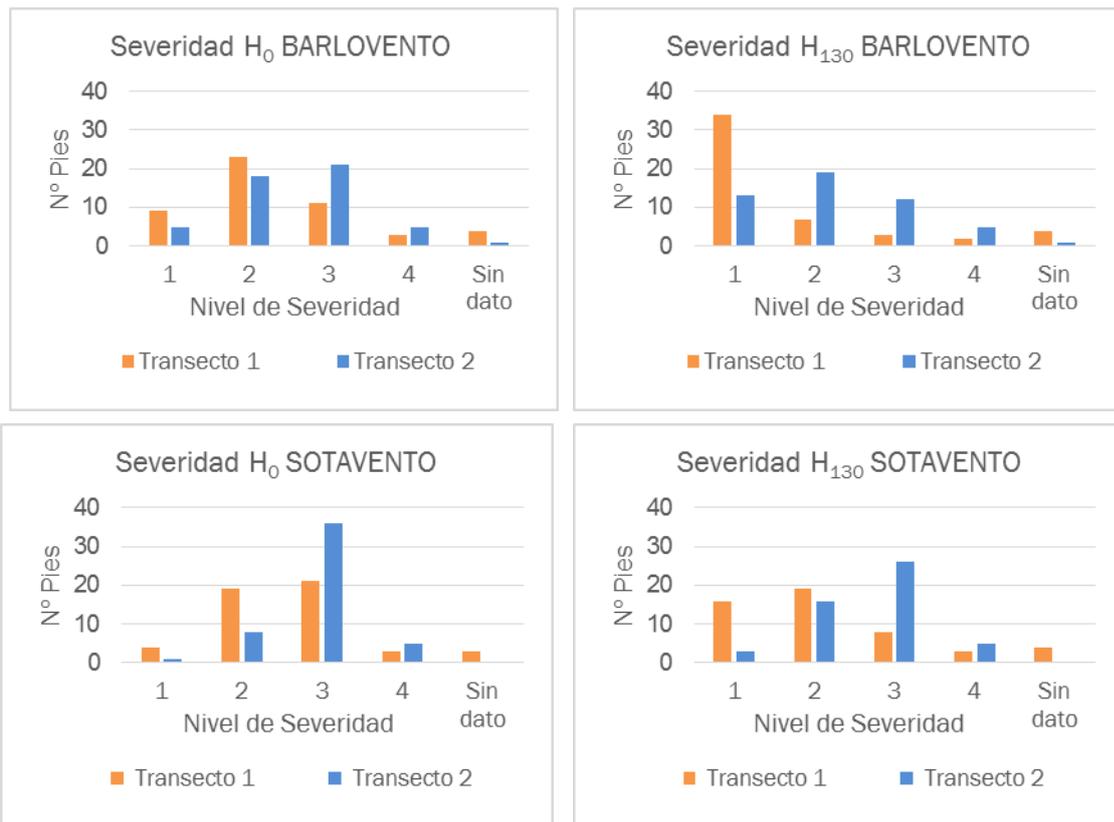


Figura 3. Nivel de severidad en tronco, a barlovento y a sotavento, a la altura de la base del tronco (H₀) y a 1,30 (H_{1,30}). Siendo: 1=sin afectar; 2=afectación superficial; 3=afectación parcial; 4= afectación total



Figura 4 Porcentaje de sofiamado de copa

Los valores medios obtenidos de las muestras, mediante el analizador de imagen para cada variable se presentan en la siguiente Tabla (Tabla 4).

Tabla 4. Valores medios de los espesores de raspa (er) y corcho sano (es), afectado (ea) y carbonizado (ec) obtenidos con analizador de imagen

TIPO	AFECTACIÓN	Nº Probetas	\bar{e}_r (mm)	\bar{e}_s (mm)	\bar{e}_a (mm)	\bar{e}_c (mm)	\bar{e}_t (mm)
Bornizo; Reproducción	Sano; Quemado; Testigo		Espesor raspa	Corcho sano	Corcho afectado	Corcho carbonizado	Espesor total
R	T	12	2,961	25,150			28,112
R	S	22	2,886	18,249			21,135
R	Q	15	1,453	11,850	4,665	0,652	17,167
B	Q	3		24,350	3,112	0,326	27,788

La combinación del espesor del corcho carbonizado (ec), el espesor de la raspa remanente (er), la altura de chamuscado en tronco (H_{ch}) y el porcentaje de soflamado de la copa (Sof) explica casi un 70 % de la variabilidad del espesor de corcho afectado, es decir del daño en corcho por el fuego, siendo er la variable más influyente (Ajuste del modelo: $R^2Y= 0.69$, $R^2X=0.64$, 2 Componentes).

