

Montes

115
Número

REVISTA DE ÁMBITO FORESTAL 4.º Trimestre 2013





Modelos de combustible para caracterizar el comportamiento de los incendios en regenerados clareados de pino carrasco

R. Domènech¹, E. Pastor², A. Àgueda³, A. Sans⁴, Pablo Navascués⁵ y Eulàlia Planas⁶

¹ Doctora por la UPC y bióloga. rdomenja@yaboo.es

² Profesora Agregada del Dpto. de Ingeniería Química de la UPC. elsa.pastor@upc.edu

³ Investigadora post-doctoral del Institut Català del Ciències del Clima. alba.agueda@ic3.cat

⁴ Investigadora del Centro de Estudios del Riesgo Tecnológico (CERTEC), UPC.

⁵ Técnico de la Oficina Tècnica de Prevenció d'Incendis Forestals de la Diputació de Barcelona. navascuesrp@diba.cat

⁶ Profesora Titular del Dpto. de Ingeniería Química de la UPC. eulalia.planas@upc.edu

Centre d'Estudis del Risc Tecnològic (CERTEC), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), ETSEIB

Foto 1 a.- Regenerado del incendio de 1994 en Cataluña Central. Detalle de un replantado de pino carrasco



Foto 1 b.- Regenerado del incendio de 1994 en Cataluña Central. Vista panorámica de la zona

Se presentan modelos de combustible en regenerados clareados y no clareados de pino carrasco del post-incendio de Cataluña central de 1994. Mediante muestreos intensivos en campo se han recogido datos que permiten describir cuantitativamente la estructura forestal antes del tratamiento y un mes y seis meses después del tratamiento de clareo. Estos datos han sido procesados para obtener modelos de combustible que sirvan para describir el comportamiento del fuego en estas estructuras. Los modelos desarrollados (compatibles con BehavePlus, Nexus, FlamMap y Farsite) pueden ser útiles para estudiar la efectividad del clareo en la reducción del riesgo de propagación de incendios.

Palabras clave: efectividad del clareo, restos silvícolas, *Pinus halepensis*, simulación de incendios.

INTRODUCCIÓN

Los bosques mediterráneos de pino carrasco (*Pinus halepensis*) son el clásico ejemplo de vegetación que está muy bien adaptada al fuego y que ante el mismo muestra una con-

siderable capacidad de persistencia y regeneración gracias a sus piñas serótinas (TRABAUD, 2000). A pesar de los beneficios incuestionables de la rápida colonización del pino carrasco después de un incendio, sus elevadas densidades en la etapa de

repoblado comportan un cierto estancamiento en el desarrollo de la masa forestal y una mayor vulnerabilidad ante un nuevo incendio, debido a la continuidad tanto vertical como horizontal de combustible (Foto 1). Cabe también considerar el hecho de que si la recurrencia de incendios es demasiado corta, los pies jóvenes carecen del tiempo necesario para desarrollar piñas maduras que garanticen su supervivencia.

Ante este escenario, surge la necesidad de realizar tratamientos silvícolas para reducir la densidad de pies en regenerados post-incendio. La gestión forestal de regenerados de pino carrasco no implica el uso concreto de una práctica silvícola específica, aunque el clareo en la etapa de repoblado es la técnica más comúnmente aplicada. La efectividad de esta técnica se ha estudiado principalmente a nivel de las características estructurales y reproductivas, y

de la diversidad o la composición de especies post-tratamiento (e.g. DE LAS HERAS *et al.*, 2007; TORRAS Y SAURA, 2008; MOYA *et al.*, 2009), pero no se ha cuantificado la efectividad del clareo en regenerados de pino carrasco por lo que respecta a la reducción del riesgo de propagación de incendios que puede conllevar y a la evolución de este riesgo con el tiempo.

