



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-403

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Aspectos clave para la gestión de la prevención de incendios forestales. Aplicación al Macizo de Maluenda (Zaragoza)

PASAMAR ESCUDERO, A.¹, PLANELLES GONZÁLEZ, R.¹ y LÓPEZ DEL RÍO, R.²

¹ Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S.I Montes, Forestal y del Medio Natural.

² Dirección General de Gestión Forestal de Aragón.

Resumen

Este trabajo desarrolla una metodología para la aplicación del régimen de incendios de Aragón. Se resumen los aspectos clave para el desarrollo de una estrategia preventiva y el diseño de trabajos preventivos considerando el régimen de incendios de Aragón a una escala de macizo forestal. Para ello se ha aplicado la metodología en el macizo forestal de Maluenda (Zaragoza), en la que se diferencian cuatro fases. La primera fase determina el incendio de diseño a partir de los incendios históricos, el incendio tipo y las situaciones sinópticas; la segunda fase localiza las Zonas Estratégicas de Gestión a partir de la simulación del incendio de diseño y la priorización de nodos; la tercera fase estima el comportamiento del fuego según la metodología Campbell, y por último, se resumen todos los aspectos clave en una ficha que es el documento a entregar al encargado de la gestión preventiva de la Diputación de Zaragoza. La ficha tiene el objetivo de orientar las próximas decisiones hacia la máxima eficiencia en la realización y ubicación de los trabajos preventivos.

Palabras clave

Planificación, estrategia, eficiencia.

1. Introducción

El régimen de incendios actual está marcado por el cambio climático, el éxodo rural, la acumulación de biomasa, el aumento de superficie forestal y el aumento de inversión y eficiencia de los servicios de extinción. Así, en Aragón el 0,32% de los incendios representan tres cuartas partes de la superficie total afectada (MAGRAMA et al., 2012), evidenciando la problemática de que sólo ciertos incendios, bajo ciertas condiciones sinópticas concretas, son la amenaza principal.

El punto de partida de este trabajo es la aplicación del régimen de incendios de Aragón realizado por la Dirección General de Gestión Forestal de Aragón (DGGF, 2015). Este estudio analiza los incendios superiores a 50 hectáreas en los últimos cuarenta años. El resultado es la clasificación por zonas de los incendios tipo y las situaciones sinópticas más probables de convertirse en un gran incendio forestal (GIF).

Bajo la premisa de la imposibilidad de actuación en todo el territorio forestal por el elevado costo de las actuaciones preventivas, este trabajo trata de aportar un pequeño paso metodológico para la aplicación de una gestión basada en el régimen de incendios.

A lo largo del trabajo se mostrará la metodología desarrollada con aplicación a un ejemplo concreto, el macizo forestal de Maluenda (Zaragoza). El macizo de Maluenda es un pinar de repoblación de pino carrasco de 1.717 hectáreas situado en la zona más septentrional de la Sierra de Atea, en el valle del Río Jiloca en la provincia de Zaragoza.

2. Objetivos

El objetivo general es desarrollar una metodología que sirva como herramienta de planificación para establecer los trabajos preventivos con criterios de eficiencia frente a la problemática actual de los GIF. Esto implicará previamente alcanzar los siguientes objetivos particulares para el macizo de Maluenda:

- a) Diagnóstico general del macizo forestal.
- b) Caracterización del Incendio de Diseño.
- c) Localización de las Zonas Estratégicas de Gestión.
- d) Evaluación del comportamiento del incendio de diseño.

3. Metodología

Con la intención de alcanzar los objetivos propuestos se estructura el trabajo en cuatro fases:

- I. Análisis y diagnóstico del ámbito de estudio destacando aspectos que puedan condicionar el diseño y ejecución de trabajos selvícolas.

Por medio de visitas a campo y análisis de información existente se evalúa el estado del macizo forestal frente al incendio tipo más severo. Los aspectos a evaluar son; medio socioeconómico, medio físico, clima, orografía, vegetación e infraestructuras de prevención como puntos de agua, áreas cortafuego, pistas forestales y carreteras.

- II. Caracterización del incendio de diseño.

Este apartado tiene el objetivo de caracterizar los pilares que definirán el incendio de diseño más severo y probable en el macizo forestal de Maluenda. Para ello se describirán las situaciones sinópticas, el incendio tipo y los incendios históricos.

