Convocatoria de subvenciones de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU

# R3.2.- Cartografía, SIG, informe de resultados

(Modelos predictivos de propagación de incendios)

La Fundación Cesefor está comprometida en la lucha contra el cambio climático

Plan de Igualdad Fundación Cesefor: Comprometida con la igualdad efectiva de oportunidades entre mujeres y hombres

# 1 Contenido


**CARTOGRAFÍA, SIG, INFORME DE RESULTADOS 7**

**1. Riesgo de incendio en Puertos y Dehesas 7**

**2. Índice de Propagación de Incendio (IPI) 8**

**2.1. Introducción 8**

**2.2. Variables de Entrada 9**

**2.2.1. Topografía del Terreno 9**

**2.2.2. Características del Combustible Forestal 9**

**2.2.3. Condiciones Meteorológicas y de Humedad 9**

**2.3. Metodología 9**

**2.3.1. Preparación de Datos de Entrada 9**

**2.3.2. Configuración de FlamMap 6 10**

**2.3.3. Ejecución de la Simulación 10**

**2.3.4. Análisis e Interpretación de Resultados 10**

**2.4. Mapas de Salida 10**

**2.5. Evaluación de Resultados 11**

**3. Zonas de implantación 11**

**3.1. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en el Puerto de Argajadas (San Emiliano)-León 13**

**3.2. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en el Puerto Las Pintas (Crémenes)-León 20**

**3.3. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en el Puerto de Regadas (Villablino)-León 29**

**3.4. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en el Puerto de Peñalba (Boca de Huérgano)-León 37**

**3.5. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en el Puerto de Villanueva de la Peña (Castrejón de la Peña) -Palencia 44**

**3.6. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en el Puerto de Herreruela (Cervera de Pisuerga)-Palencia. 55**

**3.7. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en el Puerto de Piedrahita (Triollo)-Palencia. 63**

**3.8. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en La Hinojosa (Cáceres)-Cáceres 70**

**3.9. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en La Dehesa San Francisco - Huelva 79**

**4. Síntesis comparativa global del IPI en los puertos y dehesas analizados 88**

**4.1. Dehesas versus puertos de montaña 88**

**4.2. Pastizales continuos frente a matorrales y masas arboladas 89**

**4.3. Efecto del escenario extremo 89**

**5. Conclusiones generales 89**

**6. Implicaciones para la gestión 90**

**7. Recomendaciones operativas 91**

**8. Priorización de zonas de actuación 92**

**9. Líneas futuras de trabajo 93**

**10. Limitaciones y supuestos de la modelización 94**

**Tabal de ilustraciones**

Ilustración 1.-*Tabla velocidad de propagación según de la ROS del frente (Vega 1987)*..... 11

Ilustración 2.-*Mapa General con los puertos y dehesas de estudio* ..... 12

Ilustración 3.-*Puerto de Argajadas (León)*..... 13

Ilustración 4.- *Puerto de Argajadas (León) y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio* 15

Ilustración 5.-*Modelo de combustible en* el *Puerto de Argajadas (León)*..... 15

Ilustración 6.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Argajadas (León)* ..... 16

Ilustración 7.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente* el *Puerto de Argajadas (León)* ..... 17

Ilustración 8.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Argajadas (León)*..... 17

Ilustración 9.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Argajadas (León)*..... 18

Ilustración 10.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)* ..... 18

Ilustración 11.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)*..... 19

Ilustración 12.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)* ..... 19

Ilustración 13.-*Puerto Las Pintas (León)* ..... 20

Ilustración 14.- *Puerto de Las Pintas (León) y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio* ..... 22

Ilustración 15.-Modelo de combustible en el Puerto de Las Pintas (León) ..... 23

Ilustración 16.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)* ..... 24

Ilustración 17.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)* ..... 24

Ilustración 18.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)* ..... 25

Ilustración 19.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)* ..... 26

Ilustración 20.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)* ..... 27

Ilustración 21.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)* ..... 27

Ilustración 22.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)* ..... 27

Ilustración 23.-*Puerto de Regadas (León)* ..... 29

Ilustración 24.- *Puerto de Regadas (León) y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio* 31

Ilustración 25.-*Modelo de combustible en* el *Puerto de Regadas (León)* ..... 32

Ilustración 26.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Regadas (León)* ..... 33

Ilustración 27.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Regadas (León)* ..... 33

Ilustración 28.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Regadas (León)* ..... 34

Ilustración 29.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Regadas (León)* ..... 34

Ilustración 30.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Regadas (León)* ..... 35

Ilustración 31.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Regadas (León)* ..... 35

Ilustración 32.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)* ..... 36

Ilustración 33.-*Puerto de Peñalba (León)* ..... 37

Ilustración 34.- *Puerto de Peñalba (León) y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio* 39

Ilustración 35.-*Modelo de combustible en* el *Puerto de Peñalba (León)* ..... 40

Ilustración 36.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en Peñalba (León)* ..... 41

Ilustración 37.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente en Peñalba (León)* ..... 41

Ilustración 38.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en Peñalba (León)* ..... 42

Ilustración 39.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en Peñalba (León)* ..... 42

Ilustración 40.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en Peñalba (León)* ..... 43

Ilustración 41.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en Peñalba (León)* ..... 43

Ilustración 42.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente en Peñalba (León)* ..... 43

Ilustración 43.-*Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)* ..... 44

Ilustración 44.- Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)*y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio* ..... 47

Ilustración 45.-Modelo de combustión en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia) ..... 47

Ilustración 46.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)* ..... 49

Ilustración 47.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)* ..... 49

Ilustración 48.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)* ..... 50

Ilustración 49.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)* ..... 51

Ilustración 50.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)* ..... 52

Ilustración 51.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)* ..... 52

Ilustración 52.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)* ..... 53

Ilustración 53.-*Puerto de Herreruela (Palencia)* ..... 55

Ilustración 54.- *Puerto de Argajadas (León) y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio* ..... 57

Ilustración 55.-*Modelo de combustible en* el *Puerto de Argajadas (León)* ..... 58

Ilustración 56.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Herreruela (Palencia)* ..... 59

Ilustración 57.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Herreruela (Palencia)* ..... 59

Ilustración 58.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Herreruela (Palencia)* ..... 60

Ilustración 59.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Herreruela (Palencia)* ..... 60

Ilustración 60.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Herreruela (Palencia)* ..... 61

Ilustración 61.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Herreruela (Palencia)* ..... 61

Ilustración 62.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Herreruela (Palencia)* ..... 61

Ilustración 63.-*Puerto de Piedrahita (Palencia)* ..... 63

Ilustración 64.- *Puerto de Piedrahita (Palencia) y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio* ..... 65

Ilustración 65.-*Modelo de combustible en* el *Puerto de Argajadas (León)* ..... 66

Ilustración 66.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Piedrahita (Palencia)* ..... 67

Ilustración 67.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Piedrahita (Palencia)* ..... 67

Ilustración 68.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Piedrahita (Palencia)* ..... 68

Ilustración 69.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Piedrahita (Palencia)* ..... 68

Ilustración 70.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Piedrahita (Palencia)* ..... 69

Ilustración 71.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Piedrahita (Palencia)* ..... 69

Ilustración 72.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Piedrahita (Palencia)* ..... 69

Ilustración 73.-*Dehesa La Hinojosa (Cáceres)* ..... 71

Ilustración 74.- *Puerto de Argajadas (León) y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio* ..... 74

Ilustración 75.-*Modelo de combustión en La Hinojosa (Cáceres)* ..... 75

Ilustración 76.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en La Hinojosa (Cáceres)* ..... 75

Ilustración 77.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente en La Hinojosa (Cáceres)* ..... 76

Ilustración 78.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en La Hinojosa (Cáceres)* ..... 76

Ilustración 79.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en La Hinojosa (Cáceres)* ..... 77

Ilustración 80.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en La Hinojosa (Cáceres)* ..... 77

Ilustración 81.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en La Hinojosa (Cáceres)* ..... 78

Ilustración 82.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente La Hinojosa (Cáceres)* ..... 78

Ilustración 83.-*Dehesa San Francisco (Huelva)* ..... 79

Ilustración 84.-*Dehesa San Francisco (Huelva) y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio* ..... 81

Ilustración 85.-*Modelo de combustión en la Dehesa San Francisco (Huelva)* ..... 82

Ilustración 86.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)* ..... 83

Ilustración 87.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)* ..... 83

Ilustración 88.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)* ..... 84

Ilustración 89.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)* ..... 85

Ilustración 90.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)* ..... 86

Ilustración 91.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en la Dehesa San Francisco (Huelva)* ..... 86

Ilustración 92.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)* ..... 87

**Cartografía, SIG, informe de resultados**

## 1. *Riesgo de incendio en Puertos y Dehesas*

El riesgo de incendios se define como la probabilidad de que se produzca un incendio en una zona y en un intervalo de tiempo determinado y dependerá de los factores fundamentales que determinan el comportamiento del fuego como son:

- Las características de la vegetación, condiciones y estado que los combustibles vegetales presentan.
- Las características orográficas.
- El clima y las condiciones meteorológicas.

Igualmente inciden en el riesgo de incendios las actividades humanas u otros agentes que son susceptibles de originar incendios.

Consiguientemente habrá distintos tipos de riesgo en función de los factores, señalados anteriormente, que se consideren.

Algunos de estos factores presentan una influencia más duradera en el tiempo que otros, y en consecuencia podemos estimar distintos Índices de Riesgo de Incendio Forestal.

Atendiendo a la frecuencia de cálculo de los diferentes índices de riesgo de incendio, podemos clasificarlos en estáticos y dinámicos:

- Los índices de riesgo estáticos son aquellos que se calculan siendo válidos sus resultados durante un periodo de tiempo prolongado; uno o varios años, por ejemplo. El más importante es el índice de riesgo estructural. A los índices de estrés hídrico y de frecuencia de incendios, cuando se calculan para un periodo de tiempo largo, se les da un matiz de aplicación estática.
- Los índices dinámicos son aquellos que son calculados con una periodicidad determinada, diaria, semanal o mensual. Se incluyen dentro de este tipo el índice de riesgo meteorológico, así como el de riesgo por estrés hídrico y el de riesgo por frecuencia de incendios cuando se calculan para los periodos de tiempo indicados.

El conocimiento del riesgo de incendios previsto para las diferentes comarcas de una región contribuye a llevar a cabo una adecuada política de prevención y a una optimización en la asignación de los medios de vigilancia y extinción disponibles. También permite informar y alertar a los ciudadanos para que extremen el cuidado en sus actividades en el medio rural, así como tomar medidas excepcionales para la prevención de incendios como cierre temporal de caminos o prohibición temporal del uso del fuego en labores agrícolas y forestales.

De los factores que determinan el riesgo de incendios, unos tienen un carácter más permanente en el tiempo, en tanto que otros son de carácter más variable, lo cual hace que la aplicación de los índices correspondientes sea también diferente. Así el riesgo estático permite la planificación a medio y largo plazo de las actuaciones de prevención y lucha contra los incendios, en tanto que los riesgos dinámicos se utilizan como herramientas de decisión a más corto plazo e incluso de forma inmediata.

Por ello, no parece conveniente integrar todos estos índices en un índice único que resultaría con unos valores distorsionados.

En el caso del proyecto se han considerado dos índices de riesgo de incendio:

- Índice Territorial de Riesgo de Incendio (ITRI)
- Índice de Propagación de Incendio (IPI)

## 2. *Índice de Propagación de Incendio (IPI)*

### *2.1. Introducción*

El modelado de propagación de incendio con FlamMap 6 permite evaluar el comportamiento potencial del fuego en diferentes escenarios y ayuda en la toma de decisiones para la gestión del riesgo de incendios. La combinación de datos de combustible, meteorología y topografía proporciona una herramienta eficaz para la planificación de estrategias de prevención y mitigación en áreas vulnerables a incendios forestales.

FlamMap 6 es una herramienta de modelado que permite simular la propagación potencial de incendios en paisajes específicos bajo condiciones de entrada predefinidas. Este software se basa en algoritmos de propagación del fuego desarrollados por **Rothermel (1972)** y modelos de comportamiento del fuego de **Finney (2006)**.

El objetivo de esta metodología es describir los pasos necesarios para realizar una simulación de propagación de incendio utilizando **FlamMap 6**, incluyendo la recopilación de datos de entrada, la configuración del modelo y la interpretación de los resultados.

**Escenarios de humedad de los combustibles**

Para caracterizar las condiciones de disponibilidad al fuego de la vegetación en las simulaciones con FlamMap se definieron dos escenarios de humedad de los combustibles aplicables a todos los modelos de combustible de Rothermel presentes en la zona de estudio. Estos escenarios representan situaciones meteorológicas contrastadas dentro de una misma campaña de incendios y permiten analizar la sensibilidad del comportamiento del fuego ante variaciones en el contenido de humedad de la vegetación.

En ambos casos se asignaron valores de humedad a las distintas fracciones de combustible de acuerdo con la estructura de los modelos de Rothermel (combustibles muertos de 1 h, 10 h y 100 h, combustible vivo herbáceo y combustible vivo leñoso). La parametrización se realizó de forma coherente con la literatura y con las condiciones climáticas regionales, diferenciando entre modelos dominados por pastizales, matorrales, masas arboladas y restos de corta (slash), pero manteniendo una misma lógica de gradiente de sequedad para todo el territorio.

El escenario “medio” representa unas condiciones de verano normales, sin episodios extremos de sequía u ola de calor, con valores de humedad moderados en los combustibles muertos y relativamente elevados en los combustibles vivos. Este escenario se utiliza como referencia para estimar el comportamiento del fuego bajo una situación de riesgo habitual durante la campaña de incendios.

El escenario “extremo” simula una situación de riesgo muy alto asociada a periodos prolongados de sequía estival y temperaturas elevadas. En este caso se reducen significativamente los contenidos de humedad de los combustibles muertos de 1 h, 10 h y 100 h, y se disminuye también la humedad del combustible vivo herbáceo y leñoso, especialmente en pastizales y matorrales. Este escenario permite representar condiciones próximas al “peor caso razonable” para la zona de estudio y evaluar el potencial máximo de propagación e intensidad del fuego.

El empleo de estos dos escenarios en las simulaciones de FlamMap proporciona un rango de resultados que refleja la variabilidad esperable del comportamiento del fuego dentro de una misma campaña, y facilita la interpretación de la peligrosidad en términos de condiciones meteorológicas combustibles-dependientes, en lugar de basarse en un único conjunto de valores de humedad poco representativo.

## *2.2. Variables de Entrada*

Para realizar la simulación en **FlamMap 6**, se deben recopilar las siguientes variables:

### *2.2.1. Topografía del Terreno*

- **Altitud (m)**: Modelo digital del terreno (DEM) con resolución adecuada.
- **Pendiente (%)**: Derivado del DEM.
- **Orientación (°)**: Dirección de la pendiente en grados.

### *2.2.2. Características del Combustible Forestal*

- **Fracción de Cabida Cubierta (%FCC)**: Relación entre la proyección horizontal de la copa de los árboles y la superficie total del suelo.
- **Altura de la masa arbórea (m)**: Promedio de la altura de los árboles en el área de interés.
- **Altura de la base de la cubierta de copas (m)**: Distancia entre el suelo y el inicio del follaje arbóreo.
- **Densidad aparente de la cubierta de copas (kg/m³)**: Cantidad de material combustible por unidad de volumen en las copas de los árboles.
- **Modelo de combustible**: Selección del modelo de combustible

### *2.2.3. Condiciones Meteorológicas y de Humedad*

- **Variables meteorológicas**: Datos de temperatura y humedad relativa obtenidos de estaciones meteorológicas o modelos climáticos.
- **Humedad de los combustibles de superficie (% humedad)**:
    - Combustibles finos (1h, 10h, 100h).
    - Combustibles gruesos (>1000h).
- **Viento (km/h y dirección)**: Velocidad y dirección predominante del viento.
- **Humedad de la copa (% humedad)**: Estado de humedad del follaje, fundamental para la propagación en incendios de copas.