La efectividad de los tratamientos de combustible en la reducción del riesgo de propagación de incendios se empezó a estudiar sistemáticamente a finales de los años noventa en EEUU mediante i) quemas experimentales en parcelas tratadas (e.g. COVINGTON *et al.* 1997), ii) trabajos observacionales basados en el estudio de los efectos de incendios forestales ocurridos en zonas donde anteriormente se había aplicado alguna técnica silvícola (e.g. CRAM *et al.*, 2006) y iii) mediante herramientas de simulación con las que se puede estudiar el comportamiento del fuego en distintos escenarios de combustible y con distintos parámetros medioambientales y topográficos (e.g. STEPHENS *et al.*, 2009). En la gran mayoría de trabajos publicados donde se estudia la repercusión de los tratamientos de combustible en el riesgo de propagación de incendios, se han utilizado herramientas de simulación para predecir el comportamiento del fuego (DOMÈNECH, 2011) ya que el estudio mediante simulaciones es más rápido, barato y eficaz que el enfoque observacional o experimental. Cabe señalar, sin embargo, que las simulaciones no están exentas de errores (CRUZ Y ALEXANDER, 2010) y que por lo tanto precisan de una etapa de validación y juicio experto mediante casos de incendios reales.

Los simuladores más utilizados para evaluar la efectividad de técnicas silvícolas sobre el comportamiento del fuego son las herramientas basadas en el modelo de propagación de incendios de ROTHERMEL (1972): BehavePlus, NEXUS, FlamMap y FARSITE (<http://www.fire-models.org/index.php/national-systems>). Estas herramientas precisan de una descripción metodológica del combustible mediante los modelos desarrollados por el servicio forestal del Departamento de Agricul-

Tabla 1.- Principales características de las parcelas experimentales según su tratamiento y muestreo

| Parámetro/Parcela | Z-C | Z-1 | Z-6 |
|---|---------|---------|---------|
| Densidad inicial (pies ha ⁻¹) | 30.000 | 30.000 | 30.000 |
| Densidad final (pies ha ⁻¹) | 30.000 | 1.000 | 1.500 |
| Intensidad del tratamiento (%) | 0 | 97 | 95 |
| Fecha del tratamiento (mes y año) | n.a. | 06/2009 | 12/2008 |
| Fecha del muestreo (mes y año) | 05/2009 | 07/2009 | 05/2009 |
| Elevación (m) | 525 | 525 | 530 |
| Pendiente (°) | 30 | 30 | 10 |
| Orientación | NE | NE | NE |
| n.a.: no aplicable | | | |

tura de EEUU (USDA Forest Service). Estos modelos de combustible pueden ser los 13 modelos estándar descritos en ANDERSON (1982) y posteriormente ampliados a 40 por SCOTT Y BURGAN (2005), o bien se pueden elaborar nuevos modelos de combustible para caracterizar ciertos tipos de vegetación no incluidos en los modelos americanos. Estos modelos de combustible elaborados a medida, se construyen determinando el valor de los distintos parámetros extrínsecos e intrínsecos que configuran la caracterización del combustible en superficie (ARNALDOS *et al.*, 2004), tales como la carga de combustible de material muerto de distintos diámetros, clasificados según si su tiempo de respuesta es de 1h, 10h o 100h (DEEMING *et al.*, 1977), la carga de combustible vivo herbáceo y leñoso, la relación área superficial-volumen de las partículas muertas de 1h y del material vivo, la altura promedio del combustible de superficie y el poder calorífico inferior del combustible vivo y muerto.

El objetivo general del proyecto en el que se enmarca el trabajo presentado en este artículo fue el de evaluar cuantitativamente la efectividad en la reducción del riesgo de propagación de incendios debido a los tratamientos de clareo de combustible en masas forestales regeneradas post-incendio (DOMÈNECH, 2011). En este artículo se presentan las características de ciertos repoblados, en formato de modelos de combustible compatibles con los simuladores citados, y se comparan dichos modelos entre ellos y con los modelos clásicos de restos de actuaciones silvícolas descritos en ANDERSON,