- a) La situación sinóptica es el escenario meteorológico bajo el que se han quemado más hectáreas en la zona según el régimen de incendios de Aragón.
- b) El incendio tipo es el patrón de propagación de los incendios históricos que más hectáreas han quemado en la zona.
- c) Los incendios históricos definen el régimen de incendios y caracterizará el incendio de diseño más severo y probable del macizo forestal.

El incendio de Valtorres (2009) será analizado al ser un macizo forestal muy parecido y las situaciones sinópticas de este incendio coincidir con el régimen de incendios.

- III. Localización de las Zonas Estratégicas de Gestión (ZEG de ahora en adelante) a través de la simulación del incendio de diseño.

La metodología para calcular las ZEG está basada en los trabajos de Alvaro Escrig (ESCRIG et al., 2013) para encontrar los PEG en el plan de prevención de incendios forestales de la Reserva Valenciana de Caza de la Muela de Cortes, también existe un trabajo fin de máster de Eduardo Calabuig (CALABUIG et al., 2015) en la misma línea.

La localización de las Zonas Estratégicas de Gestión se realizará mediante la simulación del incendio de diseño y sus valores meteorológicos de modo que se localizarán los enclaves que tiene el potencial de quemar una superficie mayor.

Como se observa en la figura 1 el primer paso de la metodología será simular el entorno físico del incendio para su posterior simulación. Para ello se creará un archivo de paisaje (.lcp) con la extensión ArcFUEL de ArcGIS. El archivo de paisaje (.lcp) une el Modelo Digital de Elevaciones y el modelo de combustibles. Simulando en un mismo archivo la topografía y el dosel arbóreo. El archivo de paisaje (.lcp) y los valores meteorológicos de las situaciones sinópticas descritas en el apartado anterior serán la base para la simulación en el programa FlamMap. El FlamMap es un simulador de incendios estático que incluye la herramienta de Minimum Travel Time que simula el crecimiento del fuego buscando los nodos de tiempo de recorrido mínimo que

tarda el incendio en viajar de celda a celda en una red bidimensional, de manera que muestra los caminos por donde el fuego se propagará más rápido.

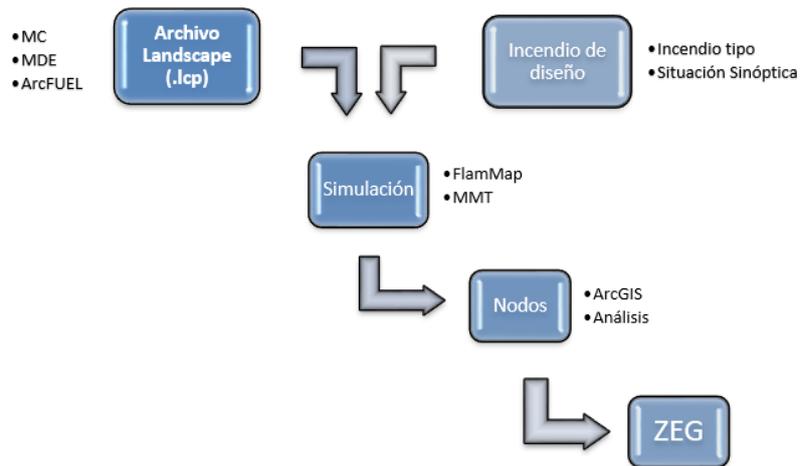


Figura 1: Proceso de desarrollo de la metodología de identificación de las ZEG (Zonas Estratégicas de Gestión). MC (Modelo de Combustible) y MDE (Modelo Digital de Elevaciones). Fuente: Elaboración propia.

