



Aplicación de quemas prescritas en el mantenimiento de áreas cortafuegos arboladas del sur de España

Francisco Senra Rivero ¹

Dr. Francisco Rodríguez y Silva ²

Dr. Philip N. Omi ³

Resumen

La aplicación del fuego prescrito en el sur de España está limitada. Esto se debe especialmente a las características de la vegetación en estos ambientes mediterráneos tales como la falta de elementos finos superficiales, continuidad vertical entre estratos, y presencia de especies muy inflamables. Sin embargo, el uso del fuego prescrito sí podría ser una alternativa ó complemento a los trabajos mecánicos en el mantenimiento de las áreas cortafuegos arboladas. Comparadas con los cortafuegos tradicionales, las áreas cortafuegos arboladas aportan abundantes elementos finos al suelo, críticos en el mantenimiento de la propagación de fuegos de baja intensidad como las quemas prescritas. Además, estas áreas se caracterizan por la existencia de tratamientos selvícolas previos, los cuales rompen la continuidad vertical entre el estrato arbolado y el superficial, además de reducir la carga de combustible de éste último. Otras ventajas incluyen la eficiencia económica, ante la limitación a la mecanización de las zonas arboladas, y la facilidad de control y liquidación por la facilidad de acceso a los vehículos de extinción. Con el propósito de estudiar la viabilidad de esta herramienta se ejecutaron quemas prescritas en ocho parcelas de *Pinus pinaster*, todas ellas en la provincial de Málaga. Entre los objetivos se incluyó el análisis del grado de consumo del combustible superficial y su caracterización con variables descriptoras de la estructura del complejo vegetal, comportamiento del fuego observado, registros meteorológicos durante la quema, y efectos sobre el estrato arbóreo. Un segundo objetivo se centró en valorar la eficiencia de la quema con respecto al incremento de altura basal arbórea (efecto poda), así como caracterizar ésta para garantizar la prescripción en posteriores quemas prescritas y para aumentar la resistencia de la zona tratada frente a incendios forestales. Se obtuvieron modelos matemáticos significativos que facilitarán futuras aplicaciones de las quemas prescritas como herramienta preventiva de incendios forestales en ambientes mediterráneos.

¹ Técnico de Operaciones, División de Incendios Forestales y Emergencias. EGMASA. C/ Johann G. Gutenberg, 1. Isla de la Cartuja. 41092 - Sevilla (Spain). Email: fsenra@egmasa.es

² Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad de Córdoba, Córdoba (Spain). Email: ir1rosif@uco.es

³ Professor Emeritus, Colorado State University, P.O. Box 854, Sebastopol, CA 95472. Email: Philip.Omi@ColoState.edu

Introducción

Los incendios forestales están considerados como la causa más importante de deforestación en el Mediterráneo, con más de 50.000 incendios y entre 700.000 y 1.000.000 de hectáreas quemadas anualmente (Vélez, 2000). En España, aproximadamente 150.000 has, correspondientes a 20.000 incendios, se queman de media cada año (datos medios periodo 1991 – 2006). La defensa efectiva contra incendios forestales se basa en la aplicación de programas de gestión dirigidos a la prevención y extinción según criterios espaciales. Dentro de la prevención, el objetivo que predomina el tratamiento de la vegetación a lo largo de estructuras lineales, como cortafuegos, áreas cortafuegos y fajas auxiliares. Sin embargo, la parte más débil del programa no es la creación de los mismos, sino la necesidad de mantener una carga de combustible reducida a lo largo del tiempo. De esta forma, para que un cortafuegos sea efectivo se debe modificar de forma permanente la estructura vegetal, eliminando tanto combustibles vivos como muertos (Schimke and Green, 1970).

Los tratamientos comúnmente usados alrededor del mundo para reducir la carga de combustible de las áreas cortafuegos son: clareo, eliminación manual o mecánica del matorral, fuego prescrito y aplicación de herbicidas. Entre los tratamientos citados, la quema prescrita puede ser la mejor opción porque la estructura del complejo de combustible resultante no es capaz de soportar una nueva conflagración (Brose and Wade, 2002). Esta técnica, usada como complemento a otros tratamientos ha sido aplicada con éxito en numerosas partes del mundo (Agee and others, 2000; Kalabokidis and Omi, 1998; McCaw and others, 1997; Pollet and Omi, 2002; Scott, 1998). Además de esto, la quema prescrita es el tratamiento mas eficaz desde el punto de vista económico (Brose and Wade, 2002; Cooper, 1975; Reinhardt and others, 1991; Sackett, 1981; Rodríguez y Silva, Fco, 2004).