1982. Los modelos se han desarrollado a partir de datos recogidos en bosques de pino carrasco regenerados después del gran incendio que ocurrió en Cataluña central en verano de 1994 (TERRADAS, 1996). En esta zona, distintas asociaciones de propietarios forestales, con la colaboración de la Diputación de Barcelona, están llevando a cabo desde hace más de 10 años tratamientos de clareo en distintas áreas, con lo que se cuenta con una zona de estudio muy adecuada para la consecución de los objetivos planteados.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en la comarca del Bages, en la finca Casamitjana (200 ha), a unos 3 km del municipio de Castellnou del Bages (60 km al noroeste de Barcelona). El gran incendio forestal de 1994 afectó de lleno esta finca. En el escenario actual, predominan las poblaciones jóvenes y homogéneas de regenerados de pino carrasco básicamente en la etapa de repoblado, con unas densidades de pies muy elevadas (entre 10.000 y 100.000 pies ha⁻¹). El pino convive con especies arbustivas y herbáceas típicamente mediterráneas (a destacar *Rosmarinus officinalis*, *Rubus ulmifolius*, *Arbutus unedo* y *Pistacea lentiscus*, entre otras).

El programa de gestión silvícola aplicado en la zona consistió en un tratamiento de clareo intensivo manual con motosierra para reducir la densidad de pies en un 80-90 % de promedio, alcanzando densidades

R. Domènech, E. Pastor, A. Àgueda, A. Sans, P. Navascués, E. Planas



Foto 2.- Imágenes de las parcelas experimentales: Superior izquierda, vista general de la parcela Z-C; Superior derecha, detalle de la vegetación de la parcela Z-C. Central izquierda, vista general de la parcela Z-1; Central derecha, detalle de la vegetación de la parcela Z-1. Inferior izquierda, vista general de la parcela Z-6; Inferior derecha, detalle de la vegetación de la parcela Z-6

mínimas del orden de 1.000 pies ha^{-1} . En estos tratamientos, los restos del clareo no se retiraron. Se dejaron troceados en longitudes de entre 1 y 1,5 m en el mismo sitio donde se originaron, incrementando de este modo la carga de combustible disponible para arder.

Dentro de la finca se seleccionaron 3 parcelas de estudio, dos de ellas tratadas y otra parcela de control. Se identificaron como Z-1 (tratada en junio de 2009), Z-6 (tratada en diciembre de 2008) y Z-C (parcela control no tratada). La nomenclatura utilizada responde a los meses transcurridos desde el clareo hasta el muestreo realizado en cada parcela. En la Tabla 1 se detallan las características más importantes de las parcelas de trabajo, y en la Foto 2 se muestran imágenes representativas de las mismas.

Determinación de las propiedades del combustible

La metodología usada para determinar las propiedades del combustible se compuso de un amplio abanico de procedimientos de muestreo (Tabla 2). El muestreo exhaustivo de los restos originados en el clareo se realizó siguiendo el procedimiento de BROWN (1974), mediante el uso de transectos planares. La cubierta del combustible de superficie, así como la altura del mismo, se determinó con transectos longitudinales siguiendo la metodología de CANFIELD (1941). La carga del combustible de superficie en sus distintos estratos fue determinada mediante muestreos destructivos en distintos puntos de cada parcela, clasificando todo el combustible presente en cuadrantes de 2 m². Por lo que se refiere a las copas de los pinos, se muestrearon todas en las parcelas Z-1 y Z-6, y se obtuvieron valores promedio del diámetro a la altura del pecho, anchura, altura total y altura de la base de la copa. En la parcela Z-C, debido a la gran densidad de árboles, sus copas fueron muestreadas selectivamente, mediante muestreos puntuales de cuadrantes centrados (*point centered quarter*), siguiendo la pauta descrita en MÜLLER-DOMBIOS Y ELLENBERG (1974). La cubierta de las copas se determinó en todas las parcelas mediante un densitómetro de espejo

Tabla 2.- Número de transectos, cuadrantes de muestreos destructivos y árboles inventariados para cada parcela experimental

| Parcela | Restos de clareo: nº de transectos (longitud) | Combustible de superficie: nº de transectos (longitud) | Muestreo destructivo: nº de cuadrantes | Combustible de copas: nº de pies inventariados |
|---------|---|--|--|--|
| Z-C | n.a. | 5 (20 m) | 3 | 196 |
| Z-1 | 4 (20 m) + 5 (10 m) | 4 (20 m) | 2 | 23 |
| Z-6 | 10 (20 m) | 5 (20 m) | 3 | 61 |