## *2.3. Metodología*

### *2.3.1. Preparación de Datos de Entrada*

- **Obtención del DEM**: Descargar un **Modelo Digital de Elevaciones (DEM)** con una resolución adecuada para el área de estudio.
- **Generación de capas topográficas**:
    - Crear mapas de **pendiente** y **orientación** a partir del DEM en software GIS.

- **Asignación de modelos de combustible**:
  - Utilizar mapas preexistentes de modelos de combustible ya generados con el cálculo del ITRI
  - Ajustar los modelos de combustible según las condiciones locales mediante trabajo de campo o teledetección.
- **Datos de vegetación**:
  - Generar capas de **fracción de cabida cubierta**, **altura de la masa arbórea**, **altura de la base de copas** y **densidad aparente de copas** a partir de inventarios forestales y datos LiDAR.
- **Condiciones meteorológicas**:
  - Extraer datos de temperatura, humedad, viento y humedad de combustibles desde estaciones meteorológicas locales o bases de datos climáticas.

#### *2.3.2. Configuración de FlamMap 6*

- **Carga de capas en FlamMap**:
  - Importar DEM y derivar mapas de pendiente y orientación.
  - Importar modelos de combustible y atributos de la cubierta arbórea.
- **Definir escenarios de simulación**:
  - Especificar condiciones de viento (dirección e intensidad).
  - Establecer valores de humedad de combustibles y copas.
  - Seleccionar parámetros de propagación según las condiciones meteorológicas esperadas.
- **Configuración del tipo de simulación**:
  - Seleccionar el tipo de simulación **(propagación condicionada, carga de combustibles, análisis de comportamiento del fuego, etc.)**.
  - Ajustar parámetros de comportamiento del fuego según el régimen esperado en la zona.

#### *2.3.3. Ejecución de la Simulación*

- Ejecutar FlamMap para calcular tasas de propagación del fuego, altura de llamas y comportamiento esperado.
- Obtener mapas de propagación y evaluar zonas de mayor riesgo.

#### *2.3.4. Análisis e Interpretación de Resultados*

### *2.4. Mapas de Salida*

- **Velocidad de propagación del fuego (m/min)**: La velocidad de propagación hace referencia al rango de incremento o expansión de un incendio, en este caso medido en forma lineal en metros por minuto. Un incendio superficial puede crecer a un ritmo de 50 a 200 metros por hora. La velocidad de propagación es una clave fundamental, ya que puede ser muy

predecible, siempre que se conozca el tipo de combustible por el cual se están desplazando. Cabe destacar que la situación es poco predecible cuando se presentan incendios de copa (Julio & Giroz, 1975).

| Velocidad de propagación del frente (m/min) | Tipo de incendio |
|---|---|
| < 2 | Lento |
| 2-10 | Moderado |
| 10-30 | Rápido |
| 30-70 | Muy rápido |
| > 70 | Extremo |

**Ilustración 1.-*Tabla velocidad de propagación según de la ROS del frente (Vega 1987)***

- **Altura de llama (m)**.
- **Actividad del fuego en las copas de los árboles**
- **Zonas fuera de la capacidad de extinción:** Consideramos que incendio está fuera de capacidad de extinción, si:
  - Velocidad de propagación > 2 km/h ≈ 33 m/min
  - Longitud de llama > 3 m
  - Existe fuego de copas (pasivo o activo)
- **Ejes de propagación**
- **Alcance del incendio**

### *2.5. Evaluación de Resultados*

- Identificación de áreas críticas donde el fuego puede propagarse rápidamente.
- Comparación de escenarios con distintas condiciones meteorológicas.
- Evaluación de zonas donde es necesario implementar medidas preventivas o cortafuegos.

## *3. Zonas de implantación*

Esta acción se está desarrollando en:

- Puertos:
  - Las Pintas (Crémenes)-León
  - Peñalba (Boca de Huergáno) -León
  - Regadas (Villablino) -León
  - Argajadas (San Emiliano) -León
  - Piedrahita (Triollo)-Palencia
  - Herreruela (Cervera de Pisuerga)-Palencia
  - Villanueva de la Peña (Castrejón de la Peña) -Palencia

- Dehesas:
  - Las Hinojosas (Cáceres)-Cáceres
  - San Francisco (Santa Olalla del Cala)-Huelva




**Ilustración 2.-*Mapa General con los puertos y dehesas de estudio***

### *3.1. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en el Puerto de Argajadas (San Emiliano)-León*




**Ilustración 3.-*Puerto de Argajadas (León)***

El puerto de Argajadas se encuentra situado al norte de la provincia de León. La cartografía del Mapa Forestal de España (MFE) muestra un paisaje claramente dominado por formaciones no arboladas en toda su superficie, con un mosaico de matorral montano, pastizales y zonas rocosas. Las formaciones arbustivas más representativas corresponden a aliagares, aulagares y afines; orlas, espinares mesófilos mixtos y afines así como piornales y matorrales retamoideos afines, no estrictamente de alta montaña. Acompañan algunas zonas de herbazal – pastizal y pastizal de alta montaña cubriendo una parte de las laderas y zonas altas del puerto.

| Uso MFE | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| **Arbolado** | 3,87 | 1,34 |
| **Cultivos** | 0,88 | 0,01 |
| **Desarbolado** | 284,84 | 98,68 |
| **Total** | **288,73** | **100** |

**Tabla 1.-Usos generales del MFE en el *Puerto de Argajadas (León)***

El monte arbolado aparece en manchas de tamaño pequeño, presente en la zona sureste. Predominan los melojares (*Quercus pyrenaica)*. Esta formación arbolada ocupan una proporción menor

de la superficie total del puerto en comparación con las zonas no arboladas provistas aliagares, aulagares y afines; orlas, espinares mesófilos mixtos y afines así como piornales y matorrales retamoideos afines, no estrictamente de alta montaña. Desde el punto de vista de la estructura horizontal y vertical, estas zonas de matorral se encuentran anexas a las zonas arboladas del sureste favoreciendo una posible conexión que se puede hacer relevante desde el punto de vista de la estructura horizontal-vertical del combustible y del comportamiento potencial del fuego.

| Tipo de formación arbolada | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Melojares (*Quercus pyrenaica*) | 3,87 | 1,34 |
| No arbolado | 284,86 | 98,66 |
| **Total** | **288,73** | **100** |

**Tabla 2.-Tipo de formación arbolada según el MFE en el *Puerto de Argajadas (León)***

Asociadas a esta comunidad arbolada aparecen también pastizales de alta montaña que se localizan en zonas de uso agroganadero tradicional y en claros dentro del matorral. En la zona norte y noreste afloran superficies rocosas y suelos desnudos someros, con escasa cobertura vegetal, facilitando la discontinuidad del combustible. En su conjunto, la vegetación del puerto de Argajadas puede caracterizarse por ser de un paisaje de montaña con predomino de matorral montano con pastizales, con algunas manchas de extensión pequeña de melojares anexa a la zona de matorral.

| Tipo de matorral | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Aliagares, aulagares y afines | 7,73 | 2,68 |
| Orlas, espinares mesófilos mixtos y afines (dom. *Rosaceae*) | 100,21 | 34,71 |
| Piornales y matorrales retamoideos afines, no estrictamente de alta montaña | 118,10 | 40,90 |
| Sin clasificación | 62,69 | 21,71 |
| **Total** | **288,73** | **100** |

**Tabla 3.-Tipo de formación de matorral según el MFE en el *Puerto de Argajadas (León)***

Para el cálculo del IPI se definió un punto de ignición de referencia situado

Como ya se explico anteriormente en la metodología se han modelizado dos escenarios de propagación de incendio uno medio y otro extremo.

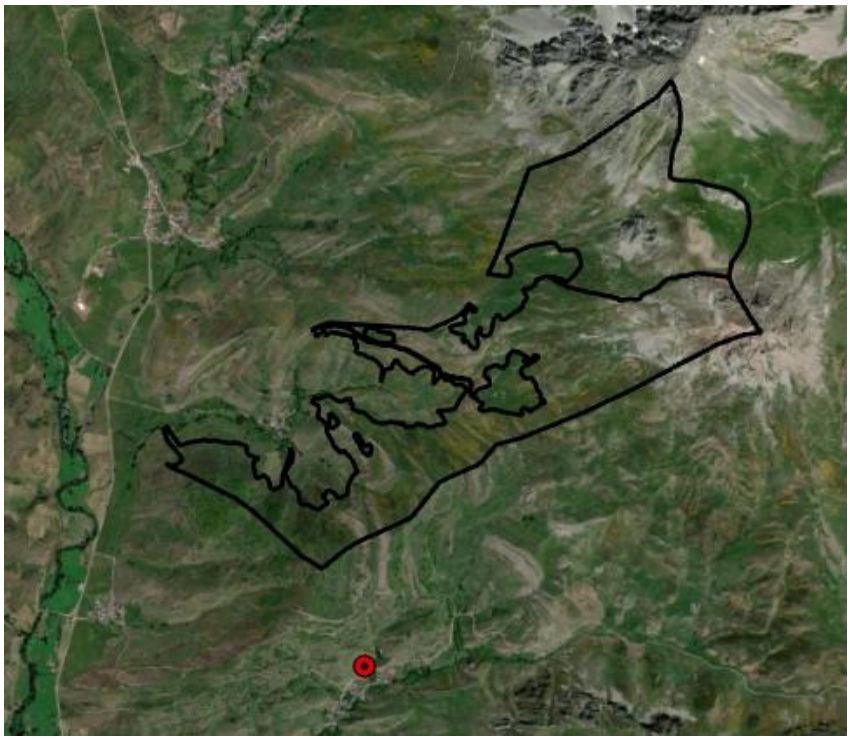


**Ilustración 4.-** ***Puerto de Argajadas (León) y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio***

- **Modelo de combustible**

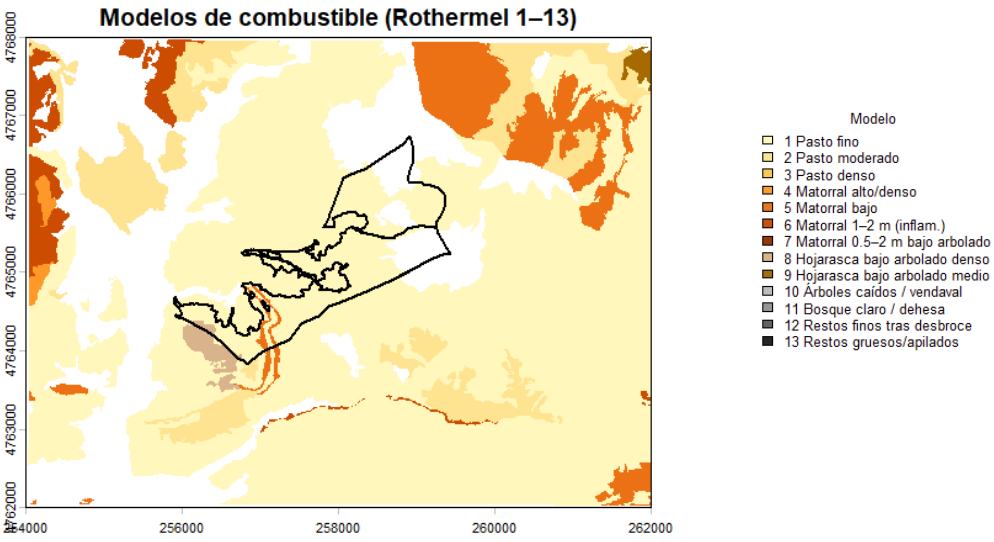



**Ilustración 5.-*Modelo de combustible en* el *Puerto de Argajadas (León)***

La cartografía de modelos de combustible (Rothermel 1–13) para el puerto de Argajadas confirma el carácter de paisaje abierto de media montaña dominado por formaciones no arboladas descrito a partir del Mapa Forestal de España. Dentro del perímetro del puerto (zona delimitada en negro) predominan claramente los modelos de pasto 1 y 2 (pasto fino y pasto moderado), asociados a los herbazales–pastizales y pastizales de alta montaña que ocupan buena parte de las laderas y rellanos del área. Se trata de combustibles de baja carga leñosa, pero con una fracción elevada de combustible

fino continuo, capaces de generar velocidades de propagación elevadas cuando el pasto está seco y soplan vientos moderados o fuertes.

De forma más localizada, especialmente en los flancos y en las pequeñas depresiones del interior del puerto, aparecen bandas y manchas de modelos de matorral 4–6 (matorral alto/denso, matorral bajo y matorral de 1–2 m inflamable), que se corresponden con los aliagares y aulagares, orlas y espinares mesófilos mixtos, piornales y matorrales retamoideos afines presentes en el ámbito. Estos modelos aportan una mayor carga de combustible leñoso y llamas más altas, y actúan como zonas donde la intensidad del incendio puede aumentar sensiblemente cuando son alcanzadas por frentes que avanzan por el pastizal circundante. El mapa muestra también algunos píxeles dispersos de bosque claro/dehesa (modelo 11) o combustibles muy escasos en las zonas rocosas, que introducen discontinuidades parciales en la continuidad del combustible.

En conjunto, el puerto de Argajadas se configura, desde el punto de vista de modelos de combustible, como un mosaico dominado por pastos (modelos 1–2) salpicado de manchas y franjas de matorral de media carga (4–6) y de zonas rocosas de combustible muy reducido, lo que se traduce en un escenario donde el comportamiento esperado del fuego es mayoritariamente de incendio de superficie en pastizal y matorral, con potencial para frentes muy rápidos en condiciones de sequía y viento, pero con una menor contribución de combustibles arbolados o de estructura vertical compleja.

- **Velocidad de propagación del fuego (m/min)**

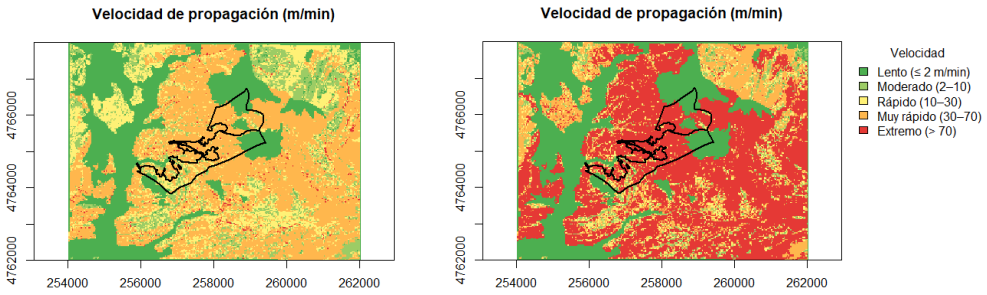



**Ilustración 6.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Argajadas (León)***

En el **escenario medio**, la velocidad de propagación es moderada a rápida en los pastizales continuos (modelos 1–2) y se incrementa en las franjas de matorral (4–6), que actúan como aceleradores del frente de fuego. El patrón general muestra un incendio de superficie con capacidad de avanzar con rapidez allí donde el pasto está muy seco.

En el **escenario extremo**, las velocidades aumentan y se generalizan las clases “rápido”, especialmente en las bandas de matorral que conectan diferentes partes del puerto. El incendio potencial se vuelve más agresivo, con tiempos de llegada reducidos a buena parte de la superficie.

