

# USO DEL FUEGO PRESCRITO PARA LA PREVENCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES EN MASAS DE *Pinus pinaster* Ait

C. HERNANDO & M.GUIJARRO

INIA. CENTRO DE INVESTIGACIÓN FORESTAL. AREA DE SELVICULTURA Y MEJORA FORESTAL. APDO. 8111, E28080 MADRID.

## RESUMEN

Con objeto de conocer la eficacia del fuego prescrito, como herramienta en la prevención de incendios forestales, en masas de *Pinus pinaster*, se han realizado quemas experimentales, en túnel de combustión, utilizando el complejo de combustible compuesto por hojarasca de *Pinus pinaster* y matorral.

La carga total estuvo comprendida entre 3.07 y 4.63 kg/m<sup>2</sup> y la humedad de los elementos finos de la hojarasca de la capa L entre 10 y 24 %. Los ensayos se realizaron con velocidades de viento comprendidas entre 0.0 y 6.2 m/s. La velocidad de propagación varió entre 0.07 y 0.94 m/min y la intensidad del fuego entre 23 y 797 Kw/m.

Los porcentajes de reducción de carga se situaron entre el 70 y el 100 % para la hojarasca de la capa L y el 14 y el 85 % para el matorral. Esta reducción del combustible conlleva una drástica reducción de los parámetros que definen el comportamiento del fuego: la velocidad de propagación sería, como media, un 17 % de la inicial, la altura de las llamas, un 27 % y la intensidad, un 6 %.

P.C.: *Pinus pinaster* Ait., fuego prescrito, comportamiento del fuego, túnel de combustión.

## SUMMARY

The objective of this study was to know the efficiency of prescribed burning as a forest fire prevention tool in *Pinus pinaster* stands. Experimental burns were carried out in a wind tunnel, using a forest fuel complex constituted by *Pinus pinaster* litter and shrub.

Total fuel load ranged from 3.07 to 4.63 Kg/m<sup>2</sup>. Moisture content of the fine fuels of the litter (L) layer ranged between 10 and 24 %. The tests were carried out with wind speed from 0.0 to 6.2 m/s. Rate of spread ranged from 0.07 to 0.94 m/min and fire intensity from 23 to 797 Kw/m.

The load reduction percentages were between 70 and 100 % for the litter (L) layer and between 14 and 85 % for the shrub. As a result of this load reduction, the fire behaviour parameters were reduced drastically: Rate of spread would be, as average 17%, flame height 27 %, and fire intensity 6 %, of the initial values.

K.W.: *Pinus pinaster* Ait., prescribed burning, fire behaviour, wind tunnel.

## INTRODUCCION

*Pinus pinaster* Ait. se encuentra en casi toda la Península Ibérica, siendo el pino que ocupa mayor superficie de forma natural y el más ampliamente utilizado en las repoblaciones (RUIZ DE LA TORRE 1971). En total ocupa un área superior a 1.300.000 ha, de las 14.066.000 ha de superficie forestal arbolada existente en nuestro país (MMA 1997).

Sobre las masas de esta especie los incendios forestales tienen un gran impacto. Así, en el año 1995, de las 42.389 ha arboladas que ardieron, 10.996 ha correspondieron a *P. pinaster* (DGCONA 1996).

En estas circunstancias, y ante determinadas carencias de información práctica sobre el comportamiento del fuego en las masas de *P. pinaster*, se hace necesario profundizar en el conocimiento del fenómeno a fin de obtener elementos de ayuda para planificar las tareas de prevención y de extinción, así como para la evaluación de posibles daños.

