



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-391

---

---

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Evaluación del inicio de fuego de copas en masa de *Pinus pinaster* Ait. en ausencia de viento

JIMÉNEZ CARMONA, E.<sup>1</sup>, FERNÁNDEZ FILGUEIRA, C.<sup>1</sup>, VEGA HIDALGO, J.A. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación Forestal – Lourizán. Xunta de Galicia.

### Resumen

Los fuegos de copa son incendios de gran severidad, que provocan daños elevados de naturaleza tangible e intangible en el ecosistema. A pesar de su gran importancia, existe todavía un gran desconocimiento sobre aquellos factores que inciden en su inicio. Se llevó a cabo un experimento con el fin de evaluar el proceso de inicio del fuego de copa y determinar el papel de la radiación en ese proceso. Para ello el experimento se realizó en ausencia de viento. Se determinó la carga del matorral presente, la humedad de los combustibles y las temperaturas alcanzadas en la zona de matorral y arbolado. La velocidad de propagación del fuego experimental en la zona de matorral fue de 2 m min<sup>-1</sup>. Tras el análisis de la información obtenida de las temperaturas alcanzadas en la copa del arbolado y el análisis de las imágenes obtenidas a partir de una cámara térmica se observó que la temperatura en la copa de los árboles no comenzó a superar los 300°C hasta que el frente no se encontraba a menos de 2 m de distancia, lo que resalta la influencia de la convección en el proceso de inicio de fuego de copa.

### Palabras clave

Modelización, riesgo, radiación, convección, incendio.

## 1. Introducción

Los incendios de copa, debido a su intensidad, rapidez de propagación, niveles de riesgo para los combatientes, población y propiedades, y a los grandes impactos ecológicos que conllevan, suponen un reto especial en las tareas de extinción (MOREIRA et al., 2011). Sin embargo, a pesar de su gran impacto, los procesos que están involucrados en su inicio y propagación no han sido suficientemente abordados (CRUZ et al., 2010). Esto se debe a diferentes factores, principalmente a la gran complejidad de estos procesos, al estar involucrados un gran número de elementos (combustibles superficiales y del dosel, condiciones meteorológicas y topográficas). A esto se debe las dificultades operacionales a la hora de poder realizar fuegos experimentales que impliquen la afectación a las copas con el objetivo de incrementar el conocimiento de estos fenómenos. Teniendo estos aspectos en consideración se hace imprescindible la realización de ensayos a diferentes escalas que nos permitan determinar cuáles son los elementos principales para que se produzca la transición del fuego de superficie a copa en los incendios forestales.

## 2. Objetivos

El objetivo de este estudio fue el de evaluar el proceso de inicio del fuego de copa a partir de un fuego de superficie, en condiciones de ausencia de viento, para así determinar el papel de la radiación y convección en ese proceso.

## 3. Metodología

El fuego experimental se llevó a cabo en las inmediaciones del Centro de Investigación Forestal de Lourizán en Junio de 2012. Se realizó un día con ausencia de viento y en una zona llana con la finalidad de eliminar el efecto de la convección. Un área de 12 m de largo y 10 m de ancho, donde se creó una capa de combustible superficial con material vegetal secado al aire (principalmente *Pterospartum tridentatum* (L.) Willk y *Erica* spp.), previamente colectado de áreas adyacentes. Este

material proporcionó una elevada carga ( $9,4 \text{ kg/m}^2$ ) con la finalidad de alcanzar una alta tasa de combustión y favorecer la propagación de una llama vertical. Ocho individuos de *Pinus pinaster* fueron cortados en una zona adyacente a la del experimento e inmediatamente se colocaron en dos filas en uno de los límites de la parcela de  $12 \times 10 \text{ m}$ . Estos árboles fueron introducidos en unos orificios previamente excavados y llenados con agua para evitar la pérdida de humedad foliar. El diámetro normal, altura total y altura al inicio de la copa fueron medidos para cada uno de los individuos. La carga por grupos de tamaño en el área de matorral creada fue determinada mediante inventarios destructivos.