A partir de la unión de nodos el programa simula los caminos de tiempo de recorrido mínimo del fuego, para posteriormente realizar una priorización en función del número de ramificaciones de cada nodo y el potencial de superficie quemada. Una vez priorizados los nodos como se observa en el diagrama de flujo de la figura 2 se realiza un análisis estadístico en el programa ArcGIS obteniendo el mapa de las Zonas Estratégicas de Gestión

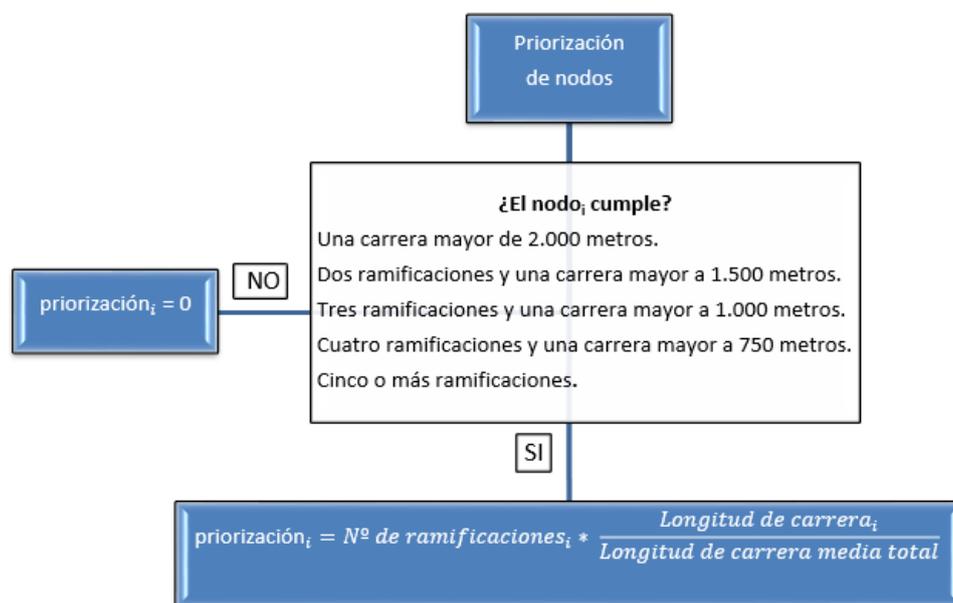


Figura 2: Diagrama de flujo de priorización de nodos. Fuente: Elaboración propia.

IV. Aplicación de “Campell Prediction System” para estimar el comportamiento del fuego.

La estimación del comportamiento del incendio forestal en el macizo forestal de Maluenda está basada en el sistema de predicción Campbell (CPS). El CPS estima el comportamiento del incendio a través de tres factores viento, pendiente y orientación. En este proyecto se añade el factor alineamiento viento-pendiente, mediante la simulación con WindNinja del viento general (situación sinóptica) a viento local. Se localizan las celdas donde viento y pendiente están

alineados con menos de 45 grados. La alineación o no de cada factor se determinan en función del valor de cada celda como se muestra en la tabla 1, los factores son:

- Factor orientación, se considera en función de su exposición y se tiene en cuenta el factor en las solanas.
- Factor pendiente, a partir de un 20% de pendiente este factor se tiene en cuenta.
- Factor velocidad del viento, si el viento es superior a 15 km/h el factor se tiene en cuenta.
- Factor alineamiento viento - pdt, este factor representa la diferencia entre la orientación y la dirección del viento de modo que cuando estos dos factores trabajen con una diferencia inferior a 45° grados se tiene en cuenta el factor.

Tabla 1: El valor de cada celda del factor a partir del cual es considerado como 0 o 1 para su posterior suma de factores y ver la alineación de estos en cada celda. Fuente: Elaboración propia.

Factor orientación (grados)	Valor orientación	Factor pendiente (%)	Valor pendiente	Factor velocidad del viento (km/h)	Valor viento	Factor alineamiento viento - pdt (grados)	Valor alineación
120 - 240	1	>20	1	>15	1	<45	1
240 - 120	0	<20	0	<15	0	>45	0

El mapa Campbell o de comportamiento del fuego se obtiene a través del análisis en el programa ArcGIS de cuatro mapas raster, uno para cada factor. Para obtener el mapa del comportamiento del fuego se sumarán los cuatro factores que están representados en las cuatro capas raster que tienen valores de 0 o 1 según lo especificado en la tabla 1. La herramienta *raster calculator* permite sumar los cuatros valores en una capa de manera que el resultado es el mapa del comportamiento del fuego que tiene valores entre 0 y 4.