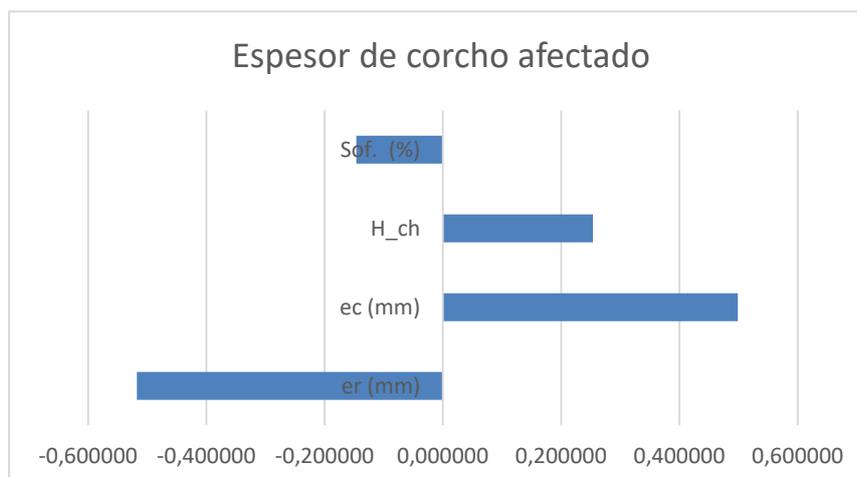


Figura 5: Coeficientes escalados del Modelo PLS generado para predecir el espesor del corcho afectado en función de las variables más significativas ($R^2Y= 69\%$). Valores altos implican más significación en el modelo y el signo muestra el sentido biológico (influencia positiva o negativa para predecir la variable dependiente ea =espesor afectado de corcho), siendo er =espesor de la raspa remanente, ec =espesor de corcho carbonizado, H_{ch} =altura de chamuscado de tronco, Sof =porcentaje de soflamado de la copa

5. Discusión

Como ha sido comentado, y queda patente en las Tablas 2 y 3, se ha obtenido gran variabilidad en las mediciones hechas en campo, máxime si se tiene en cuenta que los pies medidos están ubicados en una zona muy concreta del perímetro del incendio. Los transectos sobre los que se han seleccionado los árboles tienen longitudes menores a 150 m. Este hecho sugiere que para obtener resultados fiables sobre la severidad del fuego las mediciones deberían realizarse pie a pie. Los

mayores niveles de severidad, tanto en copa como en corcho, se han producido en un grupo de árboles del transecto 2 situados muy próximos entre sí. No se ha encontrado ninguna relación entre las variables dasométricas de dichos ejemplares, lo que indica que es el fuego el que ha tenido en esa zona un comportamiento más virulento. Las simulaciones con Wildfire Analyst habían detectado alguna zona de Intensidad del fuego moderada, frente a la mayor parte de la superficie afectada que tuvo una Intensidad baja.

Los resultados obtenidos mediante análisis de imagen parecen indicar una cierta relación entre la severidad del fuego y el calibre del corcho: Las muestras más dañadas (Q) tienen un calibre medio (17,1 mm) menor que aquellas en las que la incidencia del fuego fue menor (S; 21,1 mm), en las que el calibre es también menor que en las testigo (28,1 mm). Esto indica que la actividad del felógeno se ha visto afectada a distintos niveles, pudiendo llegar a comprometer la capacidad futura del árbol de volver a producir corcho tecnológicamente apto para la fabricación de tapones. Las muestras obtenidas permitirán analizar este extremo con mayor detalle. Estos resultados ratifican, en buena parte, las observaciones de campo llevadas a cabo tras incendios forestales (CATRY et al., 2012) y los datos obtenidos en laboratorio de la inflamabilidad del corcho en calorímetro de pérdida de masa (DEHANE et al., 2015) que señalan que el espesor de la corteza (calibre del corcho) debe ser de al menos 2 cm para proteger los tejidos vivos. Este último estudio, también mostró que esta corteza retrasa más de 2 minutos las temperaturas letales en los tejidos vivos. En consecuencia, en el amortiguamiento térmico producido por la corteza cobra importancia la intensidad del fuego y el tiempo de residencia de la llama, tanto en la cara de barlovento pero sobre todo en la de sotavento, además del calibre que depende en gran medida del momento del turno de descorche en el que haya ocurrido el incendio. Al ser el aprovechamiento del corcho la razón de ser principal del alcornocal gestionado, CATRY et al. (2012) estudiaron su vulnerabilidad al fuego tras el descorche. La falta de protección en la que quedan los árboles descorchados y el estrés que supone para el individuo los sucesivos descorches, comprometen su conservación por lo que recomiendan gestionar los estratos superficiales de vegetación (matorral y herbáceas) y cambiar el régimen de descorche, aumentando el ciclo de descorche o descorchando pies coexistentes en diferentes años. Los resultados de este trabajo sugieren además que la toma de decisiones en la restauración tras incendios en alcornocales, no sólo deben tener en cuenta la supervivencia del arbolado (severidad en cambium) sino de la capa madre (severidad en felógeno), lo que podría hacer recomendable la corta de muchos pies aparentemente no dañados para regenerar nuevos bornizos en vez de esperar al final del turno para descorchar pies supervivientes pero con baja probabilidad de generar corcho de reproducción en el futuro.