n.a: no aplicable

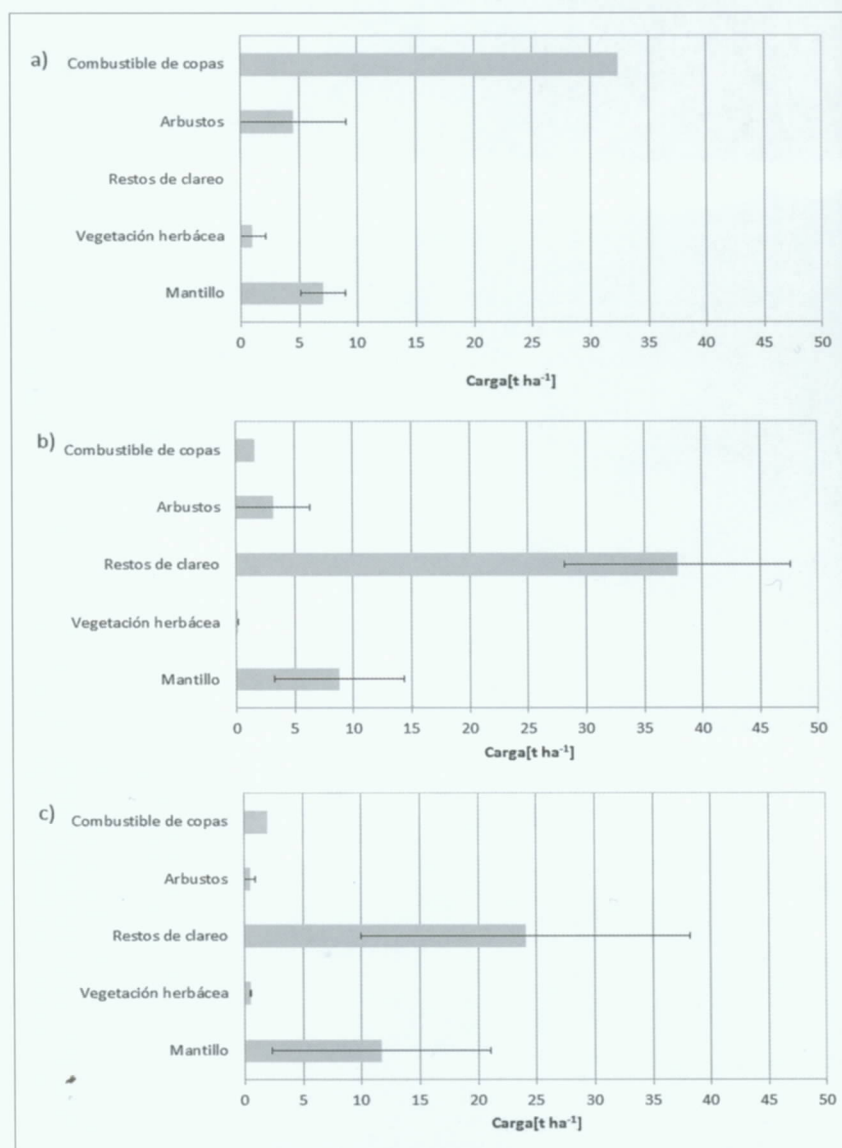


Gráfico 1.- Carga de combustible por estratos para cada una de las parcelas de estudio, a) Z-C, b) Z-1 y c) Z-6 (las barras de error son una desviación estándar)

convexo, siguiendo el método de LEMMON (1956). Se realizaron también muestreos destructivos en las copas, con los que se pudieron ha-

llar las ecuaciones alométricas correspondientes (DOMÈNECH, 2011) para determinar la carga de combustible de copas disponible por unidad