El desarrollo de este tratamiento presenta, sin embargo, importantes limitaciones. Una de ellas, quizás la mas patente, es el grado de riesgo asociado a cada quema. Otra limitación es que los días que reúnen las características adecuadas para la quema son escasos. Además, las propias características de la vegetación mediterránea, con ausencia de combustibles finos, existencia de continuidad vertical entre estratos, y presencia de especies muy inflamables, condicionan la implantación de un programa de quemas prescritas. Sin embargo, el empleo de quemas prescritas podría ser una interesante alternativa, ó complemento a otras actuaciones, en el mantenimiento de áreas cortafuegos arboladas (Omi and Senra, 2002). Los tratamientos previos aumentan la ventana de prescripción de la quema y aportan, junto con la existencia de un estrato arbóreo superior, elementos finos necesarios para la propagación de un fuego de baja intensidad. Desde el punto de vista económico, la existencia de árboles en dichas áreas limita la mecanización de algunos tratamientos, lo que permite pensar en el fuego prescrito como una alternativa de menor coste. Además, la disposición longitudinal de estas áreas cortafuegos arboladas a lo largo de cortafuegos tradicionales y/o pistas forestales facilita las tareas de liquidación y control. Finalmente, la crítica a la no selectividad del fuego, en contraposición con el desbroce manual (por ejemplo), y el rechazo de la sociedad a cualquier tipo de actividad relacionada con el mismo pierde entidad en estas áreas cortafuegos arboladas, creadas con la finalidad de salvaguardar al resto de la masa forestal.

La efectividad de las quemas prescritas reside en su periodicidad, aplicaciones de quemas aisladas no son suficientes (Cooper, 1975). Entre los distintos tratamientos periódicos, la primera quema es obviamente la más delicada debido a la acumulación

pesada de combustible de tratamientos selvícolas previos. Las quemas posteriores sólo se enfrentarán al combustible acumulado durante el intervalo de tiempo entre dos tratamientos (Sackett, 1981). En este sentido, el uso periódico del fuego prescrito puede ser un complemento perfecto para el mantenimiento de las áreas cortafuegos, especialmente las arboladas, al reducir el combustible acumulado mediante fuego de baja intensidad. Estas quemas eliminarían los brinzales y chirpiales del matorral y arbolado antes de que se establezcan, consumiendo los combustibles acumulados de pequeño diámetro, particularmente de materia muerta (Schimke and Green, 1970). Esta reducida intensidad del fuego prescrito permitiría llevar a cabo esta reducción del combustible superficial sin causar daño significativo al estrato arbóreo superior, lo que es esencial para la consideración de este tipo de tratamientos.

Con el objetivo de estudiar la viabilidad de tales tratamientos, el Servicio de Prevención y Extinción de Incendios Forestales de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (Plan INFOCA) desarrolló el proyecto de **“Gestión, Capacitación, Formación y Experimentación de Técnicas de Control de la Carga de Combustibles Mediante la Aplicación de Quemas Prescritas”**, durante los años 1998 a 2000, el cual surge del proyecto nº 9761ES0050 del 9 de julio de 1997 de la Comisión de la Comunidad Europea denominado “Técnicas de Control de la Carga de Combustibles” (Rodríguez y Silva 1997, 2001). Entre los objetivos perseguidos destacó el adaptar los modelos de combustibles estándar (Anderson 1982) a las condiciones de las quemas prescritas así como establecer una metodología en la gestión de este tipo de quemas. De este ambicioso objetivo se derivaron muchos otros entre los que se pueden destacar: la reducción de combustible entre las distintas parcelas de experimentación, estableciendo modelos que la relacionaran con otros parámetros estudiados antes, durante y después de la ejecución de las quemas; así como el definir la altura mínima de la base de la copa arbórea para asegurar la supervivencia del estrato arbóreo y mantener la quema dentro de los límites de la prescripción. El presente artículo resume los resultados del análisis de la efectividad de las quemas prescritas en la reducción del combustible superficial y en el incremento de la altura basal del arbolado.

