



9CFE-1781

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: 978-84-941695-7-1

Organiza





Manual para la identificación y caracterización de modelos de combustible forestal de Andalucía y comportamiento del fuego asociado

ARELLANO-PÉREZ, S. (1), MOLINA MARTÍNEZ, J.R. (2), RODRÍGUEZ Y SILVA, F. (2), TOMÉ MORÁN, J.L. (1), MARTÍN-ALCÓN, S. (1), CASTELLÓ PALAZÓN, F.J. (3), SENRA RIVERO, F. (3), MARINO DEL AMO, E. (1, 4)

(1) Agresta Sociedad Cooperativa. C/ Duque de Fernán Núñez, 2, 1º. 28012 Madrid, España-

(2) Laboratorio de Incendios Forestales (LABIF), Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales, 14071, Córdoba, España.

(3) Agencia de Medio Ambiente y Agua. Junta de Andalucía, C/ Johan Gutenberg, s/n. Isla de la Cartuja, 41092 Sevilla, España.

(4) ICIFOR-INIA, CSIC. Carretera A Coruña km 7.5, 28040 Madrid, España.

Resumen

La clasificación y cuantificación de los combustibles forestales es esencial para la mejora de la predicción del comportamiento del fuego. Este estudio se llevó a cabo con la finalidad de elaborar un manual que incluyera tres nuevas versiones de modelos de combustible (UCO30, UCO20 y NFFL9) adaptadas a los ecosistemas andaluces partiendo del sistema UCO40 original: i) UCO30 para mejorar los criterios de identificación en campo basado en 3.400 nuevas parcelas de inventario; ii) UCO20 para generación de cartografías a partir de datos LiDAR-PNOA y iii) NFFL9 con modelos de combustible estándar equivalentes a los UCO20 cartografiados. El manual incluye las claves y fichas para la identificación y caracterización de estas tres versiones. Las fichas incorporan los parámetros actualizados del combustible de superficie y del dosel de copas derivados de 200 parcelas destructivas y 800 parcelas de inventario de arbolado. Se añade una foto general y gráficas del comportamiento del fuego en cada modelo. El manual sirve de guía de estos nuevos sistemas de clasificación, facilitando la identificación en campo, así como para la obtención de cartografías de modelos de combustible detalladas a escala paisaje, siendo una herramienta muy útil para mejorar la gestión de incendios forestales en ecosistemas mediterráneos.

Palabras clave

Sistema UCO40, cuantificación de combustibles forestales, proyecto CILIFO, cartografía de combustibles, incendios forestales.

1. Introducción

Los combustibles forestales son agrupaciones espaciales de la biomasa vegetal viva y muerta que forma parte de los ecosistemas, y que a su vez son la fuente de energía para el desarrollo del incendio y uno de los elementos clave en el comportamiento del fuego y en sus efectos, modulando su intensidad y severidad (KEANE, 2015). Además, presentan un alto grado de heterogeneidad, característica inherente tanto a la gran variabilidad de la vegetación entre los distintos ecosistemas como dentro de una misma formación forestal, por lo que es necesario recurrir a una simplificación de la realidad de los complejos de combustible existentes sobre el terreno para su clasificación. Para ello, los combustibles se agrupan de acuerdo con sus principales características y comportamiento del fuego asociado. Cada uno de estos grupos artificiales se denomina modelo de combustible, y trata de identificar los valores cuantitativos representativos de un complejo de combustible constituido por un conjunto de parámetros físicos de acuerdo con un sistema de clasificación del combustible determinado, que son las entradas para los simuladores de predicción de comportamiento del fuego (BURGAN & ROTHERMEL, 1984). Por lo tanto, estas clasificaciones de modelos de combustibles son esenciales desde el punto de vista de la planificación de acciones preventivas de gestión de los combustibles para la reducción del riesgo de incendio, la extinción y la restauración de áreas quemadas.

Existen diferentes sistemas de clasificación de combustibles forestales tales como: (i) clasificaciones de vegetación (KEANE et al., 2000); (ii) definiciones subjetivas de tipos de combustible apoyados o no por inventarios de campo (EUROPEAN COMMISSION, 1999; VEGA et al., 2013; ARELLANO et al., 2017a;b); (iii) algoritmos basados en información obtenida con sensores remotos (CHUVIECO et al., 2003; MARINO et al., 2016); (iv) agrupaciones construidas por métodos estadísticos de datos de inventarios que incluyan características de combustibles y/o comportamiento de fuego (FERNANDES, 2009) y (iv) las colecciones de datos numéricos del combustible sin existencia real que sirven de inputs para predicciones que se asemejen a la realidad (ANDERSON, 1982; ROTHERMEL, 1983; SCOTT & BURGAN, 2005). Estas dos últimas citas mencionadas se refieren a los modelos norteamericanos: los 13 modelos estándar de combustible NFFL o de Rothermel (por estar desarrollados en el *Northern Forest Fire Laboratory del USDA Forest Service*) y los 40 modelos de Scott & Burgan, respectivamente. Sin embargo, prácticamente ninguna clasificación de combustibles se basa solo en una de estas



aproximaciones, sino que se apoya en la integración de varios métodos y herramientas. Además, no todas las situaciones resultantes de estos sistemas de clasificación encajan en la definición de modelo de combustible.

En España, el antiguo ICONA (1987) adaptó la definición de los 13 modelos de combustible NFFL americanos a la vegetación peninsular. Se creó una clave de identificación de modelos de combustible que dispone de información fotográfica adecuada a cada región, así como una breve descripción de las características del combustible involucrado en la propagación del fuego.

En Andalucía (sur de España), el laboratorio de Incendios Forestales (LABIF) de la Universidad de Córdoba estableció 40 modelos de combustible personalizados denominado sistema UCO40 RODRÍGUEZ y SILVA y MOLINA-MARTÍNEZ (2010, 2012). Para ello, se basaron en la metodología definida por el sistema americano propuesto en SCOTT & BURGAN (2005), y adaptaron estos modelos y sus parámetros descriptivos a la realidad de los combustibles presentes en esta región mediterránea. El sistema UCO40 compuesto por 6 tipologías o grupos de combustible diferentes: pastizal (P), matorral (M), pastizal-matorral (PM), hojarasca-pastizal-matorral (HPM), hojarasca-restos (HR) y restos (R). Precisamente los modelos UCO40 son los que se utilizarán como punto de partida y referencia para el desarrollo del presente manual.

