

# **INFLAMABILIDAD DE LA HOJARASCA DE DIFERENTES ESPECIES FORESTALES: INFLUENCIA DE LA HUMEDAD Y DE LA DENSIDAD APARENTE DEL COMBUSTIBLE**

M. GUIJARRO<sup>(1)</sup>, C. HERNANDO<sup>(1)</sup>, P. PEREZ-GOROSTIAGA<sup>(2)</sup>, J.A. VEGA<sup>(2)</sup>, T.  
FONTURBEL<sup>(2)</sup>,  
C. DIEZ<sup>(1)</sup>, E. MARTINEZ<sup>(1)</sup>, J. MADRIGAL<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>INIA. CENTRO DE INVESTIGACIÓN FORESTAL. DEPARTAMENTO DE SELVICULTURA  
APDO. 8111. 28080 MADRID

<sup>(2)</sup>XUNTA DE GALICIA. CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE. CIF-LOURIZAN.  
DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL. APDO. 127. 36080 PONTEVEDRA

## **RESUMEN**

Con objeto de conocer la inflamabilidad de la hojarasca de diferentes especies forestales (*Pinus pinea*, *Pinus pinaster*, *Eucalyptus globulus* y *Quercus faginea*), analizando la influencia de la humedad y de la densidad aparente del combustible, se han llevado a cabo quemas experimentales en laboratorio. Los cuatro tipos de hojarasca presentaron frecuencias de ignición elevadas. En general, la humedad y la densidad aparente del combustible tuvieron un efecto significativo negativo sobre la velocidad de propagación y sobre la altura media de las llamas alcanzadas en la fase de inicio del fuego, pero no influyeron sobre el tiempo de ignición. La hojarasca de las especies del género *Pinus* presentaron las mayores frecuencias de ignición y velocidad de propagación, y los menores tiempos de ignición, mientras que las alturas de llamas mayores se alcanzaron en la hojarasca de eucalipto.

**P.C.:** incendio forestal, inflamabilidad, salto de fuego, *Pinus*, *Eucalyptus*, *Quercus*.

## **SUMMARY**

In order to know the flammability of different forest species (*Pinus pinea*, *Pinus pinaster*, *Eucalyptus globulus* and *Quercus faginea*), experimental burns were carried out in laboratory, analysing the influence of fuel moisture content and bulk density on the flammability. All of the studied litters showed high ignition frequencies. Generally, fuel moisture content and bulk density were statistically significant with a negative effect on the rate of spread and on the mean flame height reached at the start of fire, but did not show influence on the ignition time. *Pinus* litters showed the highest ignition frequencies and the highest rates of spread, and the lowest ignition times; however the highest flame heights were obtained on the *Eucalyptus* litter.

**K.W.:** forest fire, flammability, spot fire, *Pinus*, *Eucalyptus*, *Quercus*.

## **INTRODUCCIÓN**

Los saltos de fuego son proyecciones de partículas inflamadas o incandescentes (pavesas) a una cierta distancia del frente de fuego de un incendio forestal, que pueden originar focos secundarios fuera del perímetro del incendio. Este fenómeno tiene importantes consecuencias sobre las estrategias de lucha contra los incendios forestales, ya que incide sobre la propagación del fuego, reduce la eficacia de las áreas cortafuego y puede poner en peligro a los equipos participantes en la extinción (TRABAUD, 1989).

El fenómeno de los saltos de fuego depende de diversos factores, como son las características del fuego, la topografía, las condiciones meteorológicas y la vegetación existente tanto en la zona de emisión de las pavesas como en la zona de recepción de éstas. Así, las características de la vegetación

receptora como son: tipo de estrato (hojarasca, herbáceas, matorral...), estructura, humedad, recubrimiento, compactación, etc. van a influir sobre la eventual aparición y propagación de un foco secundario.

El presente trabajo, que se enmarca dentro del proyecto europeo de investigación ENV4-CT98-0701 “SALTUS. Spot fires: mechanisms analysis and modelling”, tiene como objetivo evaluar la capacidad de la hojarasca de diferentes especies forestales para iniciar un foco secundario como consecuencia de la caída de una pavesa inflamada. Esta capacidad se ha evaluado a través del estudio en laboratorio de la inflamabilidad de las hojarascas seleccionadas, analizando la influencia de la humedad y la densidad aparente del combustible sobre dicha inflamabilidad.