Objetivos

A continuación se describen brevemente los objetivos perseguidos:

- Estimar el combustible consumido en cada una de las parcelas objeto de estudio. Demostrar la eficiencia de la quema prescrita en la reducción del combustible superficial.
- Caracterizar las parcelas y sus respectivas quemas a través del análisis de los siguientes estudios: comportamiento del fuego y las condiciones meteorológicas, estructura y contenido de humedad del complejo vegetal, y el grado de daños en el arbolado. Analizar las variables consideradas, verificando la existencia de correlaciones entre ellas.
- Examinar las relaciones entre el consumo de combustible observado y los tres estudios citados con anterioridad.
- Estudiar la eficiencia de la quema en la “poda” del estrato arbolado superior, aumentando la discontinuidad vertical con el sotobosque.

- Evaluar las parcelas quemadas con vistas a futuras quemas prescritas y a incendios forestales. Aplicaciones al diseño de áreas cortafuegos arboladas.

Zona de estudio

Las 8 parcelas objeto del presente estudio se localizan en la provincia de Málaga (Andalucía), aunque en 3 diferentes áreas. La primera se encuentra en el monte de “Sierra Bermeja” (5°5’O a 5°14’O; y de 36°28’N a 36°36’N), dentro de los municipios de Genalguacil y Jubrique. En ella se incluyen 5 de las 8 parcelas, todas quemadas en el año 2000. La zona se localiza cerca de la costa mediterránea, a escasos kilómetros de la localidad de Estepona. Su máxima altitud se encuentra en el pico de Los Reales, con 1,452 m. El gradiente de elevación es, por tanto, elevado, así como las pendientes. Los suelos no son profundos, con peridotita como la roca más frecuente. La principal especie arbórea es el pino pinaster (*Pinus pinaster* Ayton.), que cubre alrededor de 3,600 ha. dentro de la zona de estudio. Pinsapos (*Abies pinsapo* Boiss.) forman una pequeña masa en la zona de umbría de la cima de Los Reales, por encima de los 1,100 m. de elevación. El sotobosque está formado por las siguientes especies *Quercus coccifera*, *Juniperus communis*, *Halimium sp.*, *Phlomis purpurea*, y *Cistus ladanifer*.

Las otras 3 parcelas fueron quemadas durante el año 1999. Dos de ellas están localizadas en el monte “La Sierra”, municipio de Coín, a unos 20 Km. de la costa. El terreno es llano, con pendientes inexistentes o muy suaves. El pino pinaster también predomina, aunque en esta ocasión mezclado con pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.). Las principales especies del sotobosque son *Chamaerops humilis*, y *Stipa tenacissima*. La tercera parcela de 1999 se encuentra en el monte “Sierra Parda”, en el municipio de Ojén. Aunque próxima a la anterior, la zona se caracteriza por fuertes pendientes. La especie predominante es de nuevo el pino pinaster, que forma masas casi puras en el monte con la excepción de algunos rodales de pino canario (*Pinus canariensis* Sweet.), no presente sin embargo en la parcela. Las especies del sotobosque más frecuentes son *Juniperus communis*, *Erica arborea* y *Phlomis purpurea*.

Material y métodos

Planificación de las quemas

El estudio se llevó a cabo en las 8 parcelas mencionadas en la sección anterior, todas ellas incluidas en la provincia de Málaga. Tres de ellas (9904, 9906 y 9910) fueron estudiadas y quemadas en Marzo de 1999. Las otras cinco (0004, 0005, 0006, 0007, y 0008) lo fueron entre Marzo y Abril de 2000. Todas ellas evaluadas antes de la quema, durante la misma (comportamiento del fuego y meteorología), justo después de la quema y al año de la misma.

Estudio de la eficiencia de la quema prescrita en el consumo del combustible superficial

Descripción de los parámetros objeto de estudio

El comportamiento del fuego en la quema y las condiciones meteorológicas reinantes fueron convenientemente monitorizados. Los parámetros medidos fueron: temperatura del aire (T, °C.), humedad relativa (HR, pct.), velocidad del viento a media llama (VV, km/h.), velocidad del viento libre (VVL, 6 m. de altura (km/h.)), longitud de llama (LL, cm.), altura de llama (AL, cm.), y velocidad de propagación (VP, m/min.). El porcentaje de superficie recorrida por el fuego (pct. del total) fue también considerado como una medida de la eficiencia de la quema.

La carga de combustible fue estimada antes y después de cada quema mediante un método semi-destructivo desarrollada para la zona de estudio, el Método Visual de los Rangos (VRM). La carga de los combustibles muertos fue clasificada en las distintas clases diamétricas, es decir, de 1h, 10h, y 100h de tiempo de retardo. Sin embargo, los combustibles vivos que intervienen en el frente de llama son principalmente los de 1h de tiempo de retardo por lo que solo este componente será considerado en el inventario de la carga de combustible. El combustible quedó así caracterizado en distintos “componentes”, combinación de las distintas clases y su condición.