Otro de los sistemas españoles que cabe destacar es el sistema de clasificación de combustibles de Galicia, desarrollado por el Centro de Investigación Forestal de Lourizán y la Universidad de Santiago (VEGA et al. 2013; ARELLANO et al., 2017; VEGA et al., 2024) y el de la Comunidad Valenciana con una actualización de la clasificación de los modelos de combustible en base al sistema de Scott & Burgan, realizado por la Sección Forestal del Consorcio de Bomberos de la provincia de Valencia (QUÍLEZ y CHINCHILLA, 2012).

En los últimos años ha surgido la necesidad de obtener cartografías de modelos de combustible. Los sensores remotos son una gran oportunidad en este sentido, principalmente a partir de imágenes de satélite (SÁ et al, 2023; ARAGONESES et al., 2023) o combinación de éstas con LiDAR (Light Detection and Ranging) aerotransportado (RIAÑO et al., 2007; MARINO et al., 2016; DOMINGO et al., 2020) o más recientemente con el LiDAR de onda completa de GEDI, *NASA's Global Ecosystem Dynamics Investigation* (HOFFREN, et al., 2023). Aunque, las limitaciones de muchos sensores remotos dificultan o imposibilitan la identificación precisa de modelos de combustible en diversas clasificaciones, especialmente a la hora de estimar variables estructurales del combustible relevantes. Además, muchos de los sistemas de clasificación de modelos de combustible preexistentes fueron diseñados principalmente para su identificación en campo, lo que limita su aplicabilidad en la generación de cartografía a partir de sensores remotos. Esta incompatibilidad ha motivado la búsqueda de nuevos sistemas de clasificación de modelos de combustible y adaptaciones de los existentes compatible con su cartografiado a escala paisaje, como las propuestas en el presente estudio.

2. Objetivos

El presente estudio se llevó a cabo con la finalidad de elaborar un manual que incluyera tres nuevas clasificaciones de modelos de combustible (UCO30, UCO20 y NFFL9) adaptadas a los ecosistemas andaluces partiendo del sistema UCO40 original: i) UCO30 para mejorar los criterios de identificación en campo basado en 3.400 nuevas parcelas de inventario; ii) UCO20 para generación de cartografías a partir de datos LiDAR-PNOA y iii) NFFL9 con modelos de combustible estándar equivalentes a los UCO20 cartografiados. Además, con este trabajo se pretendió actualizar los parámetros de los combustibles de superficie y copas del dosel arbóreo en los tres nuevos sistemas para ser utilizados como variables de entrada en los simuladores de incendios. Por último, se analizó el comportamiento potencial del fuego tanto de superficie como de copas para cada modelo de combustible establecido.

3. Metodología

Área de estudio

El área de estudio del presente trabajo fue la totalidad del territorio de la región mediterránea de Andalucía, al sur de España, cuya superficie total es de 87.597 km². El 65% de esta superficie es forestal y a su vez el 32% es arbolada, el 19% gramíneas y el 14% matorral. Las especies arboladas más abundantes son *Pinus halepensis*, *Pinus pinea*, *Quercus ilex*, *Quercus suber* y las especies de matorral son las del género: *Cistus* sp., *Cytisus*, *Erica* sp., *Ulex* sp.

Inventarios de campo

Se llevaron a cabo tres tipos de inventarios de campo distintos: inventario de modelos de combustible de superficie (IS), inventario del combustible de copas del dosel arbóreo (IA) e inventario destructivo de los modelos de combustible (ID) repartidos por toda Andalucía (Figura 1).

Para establecer las parcelas de estudio en el IS e ID se utilizó como cartografía de referencia la ocupación del suelo suministrada por la plataforma del Sistema de Información sobre el Patrimonio Natural de Andalucía (SIPNA), perteneciente a la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM). Esta fuente de datos nos permitió conocer la distribución, ocupación y estructura de los diferentes grupos de combustible para tener idea del número aproximado y ubicación de las parcelas. Se optó por un diseño de muestreo combinado. Este diseño fue en parte sistemático, empleando como base las cuadrículas de la malla elaborada, y en parte dirigido, localizando las parcelas más densas y representativas dentro de cada cuadrícula.

En los IS en total se establecieron y midieron más de 3.400 parcelas de campo (Figura 1) circulares de 11,3 m de radio, que representan una superficie equivalente de 400 m² (píxel de 20 x 20 m en las cartografías ráster). No obstante, para asegurar que las parcelas de campo eran representativas de cada modelo de combustible, éstas se ubican en zonas homogéneas con una superficie mínima de



3.600 m², equivalente a 9 píxeles de la cartografía ráster 20 x 20 m, para evitar el efecto borde. En cada parcela se localizó el centro y se registraron sus coordenadas con GPS de precisión submétrica y se establecieron dos transectos orientados en los ejes N-S y O-E coincidentes con el diámetro. También se llevaron a cabo sobre éstos mediciones del espesor de hojarasca, las alturas y coberturas de combustible de las diferentes especies presentes. A partir del producto de estas dos últimas, se calculó la altura ponderada del combustible. Por último, en los modelos de combustible de superficie con situaciones arboladas también se realizó una caracterización básica de ese estrato, registrando las especies arboladas, clase natural de edad, fracción de cabida cubierta y continuidad vertical, de cara a distinguir los diferentes grupos de combustible.

En el IA se establecieron y midieron más de 800 parcelas de campo (Figura 1) repartidas entre las 15 formaciones arboladas de mayor relevancia en Andalucía (MARINO et al., 2022ab), por ser las de mayor propensión a incendios y ocupación superficial. Entre esas formaciones seleccionadas se incluyeron especies de los géneros *Pinus* sp, *Eucalyptus* sp. y *Quercus* sp. Las parcelas de IS con arbolado se aprovecharon para llevar a cabo el IA. Adicionalmente se tuvieron que establecer y medir otras parcelas circulares de 15 m para completar el IA teniendo en consideración la variabilidad estructural de las masas dentro de cada formación arbolada seleccionada. En cada parcela del IA, se registraron las coordenadas del centro con el GPS submétrico. Además, se midieron en cada los diámetros normales de todos los árboles de más de 7,5 cm de grosor y las alturas de la base de la copa muerta, viva y total de los cuatro árboles más representativos de la parcela. Estos árboles se seleccionaron en cada uno de los cuatro sectores en los que quedó delimitada la parcela con los dos transectos marcados previamente. A partir de estos datos se determinaron las variables de combustible de copas del dosel arbóreo: carga de combustible disponible (CFL), altura de la base (CBH), densidad aparente (CBD) y distancia entre el estrato del combustible de superficie y del dosel (FSG).