El presente trabajo se integra en el Proyecto de Investigación "El Fuego Prescrito en la Prevención de los Incendios Forestales: Efectos en el suelo", financiado por la UE, cuyo objetivo global, en el sentido apuntado, era aumentar el nivel de conocimiento sobre el empleo del fuego prescrito como una técnica de protección contra incendios, identificando las relaciones entre el comportamiento del fuego y sus efectos sobre las características de la cubierta muerta vegetal y del suelo. Los objetivos específicos que se concretan en esta comunicación son:

- \* Cuantificar el comportamiento del fuego, producido durante las quemas experimentales en túnel en el complejo de combustible "hojarasca y matorral" procedente de una masa de *Pinus pinaster*, y relacionarlo con las condiciones iniciales.

- \* Determinar la reducción de los principales componentes de este complejo, obtenida mediante fuego prescrito.

- \* Evaluar la disminución de peligro, por modificación del comportamiento del fuego esperado en un incendio, tras la aplicación del tratamiento.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se llevaron a cabo 20 fuegos experimentales en el túnel de combustión del INIA. Este dispositivo consta de un recinto térmico de 8.00 m de longitud, 1.00 m de anchura y 3.00 m de altura; el suelo está constituido por ocho vagonetas de 1.00 m de longitud, 0.80 m de anchura y 0.25 m de altura, rellenas de arena, de modo que forman una superficie de 8.00 m por 0.80 m sobre la que se dispone el combustible. Está equipado con un ventilador que permite crear vientos con velocidad comprendida entre 0.0 y 7.0 m/s (HERNANDO y GUIJARRO, 1990).

El complejo de combustible estudiado estuvo formado por hojarasca de *Pinus pinaster* y matorral (*Chamaespartium tridentatum*, *Erica* sp., *Calluna vulgaris* y *Ulex europaeus*), que se recogió en una masa de *P. pinaster* situada en Tomiño (Pontevedra), diferenciándose, visualmente, tres zonas en función de la carga de matorral (Zona 1, Zona 2 y Zona 3). La recogida en campo del combustible se realizó por metros cuadrados, separando el matorral y la hojarasca y, en ésta, las capas L y F.

Para cada ensayo, se realizó el inventario del combustible, obteniéndose el peso total de las capas L y F y de matorral, y el porcentaje en peso de los elementos de 1, 10 y 100 horas de tiempo de respuesta (hr) en la hojarasca.

El combustible se dispuso reproduciendo su estructura en campo. Se determinó la humedad, referida a peso seco, para cada componente y por clases de tamaño, a partir de tres muestras, tomadas inmediatamente antes de la ignición, y secadas en estufa a 100 °C durante 24 horas.

Los ensayos se llevaron a cabo con velocidades del viento creado en el túnel comprendidas entre 0.0 y 6.2 m/s. El fuego se inició con una mecha impregnada de alcohol situada sobre la hojarasca en el extremo más próximo al ventilador.

Para cuantificar el comportamiento del fuego, se determinaron la velocidad de propagación, la altura máxima de las llamas y la intensidad lineal del frente de fuego (BYRAM, 1959), medidas en los cuatro metros centrales del recinto térmico.

Para conocer la carga de combustible consumida por el fuego, inmediatamente después de cada quema se recogieron y pesaron los restos de la combustión. La carga consumida,

especialmente de elementos finos, es, además, un estimador de la eficacia de las quemas controladas.

El poder calorífico superior de cada elemento del complejo se determinó, con el combustible en estado anhidro, mediante un calorímetro adiabático. Los valores obtenidos fueron corregidos de acuerdo con la fórmula de ALEXANDER (1982).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 presenta las características iniciales del complejo de combustible en los ensayos realizados. La carga total estuvo comprendida entre 3.07 y 4.63 kg/m<sup>2</sup>. La carga del matorral representó entre un 5 y un 37 %.

El Análisis de la Varianza de la carga de matorral para el factor "zona de muestreo" pone de manifiesto que existe un efecto significativo de este factor ( $p=0.0008$ ); el test de Newman-Keuls indica que la carga de matorral de la zona 1 (1.025 kg/m<sup>2</sup>) fue significativamente mayor que las de las zonas 2 y 3 (0.466 y 0.401 kg/m<sup>2</sup>, respectivamente). Por el contrario, no existieron diferencias significativas entre las cargas de las capas L y F de la hojarasca en las tres zonas, ni entre las humedades de los componentes del combustible correspondientes a dichas zonas.