De la estimación de la carga de combustible se obtuvo la humedad del combustible (HC). Además de ésta, se midieron los siguientes parámetros descriptores de la estructura del sotobosque: modelo de combustible, fracción de cabida cubierta o cobertura de copa (CBC, pct.), cobertura total del suelo (CBT, pct.), cobertura de hojarasca (pinocha) del suelo (CBP, pct.), cobertura de herbáceas (CBH, pct.), cobertura del matorral (CBM, pct.), altura media del matorral (AM, cm.) y altura media del estrato herbáceo (AH, cm.).

El estrato arbóreo superior también fue objeto de estudio antes y después de las quemas. Además de 10 pies marcados de forma aleatoria, se añadieron otros incluidos en tres sub-parcelas circulares de 5 m. de diámetro elegidas de forma aleatoria en cada una de las 8 parcelas del estudio. Como resultado un total de 414 pies fueron incluidos en el estudio. Entre los parámetros estudiados se incluyen el volumen de copa flameada (VCF, pct.), altura máxima de flameado (AMF, cm.), altura mínima de flameado (AmF, cm.), altura máxima de chamuscado del tronco (AMC, cm.), y altura mínima de chamuscado del tronco (AmC, cm.).

Análisis estadístico de los datos

Test de ANOVA verificaron la necesidad de transformar los datos originales. Posteriormente, Análisis de Correlación testaron la existencia de relaciones entre las variables, incluyendo los consumos de combustible por componentes. Estos análisis fueron completados con test de Menores Diferencias Significativas y test de Múltiples Comparaciones Tukey, para verificar las similitudes entre las parcelas para cada variable. El análisis de cada uno de los tres estudios discutidos: comportamiento del fuego y condiciones meteorológicas, estructura y contenido de humedad del complejo vegetal y el índice de daños al arbolado, permitió la identificación de las variables más significativas en la caracterización de la reducción de carga observada. Test de Regresiones Múltiples buscaron entonces modelos entre el combustible consumido y los tres estudios citados. Estos modelos facilitan la comparación de la influencia de cada una de las variables estudiadas en la descripción del combustible consumido.

Estudio de la eficiencia de la quema prescrita en el incremento de la altura basal del arbolado

Descripción de NEXUS

El programa NEXUS (Scott 1999), desarrollado en el Laboratorio del Fuego en Missoula (Montana, EEUU), es capaz de integrar modelos de predicción de comportamiento de fuego en superficie y en copas. Dentro de las aplicaciones de NEXUS, y en el contexto del presente estudio, destaca la determinación de las condiciones necesarias para el tránsito de un fuego de superficie a uno de copas y a la inversa o cese de copas. Para el estudio del tránsito a copas, especialmente crítico en la gestión de quemas prescritas, se analizarán las siguientes variables: índice de entorchamiento (TI, km/h.), o velocidad del viento libre necesaria para que un fuego de superficie evolucione a copas; velocidad del frente de llama superficial para la transición a copas (ROS_{ini} , m/min.), longitud del frente de llama superficial para la transición a copas (FL_{ini} , m.); y altura basal crítica para que comiencen procesos de coronación. También se incidirá en evaluar la resistencia de la parcela a posibles incendios forestales que se aproximen a ella, para los que se estudiarán la velocidad del viento libre para cese de comportamiento de copas (O_{ces} , km/h.), y la altura crítica basal para que un fuego de copas evolucione a superficie. Las simulaciones se repetirán para cada parcela, en las condiciones de antes de la quema y después de la quema, y en cada uno de los tres escenarios contemplados.

Descripción de los escenarios

La *tabla 1* describe las características de los escenarios considerados.

- Escenario 1: condiciones observadas durante la quema de la parcela en cuestión. Este escenario permite ajustar NEXUS a la zona de estudio.
- Escenario 2: condiciones estándar de primavera. Este escenario sería el de aplicación de quemas prescritas en la zona de estudio.
- Escenario 3: condiciones estándar de verano. Este escenario permite simular unas condiciones medias de un incendio forestal que se aproxime a la parcela, evaluando así la resistencia al mismo.