En la propagación de los incendios, la hojarasca de las masas arboladas constituye un importante nexo de unión con el resto de los estratos de combustible, por lo que diversos trabajos han profundizado en el estudio del comportamiento del fuego en la hojarasca de diferentes especies (DELAVEAUD (1981); VENTURA *et al.*, (1988); Mc ALPINE & XANTHOPOULOS (1989); VEGA *et al.*, (1993); VALETTE *et al.*, (1994); GUIJARRO & HERNANDO (2000);...).

Las hojarascas seleccionadas para este trabajo han sido: *Pinus pinea* L., *Pinus pinaster* Ait., *Eucalyptus globulus* Labill. y *Quercus faginea* Lam.

## MATERIAL Y MÉTODOS

En el presente trabajo, la inflamabilidad se ha considerado según la definición dada por ANDERSON (1970), englobando los tres fenómenos siguientes:

- *ignitabilidad (ignitibility)*: describe el tiempo que transcurre hasta que tiene lugar la inflamación del combustible.
- *sostenibilidad (sustainability)*: describe la propiedad de un combustible para continuar ardiendo una vez encendido.
- *combustibilidad (combustibility)*: es la velocidad a la que un combustible se quema.

En la evaluación de la inflamabilidad realizada en este estudio, se han tenido en cuenta el tiempo de ignición y la velocidad de propagación. Además, se ha considerado la altura media de las llamas. Tanto la velocidad de propagación como la altura media de las llamas corresponden a la fase de inicio del fuego, representativa del momento de la eventual aparición de un foco secundario como consecuencia de la caída de una pavesa.

Para cada tipo de hojarasca, se han considerado dos valores de densidad aparente (cantidad de masa de combustible por unidad de volumen del estrato de combustible, DA en kg/m<sup>3</sup>). La humedad del combustible (H) estuvo comprendida entre el 0.5 y el 20 % (Tabla 1).

**Tabla 1.** Humedad y densidad aparente de las hojarascas estudiadas

Hojarasca	n	H	Dens. aparente 1	Dens. aparente 2
<i>Pinus pinea</i>	35	2.5 – 14.5 %	≅ 10 kg/m <sup>3</sup>	≅ 19 kg/m <sup>3</sup>
<i>Pinus pinaster</i>	56	0.5 – 20 %	≅ 26 kg/m <sup>3</sup>	≅ 45 kg/m <sup>3</sup>
<i>Eucalyptus globulus</i>	67	1.0 – 17.5 %	≅ 26 kg/m <sup>3</sup>	≅ 44 kg/m <sup>3</sup>
<i>Quercus faginea</i>	35	3.6 – 14.5 %	≅ 16 kg/m <sup>3</sup>	≅ 24 kg/m <sup>3</sup>

Las quemadas experimentales se llevaron a cabo en una mesa de quemadas (Fotografía 1) sobre la que se dispusieron las diferentes hojarascas estudiadas, formándose lechos de combustible de 0.70 m x 0.70m con la hojarasca recogida en masas de las especies estudiadas. Estas masas estaban ubicadas en las provincias de Madrid (*Pinus pinea*), Pontevedra (*Pinus pinaster* y *Eucalyptus globulus*) y Guadalajara (*Quercus faginea*).

Para producir la inflamación de la hojarasca en condiciones comparables, se utilizaron probetas de madera de *Pinus sylvestris* de 2 x 2 x 1 cm con un 12 % de humedad, inflamadas mediante un epirradiator calibrado según la Norma UNE 23729-90-1R. En cada ensayo, la probeta inflamada, definida como “pavesa-tipo”, se deposita en el punto central de la superficie de la capa de hojarasca, anotándose el tiempo en que se produce la ignición de la cubierta, la altura alcanzada por las llamas durante la propagación del fuego y el tiempo en que el fuego alcanza cada uno de los cuatro bordes de la capa de hojarasca.