Tabla 3.- Propiedades de los modelos de combustible de superficie determinados para caracterizar las parcelas de estudio

| Parámetro/Modelo de combustible | FM_Z-C _S | FM_Z-C _A | FM_Z-1 | FM_Z-6 |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------|--------|
| W_{1h} (t ha ⁻¹) | 6,2 | 6,2 | 27,1 | 22,7 |
| W_{10h} (t ha ⁻¹) | 1,6 | 1,6 | 19,9 | 14,9 |
| W_{100h} (t ha ⁻¹) | 0,8 | 0,8 | 9,2 | 2,4 |
| W_{Lh} (t ha ⁻¹) | 23,8 | 0,5 | 0,1 | 0,3 |
| W_{Lw} (t ha ⁻¹) | 21,6 | 3,5 | 0,1 | 0,1 |
| W_{Total} (t ha ⁻¹) | 54,0 | 12,6 | 56,4 | 40,4 |
| σ_{1h} (cm ⁻¹) | 41,9 | 41,9 | 35,8 | 28,9 |
| σ_{Lh} (cm ⁻¹) | 66,8 | 77,6 | 77,6 | 77,6 |
| σ_{Lw} (cm ⁻¹) | 16,2 | 26,3 | 17,0 | 23,1 |
| D_s (cm) | 227 | 65 | 23 | 16 |
| PCI_d (kJ kg ⁻¹) | 19.987 | 19.987 | 19.792 | 19.612 |
| PCI_l (kJ kg ⁻¹) | 20.487 | 19.566 | 17.972 | 17.007 |

W_{1h} , W_{10h} , W_{100h} , carga de combustible de superficie muerto de 1h, 10h y 100h de tiempo de respuesta respectivamente. W_{Lh} , carga de combustible herbáceo vivo. W_{Lw} , carga de combustible leñoso vivo. σ_{1h} , relación área-superficial-volumen de las partículas de combustible muerto de 1h de tiempo de respuesta. σ_{Lh} , relación área-superficial-volumen de las partículas de combustible herbáceo vivo. σ_{Lw} , relación área-superficial-volumen de las partículas de combustible leñoso vivo. D_s , altura media de la vegetación de superficie. PCI_d , PCI_l , poder calorífico inferior del combustible muerto y vivo respectivamente. C_S , consideración del pino carrasco como parte del combustible de superficie. C_A , consideración del pino carrasco como combustible aéreo.

Tabla 4.- Propiedades del combustible de copa de las parcelas de estudio

| Parámetro/Parcela | Z-C | Z-1 | Z-6 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|
| $ACFL$ (kg m ⁻²) | 3,238 | 0,162 | 0,202 |
| $ACBD$ (kg m ⁻³) | 2,418 | 0,090 | 0,112 |
| CBH (m) | 0,93 | 1,21 | 1,21 |
| CC (%) | 63 | 31 | 19 |
| PCI_c (kJ kg ⁻¹) | 20.487 | 20.487 | 20.487 |

$ACFL$, carga de combustible disponible de copas. $ACBD$, densidad aparente del combustible disponible de copas. CBH , altura de la base del árbol hasta la base de la copa. CC , cubierta de copas. PCI_c , poder calorífico inferior del combustible de copas.

de superficie y la densidad aparente del estrato de copas.

Para establecer las propiedades intrínsecas del combustible se utilizaron métodos de laboratorio (donde se determinó la relación superficie-volumen del combustible y la densidad) y también se recurrió a la literatura para encontrar valores representativos del poder calorífico de las especies presentes en el área de estudio (ÀGUEDA *et al.*, 2009; GUIJARRO *et al.*, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis previo de la distribución de las cargas de combustible por estratos permite detectar las principales características y rasgos diferenciados en las parcelas de estudio. En el Gráfico 1 se puede realizar una comparativa visual muy intuitiva de las cargas representadas por estratos en las parcelas Z-C, Z-1 y Z-6. El residuo de clareo es el estrato que más contribuye a la carga

total en las parcelas Z-1 y Z-6 y no tiene contribución alguna en la parcela Z-C (parcela control sin clareo). Se percibe que la carga de restos disminuye alrededor de un 17,5% en 5 meses, siendo pues responsable del incremento de carga en el mantillo entre Z-1 y Z-6. También se observa un claro descenso de la carga del combustible de copas después del clareo (92%), sin embargo no hay diferencias significativas entre Z-1 y Z-6. Tampoco se observa una tendencia clara en la evolución de los estratos arbustivos y herbáceos.