La ignición de la parcela se llevó a cabo en el borde de la parcela opuesto a las filas de arbolado (Figura 1), cuando las condiciones meteorológicas fueron apropiadas. Una estación meteorológica ubicada en el área del ensayo registró cada segundo los valores de velocidad y dirección del viento (a 2, 4 y 6 m de altura), la humedad relativa y la temperatura del aire. Inmediatamente antes de la ignición se tomaron muestras de la zona de matorral y de las acículas y ramas del arbolado para la determinación en laboratorio del contenido de humedad tras su pesado, secado y repesado.



Figura 1. Ignición de la zona de matorral en el borde de la parcela opuesto a filas del arbolado.

Una red de ocho termopares fue instalada en el área de matorral para la determinación de la velocidad de propagación del fuego de superficie. Además, cuatro termopares fueron instalados en cada árbol a diferentes alturas (2, 4, 6 y 8 m). Los termopares utilizados fueron de tipo K, de 1 mm de grosor, con unión final al aire de 0,13 mm de grosor. Se registraron las temperaturas cada segundo. Además, se empleó una cámara termográfica para capturar imágenes a nivel de suelo del desarrollo del fuego y características de la llama. La intensidad lineal del fuego de superficie se calculó mediante dos aproximaciones. Por un lado, mediante la relación establecida entre este parámetro y la longitud de llama (THOMAS, 1963). Por otro lado, mediante la ecuación de BYRAM (1959), considerando que se consumieron todos los combustibles de 1h, y la mitad de los de 10 h.

#### 4. Resultados

El diámetro normal del arbolado osciló entre los 8,3 y 11,8 cm, la altura total entre 8,2 y 10,5 m y la altura de inicio de copa entre 1,8 y 4,2 m. La carga del matorral fue de 5,6 kg/m<sup>2</sup> para el material de 1 h (< 6 mm) y de 3,8 kg/m<sup>2</sup> para el de 10 h (entre 6 y 25 mm). La densidad aparente del matorral fue de 4,3 kg/m<sup>3</sup>. Los valores de humedad de las muestras tomadas antes de la ignición se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Contenido de humedad de muestras de combustible tomadas inmediatamente antes de la ignición.

Vegetación	Muestra	Contenido de humedad (%)
Arbolado	Acículas nuevas	219
	Acículas 1 año	164
	Acículas 2 años	157
	Ramas (<0,6 cm)	122
Matorral	1h (<0,6 cm)	17
	10h (entre 0,6 y 2,5 cm)	17

La velocidad media del viento durante el fuego experimental fue inferior a 1 m/s. La temperatura media del aire fue de 20°C, y la humedad relativa del 75%. La velocidad de propagación del fuego de superficie fue de 2,2 m/min. La intensidad lineal del fuego de superficie fue de 9500 kW/m según la aproximación de Thomas (1963), y de 5363 kW/m según la de Byram (1959). La temperatura máxima alcanzada en la zona de matorral osciló entre los 954 y los 1168°C. La temperatura máxima alcanzada en la copa del arbolado osciló entre los 82 y los 1224°C.

El análisis de la información registrada por los termopares (Figura 2) y las imágenes de la cámara termográfica (Figura 3) reveló que las copas no empezaron a arder (temperaturas superiores a 300°C) hasta que la distancia entre el frente de llama y los árboles era inferior a 2 m. El tiempo de residencia medio en las copas fue de 22 s. Con la información meteorológica registrada durante el fuego experimental y con las características de los combustibles, se realizó una simulación del comportamiento del fuego de copas mediante el modelo CFIS (Crown Fire Initiation and Spread – ALEXANDER et al., 2006). Este modelo predijo una probabilidad de inicio de fuego de copa del 61%, siendo consistente con lo observado en el experimento.