- **Altura de llama (m)**

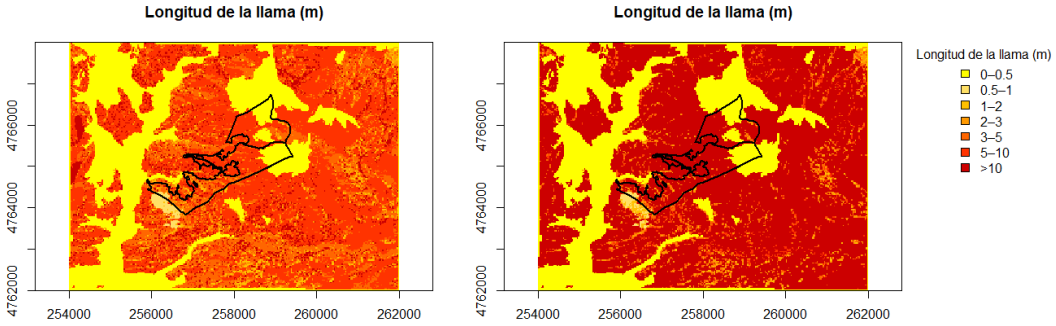



**Ilustración 7.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente* el *Puerto de Argajadas (León)***

En el **escenario medio**, la altura de llama es, en general, baja o moderada en los pastizales y algo mayor en los tramos de matorral, donde la carga leñosa es superior.

En el **escenario extremo**, se observan llamas más largas, sobre todo en las zonas de matorral y en los bordes donde se acumula combustible fino, lo que incrementa la intensidad del fuego y el potencial de erosión post-incendio, aunque sin alcanzar los niveles de severidad de puertos con mayor carga arbustiva o arbolada.

- **Actividad del fuego en las copas de los árboles**

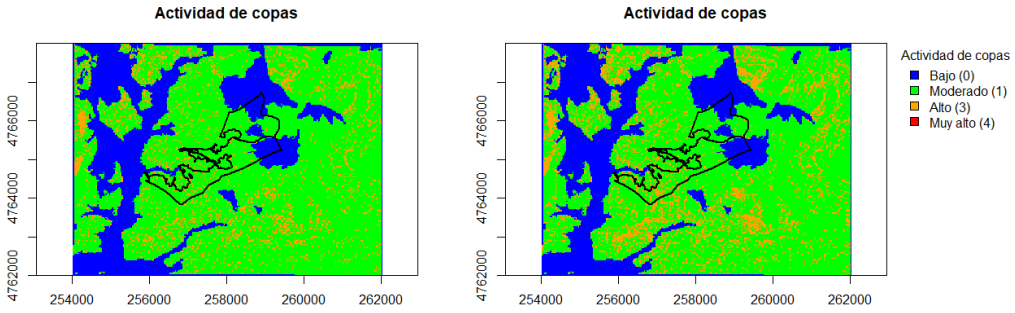



**Ilustración 8.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Argajadas (León)***

La presencia de arbolado continuo es prácticamente inexistente en Argajadas, por lo que la actividad de fuego en copas es despreciable en ambos escenarios. El comportamiento del incendio se limita a fuego de superficie en pasto y matorral.

- **Zonas fuera de la capacidad de extinción**

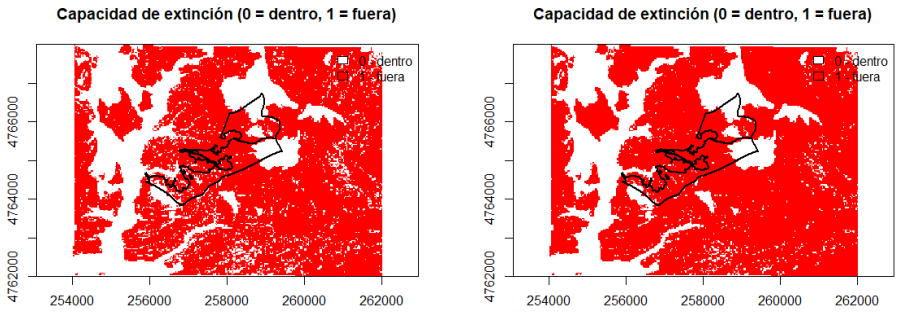



**Ilustración 9.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Argajadas (León)***

En el **escenario medio**, las zonas fuera de capacidad de extinción se localizan principalmente en las franjas de matorral de mayor continuidad y en las laderas con pendiente acusada, donde coinciden velocidades elevadas y llamas más altas.

En el **escenario extremo**, estas áreas se amplían y se conectan a lo largo de los corredores de matorral, de modo que una porción significativa del puerto pasa a presentar condiciones poco compatibles con el ataque directo. No obstante, la menor carga de combustible respecto a otros puertos hace que aún existan algunos sectores de pastizal donde serían factibles maniobras de contención.

- **Ejes de propagación**

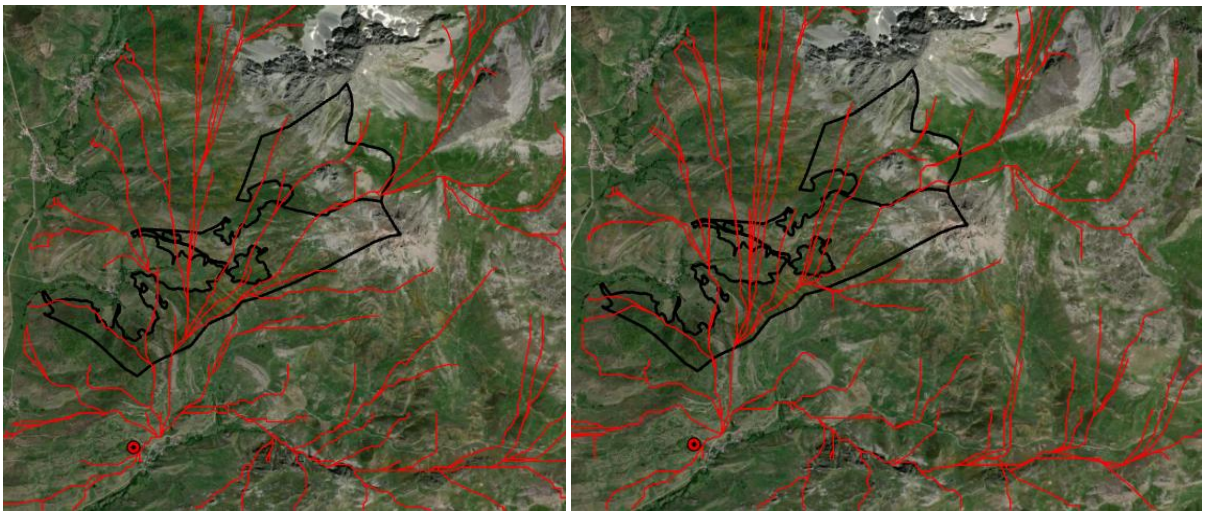


**Ilustración 10.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)***

En el **escenario medio**, los ejes de propagación muestran un avance principal a lo largo de los pastizales centrales, apoyándose en las franjas de matorral que actúan como “autopistas” del fuego hacia las partes altas del puerto.

En el **escenario extremo**, los ejes son más numerosos y largos, conectando de manera más rápida las distintas manchas y lenguas de matorral y mostrando una fuerte capacidad de expansión longitudinal del incendio.

- **Alcance del incendio**

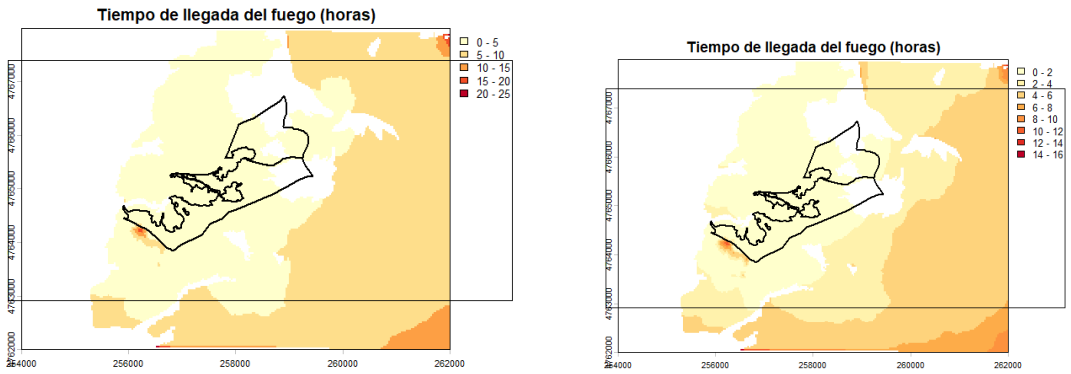



**Ilustración 11.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)***

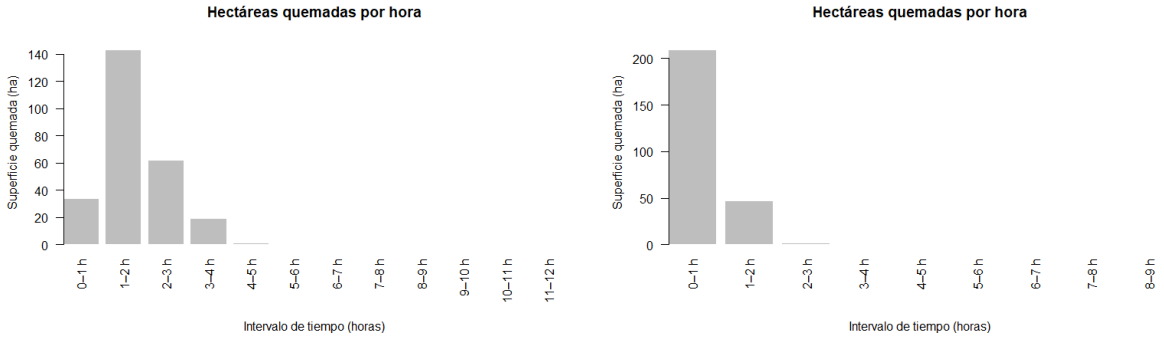



**Ilustración 12.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)***

En el **escenario medio**, se queman unas 258,1 ha de las 288,8 ha del puerto (89,4 %), con una tasa media de alrededor de 21,5 ha/h.

En el **escenario extremo**, la superficie afectada es prácticamente la misma (258,1 ha; 89,4 %), lo que indica que el cambio de escenario se traduce sobre todo en un aumento de la intensidad y velocidad en los mismos espacios, más que en una ampliación del área afectada.

- **Tiempo de respuesta para la extinción**

En Argajadas, a pesar de la menor carga leñosa relativa (predominio de pastos), el alto porcentaje de superficie quemada y las velocidades moderadas–rápidas indican que el **incendio avanza con rapidez a escala de puerto**. El tiempo de respuesta óptimo se sitúa igualmente en las **primeras 1–2 horas**, periodo en el que todavía es posible aprovechar los pastizales menos continuos y los bordes de matorral como líneas de oportunidad. Superada esa fase, el fuego tiende a homogeneizar la afectación a lo largo de las principales laderas y la capacidad de influir en el alcance final del incendio disminuye de forma notable.

- **Conclusiones**

Argajadas, pese a estar dominado por pastizales, muestra un riesgo considerable de incendio rápido y de gran alcance debido a la continuidad del combustible herbáceo y a la presencia de franjas de matorral que actúan como aceleradores del frente. El paso a condiciones extremas no incrementa la superficie quemada, pero sí la severidad del comportamiento del fuego. Desde la gestión conviene reforzar las discontinuidades en las principales franjas de matorral y preservar o crear zonas de baja carga de combustible que puedan utilizarse como anclajes operativos.

### *3.2. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en el Puerto Las Pintas (Crémenes)-León*

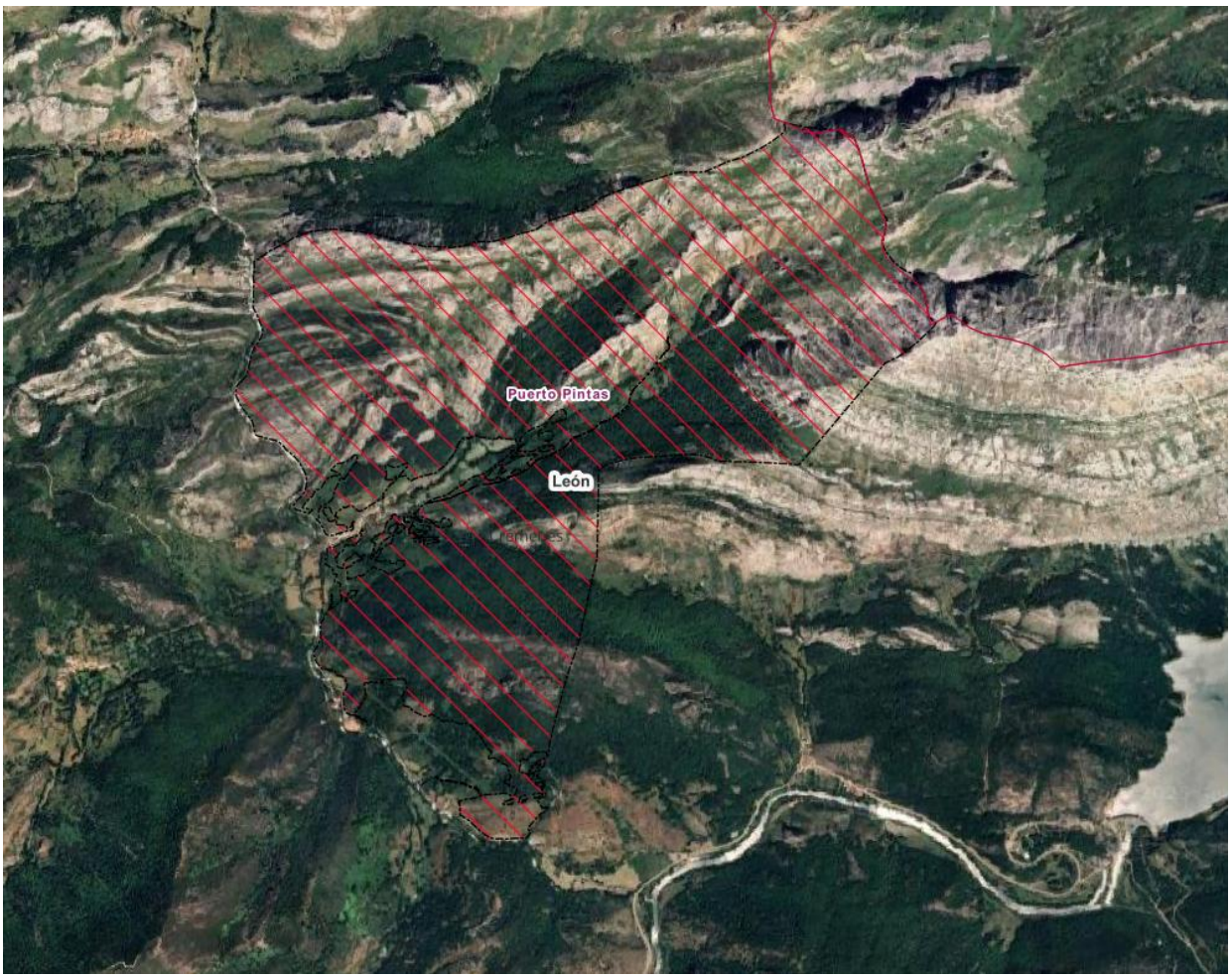



**Ilustración 13.-*Puerto Las Pintas (León)***

El puerto de Las Pintas se encuentra situado al norte de la provincia de León. La cartografía del Mapa Forestal de España (MFE) muestra un paisaje claramente dominado por formaciones no arboladas en la mitad norte, con un mosaico de matorral montano, pastizales y zonas rocosas, sobre el que se insertan manchas de monte arbolado de hayedos de *Fagus sylvativa*. Las formaciones arbustivas más representativas corresponden a aliagares, aulagares y afines, brezales de mesólfilos a xerófilos y biercolares puros o mixtos, enebrales, escobonales, orlas, espinares mesófilos mixtos o afines, piornales y matorrales retamoideos afines. Acompañan algunas zonas de herbazal – pastizal cubriendo buena parte de las laderas y zonas altas del puerto.

| Uso MFE | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Arbolado | 145,82 | 26,91 |

| | | |
|---|---|---|
| Artificial | 0,025 | 0 |
| Cultivos | 0,88 | 0,16 |
| Desarbolado | 395,08 | 72,92 |
| **Total** | **541,80** | **100** |