A partir de la información obtenida durante los ensayos, se calcularon los siguientes parámetros:

- el tiempo de ignición de la cubierta (TI, en s), calculado desde el momento en que se deposita la pavesa sobre la cubierta.
- la velocidad de propagación del fuego (VP, en cm/s), obtenida a partir del tiempo medio empleado por el fuego en alcanzar los cuatro bordes de la capa de combustible.
- la altura media de las llamas (A, en cm), determinada visualmente mediante el empleo de una placa graduada (Fotografía 1).

Además, en cada hojarasca, se ha calculado la frecuencia de ignición, definida como el porcentaje de ensayos en los que se produce la ignición.



**Fotografía 1.** Dispositivo experimental para el estudio de la inflamabilidad.

El efecto de la humedad y de la densidad aparente del combustible en la inflamabilidad de cada hojarasca se ha analizado mediante el modelo de regresión múltiple.

## RESULTADOS

La frecuencia de ignición de las cuatro hojarascas estudiadas fue elevada (superior al 80%), alcanzándose los valores superiores en las hojarascas de las especies del género *Pinus* (Tabla 2). Estas hojarascas fueron, asimismo, las que presentaron menores tiempos de ignición y mayores velocidades de propagación, mientras que las alturas de llama más elevadas se alcanzaron en la hojarasca de eucalipto. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por TRABAUD (1976), que indica que los aceites esenciales y terpenos presentes en el combustible favorecen más la altura de las llamas que la frecuencia y el tiempo de ignición.

**Tabla 2.** Frecuencia de ignición y valores medios, mínimos y máximos del tiempo de ignición (s), de la velocidad de propagación (cm/s) y de la altura media de las llamas (cm)

Hojarasca	Frecuencia de ignición	Tiempo de ignición	Velocidad de propagación	Altura media de las llamas
<i>Pinus pinea</i>	100 %	5.51 (2 – 11)	0.259 (0.149 – 0.393)	42.77 (18 – 63)
<i>Pinus pinaster</i>	96 %	5.82 (1 – 29.5)	0.190 (0.076 – 0.319)	58.23 (10 – 95)
<i>Eucalyptus globulus</i>	90 %	9.09 (2 – 58.95)	0.167 (0.054 – 0.302)	65.08 (24 – 110)
<i>Quercus faginea</i>	80 %	11.82 (4 – 56)	0.181 (0.095 – 0.287)	17.93 (5 – 38)

Ni la humedad ni la densidad aparente del combustible, en los rangos considerados, tuvieron un efecto significativo sobre el tiempo de ignición de las cubiertas (Tabla 3), con las excepciones de la humedad del combustible en la hojarasca de eucalipto y la densidad aparente en la hojarasca de pino piñonero, que tuvieron un efecto positivo sobre este tiempo.

**Tabla 3.** Ecuaciones de regresión para el tiempo de ignición

Hojarasca	Ecuación	r <sup>2</sup> ajustado	p
<i>Pinus pinea</i>	TI = 1.215 + 0.194 H + 0.170 (*) DA	0.176	0.017
<i>Pinus pinaster</i>	TI = 2.742 + 0.123 H + 0.060 DA	0.013	0.270
<i>Eucalyptus globulus</i>	TI = 5.614 + 0.608 (*) H - 0.037 DA	0.079	0.036
<i>Quercus faginea</i>	TI = 13.668 + 0.901 H - 0.534 DA	0.047	0.209

Nivel de significación de los coeficientes de regresión: (\*) = p < 0.05; (\*\*) = p < 0.001

Por el contrario, ambos factores tuvieron, en general, un efecto altamente significativo sobre la velocidad de propagación (Tabla 4) y sobre la altura media de las llamas (Tabla 5). Este efecto es negativo, de modo que ambos parámetros aumentan al disminuir tanto la humedad como la densidad aparente del combustible. Sin embargo, el efecto de la densidad aparente del combustible no se ha puesto de manifiesto en los ensayos llevados a cabo en la hojarasca de *Quercus faginea*.

Los ajustes de las ecuaciones obtenidas, expresadas a través de su coeficiente de regresión ajustado, son mejores, en ambos parámetros, para las hojarascas de las especies de coníferas que para las de frondosas.