En lo que respecta al ID siguió un diseño de inventario y procedimiento de campo distinto e independiente respecto a los otros dos inventarios, al ser llevado a cabo por el equipo LABIF-UCO que realizó más de 200 parcelas (Figura 1). Una vez localizada el área o rodal de interés con características representativas del combustible a inventariar, se establecieron parcelas circulares de 30 m de diámetro. La unidad de muestreo destructivo se corresponde con un cuadrado de 1 x 1 m (1 m²). El número de cuadrados depende de la variabilidad de la vegetación en la parcela. En cada cuadrado de muestreo se realizan mediciones de altura y cobertura de los combustibles y de la profundidad de hojarasca. Además, se corta y extrae todo el material, diferenciándolo por tipo y fracción de tamaño del combustible, que se encuentre dentro del respectivo cuadrado para poder calcular la carga de combustible tras su procesado y secado en laboratorio.

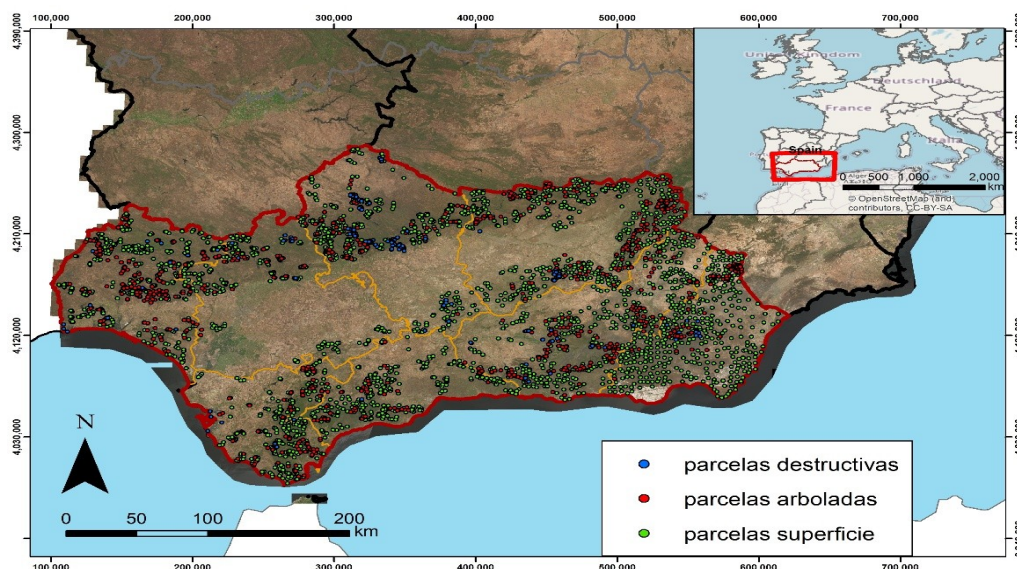


Figura 1. Localización de las parcelas de los tres inventarios de campo: combustible de superficie (IS), destructivo de matorral (ID) y arbolado (IA).

De UCO40 a UCO30: Adaptación de modelos de combustible para inventario de campo

Como punto de partida, y con anterioridad a los trabajos de campo del inventario de superficie, se consultaron las claves y rangos de altura media de los modelos de combustible UCO40 originales. Tras esta revisión se decidió proponer una nueva clave de identificación adaptada (versión UCO30) que es la que se incluye en los resultados del presente estudio y en el manual.

Básicamente, esta adaptación consistió en el establecimiento de unos criterios de identificación objetivos y cuantificables compuestos por variables estructurales del combustible de fácil medición: (i) fracción de cabida cubierta del arbolado; (ii) coberturas del combustible diferenciando entre pastizal, matorral o vegetación; (iii) altura ponderada del pastizal, matorral o vegetación y el espesor de hojarasca y mantillo junto con el espesor de los restos ponderados por su cobertura; (iv) Continuidad horizontal (grupos de combustible desarbolados) o coníferas/frondosas (grupos de combustible arbolados).

Además de los nuevos criterios, se realizaron adaptaciones en los modelos de combustible identificables en campo realizando agrupaciones de algunos de ellos, pasando de los UCO40 a los UCO30. Estos cambios consistieron básicamente en eliminar los criterios o apreciaciones subjetivas compuestas por variables de difícil estimación y/o medición con valores umbrales indeterminados incluidos en la descripción de alguno de los modelos de combustible UCO40 originales. Por lo tanto, al eliminar estos criterios subjetivos se agruparon los modelos que compartían variables estructurales objetivas y de fácil medición.

Datos LiDAR



Los datos LiDAR utilizados se corresponden con los vuelos PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) de la 2ª cobertura realizados sobre Andalucía. Las fechas de los vuelos van desde julio de 2020 hasta mayo de 2021. La densidad de estos datos LIDAR fue de 1,5 pulsos/m² con una precisión horizontal del barrido de 0,3 m y una precisión vertical de 0,15 m.

Los datos LiDAR se procesaron utilizando desarrollos de software propios de Agresta utilizando el paquete lidR (ROUSSEL et al., 2020) del software libre R. El flujo de trabajo para el tratamiento de estos datos es el siguiente: (1) la nube de puntos fue filtrada e interpolada para generar un modelo digital del terreno (DTM) y un modelo digital de superficies (DSM), a partir de los cuales se calcularon las alturas normalizadas de los retornos de la vegetación sobre el suelo; (2) procesado de las métricas procedentes de los retornos de vegetación de la nube de puntos LiDAR en las parcelas. Se calcularon métricas de la distribución vertical de alturas, el número y los porcentajes de los retornos láser para diferentes umbrales de corte de altura: 0,2 m, 2 m, y 4 m.

Comportamiento del fuego

Se construyeron modelos de combustible específicos BURGAN & ROTHERMEL (1984), que se introdujeron en el simulador estático de incendios BehavePlus 6.0 (ANDREWS; 2009) para calcular el comportamiento del fuego de superficie que se incorporó en las fichas de cada modelo de combustible del manual.

Estos modelos específicos necesitan los siguientes parámetros del combustible como variables de entrada: (i) tipo de combustible (SCOTT & BURGAN, 2005); (ii) cargas de combustible muerto de 1h, 10h y 100h, carga de vegetación herbácea viva del G1 y carga de vegetación leñosa viva del G1 (procedentes de los inventarios destructivos de campo); (iii) relación superficie/volumen de 1h, herbáceas y leñosas del G1 (procedente de cálculos realizados en laboratorio con las muestras); (iv) altura del complejo de combustible (FERNANDES, 2009); (v) humedad de extinción (RODRÍGUEZ Y SILVA y MOLINA-MARTÍNEZ, 2012) y (vi) poder calorífico (ELVIRA y HERNANDO, 1989; ANDREWS, 2009).