**Tabla 4.-Usos generales del MFE en el *Puerto Las Pintas (León)***

El monte arbolado aparece en manchas de tamaño grande, distribuidas sobre todo en las umbrías y en las zonas de menor exposición. Predominan los hayedos (*Fagus sylvatica*) con alguna zona de melojares (*Quercus pyrenaica*) y simbólicamente aparece el bosque ribereño, acompañados de extensiones de diversa superficie de pastizales. En conjunto, estas formaciones arboladas ocupan una proporción menor de la superficie total del puerto en comparación con las zonas no arboladas provistas aliagares, aulagares y afines, brezales de mesólfilos a xerófilos y biercolares puros o mixtos, enebrales, escobonales, orlas, espinares mesófilos mixtos o afines, piornales y matorrales retamoideos afines. Desde el punto de vista de la estructura horizontal, estas zonas de matorral se encuentran anexas a las zonas arboladas favoreciendo una posible conexión que puede hacer relevante desde el punto de vista de la estructura horizontal-vertical del combustible y del comportamiento potencial del fuego.

| Tipo de formación arbolada | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Bosque ribereño | 0,09 | 0,02 |
| Hayedos *(Fagus sylvatica)* | 123,27 | 22,75 |
| Melojares (*Quercus pirenaica*) | 43,15 | 4,14 |
| No arbolado | 395,99 | 73,09 |
| **Total** | **541,80** | **100** |

**Tabla 5.-Tipo de formación arbolada según el MFE en el *Puerto Las Pintas (León)***

Asociadas a estas comunidades aparecen también pastizales de alta montaña que se localizan en zonas de uso agroganadero tradicional y en claros dentro del matorral. En la zona norte y noreste afloran superficies rocosas y suelos desnudos someros, con escasa cobertura vegetal, facilitando la discontinuidad del combustible. Las zonas de matorral recogen aliagares, aulagares y afines, brezales de mesólfilos a xerófilos y biercolares puros o mixtos, enebrales, escobonales, orlas, espinares mesófilos mixtos o afines, piornales y matorrales retamoideos afines. En su conjunto, la vegetación del puerto de Pintas puede caracterizarse por ser de un paisaje de montaña con predomino de matorral montano con pastizales, con algunas manchas de extensión media de hayedos intercalándose con el matorral que conecta con zonas aledañas.

| Tipo de matorral | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Aliagares, aulagares y afines | 32,3 | 5,96 |
| Brezales de mesófilos a xerófilos y biercolares, puros o mixtos (incluyendo matorrales mixtos de Ericáceas) | 35,78 | 6,60 |
| Enebrales (*Juniperus communis alpina*) | 252,17 | 46,54 |
| Escobonales/xesteiras | 52,18 | 9,63 |

| | | |
|---|---|---|
| Orlas, espinares mesófilos mixtos y afines (dom. Rosaceae) | 24,94 | 4,60 |
| **Total** | **541,80** | **100** |

**Tabla 6.-Tipo de formación de matorral según el MFE en el *Puerto Las Pintas (León)***

Para el cálculo del IPI se definió un punto de ignición de referencia situado

Como ya se explicó anteriormente en la metodología se han modelizado dos escenarios de propagación de incendio uno medio y otro extremo.

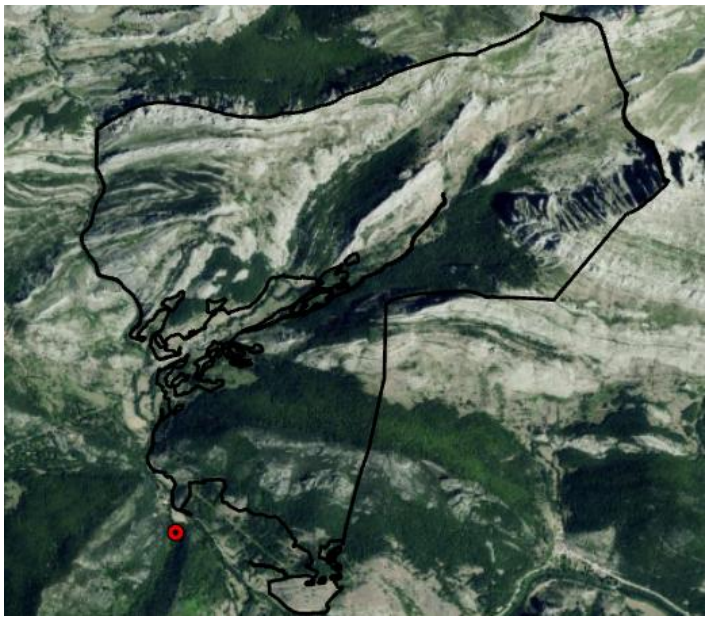


**Ilustración 14.-** ***Puerto de Las Pintas (León) y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio***

El punto de inicio del incendio se ha situado en el **puerto de Las Pintas**, al norte de la provincia de León, sobre la carretera de acceso que asciende desde el fondo del valle hacia el collado, en el lugar señalado en la figura con un círculo rojo, en el extremo suroccidental del ámbito de estudio. Esta ubicación responde a criterios de **plausibilidad**, ya que las infraestructuras lineales (carreteras de puerto, pistas y accesos a zonas de montaña) concentran una parte importante de las igniciones reales, asociadas al tránsito de vehículos, frenadas prolongadas, trabajos de mantenimiento viario y uso recreativo del entorno. Además, el punto elegido marca el contacto entre el valle más humanizado y el inicio del dominio de matorrales montanos y pastizales descrito por el Mapa Forestal de España, por lo que constituye un lugar verosímil para la aparición de un fuego de origen antrópico.

Desde este punto de inicio, el incendio simulado puede **propagarse pendiente arriba** siguiendo el mosaico de **aliagares y aulagares, brezales mesófilos a xerófilos, enebrales, escobonales, orlas y espinares mesófilos, piornales y matorrales retamoideos afines**, acompañados de herbazales–pastizales que cubren buena parte de las laderas y zonas altas del puerto. Posteriormente, el frente de fuego puede interactuar con las manchas arboladas de **hayedo (Fagus sylvatica)** que se insertan en este paisaje, especialmente en las umbrías y barrancos del sector central. De este modo, el escenario de modelización reproduce una situación realista de inicio de incendio en un puerto muy expuesto y transitado y, al mismo tiempo, permite evaluar cómo se comporta el fuego al atravesar la matriz

dominante de formaciones no arboladas y su conexión con los hayedos presentes en el ámbito de estudio.

- **Modelo de combustible**

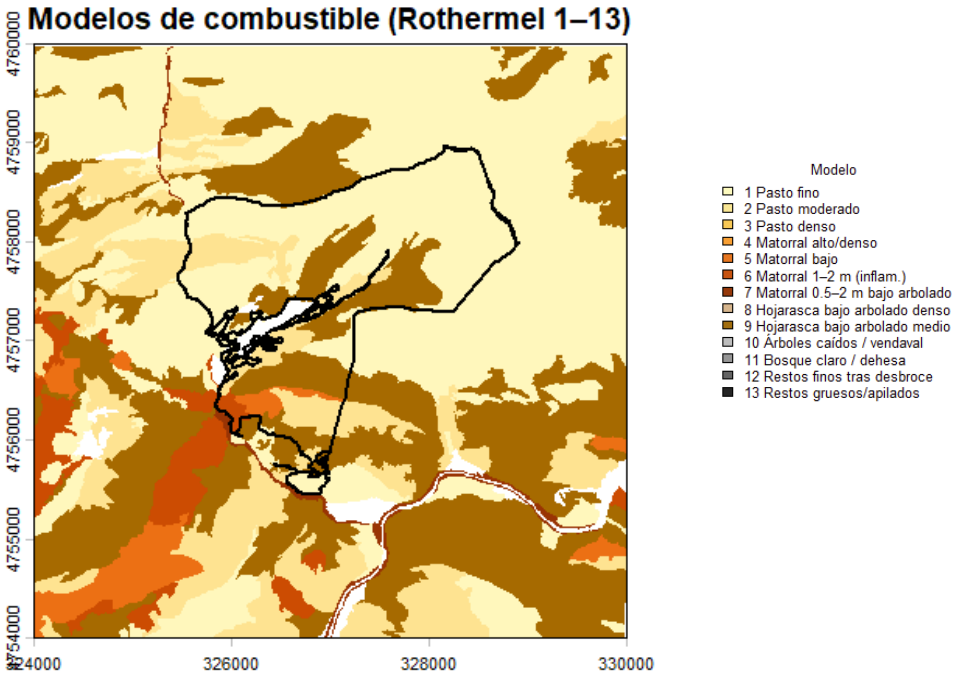



**Ilustración 15.-Modelo de combustible en el Puerto de Las Pintas (León)**

La cartografía de modelos de combustible (Rothermel 1–13) para el puerto de Las Pintas confirma el patrón descrito a partir del Mapa Forestal de España: se trata de un paisaje de montaña claramente dominado por matorrales montanos. Dentro del perímetro del puerto (zona delimitada en negro) prevalecen los modelos 4, 5 y 6 (matorral alto/denso, matorral bajo y matorral de 1–2 m inflamable), que se corresponden con los aliagares y aulagares, brezales mesófilos a xerófilos, enebrales, escobonales, orlas y espinares mesófilos mixtos, piornales y matorrales retamoideos afines que cubren la mayor parte de las laderas y zonas altas. Estos modelos se caracterizan por una alta continuidad horizontal de combustible fino leñoso y por la capacidad de generar llamas relativamente altas bajo condiciones de sequedad y viento, configurando un potencial de incendio de intensidad moderada-alta a escala de puerto.

De forma más localizada aparecen modelos de pasto (1–3) en fondos de valle, rellanos y pequeñas áreas de uso agroganadero, con menor carga de combustible pero que pueden actuar como corredores de propagación rápida cuando el estrato herbáceo está muy seco, conectando entre sí las manchas de matorral de mayor carga. En algunos sectores del perímetro, especialmente en umbrías y barrancos donde se insertan los hayedos de *Fagus sylvatica*, se cartografían píxeles correspondientes a modelos de hojarasca bajo arbolado (8–9). Aunque estas masas arboladas ocupan una superficie relativamente reducida dentro del puerto, introducen estructura vertical del combustible y pueden incrementar localmente la intensidad del fuego cuando son alcanzadas por frentes que avanzan a través del matorral circundante.

En conjunto, el puerto de Las Pintas se configura, desde el punto de vista de modelos de combustible, como un mosaico dominado por matorral montano de media-alta carga (modelos 4–6) y pastizales (1–

3), salpicado por pequeñas manchas de hayedo (8–9) y por zonas rocosas de combustible muy reducido, lo que se traduce en un escenario donde, en condiciones climatológicas normales, el comportamiento del fuego se espera mayoritariamente de superficie en matorral y pasto, mientras que bajo episodios extremos de sequía y viento pueden producirse frentes muy rápidos y de elevada intensidad a lo largo de todo el puerto.

- **Velocidad de propagación del fuego (m/min)**

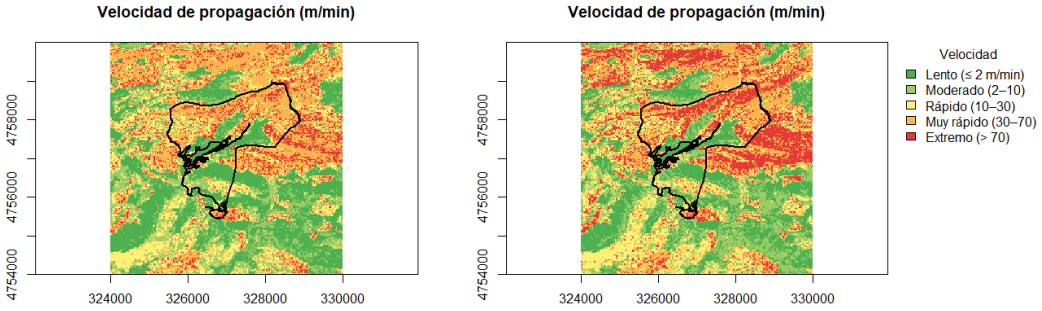



**Ilustración 16.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)***

En el **escenario medio**, la velocidad de propagación es elevada en prácticamente todo el puerto, dominado por matorrales montanos de alta carga (modelos 4–6) y pastizales continuos. Predominan las clases *rápido* y *muy rápido* en las laderas de mayor pendiente y en las lenguas de matorral continuo que conectan la zona de arranque con las partes altas del puerto. Sólo en pequeñas zonas de pastizal más abierto o con menor continuidad del combustible se observan velocidades algo más moderadas.

En el **escenario extremo**, se produce un incremento generalizado de la velocidad de propagación, con una clara expansión de las clases *muy rápido* e incluso sectores puntuales próximos al umbral de velocidad extrema. El fuego avanza con gran rapidez a lo largo de las vaguadas y crestas cubiertas por matorral denso, reduciendo de forma notable la ventana temporal disponible para el ataque directo y aumentando el riesgo de desbordamiento de las líneas de defensa.

- **Altura de llama (m)**

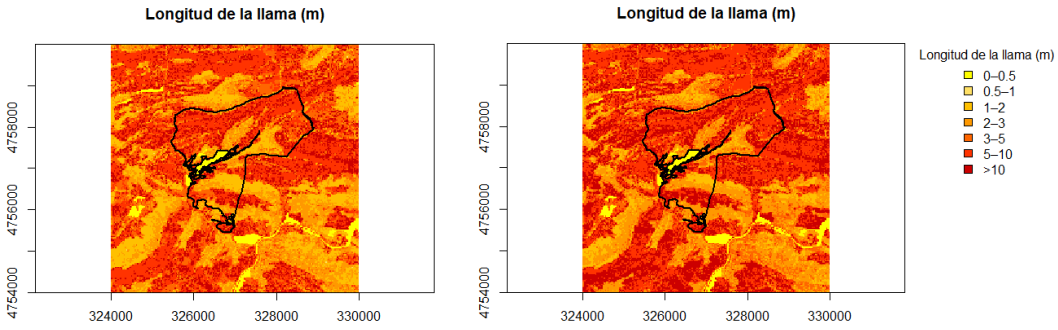



**Ilustración 17.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)***

En el **escenario medio**, las alturas de llama se sitúan mayoritariamente en valores moderados a altos sobre las laderas de matorral denso, coherentes con un incendio de superficie de elevada intensidad. En las zonas de pastizal y en algunos sectores con menor carga de combustible, la longitud de llama es más reducida, aunque sigue siendo suficiente para dificultar el trabajo directo con medios terrestres en los tramos de mayor pendiente.

En el **escenario extremo**, la altura de llama aumenta tanto en magnitud como en extensión espacial. Las áreas que en el escenario medio presentaban llamas moderadas pasan a mostrar valores elevados y continuos, especialmente en las laderas orientadas a barlovento y en el contacto con los hayedos y melojares. Este incremento de la longitud de llama implica una severidad mayor del fuego, un potencial superior de daños sobre el arbolado y una mayor generación de pavesas, lo que complica el trabajo de extinción y la seguridad del personal.

- **Actividad del fuego en las copas de los árboles**

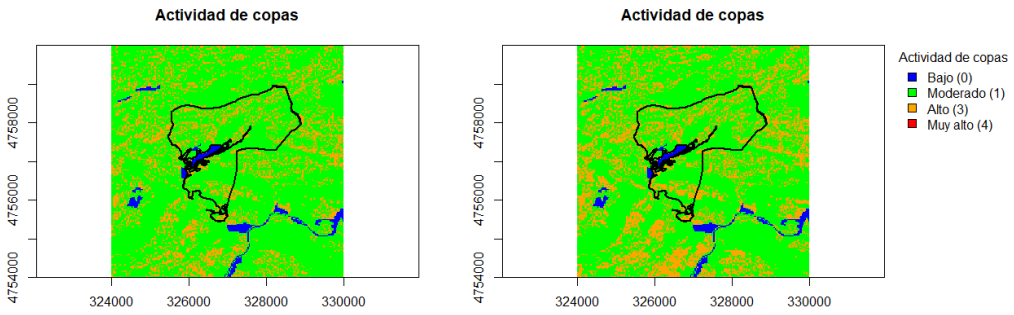



**Ilustración 18.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)***

En el **escenario medio**, la actividad de fuego en copas se concentra en torno a las principales manchas de hayedo y, en menor medida, en los bordes del melojar, donde la continuidad vertical entre el matorral subyacente y las copas arbóreas es mayor. Se identifican principalmente situaciones de **fuego de copas pasivo o de transición**, ligado a la entrada del frente de fuego procedente del matorral, mientras que en el resto del puerto el comportamiento dominante sigue siendo de fuego de superficie.