Seguidamente, la compilación de toda la información obtenida en los muestreos permite representar el combustible con un gran nivel de detalle, en formato de modelo (Tablas 3 y 4). Cabe señalar que la modelización de la parcela no tratada se aborda usando dos perspectivas distintas (véase en la Tabla 3 la existencia de los modelos FM_Z-C_S y FM_Z-C_A). El modelo FM_Z-C_A considera conjuntamente los estratos de mantillo, vegetación herbácea y arbustiva como combustible de superficie, mientras que el pino carrasco se considera de manera independiente, como combustible aéreo o de copas (Tabla 4). Sin embargo, los regenerados de pino carrasco se pueden también considerar como parte del estrato arbustivo, ya que por su altura y características morfológicas aún no han alcanzado una estructura arbórea desarrollada. Por ello se aporta otra opción complementaria, construyendo el modelo de combustible FM_Z-C_S que incorpora los regenerados de pino carrasco en el estrato arbustivo de superficie. Este enfoque dual permite abordar una particular tipología de simulación que propone la herramienta NEXUS (SCOTT, 1999): la simulación de incendio de copas de arbustos (*shrub-canopy fire simulation*) útil cuando se intuye que el fuego quemará como un incendio de copas activo en los arbustos (es decir, quemando el mantillo y la vegetación arbustiva como una sola unidad). En este caso, es apropiado utilizar el modelo FM_Z-C_A como descriptor de las propiedades de los estratos inferiores, más las propiedades del combustible de copas recopiladas en la Tabla 4 (Z-C). Por otra parte, el modelo FM_Z-C_S sigue el



Foto 3.- Muestreo de los restos de claro depositados en el sotobosque

enfoque clásico de modelización de combustible (ANDERSON, 1982) en el que todo el combustible presente se considera de superficie, debido a

la falta de copas suficientemente maduras para ser consideradas como un estrato diferenciado.

Entre los 13 modelos clásicos de

combustible (ANDERSON, 1982), nuestros modelos propios FM_Z-1 y FM_Z-6 se podrían clasificar dentro del grupo de modelos con restos (*slash fuel models*). En el Gráfico 2 a) se comparan las distintas cargas de combustible de los modelos estándar de restos de tala 11 (M11), 12 (M12) y 13 (M13) con las cargas obtenidas en nuestros modelos FM_Z-1 y FM_Z-6. Se puede apreciar que los modelos M11, M12 y M13 quedan lejos de representar adecuadamente las cargas del combustible presentes en nuestra zona de estudio. Los modelos estándar tienen proporcionalmente menos carga de combustible muerto de 1 h y paralelamente consideran más combustible de 10 y 100 h.

Por otro lado, el combustible de la parcela control de este estudio sería considerado comúnmente como un modelo de matorral siguiendo los modelos estándar de este grupo. En particular, nuestro modelo propio FM_Z-C_s se podría relacionar con el modelo estándar número 4 (matorral denso de 2 m de altura, M4), mientras que FM_Z-C_A, que considera la copa del regenerado como combustible aéreo, se podría comparar con el estándar 7 (matorral de especies muy inflamables, M7). En el Gráfico 2 b) se observa también que los modelos estándar no representan adecuadamente la realidad recogida en nuestra área de estudio. En particular, no logran reproducir la presencia de especies herbáceas y arbustivas en la parcela control Z-C y sobreestiman la carga total de combustible muerto.

CONCLUSIONES

En este estudio se han usado distintos métodos de muestreo clásicos publicados en la bibliografía para caracterizar regenerados de pino carrasco. Los métodos seleccionados han resultado ser apropiados para cuantificar las características básicas de dichos regenerados en su fase de repoblado antes y después de un tratamiento de clareo (densidades pre-tratamiento de 30.000 pies ha⁻¹ y densidades post-tratamiento de entre 1.000 y 1.500 pies ha⁻¹). Se han obtenido modelos propios de combustible que sirven para caracterizar el comportamiento del fuego