Además, fue necesario establecer un rango de velocidad de viento, la pendiente del terreno y un escenario de humedad del combustible, tanto para el muerto como para el vivo.

La velocidad del viento se ha estableció como una variable continua en el rango 0-60 km/h, medida a 10 m de altura, fuera de la masa forestal. El valor que utiliza BehavePlus es el viento registrado a media altura de la llama (Midflame Wind Speed). Sin embargo, en este caso se introdujo directamente como variable de entrada la velocidad del viento a 10 m en el exterior y el factor de corrección del viento (Wind Adjustment Factor, WAF) ANDREWS et al. (2012), lo que permite que, a partir de estos dos valores junto con otros parámetros del combustible, el programa determine la velocidad a media altura de llama.

La pendiente del terreno fue definida para tres niveles: terreno llano (0%), pendiente moderada (20%) y pendiente alta (40%).

La humedad del combustible se calculó a partir de la base de datos meteorológicos horarios de los días de incendios históricos con superficie quemada superior a 100 ha para el periodo comprendido entre 1990 y 2020 que nos suministró el INFOCA de la Junta de Andalucía. Las variables incluidas en dicha base fueron la temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección de viento a 10 m. Se decidió definir un escenario de humedad desfavorable calculando para ello el percentil 97 de velocidad de viento y de temperatura (T) y el percentil 3 de humedad relativa (HR) para la totalidad del conjunto de datos. Con estos dos últimos percentiles de T y HR se estimó la humedad del combustible fino muerto (1h), con el modelo de ROTHERMEL (1983), para una situación de agosto a las 14:00 (hora local) y para un combustible expuesto: menos del 50% en sombra. En lo que respecta a la humedad del combustible de 10h y 100h le añadimos a humedad de 1h uno y dos grados porcentuales, respectivamente (CRUZ et al. 2005). En lo que respecta a la humedad del combustible vivo leñoso y foliar se utilizaron los valores mínimos procedentes de los datos de campo tomados por el INFOCA en un dispositivo experimental en Andalucía durante el año 2022 para la jara pringosa (vivo leñoso), pino piñonero y encina (foliar). Por último, para la humedad del combustible vivo herbáceo también se consideró un valor muy desfavorable del 30% ya que por debajo de este valor se consideraría ya combustible muerto. En la Tabla 1 se recoge el escenario resultante de humedades de combustible para todos los grupos de tamaño y estado vegetativo (vivo/muerto) que se utiliza en todas las simulaciones de predicción de comportamiento del fuego.

Tabla 1. Escenario de humedad del combustible muerto (1h, 10h, 100h) y vivo.

Tipo de combustible	Contenido de humedad
1h	4 %
10h	5 %
100h	6 %
Vivo herbáceo	30 %
Vivo leñoso	50 %
Foliar	60 %

A continuación, con todos los parámetros estructurales del combustible, la humedad, la velocidad de viento y la pendiente se calcularon en el módulo de superficie (SURFACE) de BehavePlus 6.0 los principales parámetros descriptivos del comportamiento de un fuego de superficie: la velocidad de propagación (R) a partir del modelo semi-empírico de ROTHERMEL (1972), intensidad lineal (IB) según la ecuación de BYRAM (1959) y longitud de llama (L) en función de la IB.

En cuanto al comportamiento del fuego de copas, se utilizó el modelo de VAN WAGNER (1977), para determinar el inicio de fuego de copas, así como la presencia de fuego pasivo o activo, y el modelo de CRUZ et al. (2005) para estimar la



velocidad de propagación en las situaciones con fuego activo de copas. En este caso, las variables de entrada necesarias para estos modelos son los parámetros del combustible de copas del dosel arbóreo (CBH, FSG, CBD), la humedad foliar, la humedad del combustible fino muerto, la velocidad del viento exterior, la intensidad lineal del fuego de superficie y pendiente del 0%.

4. Resultados

Clave de identificación UCO30

A continuación, en la Figura 2 se presenta la nueva clave de identificación de campo adaptada (versión UCO30) para los 5 grupos de combustible caracterizados. En esta clave se incluyen los diferentes criterios de identificación de todos los grupos y modelos de combustible UCO30 con sus respectivos valores umbrales y rangos de las variables del combustible de fácil estimación y medición. Además, se pueden observar en la clave que modelos de combustible UCO40 fue necesario agrupar dado que conservan el nombre original y están separados se mantiene su nombre original y están separados por una barra (/).

Los dos primeros criterios sirven para identificar el grupo de combustible en cuestión y con el tercero y cuarto se puede determinar el modelo de combustible de superficie. El cuarto criterio difiere según sea un grupo desarbolado (continuidad vertical) o arbolado (diferenciación entre coníferas de acícula larga, corta y frondosas).

Cuando un usuario utilice el manual, en primer lugar, debe siempre consultar la clave inicial para identificar el modelo de combustible de interés, y posteriormente ir a su ficha respectiva correspondiente.