En el **escenario extremo**, las zonas con potencial de fuego de copas se amplían y se hacen más continuas en los sectores arbolados, especialmente en las umbrías y barrancos donde se concentran los hayedos. Aunque no se alcanza un incendio de copas generalizado en toda la superficie arbolada, sí se incrementa de forma clara la probabilidad de que se produzcan episodios de fuego de copas de alta intensidad en estos rodales, con implicaciones importantes para la severidad ecológica del incendio y la seguridad de las operaciones.

- **Zonas fuera de la capacidad de extinción**

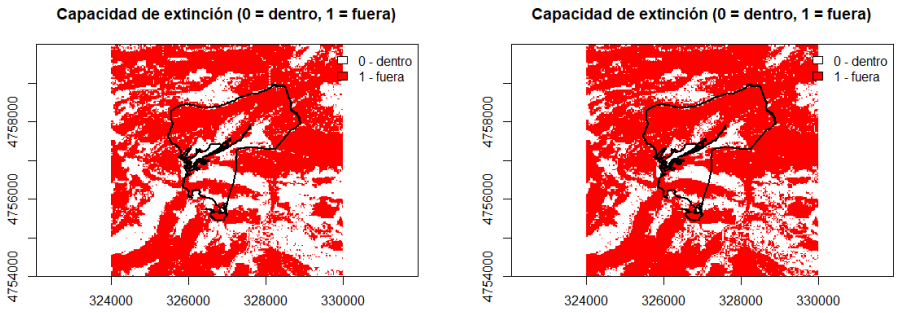



**Ilustración 19.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)***

En el **escenario medio**, el cruce entre velocidad de propagación, altura de llama y actividad de copas indica que una parte muy significativa del puerto se sitúa ya **fuera de la capacidad de extinción** con medios terrestres convencionales. Las laderas de matorral montano continuo, especialmente en las exposiciones más favorables al viento y en los corredores que conectan con los hayedos, superan con frecuencia los umbrales operativos de velocidad y longitud de llama, de modo que las opciones de ataque directo se restringen a pequeños sectores de pastizal más abierto o a tramos de menor pendiente.

En el **escenario extremo**, estas zonas fuera de capacidad se **amplían y coalescen**, hasta abarcar prácticamente la totalidad de las laderas centrales y superiores del puerto, así como buena parte de los contactos con las masas de hayedo y melojar. Bajo estas condiciones, el incendio potencial presenta comportamientos que exceden ampliamente los márgenes de seguridad para el trabajo directo, de modo que las posibilidades reales de control se limitan a la **protección puntual de valores vulnerables** y al uso de **anclajes muy robustos** (pistas, crestas rocosas, áreas previamente tratadas) para plantear tácticas de contención o confinamiento del fuego.

- **Ejes de propagación**

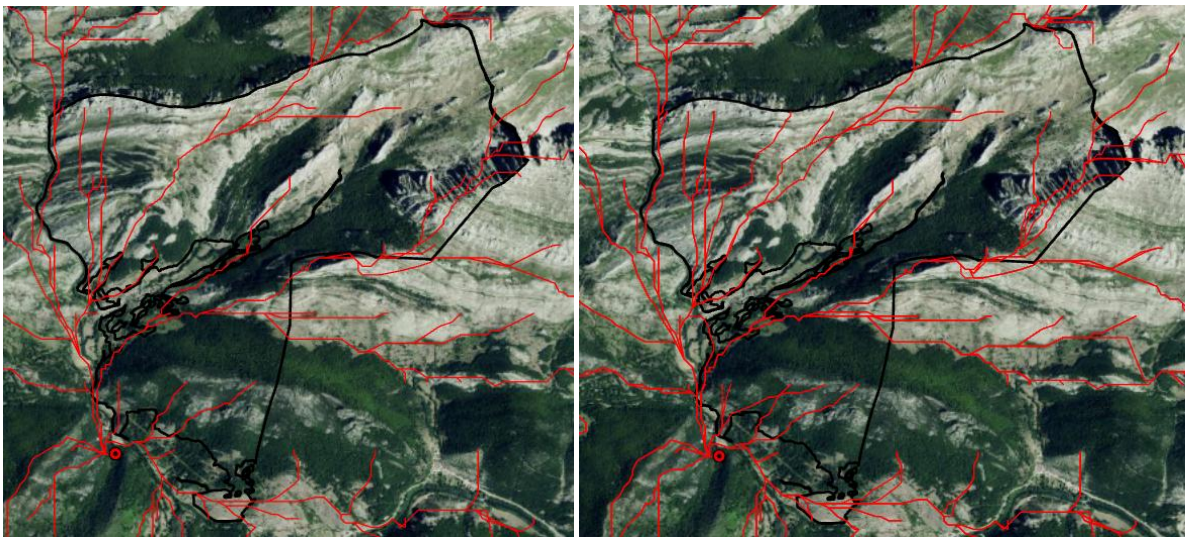


**Ilustración 20.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)***

En el **escenario medio**, los ejes de propagación simulados muestran un patrón de avance dominante desde el punto de inicio situado en el extremo suroccidental del puerto hacia las cotas más altas, siguiendo las laderas cubiertas por matorral y pastizal. El fuego tiende a canalizarse por vaguadas y corredores naturales, conectando rápidamente las distintas manchas de combustible continuo. Aun así, la presencia de cambios de pendiente y pequeñas áreas de menor carga de combustible introduce cierta diversificación de trayectorias que podría aprovecharse tácticamente.

En el **escenario extremo**, la densidad y longitud de los ejes de propagación aumentan significativamente. El incendio potencial presenta múltiples frentes activos que se extienden con rapidez a lo largo del conjunto del puerto, conectando las lenguas de matorral montano con las masas de hayedo y melojar. Este patrón refleja un fuego con gran capacidad de expansión lateral y longitudinal, en el que las oportunidades de anclar el incendio mediante ataque directo o indirecto se ven muy limitadas si no se interviene en fases muy precoces.

- **Alcance del incendio**

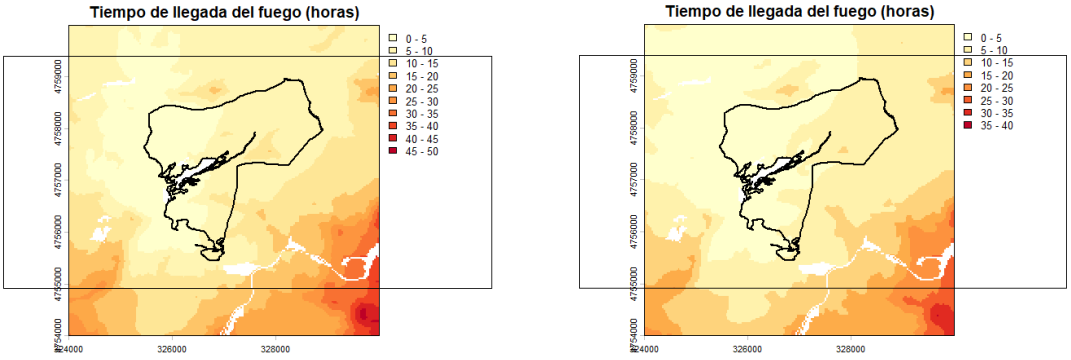



**Ilustración 21.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)***

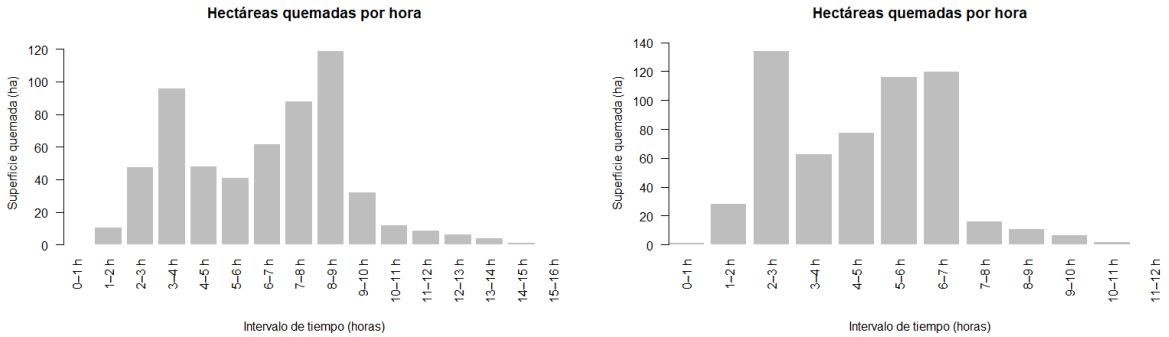



**Ilustración 22.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)***

El mapa de alcance del incendio, basado en el tiempo de llegada del frente de fuego (MTT), evidencia que el puerto de Las Pintas es altamente vulnerable bajo ambos escenarios. En el **escenario medio** se queman aproximadamente **563,0 ha** de las **589,3 ha** del puerto (≈ **95,5 %** de la superficie), con una tasa media de propagación en torno a **47 ha/h** a lo largo de las 12 horas de simulación.

En el **escenario extremo**, la superficie afectada aumenta hasta unas **574,6 ha**, lo que supone alrededor del **97,5 %** de la superficie total. El incendio prácticamente recorre todo el ámbito de estudio, con una ligera expansión adicional hacia las zonas periféricas de matorral y pastizal y con tiempos de llegada más reducidos, de modo que el margen temporal para establecer líneas de control se ve aún más restringido.

- **Tiempo de respuesta para la extinción**

En Las Pintas, el hecho de que el incendio potencial afecte a más del 95–97 % del puerto en el horizonte de 12 horas, combinando matorral continuo y masas de hayedo, implica que la ventana para un ataque inicial eficaz es extremadamente estrecha. La respuesta operativa debe producirse idealmente dentro de la primera hora y, en todo caso, antes de que el fuego alcance las laderas medias y los contactos matorral–hayedo, momento a partir del cual el modelo muestra una rápida generalización de zonas fuera de capacidad. Si la entrada de medios se retrasa, el puerto pasa rápidamente a un escenario donde la estrategia se limita a la protección de valores concretos y al confinamiento en líneas muy robustas.

- **Conclusiones**

En conjunto, Las Pintas se configura como un puerto de **alto riesgo de propagación rápida e incendios de elevada intensidad**, especialmente bajo condiciones extremas de sequía y viento. La combinación de amplias superficies de matorral montano continuo, pendientes acusadas y la presencia de masas arboladas de hayedo y melojar genera un escenario en el que el fuego puede evolucionar desde incendios de superficie muy rápidos a episodios localizados de fuego de copas en los rodales arbolados.

La comparación entre escenarios muestra que el paso de condiciones medias a extremas no sólo incrementa la velocidad de propagación y la altura de llama, sino que **prácticamente agota la superficie disponible para la propagación**, con más del 97 % del puerto afectado. Desde la óptica de la gestión, este resultado subraya la necesidad de mantener y reforzar discontinuidades de combustible en las zonas de matorral más continuas, así como de gestionar la interfase entre matorral y hayedo/melojar, de forma que se limite la capacidad del incendio para alcanzar las masas arboladas y se generen oportunidades reales de control en caso de ignición.

### *3.3. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en el Puerto de Regadas (Villablino)-León*

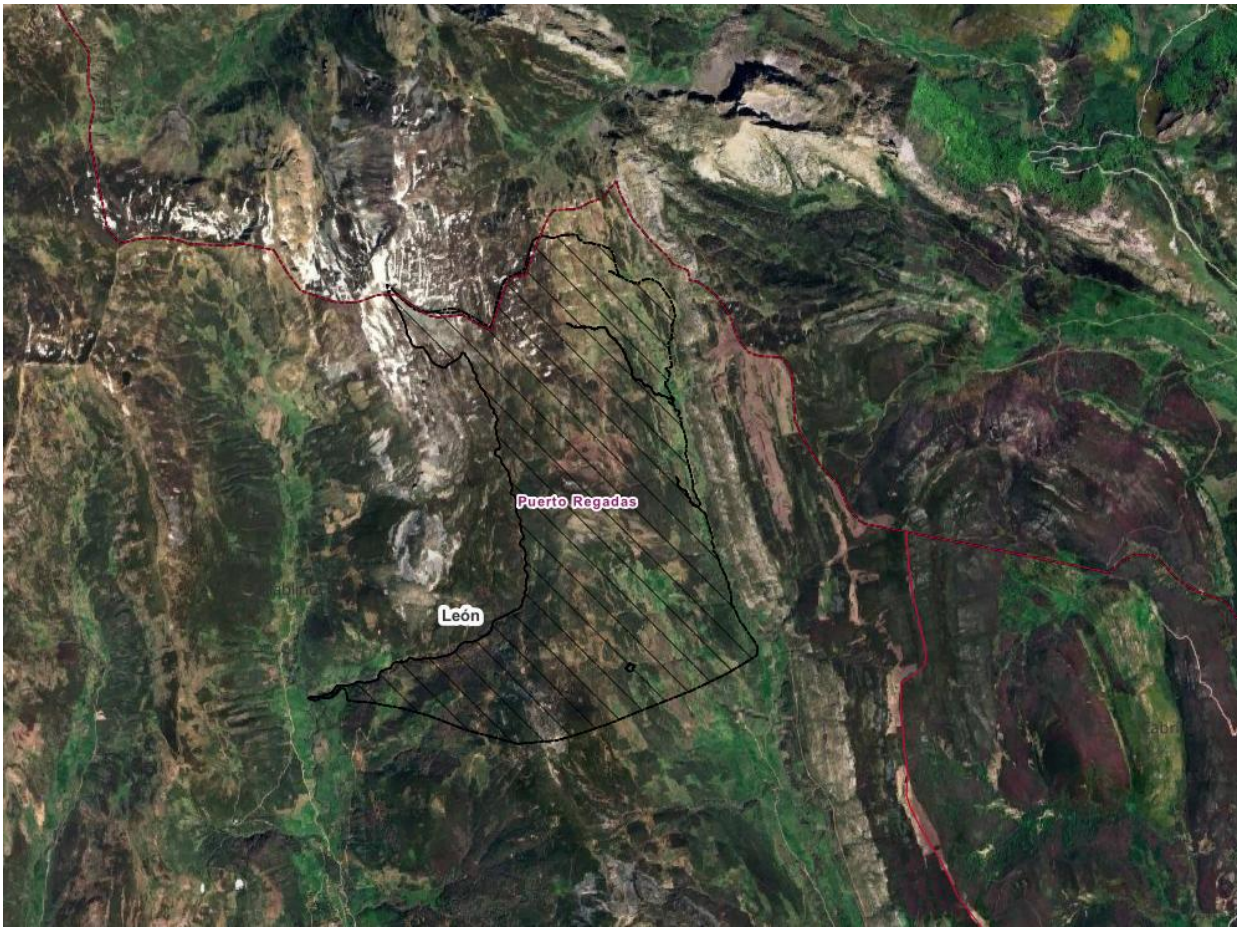



**Ilustración 23.-*Puerto de Regadas (León)***

En el puerto de Regadas situado al norte de la provincia de León. La cartografía del Mapa Forestal de España (MFE) muestra un paisaje claramente dominado por formaciones no arboladas, con un mosaico de matorral montano, pastizales y zonas rocosas, sobre el que se insertan manchas de monte arbolado de mezcla de coníferas autóctonas de la región biogeográfica Atlántica y una porción de melojares. Las formaciones arbustivas más representativas corresponden a brezales de mesófilos a xerófilos y biercolares; y piornales y matorrales retamoideos afinaes, no estrictamente de alta montaña, junto con brezales de carácter meso- a xerófilo y matorrales mixtos de ericáceas. Acompañan algunas zonas de herbazal – pastizal bajo algunas zonas arbustivas. Estas comunidades cubren buena parte de las laderas y zonas altas del puerto, y constituyen el sustrato principal de la vegetación combustible de la zona.