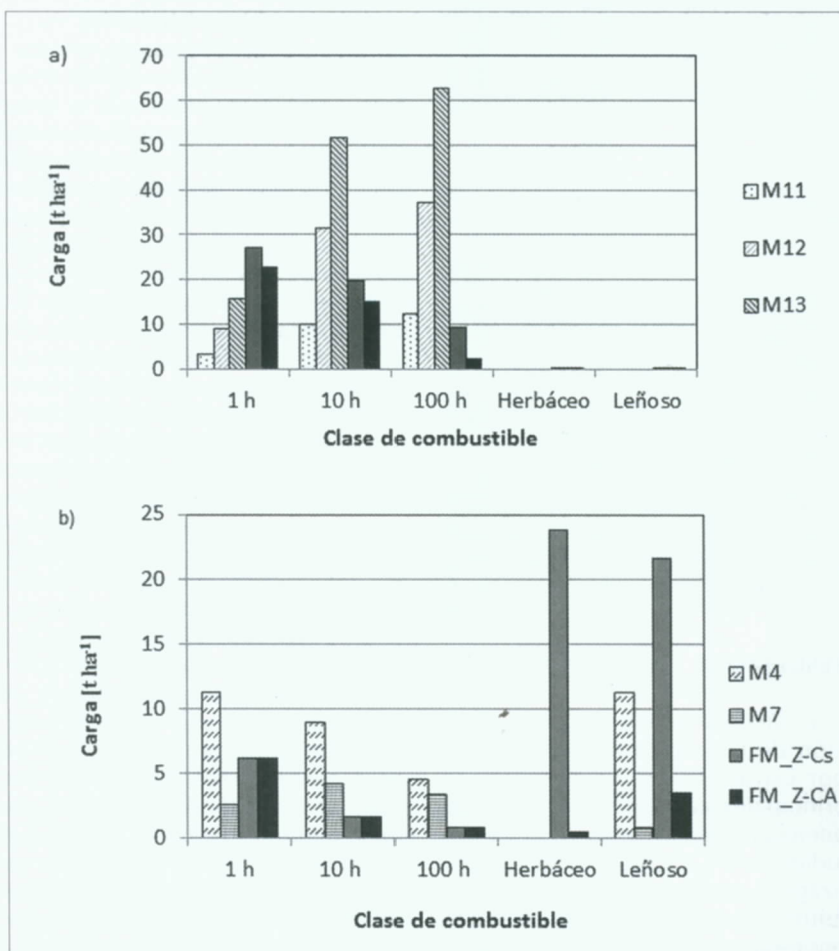


Gráfico 2.- Comparación de los modelos propios desarrollados en este estudio, con los modelos estándar estadounidenses. a) modelos con presencia de restos, b) modelos de matorral

en parcelas sin tratamiento (fuego de superficie y fuego activo de copas de regenerado) y en parcelas tratadas (1 mes y 6 meses después del tratamiento) mediante herramientas de simulación basadas en el modelo de ROTHERMEL (1972). El uso de modelos estándar para simular el comportamiento de un incendio en la zona de estudio podría conllevar una subestimación

de la velocidad de propagación debido a que el combustible de 1h y el combustible vivo están insuficientemente representados en los modelos para restos de clareo. Los modelos desarrollados en este trabajo podrían ser aplicables para la simulación de incendios en otras zonas parecidas de la Cuenca Mediterránea y muy especialmente de Cataluña, siempre y cuando estas

zonas tengan condiciones de combustible pre-tratado parecidas y hayan sido clareadas eliminando alrededor de un 90% de los pies dejando *in-situ* los restos. Sin embargo, no se aconseja la extrapolación de dichos modelos a situaciones significativamente diferentes sin un trabajo de validación en campo de las propiedades del combustible que se estimen más sensibles. 🌲

ÀGUEDA, A.; LIODAKIS, S.; PASTOR, E.; PLANAS, E.; 2009. Characterization of the thermal degradation and heat of combustion of *Pinus halepensis* needles treated with ammonium-polyphosphate-based retardants. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 98(1): 235-243.

ANDERSON, H.; 1982. *Aids to determining fuels models for estimating fire behaviour*, Gen Tech Rep INT-122, Intermountain Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service. Ogden, EUA, p. 22.

ARNALDOS, J.; NAVALÓN, X.; PASTOR, E.; PLANAS, E.; ZÁRATE, L.; 2004. *Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales*. Ediciones Mundiprensa. Madrid.

BROWN, J. K.; 1974. *Handbook for inventorying downed woody material*, Gen Tech Rep INT-16, Intermountain Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service, Ogden, EUA, p. 24.