4. Resultados

El resultado final del trabajo es la elaboración de la ficha del macizo de Maluenda, que sirve al gestor del Servicio Provincial de Zaragoza como apoyo en la toma de decisiones sobre los trabajos preventivos frente a incendios forestales. Además, como paso previo, se han obtenido tres resultados particulares; El incendio de diseño, Mapa de Zonas Estratégicas de Gestión (ZEG) y Mapa del comportamiento del fuego.

El análisis de la topografía, del modelo de combustibles y del régimen de incendios de Aragón define al incendio de diseño, es decir el incendio más severo y probable. El incendio de diseño es un incendio convectivo con viento de dirección del suroeste en un macizo con 6 cuencas topográficas con sus cuerdas orientadas perpendicularmente a la dirección del incendio, donde el mayor peligro es el paveseo que hará peligrosas carreras de contravientos y aumentará en gran medida la superficie forestal afectada al entrar en nuevas cuencas topográficas.

Por ello se recomienda; Reducir la biomasa en laderas sur y oeste con el objetivo de evitar el paveseo y aumentar la altura de la primera rama y la disminución del matorral bajo arbolado para evitar el fuego de copas.

El mapa de Zonas Estratégicas de Gestión se elabora a través de la simulación de doce incendios de diseño en 12 ubicaciones distintas, la obtención de nodos y su priorización. La media de superficie quemada en las doce simulaciones del incendio de diseño es de 835 ha. En

la figura 3 se representan los nodos obtenidos de las doce simulaciones, que suman un total de 3041 nodos.

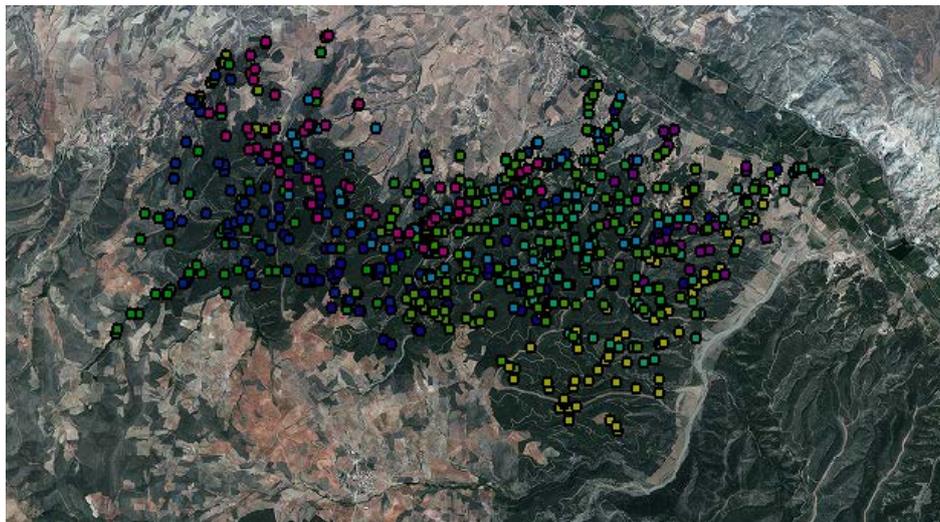


Figura 3: Mapa de los nodos obtenidos a partir de doce simulaciones en el Macizo de Maluenda. Fuente: Elaboración propia.

El resultado de la priorización de nodos es; un total de 1.827 nodos no cumplen las condiciones para ser priorizados, un total de 1.214 nodos cumplen las condiciones para ser priorizados. Los valores de los nodos tienen; un valor mínimo de 1,26, un valor máximo de 9,70 y valor medio de 4,10

El análisis geo-estadístico aplicando el método *empirical bayesian kriging* a la capa de nodos da como resultado el mapa de la figura 4 que es la predicción de los valores de nodos en la superficie de trabajo.