| Uso MFE | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Arbolado | 31,84 | 6,61 |
| Arbolado disperso | 29,99 | 6,22 |
| Arbolado ralo | 43,15 | 8,96 |
| Desarbolado | 376,87 | 78,21 |
| **Total** | 481,85 | 100 |

**Tabla 7.-Usos generales del MFE en el *Puerto de Regadas (León)***

El monte arbolado aparece en manchas de tamaño medio, distribuidas sobre todo en las umbrías y en las zonas de menor exposición. Predominan los pinares de pino albar (*Pinus sylvestris*) acompañados de melojares (*Quercus pyrenaica*), acompañados de extensiones de diversa superficie de pastizales. En conjunto, estas formaciones arboladas (arbolado, arbolado disperso y arbolado ralo) ocupan una proporción menor de la superficie total del puerto en comparación con las zonas no arboladas provistas de matorral de brezales y piornales principalmente, pero resultan relevantes desde el punto de vista de la estructura vertical del combustible y del comportamiento potencial del fuego.

| Tipo de formación arbolada | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| No arbolado | 406,86 | 84,44 |
| Melojares / rebollares (*Quercus pyrenaica*) | 31,84 | 6,61 |
| Mezcla de coníferas autóctonas de la región biogeográfica Atlántica | 43,15 | 8,96 |
| No arbolado | 406,86 | 1,02 |
| **Total** | **481,85** | **100** |

**Tabla 8.-Tipo de formación arbolada según el *Puerto de Regadas (León)***

Asociadas a estas comunidades aparecen también pastizales de alta montaña que se localizan en zonas de uso agroganadero tradicional y en claros dentro del matorral y del arbolado. En la zona norte afloran superficies rocosas y suelos desnudos someros, con escasa cobertura vegetal, facilitando la discontinuidad del combustible. Las formaciones arbustivas más representativas corresponden a brezales de mesófilos a xerófilos y biercolares; y piornales y matorrales retamoideos afinaes, no estrictamente de alta montaña, junto con brezales de carácter meso- a xerófilo y matorrales mixtos de ericáceas. En su conjunto, la vegetación del puerto de Regadas puede caracterizarse por ser de un paisaje de montaña con predomino de matorral montano con pastizales, con algunas zonas de pinar y rebollar intercalándose con el matorral.

| Tipo de matorral | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Brezales de mesófilos a xerófilos y biercolares, puros o mixtos (incluyendo matorrales mixtos de Ericáceas) | 395,99 | 82,18 |
| Orlas, espinares mesófilos mixtos y afines (dom. *Rosaceae*) | 10,79 | 2,24 |
| Piornales y matorrales retamoideos afines, no estrictamente de alta montaña | 75,08 | 15,58 |

**Tabla 9.-Tipo de formación de matorral según el MFE en el *Puerto de Regadas (León)***

El punto de inicio del incendio se ha situado en el **puerto de Regadas**, al norte de la provincia de León, sobre la pista–carretera que recorre el fondo del valle en el sector sur del ámbito de estudio, en el tramo donde dicha vía entra en contacto directo con el borde inferior del puerto. Esta ubicación responde a criterios de **plausibilidad**, ya que las infraestructuras lineales (carreteras de montaña, pistas y accesos a collados) concentran una parte importante de las igniciones reales, asociadas al

tránsito de vehículos, trabajos de mantenimiento viario y uso recreativo del entorno. Además, el punto elegido marca el contacto entre el valle más humanizado y el dominio de matorral montano y pastizales descrito por el Mapa Forestal de España, por lo que constituye un lugar verosímil para la aparición de un fuego de origen antrópico.

Desde este punto de inicio, el incendio simulado puede **propagarse pendiente arriba** a través del mosaico de **brezales mesó- a xerófilos y biercolares, piornales y matorrales retamoideos afines y matorrales mixtos de ericáceas**, acompañados de zonas de herbazal–pastizal que cubren buena parte de las laderas y zonas altas del puerto. Posteriormente, el frente de fuego puede interactuar con las manchas arboladas de **mezclas de coníferas autóctonas de la región atlántica y los melojares (Quercus pyrenaica)** que se insertan en este paisaje. De este modo, el escenario de modelización reproduce una situación realista de inicio de incendio en un puerto muy expuesto y transitado y, al mismo tiempo, permite evaluar cómo se comporta el fuego al atravesar la matriz dominante de formaciones no arboladas y su conexión con las masas arboladas presentes en el puerto de Regadas.

Como ya se explico anteriormente en la metodología se han modelizado dos escenarios de propagación de incendio uno medio y otro extremo.

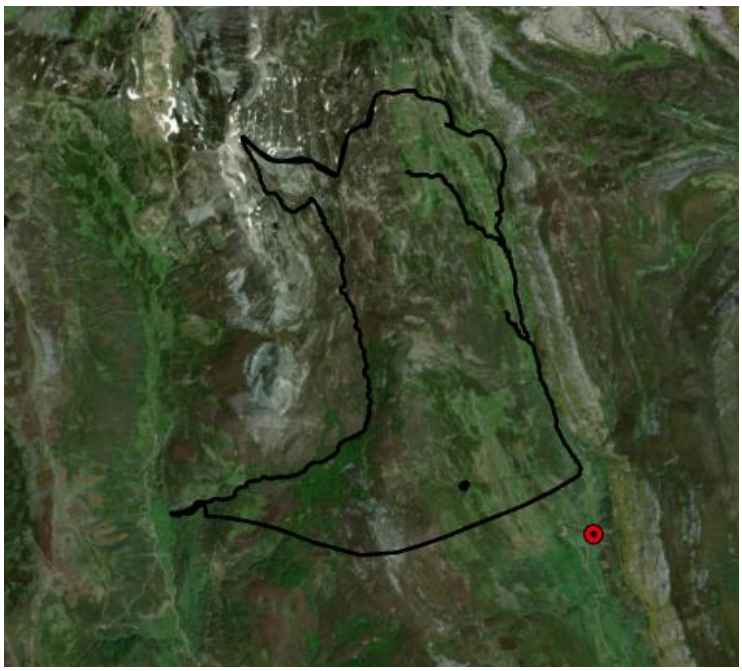


**Ilustración 24.-** ***Puerto de Regadas (León) y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio***

- **Modelo de combustible**

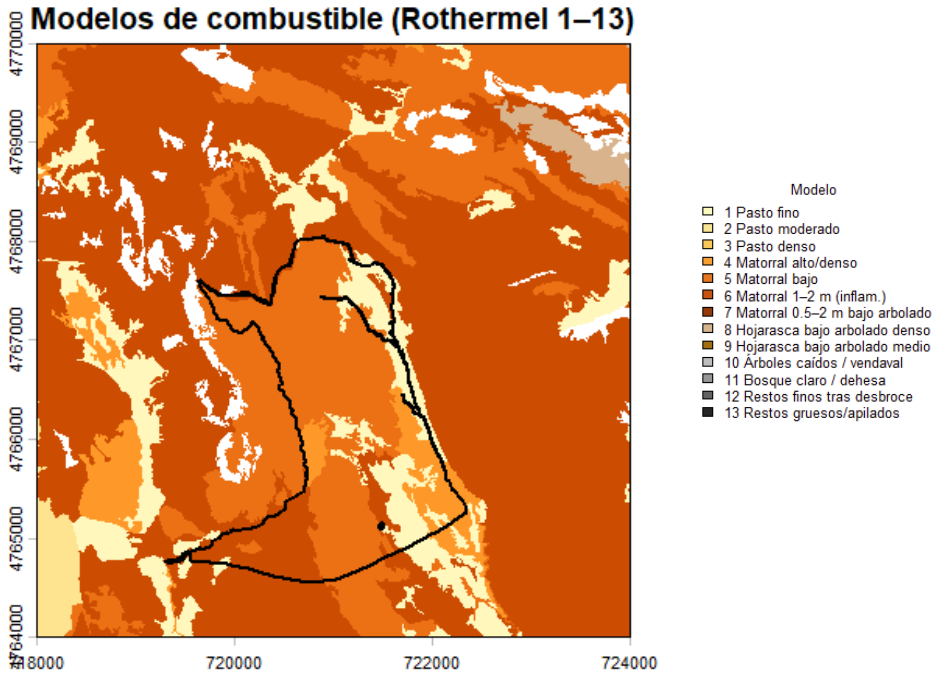



**Ilustración 25.-*Modelo de combustible en* el *Puerto de Regadas (León)***

La cartografía de modelos de combustible (Rothermel 1–13) para el puerto de Regadas confirma el patrón descrito a partir del Mapa Forestal de España: se trata de un paisaje de montaña **claramente dominado por matorral montano**, con presencia secundaria de pastizales y manchas arboladas. Dentro del perímetro del puerto (zona delimitada en negro) predominan de forma muy clara los **modelos arbustivos 4, 5 y 6** (matorral alto/denso, matorral bajo y matorral de 1–2 m inflamable), que se corresponden con los **brezales mesó- a xerófilos y biercolares, así como con los piornales y matorrales retamoideos afines** que cubren buena parte de las laderas y zonas altas. Estos modelos se caracterizan por una **alta continuidad horizontal de combustible fino leñoso** y por la capacidad de generar llamas relativamente altas bajo condiciones secas y ventosas, configurando un potencial de incendio de **intensidad moderada-alta** a escala de puerto.

De forma más localizada aparecen **modelos de pasto (1–3)** en las zonas de herbazal–pastizal ligadas a usos agroganaderos y a pequeñas depresiones topográficas. Aunque su carga leñosa es menor, cuando el pasto está muy seco estos modelos pueden actuar como **corredores de propagación rápida**, conectando entre sí los parches de matorral de mayor carga (4–6). Asociadas a las manchas arboladas de **mezcla de coníferas autóctonas y melojares (Quercus pyrenaica)** se cartografían píxeles de **hojarasca bajo arbolado (modelos 8–9)**, que introducen **estructura vertical de combustible** y pueden incrementar localmente la intensidad del fuego cuando el frente que avanza por el matorral alcanza estas masas.

En conjunto, el puerto de Regadas se configura, desde el punto de vista de modelos de combustible, como un **mosaico dominado por matorral montano de media-alta carga (4–6), con pastizales (1–3) y pequeñas manchas de hojarasca bajo arbolado (8–9)**. Este patrón se traduce en un escenario donde el comportamiento esperado del fuego es principalmente de **incendio de superficie en matorral y pastizal**, con capacidad para frentes rápidos e intensos en episodios de sequía y viento, y con puntos de posible incremento de severidad en las zonas donde el incendio entra en contacto con las masas arboladas del puerto.

- **Velocidad de propagación del fuego (m/min)**

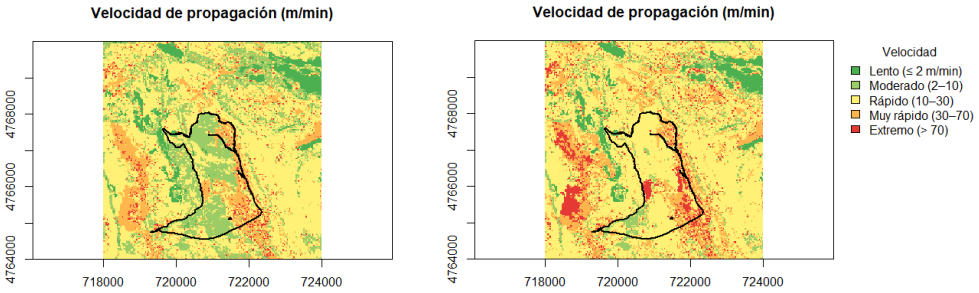



**Ilustración 26.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Regadas (León)***

En el **escenario medio**, la velocidad de propagación es mayoritariamente rápida en las laderas cubiertas por matorral (modelos 4–6) y moderada en los pastizales y zonas de mezcla de combustible. El incendio tiende a acelerar su avance al remontar las pendientes desde el fondo del valle hacia las divisorias, especialmente allí donde la continuidad del matorral es elevada.

En el **escenario extremo**, se observa un incremento notable de la velocidad en prácticamente todo el puerto, con amplias áreas en las clases "rápido" y "muy rápido". La combinación de pendientes acusadas, matorral continuo y condiciones de sequía y viento hace que el frente de fuego pueda recorrer el puerto de forma muy rápida, superando con facilidad los umbrales de velocidad asumibles para el ataque directo.

- **Altura de llama (m)**

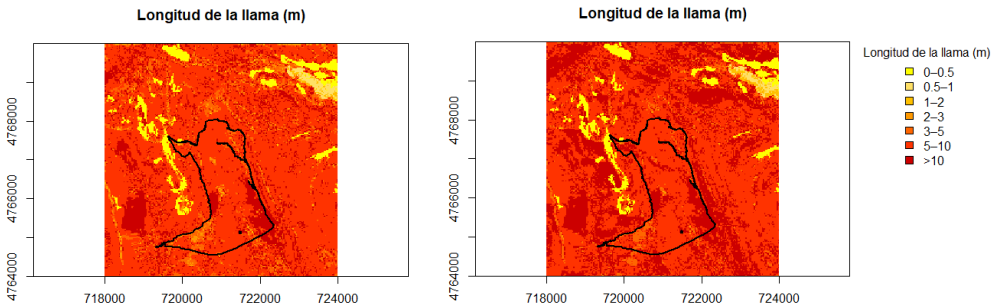



**Ilustración 27.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Regadas (León)***

En el **escenario medio**, las alturas de llama se sitúan principalmente en rangos moderados, típicos de incendios de superficie en matorral, con valores más elevados en las zonas donde el combustible arbustivo es más denso o entra en contacto con las pequeñas masas arboladas de melojar y coníferas. Estas áreas puntuales concentran la mayor intensidad del incendio.

En el **escenario extremo**, la altura de llama aumenta de forma generalizada, con extensas superficies donde se alcanzan valores altos, especialmente en las laderas de exposición favorable y en los bordes de las masas arboladas. Este incremento implica un fuego mucho más severo, con mayor potencial de daño sobre la vegetación y mayores dificultades de trabajo seguro para los equipos de extinción.

- **Actividad del fuego en las copas de los árboles**

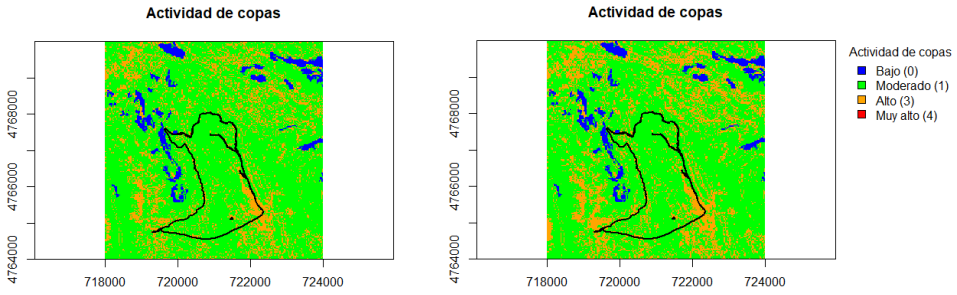



**Ilustración 28.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Regadas (León)***

En el **escenario medio**, la actividad de copas se concentra en las manchas de arbolado de mayor continuidad, donde se observan situaciones de fuego de copas pasivo o de transición, mientras que en el resto del puerto predomina el fuego de superficie en matorral y pasto.