Tabla 1— *Características de los escenarios simulados en NEXUS.*

<i>Escenarios</i>	<i>Parcelas</i>	<i>Humedad del combustible superficial (pct.)</i>			<i>C. Vivo</i>	<i>Viento Libre (km/h.)</i>
		<i>Combustible muerto</i>				
		<i>1h</i>	<i>10h</i>	<i>100h</i>		
Escenario 1	0004	12	16	19	94	4.76
	0005	12	16	18	107	5.25
	0006	12	15	18	118	5.64
	0007	15	20	25	102	4.30
	0008	12	16	18	90	9.70
Escenario 2	Todas	9	11	15	120	6.00
Escenario 3	Todas	5	7	9	80	12.00

Ajuste de los parámetros en NEXUS

Las simulaciones realizadas en el escenario 1, el correspondiente a la quema de cada parcela, y su contraste con los datos reales del inventario tras la quema permitió ajustar los factores (multiplicadores) que inciden en el comportamiento del fuego, especialmente el referente a la carga y altura del combustible superficial.

El cálculo de la densidad aparente de copa (CBD, kg/m^3) se obtuvo a partir de los modelos de Cruz (Gomes da Cruz 1999), con valores medios de 0.19 kg/m^3 . El modelo estándar de combustible número 10 escogido como el más representativo en la zona de estudio, fue adaptado, concretamente sus valores de carga y altura, a cada parcela. Para otros valores con escasa influencia en la simulación, tales como la humedad del combustible arbóreo o la carga del mismo se aceptaron los de experiencias previas (Scott and Reinhardt 2001).

En las simulaciones tras la quema se ajustaron los valores de CBD (por el efecto de la pérdida de la copa flameada) además de medir la nueva altura basal de las copas y la altura del sotobosque. La carga de combustible se mantuvo tras la quema, considerando así el escenario de acumulación de vegetación más desfavorable en futuras quemas.

Análisis estadístico de los datos

Análisis Univariante compararon las diferencias significativas entre antes y después de la quema para cada uno de los tres escenarios descritos y para cada variable de NEXUS mencionada en los apartados anteriores.

Resultados y discusión

Estudio de la eficiencia de la quema prescrita en el consumo del combustible superficial

La *tabla 2* muestra los modelos más significativos que relacionan los consumos de los distintos combustibles con las variables discutidas con anterioridad. A continuación se discuten algunos de los resultados más destacados:

- La temperatura del aire, velocidad del viento a media llama y velocidad del viento libre y la humedad del combustible vivo resultaron no estar correlacionadas con el consumo de ninguno de los componentes de combustible.
- La intensidad de llama, la cobertura total del combustible, la humedad del combustible muerto de 1 hora de tiempo de retardo y la altura de chamuscado del tronco estuvieron correlacionadas con el consumo del combustible en sus respectivas secciones, pero no en el análisis del conjunto de variables.
- El consumo del combustible para cada componente resultó estar altamente correlacionado con su carga previa a la quema. Por el contrario, la presencia de carga de combustible vivo afectó negativamente el consumo del combustible muerto.

- La altura de llama está negativamente relacionada con el consumo del combustible muerto mientras que la longitud de llama lo está de forma positiva con el consumo del combustible vivo.
- Tanto la velocidad de propagación del frente de llama como la longitud de la llama presentan poca consistencia en los modelos más significativos. El empleo del método de quema por fajas es, posiblemente, el causante de ello.
- Los resultados sugieren la débil correlación entre la humedad del combustible y el consumo del mismo.
- Por último, los resultados dan a entender que el consumo del combustible está mejor caracterizado por la estructura del complejo vegetal previo a la quema que por el comportamiento del fuego observado.

Tabla 2—Modelos más significativos que relacionan el consumo de combustible con respecto a los parámetros descriptores de la estructura del complejo vegetal, comportamiento del fuego y meteorología y daños al arbolado.