Hay que señalar que la humedad de la capa F alcanzó valores inferiores a los recomendados para reducir los impactos negativos del fuego prescrito sobre el suelo (VEGA *et al.*, 1993). No obstante, al no estar el estudio de estos impactos entre los objetivos del presente trabajo, se ha considerado que este hecho no afecta a los resultados.

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos para los parámetros del comportamiento del fuego considerados.

La velocidad de propagación fue baja (inferior a 2 m/min) según la clasificación de VEGA (1987). Esta variable estuvo positivamente correlacionada con la velocidad del viento en los ensayos realizados con matorral procedente de las zonas 2 y 3, estableciéndose los siguientes relaciones exponenciales:

$$\text{a) para la zona 2:} \quad V = \exp(0.326 \times U - 2.242) \quad r^2 = 0.794 \quad \text{s.e.} = 0.417$$

$$\text{b) para la zona 3:} \quad V = \exp(0.304 \times U - 2.226) \quad r^2 = 0.850 \quad \text{s.e.} = 0.395$$

siendo V la velocidad de propagación (en m/min) y U la velocidad del viento (en m/s).

No se han encontrado relaciones similares para los ensayos realizados con matorral procedente de la zona 1. Tampoco se ha observado un efecto claro de la carga ni de la humedad sobre la velocidad de propagación.

La altura máxima de las llamas fue significativamente mayor en los ensayos realizados con matorral procedente de la zona 1 (1.52 m) que en los llevados a cabo con matorral de las zonas 2 y 3 (1.01 y 0.81 m, respectivamente). Este hecho está en relación con la mayor carga de matorral existente en los ensayos correspondientes a la zona 1.

La intensidad lineal del fuego alcanzó, en la mayoría de los ensayos, valores correspondientes a fuegos que no producen daños directos en el arbolado o solamente en el arbolado muy joven. No obstante, en algunos ensayos, se obtuvieron valores correspondientes a fuegos que producen daños en el arbolado, afectando ocasionalmente a troncos, según la caracterización de los fuegos en relación con los estudios ecológicos de McARTHUR y CHENEY (1966). La intensidad debida al matorral supuso entre un 4 y un 45 % del total.

La intensidad lineal del fuego estuvo también positivamente correlacionada con la velocidad del viento en los ensayos realizados con matorral procedente de las zonas 2 y 3, estableciéndose las siguientes relaciones exponenciales:

$$\text{a) para la zona 2:} \quad I = \exp(0.294 \times U - 4.029) \quad r^2 = 0.755 \quad \text{s.e.} = 0.421$$

$$\text{b) para la zona 3:} \quad I = \exp(0.402 \times U - 3.833) \quad r^2 = 0.891 \quad \text{s.e.} = 0.432$$

siendo I la intensidad lineal de fuego (en kW/m).

El componente del complejo de combustible que presentó mayores porcentajes de reducción de la carga fue la capa L de la hojarasca (comprendidos entre el 70 y el 100 %), mientras que la capa F presentó los porcentajes de reducción menores (comprendidos entre el 10 y el 65 %). Este hecho es debido a la mayor humedad de la capa F y a su mayor compactación. El porcentaje de reducción de la carga de matorral varió entre el 14 y el 85 %. No existieron diferencias significativas entre los porcentajes de reducción de la carga de cada componente en los ensayos correspondientes a las tres zonas consideradas.

No han podido establecerse relaciones de dependencia claras entre el combustible consumido y las condiciones iniciales de las quemas. No obstante, se observa que, para cada componente, la carga consumida tiende a disminuir al aumentar su humedad inicial. Además, para la capa L y el matorral, la carga consumida aumenta al hacerlo la inicial.