En el **escenario extremo**, aumenta tanto la probabilidad como la extensión de las zonas con fuego de copas, especialmente en las masas mixtas de coníferas y melojar situadas en umbrías y medias laderas. Aunque no se trata de un incendio de copas generalizado a toda la superficie, la presencia de tramos con actividad de copas limita la eficacia de las tácticas de ataque directo y aumenta la complejidad del comportamiento del fuego.

- **Zonas fuera de la capacidad de extinción**

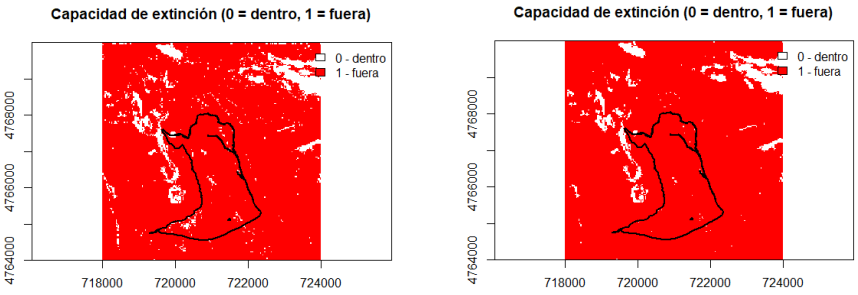



**Ilustración 29.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Regadas (León)***

En el **escenario medio**, el mapa de capacidad de extinción identifica ya una proporción importante del puerto como fuera de capacidad, asociada a combinaciones de velocidades elevadas, llamas altas y presencia puntual de fuego de copas en las masas arboladas. Solo en algunos sectores periféricos y en ciertos pastizales se mantienen condiciones más favorables para una posible intervención directa.

En el **escenario extremo**, las zonas fuera de capacidad se generalizan y prácticamente abarcan el conjunto del puerto, reflejando un incendio de muy difícil control con medios convencionales. Bajo estas condiciones, las opciones de gestión se limitarían a la protección de puntos críticos y al uso de anclajes muy robustos (pistas, cortafuegos, áreas previamente tratadas) para estrategias de contención.

- **Ejes de propagación**

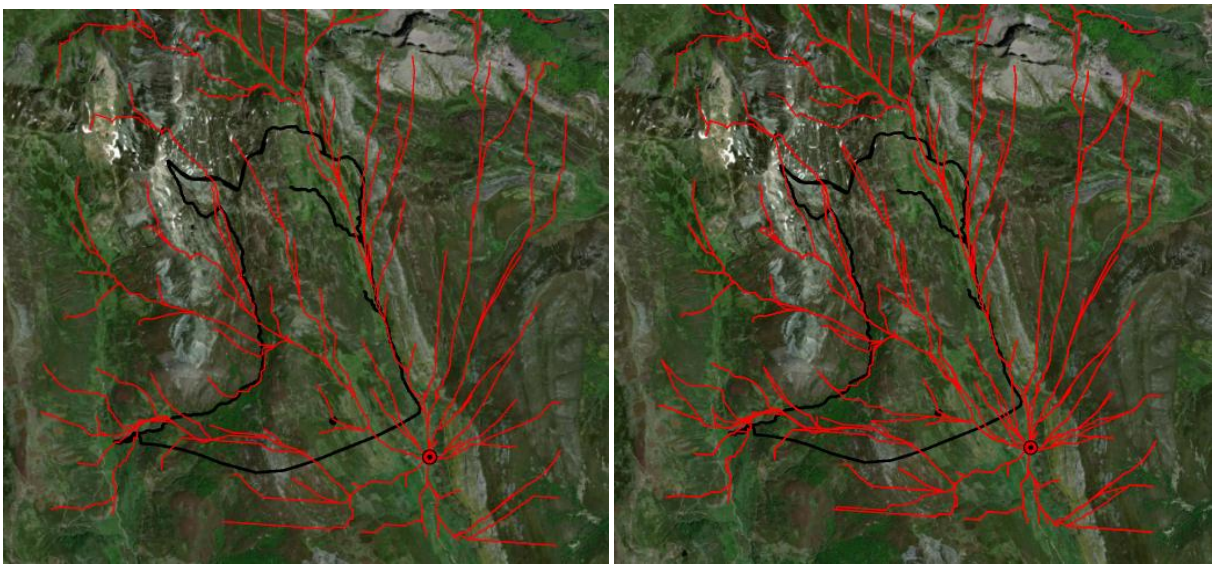


**Ilustración 30.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Regadas (León)***

En el **escenario medio**, los ejes de propagación describen un avance principal desde el punto de inicio en el fondo del valle hacia las laderas y divisorias, aprovechando las pendientes y la continuidad de matorral. El fuego tiende a canalizarse por los barrancos y vaguadas que actúan como corredores naturales.

En el **escenario extremo**, los ejes se vuelven más densos y se extienden a una mayor altitud y profundidad dentro del puerto, con trayectorias que conectan rápidamente las masas arboladas con las zonas de matorral circundantes. Este patrón indica una rápida saturación del espacio disponible para maniobras de extinción y una elevada probabilidad de que el incendio afecte al conjunto del ámbito.

- **Alcance del incendio**

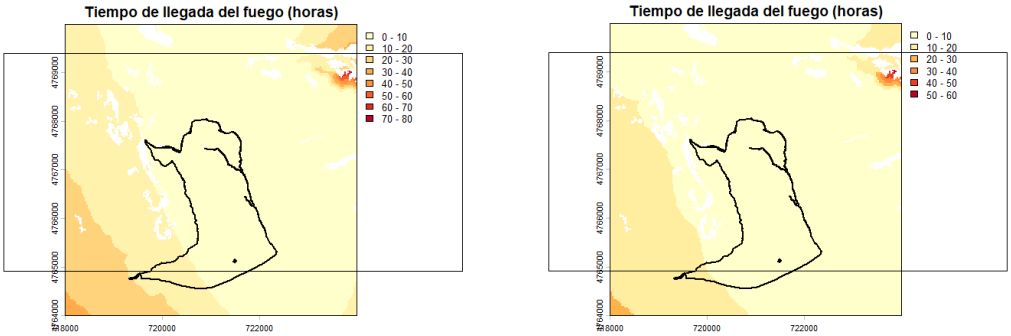



**Ilustración 31.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en* el *Puerto de Regadas (León)***

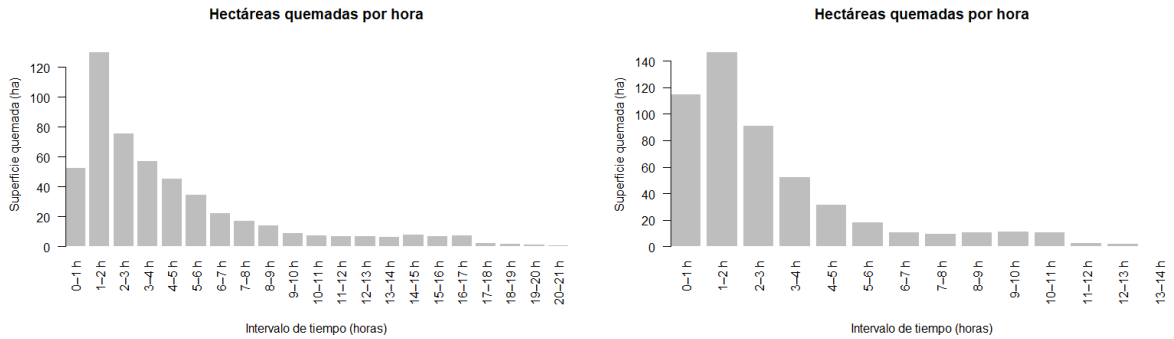



**Ilustración 32.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)***

En el **escenario medio**, el incendio simulado llega a afectar unas 470,3 ha de las 484,3 ha del puerto (aproximadamente un 97,1 % de la superficie), con una tasa media de unas 39,2 ha/h en 12 horas de simulación.

En el **escenario extremo**, la superficie quemada alcanza las 484,3 ha, es decir, la totalidad del puerto (100 %), con una tasa de unas 40,4 ha/h. El paso del escenario medio al extremo no supone tanto un aumento del área afectada —ya muy elevada— como una intensificación del comportamiento del fuego y una pérdida casi total de capacidad de control.

- **Tiempo de respuesta para la extinción**

En Regadas, donde el incendio potencial alcanza prácticamente el 100 % de la superficie en 12 horas, el tiempo de respuesta admisible es muy corto. Las velocidades de propagación y la presencia de zonas fuera de capacidad de extinción hacen que el ataque inicial deba plantearse en los primeros momentos tras la ignición, aprovechando los accesos por el valle y las pocas discontinuidades existentes. Una detección tardía sitúa rápidamente el incendio en una fase en la que sólo son viables tácticas defensivas y de contención lejana, con escasas oportunidades de controlar el frente principal dentro del puerto.

- **Conclusiones**

En Regadas, la elevada continuidad del matorral montano y la presencia de masas arboladas estratégicamente situadas configuran un escenario de riesgo muy alto, en el que el incendio puede implicar prácticamente toda la superficie del puerto incluso bajo condiciones de clima medio. El escenario extremo acentúa la severidad del comportamiento del fuego y extiende la actividad de copas, situando prácticamente toda el área fuera de capacidad de extinción. Desde la perspectiva de gestión, resulta prioritario consolidar y ampliar discontinuidades de combustible en zonas clave (fondos de valle, contactos con masas arboladas, pistas y divisorias) y evaluar actuaciones selvícolas específicas en las masas forestales más vulnerables.

### *3.4. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en el Puerto de Peñalba (Boca de Huérgano)-León*

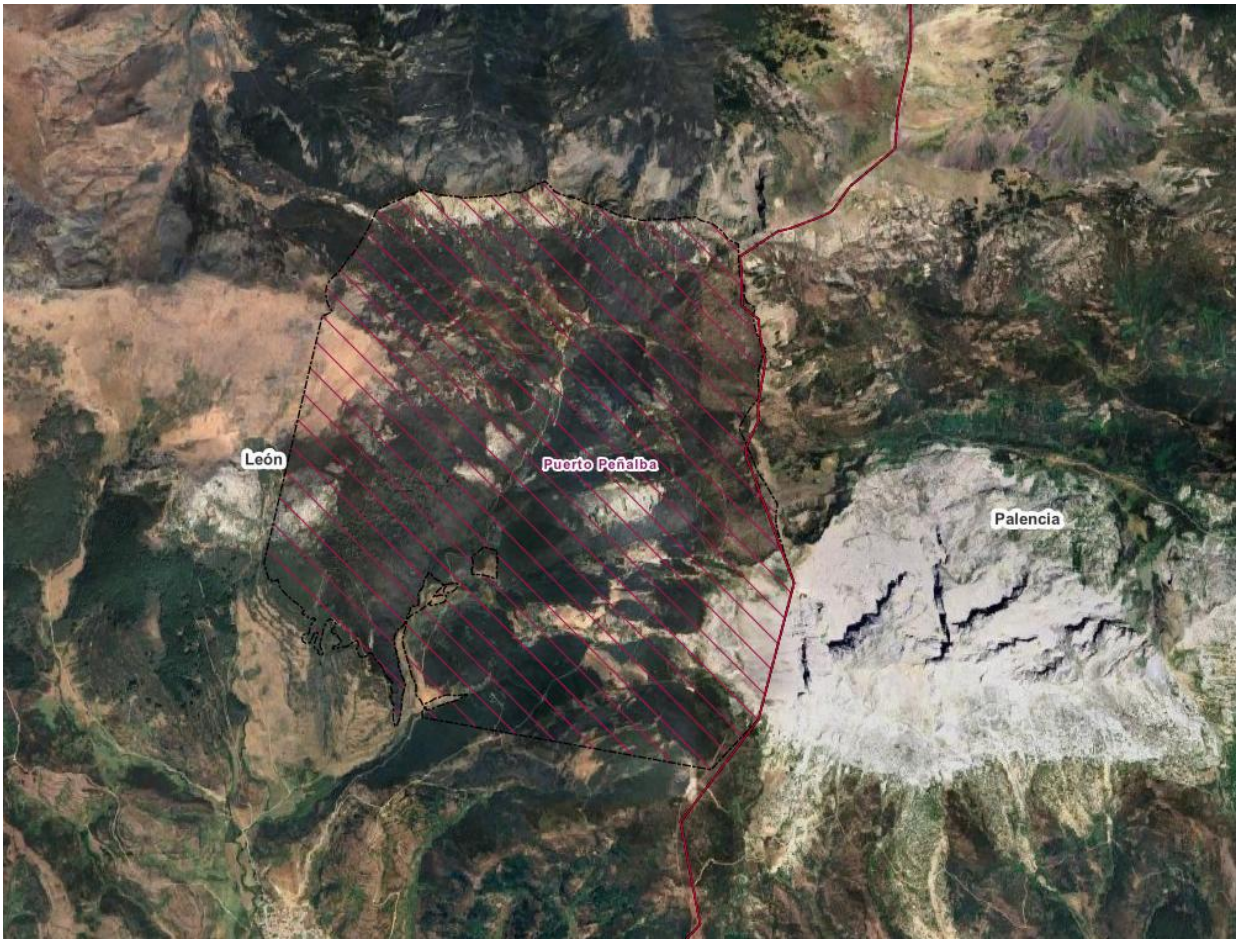



**Ilustración 33.-*Puerto de Peñalba (León)***

En el puerto de Peñalba situado al este de la provincia de León, la cartografía del Mapa Forestal de España (MFE) muestra un paisaje claramente dominado por formaciones no arboladas, con un mosaico de matorral montano, pastizales y zonas rocosas, sobre el que se insertan manchas de monte arbolado de melojares (*Quercus pirenaica*). Las formaciones arbustivas más representativas corresponden a brezales de mesófilos a xerófilos y biercolares, puros o mixtos; escobonales/xesteiras; piornales de montaña; piornales de montaña; piornales y matorrales retamoideos afines y sabino enebrales rastreros. Acompañan amplias zonas de pastizal de alta montaña. Estas comunidades cubren buena parte de las laderas y zonas altas del puerto, y constituyen el sustrato principal de la vegetación combustible de la zona.

| Uso MFE | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Arbolado | 16,63 | 1,85 |
| Artificial | 0,89 | 0,10 |
| Cultivos | 8,69 | 0,97 |
| Desarbolado | 874,72 | 97,09 |
| **Total general** | 900,94 | |

**Tabla 10.-Usos generales del MFE en *Puerto de Peñalba (León)***

El monte arbolado aparece en una única superficie pequeña. Predominan los melojares (rebollares de *Quercus pyrenaica*), acompañados de extensiones de diversa superficie de pastizales. En conjunto, estas formaciones arboladas ocupan una proporción pequeña de la superficie total del puerto en comparación con las zonas no arboladas provista de matorral de brezales de mesófilos a xerófilos y biercolares, puros o mixtos; escobonales/xesteiras; piornales de montaña; piornales de montaña; piornales y matorrales retamoideos afines y sabino enebrales rastreros. Presenta el puerto además, una pequeña zona de cultivos en la zona sur, anexa a zonas desarboladas. Desde el punto de vista de la estructura vertical del combustible y del comportamiento potencial del fuego, existe una única zona de arbolado con posible sotobosque de matorral con ineludible riesgo de intensificación de las condiciones en caso de incendio.

| Tipo de formación arbolada | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Melojares (*Quercus pyrenaica*) | 16,63 | 1,85 |
| No arbolado | 884,31 | 98,15 |
| **Total** | **900,94** | **100** |

**Tabla 11.-Tipo de formación arbolada según el MFE en *Puerto de Peñalba (León)***

Asociadas a estas comunidades aparecen también algunas zonas de pastizales de alta montaña que se localizan en áreas dispersas entre el matorral. En la zona norte afloran superficies rocosas y suelos desnudos someros, con escasa cobertura vegetal, facilitando la discontinuidad del combustible. Las formaciones arbustivas más representativas corresponden a brezales de mesófilos a xerófilos y biercolares, puros o mixtos; escobonales/xesteiras; piornales de montaña; piornales de montaña; piornales y matorrales retamoideos afines y sabino enebrales rastreros. Acompañan amplias zonas de pastizal de alta montaña. En su conjunto, la vegetación del puerto de Peñalba puede caracterizarse por ser de un paisaje de montaña con predomino de matorral montano con pastizales, con una zona melojar (*Quercus pirenaica*).

| Tipo de matorral | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Brezales de mesófilos a xerófilos y biercolares, puros o mixtos (incluyendo matorrales mixtos de Ericáceas) | 516,55 | 57,33 |
| Escobonales/xesteiras | 69,53 | 7,72 |
| Piornales de montaña | 175,94 | 19,53 |
| Piornales y matorrales retamoideos afines, no estrictamente de alta montaña | 100,28 | 11,13 |
| Sabino enebrales rastreros | 0,007 | 0,00 |
| **Total** | **900,94** | 100 |

**Tabla 12.-Tipo de formación de matorral según el MFE en *Puerto de Peñalba (León)***

El punto de inicio del incendio se ha situado en el puerto de Peñalba, al este de la provincia de León, sobre la carretera de acceso que asciende desde el fondo del valle hacia la zona alta del puerto, en el lugar señalado en la figura con un círculo rojo, en el borde sur del ámbito de estudio. Esta ubicación responde a criterios de plausibilidad, ya que las infraestructuras lineales (carreteras de puerto, pistas y accesos a collados) concentran una parte importante de las igniciones reales, asociadas al tránsito de vehículos, frenadas prolongadas, trabajos de mantenimiento viario y uso recreativo del entorno de alta

montaña. Además, el punto elegido marca el contacto entre el valle más humanizado y el dominio de matorral montano y pastizales descrito por el Mapa Forestal de España, por lo que constituye un lugar verosímil para la aparición de un fuego de origen antrópico.