Consumo por componente (ton/ha.)	Análisis de regresiones múltiples				
	R ²	^p	MSE	Modelos	#
Vivos 1h	0.998	****	0.06	$VC = 0.97*V_a - 0.46*VP - 1.49*HC10$	1
	0.911	***	2.67	$VC = 5.93*LL - 3.49*VP$	2
Superficie 1h	0.998	***	0.07	$CMS1 = 1.14*SM1_a + 5.68*CBP + 3.13*CBC + 2.48*VCF - 0.56*AMF$	3
Total 1h	0.897	*	2.37	$CMT1 = 9.43 + 28.51*VCF - 3.93*VP - 0.11*AM$	4
	0.773	*	4.32	$CMT1 = 16.88*CBH - 5.80*HR$	5
Superficie 10h	0.987	****	0.03	$CMS10 = 0.84*SM10_a + 1.90*VCF - 0.03*AMF$	6
Total 10h	0.947	**	0.09	$CMT10 = 0.86*SM10_a + 0.66*VP - 2.02*AL$	7
Total	0.985	***	1.31	$CT = 1.32*T_a + 11.60*CBP - 7.02*CBM - 0.91*AMF$	8

Nota: La tabla incluye la tasa de error estimada ^p, el coeficiente de regresión R2, y el error estándar de la media MSE; n = 8 excepto cuando los descriptores del comportamiento del fuego están presentes en el modelo (n = 7, parcela 0007 excluida) y cuando VCF está presente en el modelo (n = 6, parcelas 0007 y 0008 excluidas). Leyenda: LL (longitud de llama, cm.), AL (altura de llama, cm.), y VP (velocidad de propagación, m/min.); CBC (cobertura de copa, arcoseno(pct/100)), CBH (cobertura de las herbáceas, arcoseno(pct/100)), CBP (cobertura de pinocha, arcoseno(pct/100)), CBM (cobertura del matorral, arcoseno(pct/100)), CBT (cobertura total del suelo, arcoseno(pct/100)), y AM (altura del matorral); VCF (volumen de copa flameada, arcoseno(pct/100)), y AMF (altura máxima flameado, cm.); HC10 (humedad del combustible de 10h); CV (consumo de vivos 1h), Va (carga de vivos 1h antes quema), CSM1 (consumo de muertos superficiales de 1h); SM1a (carga de muertos de 1h antes quema); CSM10 (consumo de muertos superficiales de 10h); SM10a (carga de muertos de 10h antes quema); CTM1 (consumo del total muertos de 1h); CTM10 (consumo del total muertos de 10h); CT (consumo total); y Ta (carga total antes quema).

Estudio de la eficiencia de la quema prescrita en el incremento de la altura basal del arbolado

Todas las parcelas (la parcela 08 en menor medida) mostraron diferencias significativas entre el antes y después de la quema para cada uno de los escenarios y variables consideradas. La parcela 08, caracterizada por una altura basal de copa elevada comparativamente al resto de las parcelas (3.54 m. de media comparado a 1.19 m. de la parcela 05, por ejemplo), fue quemada con éxito pero sin afectar significativamente el arbolado como en las otras parcelas, estando así ya “protegida” frente a procesos de iniciación al tránsito a copas.

La *tabla 3* muestra los valores medios de dos de las variables más significativas, TI y O_{ces} , en la situación previa y posterior a la quema, para los dos escenarios estándar considerados. En el caso de los procesos de transición a copas (estudio de TI) se observa como en el caso del escenario de quemas prescritas los valores de viento necesarios para que se den procesos de entorchamiento son lo suficientemente altos como para que posteriores quemas no conlleven peligro alguno de coronación.

En cuanto a la eficiencia tras la quema de las parcelas en el contexto de los incendios forestales (O_{ces} en el escenario 3), las características de la parcela mejoran tras la quema aunque las probabilidades de cesar un incendio de copas son aún bajas. Sin embargo, es importante recordar que el caso “después quema” considerado en NEXUS incluye las cargas de combustible superficial iniciales. Del inventario realizado en años posteriores a la quema se estima que serían necesarios de 4 a 5 años para llegar a valores de carga similares a los previos a la quema, especialmente en cuanto al combustible vivo. En este sentido, y especialmente en los años posteriores a la quema, la mejora en el contexto de prevención de incendios es significativa.

Tabla 3—Efecto de la quema prescrita en el arbolado con respecto a los procesos de transición desde superficie a copas (aplicación a la quema prescrita, escenario 2) y desde copas a superficie (aplicación a la prevención de incendios, escenario 3).