Ha quedado ratificado el conocido como “efecto chimenea” en los troncos. En la cara de sotavento en la dirección de propagación del fuego, por el efecto Bernoulli de comportamiento del fluido (fuego) en contacto con un objeto (fuste) la llama se adhiere al tronco de manera casi vertical, por lo que tanto la altura de chamuscado como el daño en corteza son superiores en esta cara que en la de barlovento. Esto tiene implicaciones en la probabilidad de supervivencia de la capa madre (felógeno) en una parte muy importante de la superficie de descorche (aproximadamente la mitad, correspondiente a la cara a sotavento del avance del fuego), disminuyendo con ello la probabilidad de reproducción de corcho de calidad en siguientes turnos y pudiendo dificultar las labores de descorche.

El modelo PLS propuesto destaca el importante poder predictivo del espesor de raspa remanente para estimar el corcho dañado. También DEHANE et al. (2015) mostraron la importancia de la "raspa" o tejido muerto exterior característico del corcho de reproducción y no presente en el corcho "virgen" o "bornizo". El calor total emitido por el corcho cuando entra en combustión está directamente relacionado con el espesor de la raspa y su presencia disminuye el tiempo de ignición del corcho lo que aumenta la consunción del corcho y por tanto el nivel de daño. Por tanto, el estudio sugiere que la presencia de la "raspa" podría intervenir en la mayor vulnerabilidad de estos árboles respecto a ejemplares no descorchados. El espesor de esta "raspa" se relaciona con las buenas

prácticas del descorche y sobre todo con la sequía estival, observándose mayores espesores en las procedencias más secas. Por tanto la evaluación de la raspa tiene importancia en la evaluación de la vulnerabilidad del corcho de reproducción al fuego (raspas más gruesas corcho más vulnerable) y en la evaluación del corcho afectado tras el fuego: raspas remanentes más finas o consumidas implican corcho más afectado y mayor probabilidad de muerte del felógeno. Estos modelos deben mejorarse con trabajos futuros para incluir la muerte del felógeno como variable dependiente. Los resultados reflejan la posibilidad de valorar el grado de afectación después del incendio, y la conveniencia de desarrollar métodos que permitan evaluarlo de forma rápida para facilitar el proceso de toma de decisiones.

6. Conclusiones

La protección ante el fuego de las masas de alcornoque requiere una atención especial debido a que ya se están detectando problemas de regeneración tras incendios, a pesar de su alta resistencia y resiliencia al fuego. El abandono o la ausencia de gestión de estos montes los hace muy vulnerables a incendios y su persistencia podría depender de ello. La importancia ecológica, económica y social de los alcornocales y la industria derivada de la transformación del corcho, en áreas forestales de nuestro país, requiere un esfuerzo importante que ayude a paliar este problema. Problema que sin duda se verá incrementado por el cambio climático. En este sentido, se prevé un aumento en la severidad, frecuencia e intensidad del fuego por lo que la gestión de los alcornocales debería estar orientada a la reducción de la severidad de los incendios, a fin de asegurar su supervivencia y el mantenimiento de las producciones corcheras de manera sostenible teniendo en cuenta para su gestión y planificación la presencia del fuego.

Uno de los objetivos del proyecto GEPRIF es la puesta a punto de una metodología para predecir, de manera temprana y fiable, el grado de afectación del felógeno en relación a la severidad fuego, por sus repercusiones en la producción futura de corcho de reproducción. En base a los resultados se propondrán nuevos sistemas de gestión que incluyan la severidad del fuego como factor determinante en la toma de decisiones en la prevención y la restauración de estas masas.

7. Agradecimientos

Este trabajo se enmarca en el Proyecto Sectorial INIA RTA2014-0011-C06-01 financiado por el INIA y Fondos FEDER. La participación de Juncal Espinosa está financiada a través de una beca predoctoral del INIA. Nuestro agradecimiento a IPROCOR por su asistencia para la recogida de las calas de corcho, y a Borja Viejo Cabanillas, alumno en prácticas de la UPM, por su participación en el trabajo a través del convenio INIA-ETSI de Montes, Forestal y del Medio Natural.