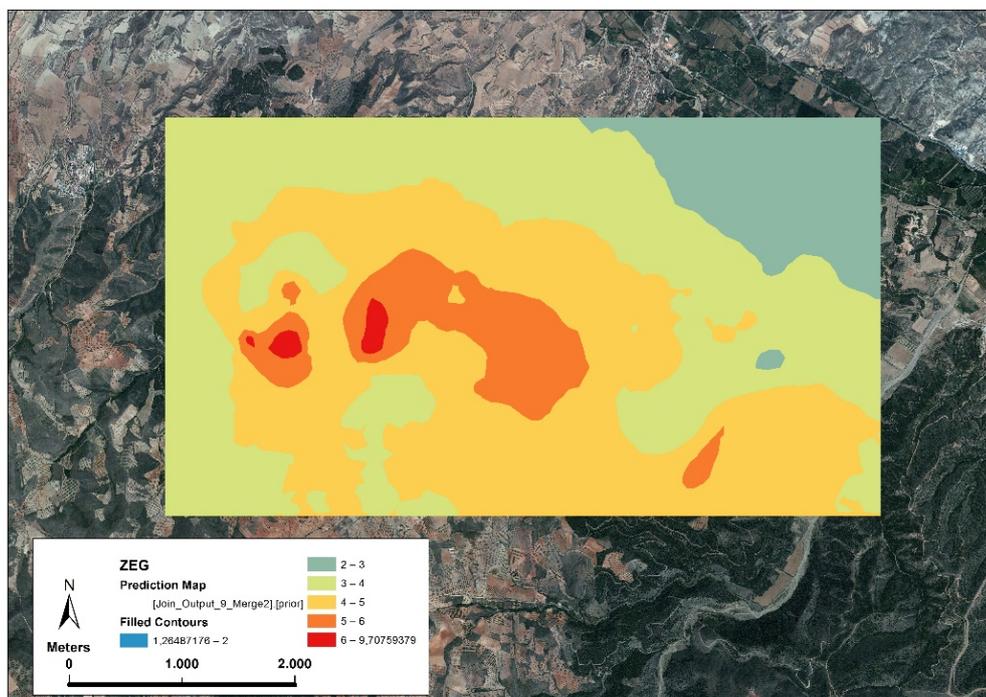


Figura 4: Resultado del análisis geo-estadístico por el método *empirical bayesian kriging*. Fuente: Elaboración propia.

En tabla 2 se comparan los valores de los nodos que componen las ZEG y el resto sin contar los puntos de ignición, de manera que la longitud media de carrera es 3 veces superior dentro de una ZEG. La relación entre la longitud de las carreras totales y las hectáreas que

Descripción:	Nº nodos	Longitud total de las carreras (km)	Longitud de carrera media (km)	Superficie (ha)	Longitud de carrera total(km) / Superficie (ha)	Relación longitud de carrera media ZEG / longitud de carrera media del resto de nodos
Nodos ZEG	259	669,68	2,58	93	7,20	
Nodos totales sin los del punto de ignición y los nodos de las ZEG	2.744	2.462,66	0,89	1.624	1,51	2,8

componen cada zona, indica que actuando en una ZEG se es cinco veces más eficiente de media al influir en zonas con cinco veces más de potencial de quema.

Tabla 2: Comparación de longitudes de carreras de los nodos de las Zona Estratégicas de Gestión y los nodos que no forman las ZEG y no son puntos iniciales. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3 se observa la superficie de las ZEG, son un total de 4 zonas que suman un total de 93 ha. Las 4 ZEG representa un 5,42% de la superficie del macizo forestal.

Tabla 3: Superficie de las ZEG. Fuente: Elaboración propia.

Zona Estratégica de Gestión	Superficie (ha)
ZEG1	20
ZEG2	42
ZEG3	7
ZEG4	24
Total:	93

En la figura 5 se observa la ubicación de las 4 ZEG dentro del macizo forestal. Las ZEG son los enclaves con los valores superiores al 75% de los valores de los nodos, por tanto, el valor dentro de una superficie ZEG varía entre 5,3 y 9,7.