Parcelas	Escenario 2			Escenario 3		
	Antes Quema	Después Quema		Antes Quema	Después Quema	
<i>Índice de entorchamiento (TI – km/h.)</i>						
Parcela 04	9,26 ± 8,73	41,85 ± 3,67	***	0,18 ± 0,57	12,15 ± 2,08	***
Parcela 05	9,51 ± 4,90	36,59 ± 7,09	***	1,32 ± 2,53	21,39 ± 5,16	***
Parcela 06	9,58 ± 1,75	39,37 ± 6,61	***	0,00 ± 0,00	24,36 ± 5,56	***
Parcela 07	36,89 ± 7,81	91,88 ± 30,42	***	0,00 ± 0,00	6,03 ± 7,62	**
Parcela 08	105,25 ± 16,26	124,71 ± 4,22	**	36,29 ± 6,97	43,48 ± 1,74	**
<i>Velocidad del viento libre para cese copas (O_{ces} – km/h)</i>						
Parcela 04	7,63 ± 6,09	17,40 ± 3,89	***	1,20 ± 2,62	6,63 ± 1,65	***
Parcela 05	4,41 ± 1,79	12,57 ± 6,69	***	0,33 ± 0,64	7,04 ± 3,54	***
Parcela 06	7,07 ± 0,64	17,67 ± 3,15	***	1,76 ± 0,63	10,07 ± 2,29	***
Parcela 07	13,10 ± 3,34	23,78 ± 9,11	***	0,01 ± 0,01	3,45 ± 4,05	*
Parcela 08	22,20 ± 6,56	26,99 ± 8,01	-	8,49 ± 3,74	11,01 ± 4,29	-

Nota: La tabla incluye las medias y desviación estándar de las dos variables analizadas, TI y O_{ces} , ambas en km/h. Se incluye el nivel de significación: *, $\alpha = 0,05$; **, $\alpha = 0,01$; ***, $\alpha = 0,001$) entre las diferencias de las medias de antes y después de la quema.

Conclusiones

El presente artículo analiza el estudio del consumo del combustible en base a las características de la zona de estudio y a las condiciones del comportamiento del fuego durante la quema en lo que es una de las primeras experiencias de quemas prescritas bajo arbolado en Andalucía. La predicción del grado de reducción de los

combustibles forestales no solo proporciona un importante punto de partida en la implementación de las quemas prescritas como herramienta preventiva de incendios forestales, sino que además el análisis de la carga y su consumo facilita la caracterización de la zona de estudio, describiendo la distribución de las cargas y su nivel de reducción en cada tipo de combustible considerado. Además, la consecución de modelos que relacionen la reducción de carga observada y los descriptores de la zona de estudio y condiciones del comportamiento del fuego durante la quema permiten el ajuste de la ventana de prescripción, facilitando la futura puesta en marcha de un programa de quemas prescritas para el mantenimiento de áreas cortafuegos bajo condiciones similares.

El contraste de la reducción de la carga de combustible con las variables citadas, tanto de forma separada como conjunta, facilita el entendimiento de los procesos implicados en el consumo observado, proporcionando una herramienta primordial en la planificación de futuras quemas prescritas bajo circunstancias similares. Se obtuvieron modelos significativos, lo que facilita la futura aplicación del fuego prescrito en condiciones similares. De igual forma se determinaron aquellas variables no correlacionadas con el consumo de combustible con la finalidad de ser omitidas en posteriores estudios. Así, por ejemplo, se constató la necesidad de nuevos estudios para caracterizar el daño o severidad en el estrato arbóreo con respecto al consumo del combustible superficial. Igualmente, el aumento de la precisión en la medición de VP, por ejemplo no alterando el patrón de quema dentro de cada micro-parcelas permanente, podría mejorar de forma considerable la precisión de los modelos de consumo de combustible conseguidos. En el extremo opuesto, la carga previa a la quema y las variables descriptoras de la estructura del complejo vegetal resultaron estar muy bien correlacionadas con el consumo de combustible observado. Esto requiere que se ponga especial atención en su estudio, buscando la precisión de sus estimaciones para así calibrar los modelos obtenidos.

También se comprueba la eficiencia de la quema prescrita en el incremento de la discontinuidad vertical entre los estratos de matorral y de arbolado, otro elemento, junto con la carga y altura del sotobosque, crítico en el mantenimiento de las áreas cortafuegos arboladas. Las parcelas quemadas presentan unas características en su estrato arbóreo que las hacen ser más seguras ante posteriores tratamientos con fuego prescrito, además de ser más eficientes como infraestructuras lineales preventivas contra incendios forestales.

Es necesario recalcar que disponer de un extenso número de parcelas que fortalezca los resultados y el tratamiento estadístico, la dificultad administrativa para disponer de las precisas autorizaciones y el régimen de propiedad, son entre otros, las limitaciones más importantes asociadas a la gestión de las quemas prescritas en Andalucía. Hoy en día el escenario es más positivo, pues la Administración Forestal está apostando por el empleo de esta herramienta. Este respaldo es fundamental para mejorar y avanzar en el conocimiento de la aplicación del fuego prescrito en general y en el mantenimiento de áreas cortafuegos arboladas en ambientes mediterráneos en particular.