CANFIELD, R.; 1941. Application of the Line Interception Method in sampling range vegetation. *Journal of Forestry*, 39: 388-394.

COVINGTON, W. W.; FULÉ, P. Z.; MOORE, M. M.; HART, S. C.; KOLB, T. E.; MAST, J. N.; SACKETT, S. S.; WAGNER, M. R.; 1997. Restoration of ecosystem health in southwestern ponderosa pine forests. *Journal of Forestry*, 95(4): 23-29.

CRAM, D.; BAKER, T.; BOREN, J.; 2006. Wildland fire effects in silviculturally treated vs. untreated stands of New Mexico and Arizona. Res Pap RMRS-RP-55, Rocky Mountain Research Station, USDA Forest Service. Fort Collins, EUA, p. 28.

CRUZ M.G. Y ALEXANDER, M.E. 2010 Assessing crown fire potential in coniferous forests of western North America: a critique of current approaches and recent simulation studies. *International Journal of Wildland Fire* 19: 377-398.

DEEMING, J. E.; BURGAN, R. E.; COHEN, J.D.; 1977. The National Fire-Danger Rating System, 1978. Gen Tech Rep INT-39, Intermountain Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service. Ogden, EUA, p. 66.

DE LAS HERAS, J.; MOYA, D.; LÓPEZ-SERRANO, F.R.; CONDES, S.; 2007. Reproduction of postfire *Pinus halepensis* Mill. stands six years after silvicultural treatments. *Annals of Forest Science*, 64: 59-66.

DOMÈNECH, R.; 2011. *Efectivitat dels tractaments d'aclarida en al reducció del risc de propagació d'incendis en regenerats de pi blanc*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya.

GUIJARRO, M.; HERNANDO, C.; DÍEZ, C.; MARTÍNEZ, E.; MADRIGAL, J.; LAMPIN, C.; BLANC, L.; COLIN, P. Y.; PÉREZ-GOROSTIAGA, P.; VEGA, J. A.; FONTURBEL, M. T.; 2002. Flammability of some fuel beds common in the South-European ecosystems, en: D.X. Viegas (Ed.), *Forest Fire Research and Wildland Fire Safety*, Millpress, Rotherdam, 1-9.

LEMMON, P.; 1956. A spherical densitometer for estimating forest overstory density. *Forest Science*, 2(1): 314-320.

MOYA, D.; DE LAS HERAS, J.; LÓPEZ-SERRANO, F.R.; CONDES, Q.; ALBERDI, I.; 2009. Structural patterns and biodiversity in burned and managed *Aleppo pine* stands. *Plant Ecology*, 200: 217-228.

MÜLLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H.; 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley. New York.

ROTHERMEL, R.; 1972. *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*, Res Pap INT-115, Intermountain Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service, Ogden, EUA, p. 40.

SCOTT, J. H.; 1999. NEXUS: A system for assessing crown fire hazard. *Fire Management Notes*, 59(2): 20-24.

SCOTT, J. H.; BURGAN, R. E.; 2005. *Standard Fire Behaviour Fuel Model: A Comprehensive Set for use with Rothermel's Surface Fire Spread Model*, Gen Tech Rep RMRS-GTR-153, Rocky Mountain Research Station, USDA Forest Service, Fort Collins, EUA, p. 72.

STEPHENS, S.; MOGHADDAS, J.; EDMINSTER, C.; FIEDLER, C.; HAASE, S.; HARRINGTON, M.; 2009. Fire treatment effects on vegetation structure, fuels, and potential fire severity in western U.S. forests. *Ecological Applications*, 19: 305-320.

TERRADAS, J.; 1996. *Els incendis del 1994, un problema mundial*. Terradas, J. (ed.). Ecologia del foc. Edicions PROA, Barcelona, 11-14.

TORRAS, O.; SAURA, S.; 2008. Effects of silvicultural treatments on forest biodiversity indicators in the Mediterranean. *Forest Ecology and Management*, 255: 3322-3330.

TRABAUD, L.; 2000. Post-fire regeneration of *Pinus halepensis* forests in West Mediterranean, in: G. Néeman, L. Trabaud (Eds.), *Ecology, biogeography and management of Pinus halepensis and P. Brutia*. Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin, Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands, 281-304.