**Tabla 4.** Ecuaciones de regresión para la velocidad de propagación

Hojarasca	Ecuación	r <sup>2</sup> aj.	p
<i>Pinus pinea</i>	VP = 0.455 (**) - 0.013 (**) H - 0.005 (**) DA	0.870	0.000
<i>Pinus pinaster</i>	VP = 0.368 (**) - 0.009 (**) H - 0.003 (**) DA	0.809	0.000
<i>Eucalyptus globulus</i>	VP = 0.284 (**) - 0.009 (**) H - 0.001 (*) DA	0.525	0.000
<i>Quercus faginea</i>	VP = 0.352 (**) - 0.013 (**) H - 0.003 DA	0.468	0.000

Nivel de significación de los coeficientes de regresión: (\*) = p < 0.05; (\*\*) = p < 0.001

**Tabla 5.** Ecuaciones de regresión para la altura media de las llamas

Hojarasca	Ecuación	r <sup>2</sup> aj.	p
<i>Pinus pinea</i>	A = 78.16 (**) - 2.142 (**) H - 1.059 (**) DA	0.758	0.000
<i>Pinus pinaster</i>	A = 119.98 (**) - 2.891 (**) H - 1.110 (**) DA	0.700	0.000
<i>Eucalyptus globulus</i>	A = 112.17 (**) - 3.374 (**) H - 0.604 (**) DA	0.415	0.000
<i>Quercus faginea</i>	A = 37.87 (**) - 1.529 (*) H - 0.301 DA	0.227	0.015

Nivel de significación de los coeficientes de regresión: (\*) = p < 0.05; (\*\*) = p < 0.001

## CONCLUSIONES

Los cuatro tipos de hojarasca estudiados presentan elevadas frecuencias de ignición, incluso con valores de la humedad del combustible superiores a los propios de la época estival. En general, la velocidad de propagación y la altura media de las llamas en la fase de inicio del fuego aumentaron al disminuir tanto la humedad como la densidad aparente del combustible. Sin embargo, estos factores no afectaron, en los rangos estudiados, al tiempo de ignición de las hojarascas.

La hojarasca de las especies del género *Pinus* presentaron las mayores frecuencias de ignición y velocidad de propagación, y los menores tiempos de ignición, mientras que las alturas de llamas más elevadas se alcanzaron en la hojarasca de eucalipto.

## BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, H.E.; (1970). *Forest fuel ignitibility*. Fire Technology 6(4):312-319
- DELAVEAUD, P.; (1981). *Le feu, outil sylvicole? Utilization pratique des données de combustibilité*. Mémoire de 3<sup>ème</sup> année, ENITEF. INRA. Station de Sylviculture Méditerranéenne. Avignon. 91 pp + anexos.
- GUIJARRO, M. & HERNANDO, C.; (2000). *Comportamiento del fuego en la hojarasca de Pinus pinea L.* Actas del 1<sup>er</sup> Simposio del pino piñonero (*Pinus pinea L.*). Vol. I: 263-268. Valladolid. 22-24 de febrero de 2000.
- McALPINE, R.S. & XANTHOPOULOS, G.; (1989). *Predicted vs observed fire spread rates in ponderosa pine fuel beds: a test of American and Canadian systems*. Proceedings of the 10<sup>th</sup> Conference on Fire and Forest Meteorology, Ottawa. pp. 287-294.
- TRABAUD, L.; (1976). *Inflammabilité et combustibilité des principales espèces des garrigues de la région méditerranéenne*. Oecol. Plant. 11 (2): 117-136.
- TRABAUD, L.; (1989). *Les feux de forêts. Mécanismes, comportement et environnement*. Ed. France sélection. Paris. 278 pp.
- VALETTE, J.C. *et al.*; (1994). *Influence of slope and fuel load on fire behaviour in pine needles fuel beds*. In Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Forest Fire Research, Coimbra, pp. 319-329.
- VEGA, J.A. *et al.*; (1993). *Forest fire prevention through prescribed burning: experimental study on fire effects on litter and soil*. Contract n° CE/STEP-CT-90-0087. Informe final. CIF Lourizán. Pontevedra (No publicado).
- VENTURA, J.M.P. *et al.*; (1988). *Combustão de resíduos florestais. Alguns resultados*. In Actas das Jornadas Científicas sobre Incêndios Florestais, Coimbra, Tomo 1: 2.3.1-14.