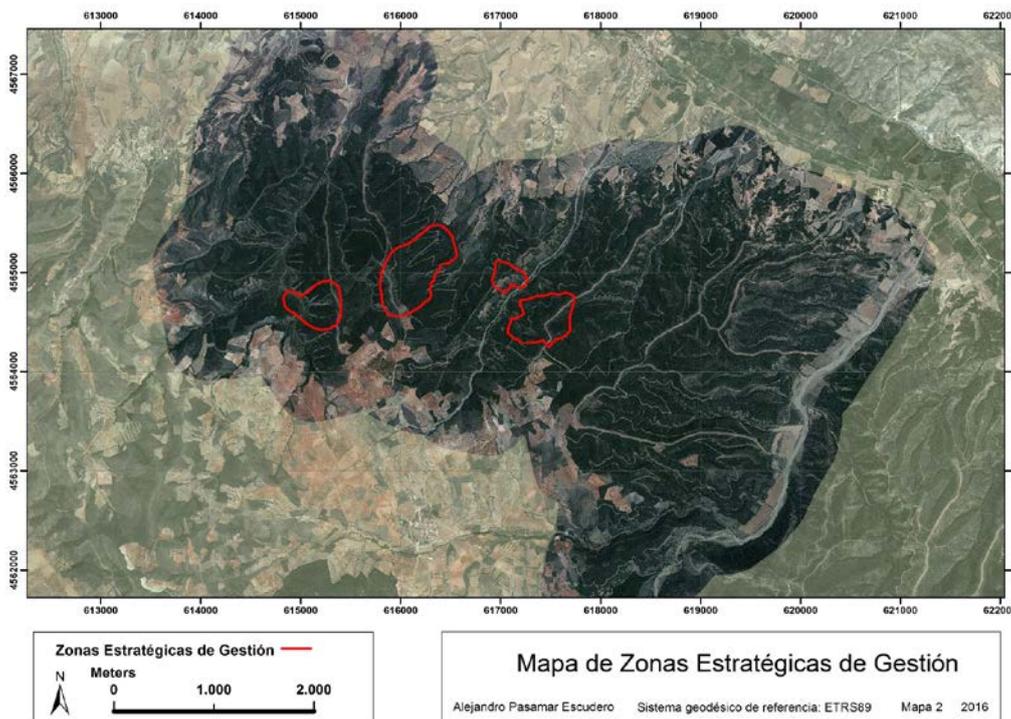


Figura 5: Zonas Estratégicas de Gestión. Fuente: Elaboración propia.

Para obtener el mapa de comportamiento del fuego del macizo o mapa Campbell primero hay que transformar los valores de celda de cada factor a 1 o 0 figura 6.

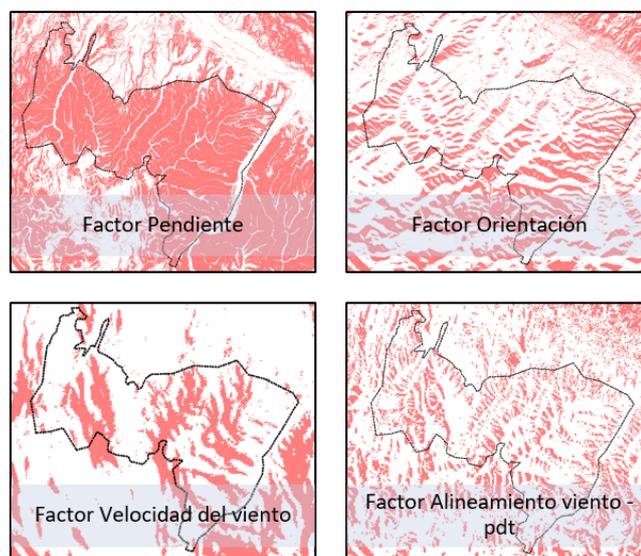


Figura 6: Los cuatro mapas de los factores CPS, en rojo valores de factor 1 y en blanco valores de factor 0. Fuente: Elaboración propia.

El resultado de la suma de los cuatro factores figura 7 en su formato raster determina el mapa de comportamiento del fuego. Los valores de cada celda (tamaño de celda 10x10m) van de 0 a 4. De modo que cada valor de celda representa:

- 0 y 1 -> Nula alineación
- 2 -> Media baja alineación
- 3 -> Media alta alineación
- 4 -> Plena alineación