	1º criterio	2º criterio	3º criterio	4º criterio	
P	Pastizal (P) FCC _{urb} < 25 %	Cob _{pas} ≥ 25 % y Cob _{mat} ≤ 20 %	h _{pas_pon} < 30 cm (Muy baja) 30 - 59 cm (Baja) 60 - 79 cm (Media) > 80 cm (Alta)	- Cob_{pas} < 70 % (Discontinuo) - Cob_{pas} ≥ 70 % (Continuo) - Cob_{pas} < 70 % (Discontinuo) - Cob_{pas} ≥ 70 % (Continuo) - Cob_{pas} < 70 % (Discontinuo) - Cob_{pas} ≥ 70 % (Continuo)	- P1 - P2 - P3 - P4 - P5 - P6 - P7 / P8 - P9
PM	Pastizal con matorral (PM) FCC _{urb} < 25 %	a) Cob_{pas} < 25 % y Cob_{mat} 5 - 20 % suman mínimo 25 % b) Cob_{pas} ≥ 15 % y Cob_{mat} 20 - 49 % suman mínimo 25 %	h _{veg_pon} < 70 cm (Baja) ≥ 70 cm (Alta)	- Cob_{veg} < 70 % (Discontinuo) - Cob_{veg} ≥ 70 % (Continuo) - Cob_{veg} < 70 % (Discontinuo) - Cob_{veg} ≥ 70 % (Continuo)	- PM1 - PM3 - PM2 - PM4
M	Matorral (M) FCC _{urb} < 25 %	a) Cob_{mat} 21 - 49 % y Cob_{pas} < 15 % suman mínimo 25 % b) Cob_{mat} ≥ 50 %	h _{mat_pon} < 50 cm (Baja) 50 - 129 cm (Media) ≥ 130 cm (Alta)	- Cob_{mat} < 70 % (Discontinuo) - Cob_{mat} ≥ 70 % (Continuo) - Cob_{mat} < 70 % (Discontinuo) - Cob_{mat} ≥ 70 % (Continuo)	- M1 - M2 - M6 - M3 / M4 / M8 - M5 / M7 / M9
HPM	Hojarasca con pastizal/matorral (HPM) FCC _{urb} ≥ 25 %	Cob _{veg} ≥ 25 %	h _{veg_pon} < 60 cm (Baja) 60 - 110 cm (Media) ≥ 110 cm (Alta)	- Conifera - Frondosa - Conifera - Frondosa	- HPM1 - HPM2 - HPM4 - HPM3 - HPM5
HR	Hojarasca con restos (HR) FCC _{urb} ≥ 25 %	Cob _{veg} < 25 %	h _{hoj_y_rest_pon} < 3 cm 3 - 6 cm < 6 cm 6 - 10 cm ≥ 10 cm	- Masas recientemente quemadas - Frondosa - Frondosa - Conifera - Frondosa - Conifera - Restos	- HR1 - HR2 - HR4 - HR3 - HR5 / HR7 - HR6 - HR8 - HR9

Figura 2. Clave de identificación de los modelos de combustible de superficie UCO30.

Fichas de caracterización del combustible y comportamiento del fuego UCO30

Se elaboró un conjunto de fichas técnicas de caracterización de los modelos de combustible y comportamiento del fuego asociado para cada uno de los grupos de la versión UCO30. Las fichas incorporan los parámetros actualizados del combustible de superficie y del dosel de copas derivados de 200 parcelas destructivas y 800 parcelas de inventario de arbolado.

Además, estas fichas incluyen en la parte izquierda una fotografía general y los parámetros del combustible de superficie (modelos de combustible desarbolados y arbolados) y del dosel arbóreo de copas (modelos de combustible arbolados). Cabe destacar que los parámetros del combustible de superficie resultantes proceden de los inventarios destructivos.

En la parte derecha se incorporan el comportamiento del fuego con las gráficas de velocidad de propagación, longitud de llama e intensidad lineal (modelos desarbolados) o velocidad de propagación del fuego de copas (modelos arbolados). Para estimar cualquiera estas variables de comportamiento, basta con seleccionar la velocidad de viento exterior a 10 m (eje X) y la curva de pendiente y consultar el valor de dicha variable (eje Y). La excepción es la gráfica que integra el comportamiento del fuego de superficie y de copas en las fichas arboladas, en las que, para estimar la velocidad de propagación, también se empieza seleccionando la velocidad de viento exterior a 10 m (eje X) hasta cortar con la curva del fuego de superficie y la curva del CBD que se quiera consultar (valor mínimo, promedio y máximo). Desde cada una de estas dos curvas se trazará una línea horizontal hacia la izquierda hasta el eje Y para consultar el valor de la velocidad de propagación del fuego de superficie y el del fuego de copas, teniendo finalmente un rango de velocidades entre los dos tipos de fuego.

Por último, se pueden consultar un par de fichas a modo de ejemplo, el modelo de combustible desarbolado M2 (Figura 3) y el modelo arbolado HPM4 (Figura 4). En los siguientes apartados se detallan los contenidos y se comenta la interpretación de las gráficas de comportamiento del fuego incluidas en las fichas.



Figura 3. Ficha de modelo de combustible de matorral M2.

HPM4



Parámetros del combustible

Dinámico	Altura del complejo, m		0.83
	Carga, t/ha	Relación S/V, m ⁻¹	Humedad de extinción, %
1-h	7.69	6.495	25
10-h	2.33	—	
100-h	0.85	—	Poder calorífico, kJ/kg
Vivo herbáceo	—	—	19.958
Vivo leñoso	5.32	6.016	
CFL, t/ha	CBH, m	CBD, kg/m ²	FSG, m
11.93(2.26-34.59)	3.53(0.15-10.00)	0.17(0.05-0.51)	2.72(0.00-9.17)
			FCC, %
			63(25-90)

104

Comportamiento del fuego

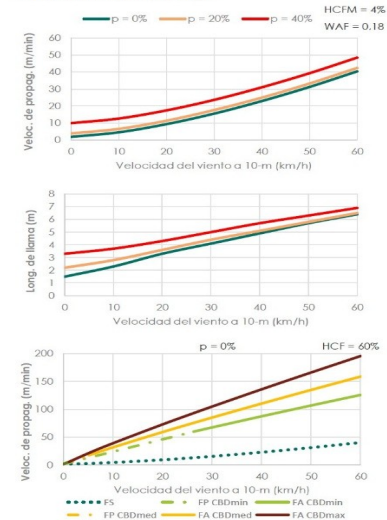


Figura 4. Ficha de modelo de combustible arbolado HPM4.

De UCO30 a UCO20: Adaptación de modelos de combustible para la cartografía

Se trató inicialmente de cartografiar con tecnología LiDAR los 30 modelos de combustibles identificados en campo (UCO30), pero no fue posible diferenciarlos todos debido a las siguientes limitaciones del sensor:

- Imposibilidad de diferenciar entre las coberturas de matorral, pastizal y/o vegetación con mezcla de ambas.
- Imposibilidad de estimar el espesor de hojarasca y mantillo.
- Dificultad a la hora de estimar la altura del pasto, debido entre otros motivos a la gran variación temporal de las herbáceas a lo largo del año.

Sin embargo, si se exploró la búsqueda de relaciones entre las variables estructurales del combustible de fácil medición procedentes de los inventarios de campo y las respectivas métricas LiDAR (Apartado 3). Como resultado si se pudo estimar con las métricas LIDAR la fracción de cabida cubierta del arbolado, así como de la vegetación del estrato inferior (combustibles de superficie), necesario para calcular la altura ponderada del combustible con precisiones aceptables. Más detalle sobre la elaboración de cartografías con LiDAR se puede consultar en el artículo de MARINO et al. (2023).