Bibliografía

- Agee, J.K.; Bahro, B.; Finney, M.A.; Omi, P.N.; Sapsis, D.B.; Skinner, C.N.; Van Wagtendonk, J.W.; Weatherspoon, C.P. 1999. **The use of shaded fuelbreaks in landscape fire management.** *Forest Ecology and Management* 127:56-66.
- Anderson, H.E. 1982. **Aids to determining fuel models for estimating fire behavior.** INT-251. Ogden, UT. Intermountain Forest and Range Experiment Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Brose, P.; Wade, D. 2002. **Potential fire behavior in pine flatwood forests following three different fuel reduction techniques.** *Forest Ecology and Management* 163:71-84.
- Cooper, R.W. 1975. **Prescribed fire is a practical, inexpensive form of fuel management.** *Journal of Forestry*: 776-780.
- Gomes da Cruz, M. 1999. **Predicting the initiation and spread of crown fires.** Missoula: University of Montana; 139 p. Master of Science.
- Kalabokidis, K.D.; Omi, P.N. 1998. **Reduction of Fire Hazard through Thinning/Residue Disposal in the Urban Interface.** *International Journal of Wildland Fire* 8(1): 29-35.
- McCaw, W.L.; Smith, R.H.; and others. 1997. **Prescribed burning of thinning slash in regrowth stands of karri (Eucalyptus diversicolor) .1. Fire characteristics, fuel consumption and tree damage.** *International Journal of Wildland Fire* 7(1): 29-40.
- Omi, P.N.; Senra, F. 2002. **Using RX fire to maintain shaded fuel break areas in Southern Spain.** En: Proceedings of the 2003 conference on fire, fuel treatments and ecological restoration: proper place, appropriate time. RMRS-P-29. Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Pollet, J.; Omi, P.N. 2002. **Effect of thinning and prescribed burning on crown fire severity in ponderosa pine forests.** *International Journal of Wildland Fire* 11: 1-10.
- Reinhardt, E.D.; Brown, J.K.; Fischer, W.C.; Graham, R.T. 1991. **Woody Fuel and Duff Consumption by Prescribed Fire in Northern Idaho Mixed Conifer Logging Slash.** Intermountain Research Station Research Paper: 1-&. Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Rodríguez y Silva, Fco, 1997. **Bases técnicas para la elaboración de un plan regional de quemas prescritas, aplicación a la Comunidad Autónoma de Andalucía.** En: Taller Internacional sobre la aplicación de Quemas Prescritas .Sociedad Española de Ciencias Forestales. Lourizán, Pontevedra.
- Rodríguez y Silva, F. 2001. **Gestión y experimentación de quemas prescritas en Andalucía, recomendaciones técnicas para su empleo en la defensa contra los incendios forestales.** En: Actas del III Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Junta de Andalucía.
- Rodríguez y Silva, F. 2004. **Análisis económico aplicado al control de la carga de combustibles en ecosistemas forestales mediterráneos. Quemias prescritas, una alternativa frente a los modelos mecánicos.** En: Proceedings of the II Fire Economic and Policy Simposio. USDA Forest Service, Ministerio de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Universidad de Córdoba. Córdoba.
- Sackett, S.S. 1981. **Reducing Natural Ponderosa Pine Fuels using Prescribed Fire: two case studies.** RM-392. Fort Collins. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station,
- Schimke, H.E.; Green, L.R. 1970. **Prescribed Fire for maintaining fuel-breaks in the central Sierra Nevada.** Berkeley, Ca. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station., U.S. Department of Agriculture.

- Scott, J. H. 1998. **Fuel reduction in residential and scenic forests: a comparison of three treatments in a western Montana ponderosa pine stand**. RP-5. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Scott, J.H. 1999. **NEXUS, a system for assessing fire crown hazard**. Fire Management Notes. Volume 52 – 2.
- Scott, J.H.; Reinhardt, E. 2001. **Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior**. RP-29, Fort Collins, Co. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Vega, J.A. 1998. **Quemas prescritas para prevenir grandes incendios forestales**. Centro de Investigaciones Forestales de Lourizán.
- Vélez, R. 2000. **La defensa contra incendios forestales**. McGraw-Hill, Madrid.