Para evaluar la disminución del peligro de incendio tras la realización de las quemas, se construyeron modelos de combustible para las condiciones previas y posteriores a los tratamientos, siguiendo la metodología expuesta por BURGAN y ROTHERMEL (1984). Estos modelos se elaboraron con los valores medios de las variables correspondientes a cada una de las tres zonas consideradas. El programa BEHAVE (ANDREWS, 1986; ANDREWS y CHASE, 1989) permite predecir el comportamiento del fuego para los modelos de combustible considerados, en las condiciones ambientales elegidas, que fueron las siguientes: humedad del combustible muerto de 1 hr = 6 %; del combustible muerto de 10 hr = 8 %; del combustible muerto de 100 hr = 9 %; del combustible leñoso vivo = 60 %; velocidad del viento a media llama = 10 km/h; pendiente nula. Estas condiciones corresponden a las de un incendio forestal

En las Figuras 1a, 1b y 1c se presentan los valores de la velocidad de propagación, la longitud de las llamas y la intensidad lineal del fuego correspondientes a las situaciones previas y posteriores a las quemas, para las tres zonas consideradas. En dichas Figuras se observa que, como consecuencia de la quema, se produce una drástica reducción de los parámetros de comportamiento: la velocidad de propagación sería, como media, un 17 % de la inicial, la altura de las llamas, un 27 % y la intensidad, un 6 %.

## CONCLUSIONES

La reducción de la carga y el cambio producido en la estructura del complejo a través del fuego prescrito, suponen, en términos prácticos, y en las condiciones experimentales utilizadas, que se pasaría de una situación en la que el fuego es difícilmente controlable y produce importantes daños al arbolado, a otra en la que el fuego es fácilmente controlable y sólo produce daños en el arbolado muy joven, con el consiguiente aumento de la seguridad, reducción del coste de la extinción y de las pérdidas económicas y ecológicas debidas al incendio.

## AGRADECIMIENTOS

A la DG XII de la UE por la financiación del Proyecto en el que se enmarca el trabajo.

Al Equipo del Departamento de Incendios Forestales y Protección Ambiental del CIF de Lourizán, que facilitó el combustible forestal necesario para la realización de los ensayos.

A Juan Antonio de los Santos, que colaboró en la elaboración de los resultados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, M.E. (1982). Calculating and interpreting forest fire intensities. *Canadian Journal of Botany* 60: 349-357.

ANDREWS P.L. (1986). *BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system - BURN subsystem, Part 1*. USDA Forest Service. Intermountain Research Station. General Technical Report INT-273. 54 pp.

ANDREWS P.L. & CHASE C.H. (1989). *BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system - BURN subsystem, Part 2*. USDA Forest Service. Intermountain Research Station. General Technical Report INT-260. 93 pp.

BURGAN R.E. & ROTHERMEL R.C. (1984). *BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system - FUEL subsystem*. USDA Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report INT-167. 126 pp.

BYRAM, G.M. (1959). In BROWN, A.A & DAVIS, K.P. (1973). *Forest fire: control and use*: 155-182. Mac Graw-Hill Book, New York, 2<sup>nd</sup> ed.

DGCONA. (1996). *Los incendios forestales en España durante 1995*.

HERNANDO, C. & GUIJARRO, M. (1990). Fire behavior in grasses: some results of laboratory tests. In: *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Forest Fire Research*, Coimbra, Portugal, Noviembre 19-22, 1990.

McARTHUR, A.G. & CHENEY N.P. (1966). The characterization of fires in relation to ecological studies. *Australian Forest Research* 2(3): 36-45.

MMA. (1996). *II Inventario Forestal de España*.

RUÍZ DE LA TORRE, J. (1971). *Arboles y arbustos de la España peninsular*. IFIE-E.T.S.I. de Montes. Madrid, 512 pp.