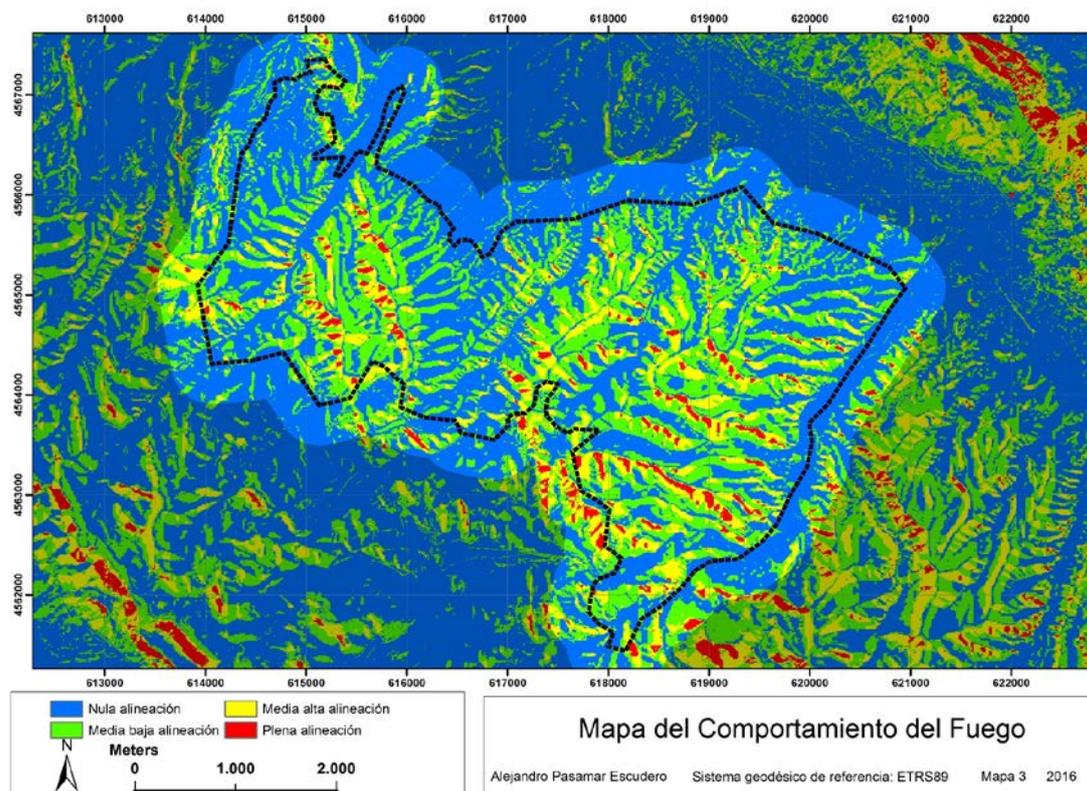


Figura 7: Comportamiento del fuego. Fuente: Elaboración propia.

5. Discusión

La primera parte del trabajo busca definir el incendio, ese incendio más severo y probable en el macizo forestal de Maluenda. Este incendio queda definido como convección con viento y su comportamiento destaca por una dominancia del vector convección frente a viento y topografía, que también influyen pero en menor medida. En este tipo de incendio es muy importante planificar teniendo en cuenta los saltos de fuego en su propagación e impedir que el incendio pase a nuevas cuencas topográficas (CASTELLNOU et al., 2009).

Para intentar que este incendio convectivo no llegue a la fase de sustentación o para facilitar la fase de finalización una vez sustentada la columna convectiva se recomienda reducir la biomasa en laderas sur y oeste. Al reducir la cantidad de biomasa también se reduce la cantidad de saltos de fuego. Al aumentar la altura de la primera rama se dificulta la subida del fuego de copas que es la única forma en este macizo forestal para que el incendio pase a convectivo (QUÍLEZ, 2013).

Las ZEG están basadas en los Puntos Estratégicos de Gestión (PEG de ahora en adelante). Las ZEG nacen con la idea de identificar las superficies que más influyen en la propagación del incendio para su posterior análisis e identificación de los PEG. Una vez analizadas las ZEG y sus PEG se debe proyectar el mejor trabajo preventivo en función de la configuración de la zona.

En la figura 5 se observa como las ZEG están centradas y desplazadas al oeste respondiendo a la dirección del viento suroeste y la forma alargada de oeste a este del macizo de modo que su localización es lógica.

Respecto a los trabajos de Escrig y Calabuig la forma de priorización de nodos se ha modificado para que guarden más proporción en función de superficie y ramificaciones. Otra diferencia que se ha desarrollado en el proyecto es pasar de puntos a superficies mediante un

análisis geo-estadístico que permite una mejor visualización. También el nivel de escala es diferente ya que Escrig planifica para 36.009 ha y Calabuig 13.600 ha frente 1.717 ha del macizo forestal de Maluenda (ESCRIG y GARCÍA, 2014).