Finalmente, respecto a la versión de campo UCO30 se tuvieron que realizar nuevas agrupaciones y cambios. El resultado es una nueva versión con 20 modelos de combustible de superficie, UCO20 (Tabla 2) utilizada para generar las cartografías derivadas de LIDAR. Los modelos UCO20 que se tuvieron que agrupar tienen una caracterización y parametrización derivada de los promedios de los modelos UCO30, que se puede consultar en sus respectivas fichas del manual.

De UCO20 a NFFL9: Adaptación de modelos de combustible para la cartografía

Para generar esta versión de la cartografía, denominada como NFFL9, se realizaron comparaciones entre los parámetros del combustible de los modelos UCO20 (versión cartográfica) y los parámetros estándar de los 13 modelos de combustible del sistema NFFL con el fin de establecer equivalencias (Tabla 2) según las similitudes entre los valores de estos parámetros en ambas clasificaciones. Los modelos NFFL9 contienen una caracterización y parametrización específica de Andalucía, procedente de los promedios de los modelos UCO20, y que se puede consultar en sus fichas del manual.

Tabla 2. Tabla 13 Tabla de equivalencias entre los modelos de combustible UCO20 (versión cartográfica) y los 13 modelos de combustible del sistema NFFL.

NFFL9	UCO20
1	P1/P2, P3/P4/P5/P6/P7/P8
2	PM1/PM3, PM2/PM4
3	P9
4	M5/M7/M9, HPM5
5	M1/M2
6	M3/M4, M6, M8
7	HPM1, HPM2, HPM3, HPM4
8	HR1, HR3
9	HR2/HR4, HR6, HR5/HR7/HR8/HR9

Finalmente, en la Figura 5 se muestra un diagrama que recoge los tres sistemas de clasificación desarrollados en el presente trabajo, a partir del sistema UCO40 original.



Figura 5. Diagrama de flujo de los diferentes sistemas de clasificación de modelos de combustibles obtenidos a partir del sistema UCO40.

5. Discusión

A diferencia de la clasificación UCO40, que incluía criterios cualitativos subjetivos y variables complicadas de cuantificar con algunos valores umbrales indeterminados, en la clave de identificación del sistema UCO30 se incorporan criterios objetivos de variables estructurales del combustible fácilmente medibles. Concretamente, las principales novedades del sistema UCO30 reside en la adopción de la fracción de cabida cubierta del arbolado (FCC) y las coberturas de la vegetación como primer y segundo criterio diferenciador del grupo de combustible. Adicionalmente, en el tercer criterio se sustituye la altura media del combustible por la altura ponderada por la cobertura, siendo esta última la variable de mayor importancia para determinar el modelo de combustible. Aunque el cálculo de la altura ponderada pueda parecer complicado, se ha incluido una tabla de doble entrada (altura x cobertura) en el manual para facilitar su obtención. Además, se ha comprobado que esta variable presenta una mejor relación con las cargas de combustible y se ajusta de manera más precisa a las métricas LiDAR, en comparación con la altura media, lo que resulta en una cartografía de combustibles más detallada. Gracias a la calibración realizada en los valores umbrales de las variables del combustible a partir de las mediciones de campo llevadas a cabo en las numerosas parcelas del inventario de combustible de superficie, se han logrado mejoras significativas. Estas mejoras permiten reducir el tiempo invertido en la identificación de los modelos de combustible, ya que cualquier usuario podría determinar el modelo correspondiente de forma fluida e intuitiva, mediante la clave de identificación elaborada, sin necesidad de tener que memorizar la totalidad de situaciones.

La incorporación de un inventario detallado del combustible de copas del dosel arbóreo, basado en un gran volumen de parcelas, ha sido relevante para incluir estas variables del dosel (CBH, FSG, CFL, CBD y FCC) para cada modelo de combustible en las fichas del manual. Además, este inventario fue la base para la generación de la cartografía del combustible de copas en otros trabajos (MARINO et al., 2022b).

Si bien la tecnología LiDAR resultó ser una herramienta valiosa y clave para generar cartografía de los modelos de combustible, se identificaron algunas limitaciones. La dificultad para diferenciar entre coberturas de matorral, pastizal y mezclas de ambas, así como la imposibilidad de estimar el espesor de hojarasca y mantillo y la altura del pasto, especialmente en periodos de alta variabilidad, restringieron los modelos de combustible identificable. Por lo tanto, para superar estas limitaciones y obtener una cartografía más precisa, se hizo necesaria realizar una nueva agrupación de los modelos UCO30, dando lugar a la versión UCO20 cartografiable con LiDAR.



Para facilitar la integración con los simuladores de comportamiento del fuego que siguen utilizando los 13 modelos estándar y para tener una versión con parámetros específicos para Andalucía, se desarrolló el sistema NFFL9, procedente de la agrupación de los UCO20 por asignación directa. Aunque esta simplificación conlleva una pérdida de detalle en la caracterización y parametrización de los modelos de combustible, la mejora en la precisión de la cartografía que se podría obtener da lugar a que este sistema también sea de utilidad.

El sistema UCO40, es una adaptación de los modelos de Scott & Burgan americanos y sus parámetros descriptivos a la realidad de los combustibles presentes en la región de Andalucía. Por lo que tanto el sistema UCO40 como los tres propuestos pueden ser utilizados en otras áreas mediterráneas con combustibles similares. De todas formas, aunque la metodología es replicable puede ser recomendable generar parámetros de combustible específicos para la región en cuestión.

Estos tres sistemas de clasificación de modelos de combustible de superficie identificados y caracterizados en detalle en su clave y respectivas fichas del presente manual (UCO30, UCO20 y NFFL) supondrán un avance tanto para su identificación en campo como en la generación de una cartografía más detallada y precisas a escala paisaje. Otros aspectos destacados del trabajo son, por un lado, la actualización de los parámetros del combustible, basados en las más de 200 parcelas de inventarios destructivos, para todos los modelos de combustible de los tres sistemas propuestos. Por otro, el gran valor añadido que aportan las gráficas de comportamiento de fuego asociadas a cada modelo de combustible. Toda esta información resultará de utilidad para evaluar el riesgo de incendios y desarrollar estrategias de prevención y extinción más eficaces en los ecosistemas mediterráneos.