VEGA, J.A. (1987). Combustibles. In: *Textos del II Curso Superior sobre Defensa contra Incendios Forestales*. ICONA, MAPA. Madrid. 13 pp.

VEGA J.A. *et al.* (1993). *Forest fire prevention through prescribed burning: experimental study on fire effects on litter and soil*. Contract nº CE/STEP-CT-90-0087. Informe final. CIF Lourizán. Pontevedra. 268 pp. (No publicado).

Componente	Carga (kg/m <sup>2</sup> )	Altura (cm)	Humedad (%)
Capa F	2.19 (1.55-2.79)	2 (1-3)	28 (14-44)
Capa L	0.95 (0.44-1.26)	3 (2-4)	15 (10-24)
Matorral			
Zona 1	1.02 (0.73-1.59)	50 (40-60)	54 (40-64)
Zona 2	0.47 (0.17-1.02)	53 (43-110)	70 (41-100)
Zona 3	0.40 (0.21-0.78)	40 (21-55)	60 (39-81)

Tabla 1. Características iniciales del complejo de combustible: valores medios y rangos.

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
<b>Velocidad de propagación (m/min)</b>			
	0.24 (0.07-0.67)	0.30 (0.09-0.66)	0.38 (0.10-0.94)
<b>Altura máxima de las llamas (m)</b>			
	1.52 (1.30-1.80)	1.01 (0.60-1.60)	0.81 (0.40-1.60)
<b>Intensidad lineal del fuego (kW/m)</b>			
	152 (23-543)	142 (47-304)	270 (50-797)
<b>Porcentaje de reducción de la carga</b>			
Capa F	16 (10-40)	89 (70-100)	46 (30-58)
Capa L	17 (10-50)	96 (90-100)	44 (29-68)
Matorral	32 (15-65)	89 (85-90)	62 (14-85)

Tabla 2. Características del comportamiento del fuego: valores medios y rangos.

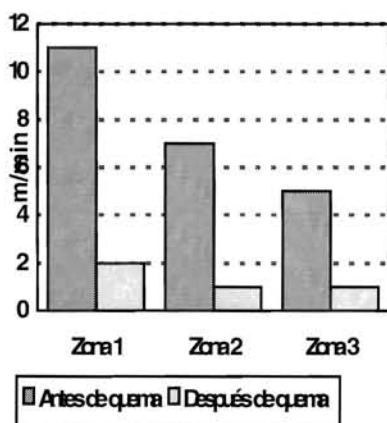


Figura 1a. Predicción de la velocidad de propagación

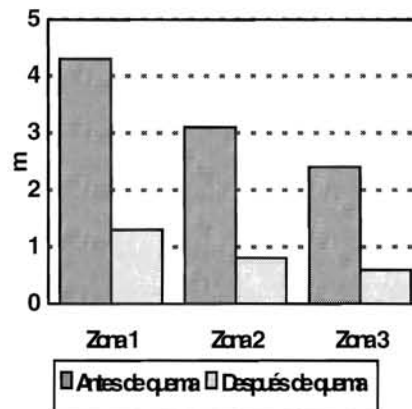


Figura 1b. Predicción de la longitud de las llamas

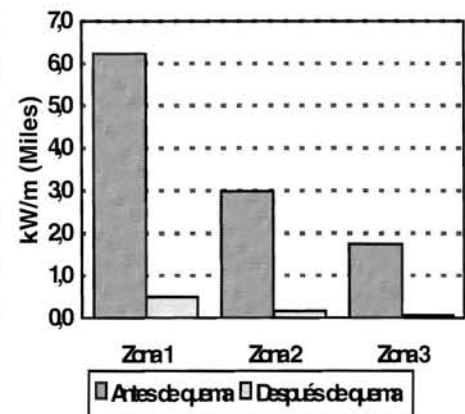


Figura 1c. Predicción de la intensidad lineal del fuego.