El mapa de comportamiento del fuego o mapa Campbell figura7 marca los cambios de comportamiento del incendio de manera gráfica. Cuando existe un cambio en la superficie de rojo y amarilla a verde o azul existe un cambio de comportamiento. Estos cambios de comportamiento se localizan en su mayoría en las divisorias entre orientaciones sur y oeste (plena o media alta alineación) contra laderas norte y este (nula o baja alineación). Estos cambios de color son enclaves donde existe una oportunidad de extinción, por ello habrá que analizar estas zonas para ver cuál es el mejor trabajo o infraestructura preventiva para apoyar a los equipos de extinción (CAMPBELL, 2010).

6. Conclusiones

1. La metodología integra el régimen de incendios de Aragón con el diseño y la planificación de la prevención de incendios a escala de macizo forestal
2. Las Zonas Estratégicas de Gestión tienen un potencial medio de superficie a quemar cinco veces mayor respecto a otras ubicaciones en el caso de que el incendio ocurra bajo situaciones sinópticas del suroeste, que son las más frecuentes y severas.
3. El mapa de comportamiento del fuego permite discriminar zonas de distinta intensidad, localizar puntos estratégicos de gestión (zonas donde se localizan oportunidades o puntos críticos en la extinción), y priorizar las áreas cortafuego que tengan un cambio de comportamiento.

7. Agradecimientos

Gracias a toda mi familia; padres, hermanos, tíos, primos, sobrinos, etc... por todo el apoyo prestado. A Ana por ser especial.

Muchas gracias también a mis dos tutores Rafael y especialmente a Rosa por ser una gran docente.

A vosotros por leerlo, este trabajo solo es un paso metodológico, quedan muchos más en especial referidos a que infraestructura debería haber en el monte de manera que se integraran todos los aspectos para tener un resultado más práctico. Por ello, si tenéis alguna duda sobre este trabajo os ayudaré en lo que este en mi mano.

8. Bibliografía

CALABUIG, E.; MOLINA, D.M. y ESCRIG, A; 2015." La restauración en verde: caso aplicado del plan de prevención de incendios forestales del monte del C.U.P no 154 "La Hunde y La Palomera" en el T.M. de Ayora (Valencia)". *Revista Montes*. Pág.: 1-16.

CAMPBELL, D; 2010." Campbell Prediction System.". Prescription (Rx) burns CPS/RX pág.; 1-40.

CASTELLNOU, M.; PAGÉS, J.; MIRALLLES, M. y PIQUÉ, M.; 2009." Tipificación de los incendios forestales de Cataluña. Elaboración del mapa de incendios de diseño como herramienta para la gestión forestal". *5º Congreso Forestal Español*. Pág.: 1-16.

DGGF, DIRECCIÓN GENERAL DE GESTIÓN FORESTAL DE ARAGÓN.; 2015." Análisis del régimen de incendios y elaboración de escenarios meteorológicos por zona de

meteoalerta de la comunidad autónoma de Aragón”. *Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad*. Pág.: 1-163.

ESCRIG, A. y GARCÍA R; 2014.” Localización de Zonas Prioritarias de Gestión del Combustible en el Plan de Prevención de Incendios Forestales de la RVC de la Muela de Cortes”. Pág.: 1-62.

ESCRIG, A.; LÓPEZ, C.; CATALÁ, F. y RUIZ, M.; 2013.” Plan de prevención de Incendios forestales de la Reserva Valenciana de Caza de la Muela de Cortes”. *Grupo VAERSA*.

MAGRAMA, CUBO, J.; ENRÍQUEZ, E.; GALLAR, J.; JEMES, V. y LÓPEZ, M.; 2012. “Los Incendios Forestales en España. Decenio 2001 - 2010”. Área de Defensa contra incendios Forestales (ADCIF) del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente”.

QUÍLEZ, R.; 2013.” Incendios convectivos en España: Casos de estudio y recomendaciones en las estrategias de extinción”. *6º Congreso forestal español*.