Por último, existen numerosas oportunidades para futuras investigaciones en el campo de la modelización de combustibles. Entre ellas, se destacan: (i) la exploración de nuevas clasificaciones de modelos de combustible basadas en características estructurales y de comportamiento del fuego; (ii) la utilización de sensores remotos de mayor resolución para mejorar la precisión de las clasificaciones de modelos de combustible; (iii) la aplicación de técnicas estadísticas como por ejemplo las de aprendizaje automático para optimizar las clasificaciones y los modelos de estimación de las variables del combustible; (iv) la automatización de los procesos de actualización de cartografía de combustibles para detectar los cambios espaciales; (v) la calibración de los parámetros específicos de los combustible en las diferentes regiones para las ecuaciones de comportamiento de fuego actuales incluidas en los simuladores; y vi) y el desarrollo de nuevas ecuaciones de comportamiento del fuego para ser implementadas en los simuladores y que permitan que permitan utilizar directamente los parámetros de combustible medidos en campo, eliminando la necesidad de calibración.



6. Conclusiones

Los sistemas de clasificación de los modelos de combustible de superficie propuestos en el manual (UCO 30, UCO20 y NFFL20), con su respectiva clave y fichas, han permitido facilitar su identificación en campo y generar cartografía detallada a escala de paisaje.

Además, la actualización de los parámetros del combustible de superficie y de copas del dosel arbóreo en los tres sistemas garantiza su aplicabilidad como variables de entrada en los simuladores de comportamiento del fuego, lo que permite realizar predicciones más precisas.

Por último, el análisis el comportamiento potencial del fuego tanto de superficie como el de copas incluido como gráfica en las fichas proporciona una herramienta de formación para los gestores forestales y de incendios, de utilidad para fines preventivos y de mitigación del riesgo de incendios en la región mediterránea.

7. Agradecimientos

Nuestro reconocimiento a los responsables, técnicos y agentes medioambientales de las distintas Delegaciones Territoriales de la Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural (CAPGDS) y de la Agencia de Medio Ambiente y Agua (AMAYA), por facilitarnos información previa, así como el apoyo en el acceso a los montes. Por supuesto, a todos los propietarios y gestores de los montes privados particulares, de los Ayuntamientos y de Ministerio de Defensa por facilitarnos los accesos a sus montes. Mención especial también merecen los compañeros/as de Agresta y a las personas contratadas que colaboraron en diferentes fases relacionadas con el trabajo de campo y la generación de algunos datos relevantes, así como al personal del equipo de incendios de la UCO por su apoyo en laboratorio. Por último, los autores agradecen la colaboración de la REDIAM de Andalucía y del IGN en la facilitación de los datos LiDAR.

En lo que respecta a la financiación, el presente estudio fue desarrollado en el marco del servicio “NET872330 – Modelización del combustible forestal” dentro del marco del proyecto CILIFO (Centro Ibérico para la Investigación y Lucha contra Incendios Forestales), cofinanciado por la Junta de Andalucía y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional FEDER dentro del programa Interreg V A España – Portugal (POCTEP) 2014-2020.

Por último, la participación del primer autor; Stéfano Arellano Pérez en este artículo ha sido financiado por la ayuda PTQ2021-012150 otorgada por el MCIN/AEI / 10.13039/501100011033.

8. Bibliografía



ANDERSON, H. E.; 1982. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. Gen. Tech. Rep. INT-122. Ogden, Utah: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 22 p. <https://doi.org/10.2737/INT-GTR-122>

ANDREWS P.L.; 2009. BehavePlus fire modeling system, version 5.0: Variables. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-213 Revised. Fort Collins, CO: Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 111 p.

ARAGONESES, E.; GARCÍA, M.; SALIS, M.; RIBEIRO, L. M.; CHUVIECO, E.; 2023. Classification and mapping of European fuels using a hierarchical, multipurpose fuel classification system. *Earth Syst. S*

ARELLANO, S.; VEGA, J. A.; RUÍZ, A. D.; ARELLANO, A.; ÁLVAREZ, J. G.; VEGA, D.; PÉREZ, E.; 2017a. Foto-guía de combustibles forestales de Galicia y comportamiento del fuego asociado. Andavira Editora S. L.

ARELLANO-PÉREZ, S.; VEGA HIDALGO, J. A.; RUÍZ-GONZÁLEZ, A. D.; ARELLANO-MANCILLA, A.; ÁLVAREZ GONZALEZ, J. G.; VEGA-NIEVA, D.; PÉREZ-LAÍNS, E.; 2017b. Foto-guía de combustibles forestales de Galicia: combinando inventarios, imágenes y comportamiento del fuego. En: Actas Del 7o Congreso Forestal Español “Gestión Del Monte: Servicios Ambientales y Bioeconomía”. 7CFE01-444, 12 Pp. ISBN 978-84-941695-2-6.

BURGAN, R. E.; ROTHERMEL, R. C.; 1984. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system--FUEL subsystem. General Technical Report INT-167. Ogden, UT: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 126 p. <https://doi.org/10.2737/INT-GTR-167>

BYRAM, G. M.; 1959. Combustion of Forest Fuels. In K. P. Davis (Ed.), Forest fire: control and use (Vol. 42, Issue 3, pp. 61–89). New York, NY: McGraw-Hill. <https://doi.org/10.2307/1932261>

CHUVIECO, E.; RIAÑO, D.; VAN WAGTENDOK, J.; MORSDOF, F.; 2003. Fuel Loads and Fuel Type Mapping. 119–142. https://doi.org/10.1142/9789812791177_0005

CRUZ, M. G.; ALEXANDER, M. E.; WAKIMOTO, R. H.; 2005. Development and testing of models for predicting crown fire rate of spread in conifer forest stands. Canadian Journal of Forest Research, 35(7), 1626–1639. <https://doi.org/10.1139/x05-085>

DOMINGO, D.; DE LA RIVA, J.; LAMELAS, M. T.; GARCÍA-MARTÍN, A.; IBARRA, P.; ECHEVERRÍA, M.; HOFFRÉN, R.; 2020. Fuel Type Classification Using Airborne Laser Scanning and Sentinel 2 Data in Mediterranean Forest Affected by Wildfire.



Remote Sensing, 12(3660), 1–22. <https://doi.org/10.3390/rs12213660>

ELVIRA MARTÍN, L. M.; HERNANDO LARA, C.; 1989. Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque. (Estudio piloto con aplicación a los incendios forestales). Colección Monografías INIA, no 68. Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.

EUROPEAN COMMISSION.; 1999. Prometheus S.V. Project. Management techniques for optimization of suppression and minimization of wildfire effects. System validation.