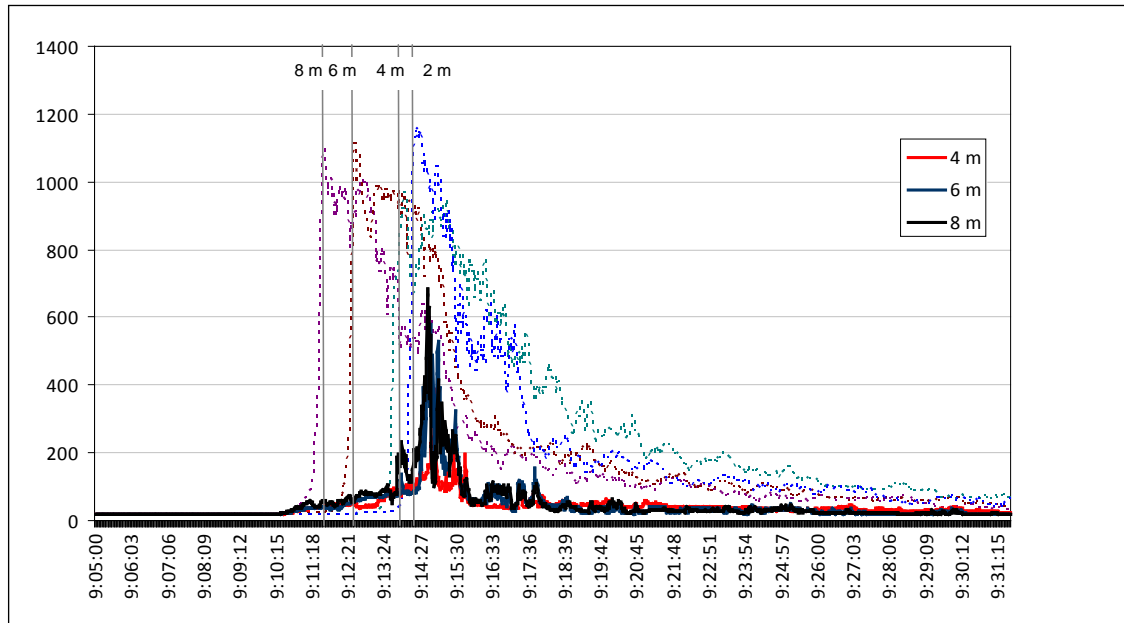


Figura 2. Variación temporal de la temperatura en uno de los individuos de *Pinus pinaster* a diferentes alturas (líneas continuas) y variación temporal de la temperatura en el área de matorral a diferentes distancias de la primera línea de arbolado (líneas discontinuas).

## 5. Discusión

El fuego experimental llevado a cabo en condiciones de ausencia de viento muestra que, a pesar de la alta intensidad generada, el fuego de copa no se inicia hasta que las llamas se encuentran muy cerca de la copa. Esto subraya el hecho de que cuando la convección de la llama es reducida, el fuego de copa no se inicia hasta que la llama contacta la copa (FINNEY et al., 2015). Esto sugiere que el fenómeno de fuego de copa puede ser predicho de manera más precisa mediante el empleo de modelos basados en el comportamiento de la llama (FINNEY et al., 2015).