8. Bibliografía

APCOR: 2009. APCOR yearbook 2009. Lisboa: Associação Portuguesa de Cortiça. Disponible on-line: <http://www.realcork.org/userfiles/File/Publicacoes/AnuarioAPCOR2009.pdf>

BRANDO, P.M.; NEPSTAD, D.C.; BALCH, J.K.; 2012. Fire-induced tree mortality in a neotropical forest: the roles of bark traits, tree size, wood density and fire behavior. *Glob Change Biol* 18: 630–641

BUGALHO, M.N.; CALDEIRA, M.C.; PEREIRA, J.S.; ARONSON, J.; PAUSAS, J.G.; 2011. Human-shaped cork oak savannas require human use to sustain biodiversity and ecosystem services. *Front Ecol Environ* 9:278–286

CARDILLO, E.; BERNAL, C., ENCINAS, M.; 2007. El alcornocal y el fuego. Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón Vegetal. Mérida. ISBN -13- 978-84-612-0002-3

- CATRY, F.X.; REGO, F.; MOREIRA, F.; FERNANDES, P.M.; PAUSAS J.G.; 2010. Post-fire tree mortality in mixed forests of central Portugal. *Forest Ecol Manag* 206: 1184–1192
- CATRY, F.X.; MOREIRA, F.; PAUSAS, J.G.; FERNANDES, P.; REGO, F.; CARDILLO, E.; CURT, T.; 2012. Cork oak vulnerability to fire: the role of bark harvesting, tree characteristics and abiotic factors. *PLoS One*; 7(6): e39810. doi:10.1371/journal.pone.0039810
- COCA, M., PAUSAS, J. G.; 2009. Regeneration traits are structuring phylogenetic diversity in cork oak (*Quercus suber*) woodlands. *J Veget Sci* 20(6), 1009-1015
- DEHANE, B.; MADRIGAL, J.; HERNANDO, C.; BOUHRAOUA, R.; GUIJARRO M.; 2015. New bench-scale protocols for characterizing bark flammability and fire resistance in trees: Application to Algerian cork. *J Fire Sci* 33(3): 202–217
- FERNANDES, P.M.; 2013. Fire-smart management of forest landscapes in the Mediterranean basin under global change. *Landsc Urban Plan* 110, 175-182
- FREJAVILLE, T.; CURT, T.; CARCAILLET, C.; 2013. Bark flammability as a fire-response trait for subalpine trees. *Front Plant Sci* 4 (466): 1-8
- HE, T.; PAUSAS, J.G.; BELCHER, C.M.; SCHWILK, D.W.; LAMONT, B.B.; 2012. Fire-adapted traits of *Pinus* arose in the fiery Cretaceous. *New phytol* 194:751–759
- MENDES, A.M.S.C.; GRAÇA, J.A.R.; 2009. Cork bottle stoppers and other cork products. En: Aronson J, Pereira JS, Pausas JG, editors. *Cork oak woodlands on the edge: ecology, adaptive management, and restoration*. Washington DC: Island Press. pp. 59–69
- MORITZ, M.A.; BATLLORI, E.; BRADSTOCK, R.A.; MALCOLM GILL, A.; HANDMER, J.; HESSBURG, P.F.; LEONARD, J.; MCCAFFREY, S.; ODION, D.C.; SCHOENNAGEL, T.; SYPHARD, A.D.; 2014. Learning to coexist with wildfire. *Nature* 515: 58–66
- PASALODOS -TATO, M.; RUIZ-PEINADO, R.; DEL RÍO, M.; MONTERO, G.; 2015. Shrub biomass accumulation and growth rate models to quantify carbon stocks and fluxes for the Mediterranean region. *Eur J Forest Res* 134(3), 537-553
- PAULA, S.; ARIANOUTSOU, M.; KAZANIS, D.; TAVSANOGLU, Ç.; LLORET, F.;. 2009. Fire-related traits for plant species of the Mediterranean Basin. *Ecology* 90:1420
- PAUSAS, J.; 1997. Resprouting of *Quercus suber* in NE Spain after fire. *J Veg Sci* 8:703–706
- PAUSAS, J.G.; PEREIRA, J.S.; ARONSON, J.; 2009. The tree. En: Aronson J, Pereira JS, Pausas JG, editors. *Cork oak woodlands on the edge: ecology, adaptive management, and restoration*. Washington DC: Island Press. pp. 11–23
- PEREIRA, P.; FONSECA, M.; 2003. Nature vs. nurture: the making of the montado ecosystem. *Conserv Ecol* 7:7.
- RYAN, K.C.; REINHARDT, E.D.; 1988. Predicting postfire mortality of seven western conifers. *Can J Forest Res* 18: 1291–1297
- SILVA, S.P.; SABINO, M.A.; FERNANDES, E.M.; CORRELO, V.M.; BOESEL, L.F.; REIS, R.L.; 2005. Cork: properties, capabilities and applications. *Int Mater Rev* 50: 345–365