FERNANDES, P. M.; 2009. Combining forest structure data and fuel modelling to classify fire hazard in Portugal. *Annals of Forest Science*, 66(4), 415–415. <https://doi.org/10.1051/forest/2009013>

HOFFRÉN, R.; LAMELAS, M. T.; DE LA RIVA, J.; DOMINGO, D.; MONTEALEGRE, A. L.; GARCÍA-MARTÍN, A.; REVILLA, S.; 2023. Assessing GEDI-NASA system for forest fuels classification using machine learning techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 116(December 2022). <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103175>

ICONA.; 1987. Clave fotográfica para la identificación de modelos de combustible. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto para la Conservación de la Naturaleza, Madrid.

KEANE, R. E.; 2015. *Wildland fuel fundamentals and applications*. New York, US: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-09015-3>

KEANE, R. E.; MINCEMOYER, S. A.; SCHMIDT, K. M.; LONG, D. G.; GARNER, J. L.; 2000. Mapping Vegetation and Fuels for Fire Management on the Gila National Forest Complex, New Mexico, [CD-ROM]. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-46-CD. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 126 p.

MARINO, E.; RANZ, P.; TOMÉ, J. L.; NORIEGA, M. Á.; ESTEBAN, J.; MADRIGAL, J.; 2016. Generation of high-resolution fuel model maps from discrete airborne laser scanner and Landsat-8 OLI: A low-cost and highly updated methodology for large areas. *Remote Sensing of Environment*, 187, 267–280. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.10.020>

MARINO DEL AMO, E.; ARELLANO PÉREZ, S.; TOMÉ MORÁN, J. L.; MARTÍN ALCÓN, S.; LOBO SÁNCHEZ, A.; RODRÍGUEZ Y SILVA, F.; ROMERO ROMERO, D.; ROMERO MORATO, A.; SENRA RIVERO, F.; CASTELLÓ PALAZÓN, F. J.; 2022a. Caracterización y modelización de combustibles forestales en Andalucía: generación de



cartografías de alta resolución e integración en la plataforma SIPNA en el marco del proyecto CILIFO. 8o Congreso Forestal Español: “La Ciencia Forestal y Su Contribución a Los Objetivos de Desarrollo Sostenible,” 14.

MARINO, E.; ARELLANO-PÉREZ, S.; MARTÍN-ALCÓN, S.; TOMÉ, J. L.; 2022b. Canopy fuel modelling in Mediterranean forest stands with airborne LiDAR data at regional scale: preliminary results. In D. X. Viegas & L. M. Ribeiro (Eds.), *Advances in Forest Fire Research 2022* (pp. 1416–1422). ADAI/CIEF. Imprensa da Universidade de Coimbra. https://doi.org/10.14195/978-989-26-2298-9_215

MARINO, E.; ARELLANO, S.; TOMÉ, J. L.; MARTÍN, S.; MOLINA, J. R.; ROMERO, D.; ROMERO, A.; SENRA, F.; CASTELLÓ, F. J.; 2023. Proyecto CILIFO: Modelización de combustibles forestales y cartografías de alta resolución. *Revista Incendios y Riesgos Naturales*, Julio 2023(10), 47–49.

QUÍLEZ-MORAGA, R.; REDON, C.; 2013. Modelos de combustible en la provincia de Valencia. En *Actas Del 6o Congreso Forestal Español “Montes: Servicios y Desarrollo Rural”*. Vitoria-Gasteiz (España), 10-14/06/2013., 9.

RIANO, D.; CHUVIECO, E.; USTIN, S. L.; SALAS, J.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. R.; RIBEIRO, L. M.; VIEGAS, D. X.; MORENO, J. M.; FERNÁNDEZ, H.; 2007. Estimation of shrub height for fuel-type mapping combining airborne LiDAR and simultaneous color infrared ortho imaging. *International Journal of Wildland Fire*, 16(3), 341–348. <https://doi.org/10.1071/WF06003>

RODRÍGUEZ Y SILVA, F.; MOLINA MARTÍNEZ, J. R.; 2010. Manual técnico para la modelización de la combustibilidad asociada a los ecosistemas forestales mediterráneos. Universidad de Córdoba. Laboratorio de Defensa contra Incendios Forestales.

RODRÍGUEZ Y SILVA, F.; MOLINA-MARTÍNEZ, J. R.; 2012. Modeling Mediterranean forest fuels by integrating field data and mapping tools. *European Journal of Forest Research*, 131(3), 571–582. <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0532-2>

ROTHERMEL, R. C.; 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. Gen. Tech. Rep. INT-143. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 161 p.

ROTHERMEL, R. C.; 1972. A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels. Res. Pap. INT-115. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 40 p.

ROUSSEL, J. R.; AUTY, D.; COOPS, N. C.; TOMPALSKI, P.; GOODBODY, T. R. H.; MEADOR, A. S.; BOURDON, J. F.; DE BOISSIEU, F.; ACHIM, A.; 2020. lidR: An R package for analysis of Airborne Laser Scanning (ALS) data. *Remote Sensing of*



Environment, 251(August), 112061. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112061>

SÁ, A. C. L.; BENALI, A.; APARICIO, B. A.; BRUNI, C.; MOTA, C.; PEREIRA, J. M. C.; FERNANDES, P. M.; 2023. A method to produce a flexible and customized fuel models dataset. *MethodsX*, 10(January). <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102218>

SCOTT, J. H.; BURGAN, R. E.; 2005. Standard fire behavior fuel models: A comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 72 p. <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-153>

VAN WAGNER, C. E.; 1977. Conditions for the start and spread of crown fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 7(1), 23–34. <https://doi.org/10.1139/x77-004>

VEGA HIDALGO, J. A.; ARELLANO-PÉREZ, S.; RUÍZ-GONZÁLEZ, A. D.; & ARELLANO MANCILLA, A.; 2013. Nuevos Modelos de Combustibles Forestales de Galicia. En: *Actas Del 6o Congreso Forestal Español “Montes: Servicios y Desarrollo Rural”*. 6CFE01-318, 13 Pp. ISBN 978-84-937964-9-5, 13.

VEGA, J. A.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J. G.; ARELLANO-PÉREZ, S.; FERNÁNDEZ, C.; CUIÑAS, P.; JIMÉNEZ, E.; FERNÁNDEZ-ALONSO, J. M.; FONTÚRBEL, T.; ALONSO-REGO, C.; RUIZ-GONZÁLEZ, A. D.; 2024. Developing customized fuel models for shrub and bracken communities in Galicia (NW Spain). *Journal of Environmental Management*, 351(119831), 13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119831>