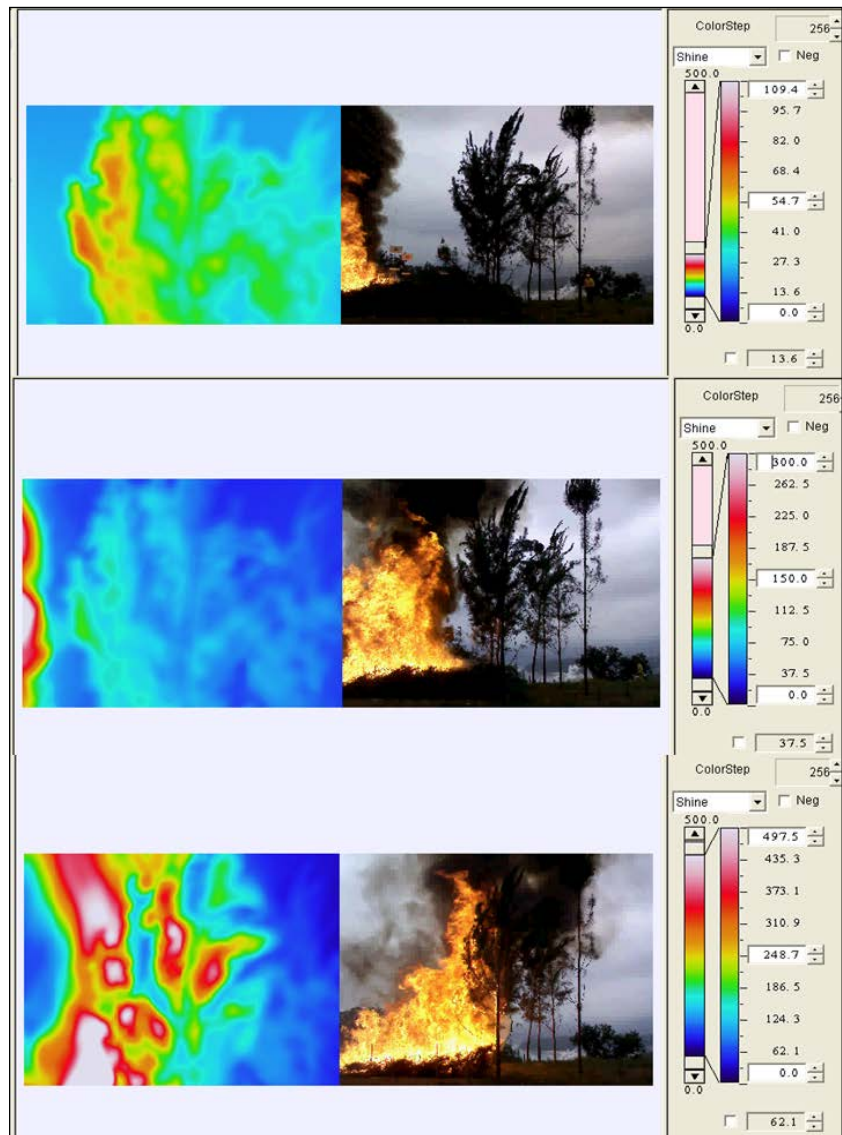


Figura 3. Imágenes tomadas mediante la cámara termográfica durante el fuego experimental, mostrando la llama del fuego de superficie a diferentes distancias de las líneas de arbolado (6 m, 2 m y en contacto) y el calentamiento de la copa del arbolado.

## 6. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio muestran la elevada influencia de la convección en el proceso de inicio de fuego de copa. Hay que destacar la importancia de la realización de un mayor número de experiencias de fuegos experimentales de similares características para incrementar el conocimiento sobre este complejo fenómeno como es el fuego de copa, con elevadas repercusiones y alto nivel de peligro para los combatientes implicados en las labores de extinción.

## 7. Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por los proyectos RTA2009-0153-C03-01 y RTA2014-00011-C06. También ha sido cofinanciada por el INIA y el Fondo Social Europeo (contrato postdoctoral E. Jiménez). Estamos muy agradecidos a A. Arellano por su trabajo en la instalación del

dispositivo y ejecución del fuego experimental. Agradecemos a P. Cuiñas, J.R. González, S. Arellano, J.L. Pardo, y M. Peleteiro por su apoyo en el trabajo de campo y laboratorio.

## 8. Bibliografía

ALEXANDER, M.E.; CRUZ, M.G.; LOPES, A.M.G.; 2006. CFIS: a software tool for simulating Crown fire initiation and spread. En: Proc. 5<sup>th</sup> International Conference on Forest Fire Research, Figueira da Foz (Portugal). 1-13. Elsevier. Amsterdam.

BYRAM, G.M.; 1959. Combustion of forest fuels. En: DAVIS, K.P. (ed.): Forest fire: control and use. 61-80. McGraw-Hill, New York.

CRUZ, M.G.; ALEXANDER, M.E.; 2010. Assessing crown fire potential in coniferus forests of western North America: a critique of current approaches and recent simulatin studies. *Int. J. Wildland Fire* 19: 377-398.

FINNEY, M.A.; COHEN, J.D.; FORTHOFER, J.M.; MCALLISTER, S.S.; GOLLNER, M.J.; GORHAM, D.J.; SAITO, K.; AKAFUAH, N.K.; ADAM, B.A.; ENGLISH, J.D.; 2015. Role of buoyant flame dynamics in wildfire spread. PNAS: 1-6.

MOREIRA, F.; VIEDMA, O.; ARIANOUTSOU, M.; CURT, T.; KOUTSIAS, N.; RIGOLOT, E.; BARBATI, E.; CORONA, P.; VAZ, P.; XANTHOPOULOS, G.; MOUILLOT, F.; BILGILI, E.; 2011. Landscape-wildfire interactions in southern Europe: implications for landscape management. *J. Environ. Manage.* 92: 2389-2402.

THOMAS, P.H.; 1963. The size of flames from natural fires. En: Symposium (International) on Combustion 9. 844-859. Elsevier.