Desde este punto de inicio, el incendio simulado puede propagarse pendiente arriba a través del mosaico de brezales mesó- a xerófilos, escobonales/xesteiras, piornales de montaña, matorrales retamoideos afines y sabino-enebrales rastreros, acompañados de amplias zonas de pastizal de alta montaña, que cubren la mayor parte de las laderas y zonas altas del puerto. Posteriormente, el frente de fuego puede interactuar con las manchas arboladas de melojar (Quercus pyrenaica) insertas en este paisaje. De este modo, el escenario de modelización reproduce una situación realista de inicio de incendio en un puerto muy expuesto y transitado y, al mismo tiempo, permite evaluar cómo se comporta el fuego al atravesar la matriz dominante de formaciones no arboladas y su conexión con las masas de melojar presentes en el ámbito de estudio.

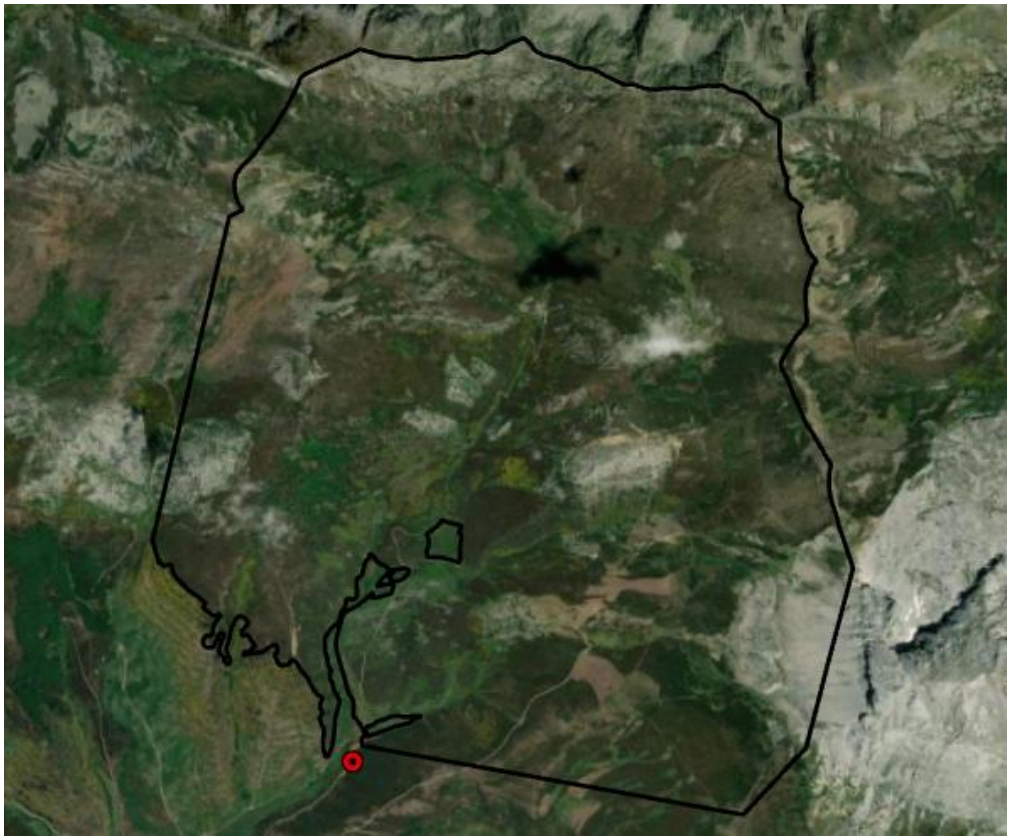


**Ilustración 34.-** ***Puerto de Peñalba (León) y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio***

- **Modelo de combustible**

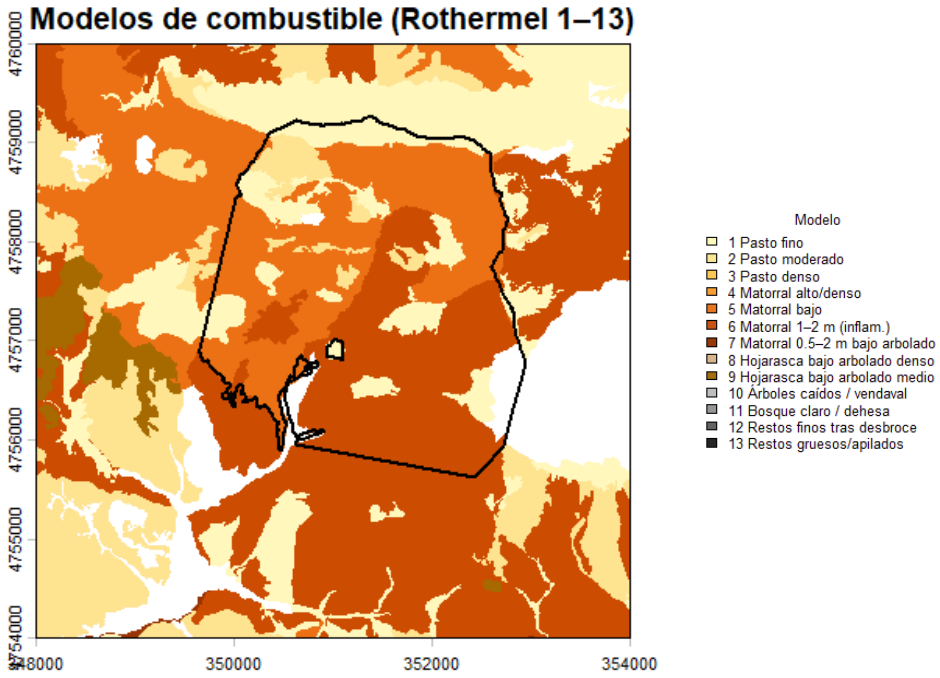



**Ilustración 35.-*Modelo de combustible en* el *Puerto de Peñalba (León)***

La cartografía de modelos de combustible (Rothermel 1–13) para el puerto de Peñalba confirma el carácter de paisaje de alta montaña dominado por formaciones no arboladas que se desprende del Mapa Forestal de España. Dentro del perímetro del puerto (zona delimitada en negro) predominan claramente los modelos de matorral 4, 5 y 6 (matorral alto/denso, matorral bajo y matorral de 1–2 m inflamable), asociados a los brezales mesó- a xerófilos, escobonales/xesteiras, piornales de montaña, matorrales retamoideos y sabino-enebrales rastreros que tapizan la mayor parte de las laderas y zonas altas. Estos modelos se caracterizan por una alta continuidad horizontal de combustible fino leñoso y por la capacidad de generar llamas relativamente altas bajo condiciones de sequedad y viento, lo que se traduce en un potencial de incendio de intensidad moderada-alta.

De forma más localizada aparecen modelos de pasto (1–3) en fondos de valle, rellanos y áreas de uso agroganadero, que presentan menor carga de combustible pero pueden funcionar como corredores de propagación rápida cuando los pastizales están muy secos, conectando entre sí las manchas de matorral de mayor carga. En algunos sectores del borde sur y en pequeñas manchas internas se cartografían píxeles correspondientes a modelos de hojarasca bajo arbolado (8–9) o bosque claro (11), vinculados a las reducidas masas arboladas de melojar (Quercus pyrenaica) que se insertan en el mosaico de matorral y pastizal. Aunque su superficie es comparativamente baja, estas formaciones introducen estructura vertical de combustible y pueden incrementar localmente la intensidad del fuego cuando se ven alcanzadas por los frentes que avanzan por el matorral circundante.

En conjunto, el puerto de Peñalba se configura, desde el punto de vista de modelos de combustible, como un mosaico dominado por matorral montano de media-alta carga (modelos 4–6) y pastizales (1–3), salpicado por pequeñas manchas de melojar (8–9/11) y por áreas rocosas de combustible muy reducido, lo que da lugar a un escenario donde, en condiciones climatológicas normales, el comportamiento del fuego se espera mayoritariamente de superficie en matorral y pasto, mientras que bajo episodios extremos de sequía y viento pueden producirse frentes muy rápidos y de elevada intensidad a escala de todo el puerto.

- **Velocidad de propagación del fuego (m/min)**

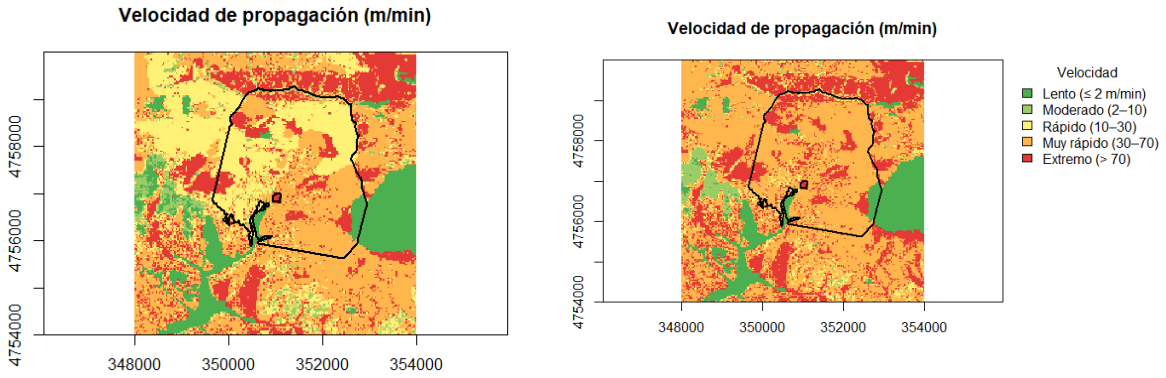



**Ilustración 36.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en Peñalba (León)***

En el **escenario medio**, la velocidad de propagación es elevada en el matorral de alta carga que domina el puerto (modelos 4–6), con valores mayoritariamente rápidos y algunos tramos muy rápidos en las laderas de mayor pendiente. En las escasas zonas de pastizal abierto, la velocidad puede ser también alta cuando el estrato herbáceo está muy seco.

En **el escenario extremo**, se produce un incremento adicional de la velocidad, con una generalización de las clases "rápido" y "muy rápido" a la práctica totalidad del puerto. Este comportamiento refleja un incendio con gran capacidad de avance, difícil de abordar con tácticas directas salvo en los primeros momentos.

- **Altura de llama (m)**

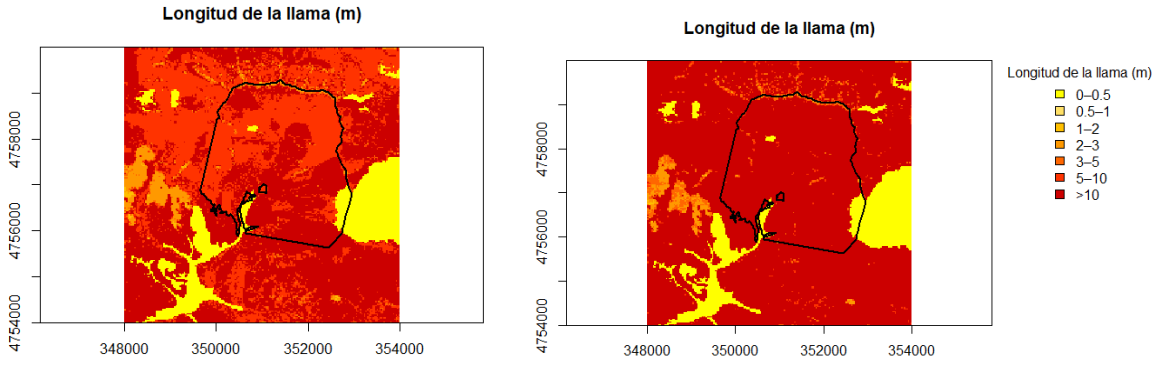



**Ilustración 37.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente en Peñalba (León)***

En el **escenario medio**, las alturas de llama se sitúan en valores moderados a altos en las laderas de matorral denso, mientras que en los pastizales son algo más reducidas. El patrón es coherente con un incendio de matorral de intensidad moderada-alta.

En el **escenario extremo**, la altura de llama aumenta significativamente y se extiende a una mayor superficie, especialmente en las laderas expuestas y en el contacto con la pequeña mancha de melojar.

La mayor longitud de llama implica una severidad elevada y un incremento del potencial de daño sobre el arbolado y la vegetación de alta montaña.

- **Actividad del fuego en las copas de los árboles**

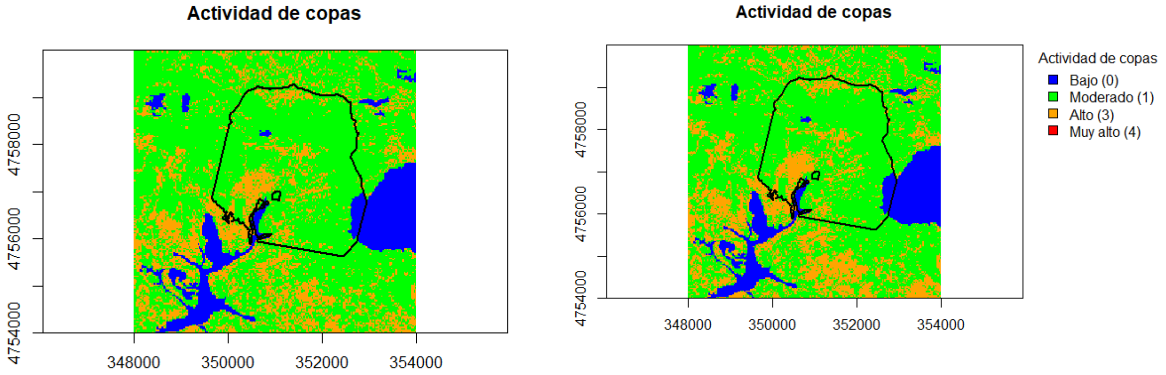



**Ilustración 38.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en Peñalba (León)***

En el **escenario medio**, la actividad de copas es puntual y se circunscribe básicamente a la pequeña superficie de melojar, donde el fuego puede transicionar desde el matorral subyacente. El resto del puerto mantiene un comportamiento de fuego de superficie.

En el **escenario extremo**, estas zonas con posible fuego de copas se amplían ligeramente en torno al melojar y sus bordes, aunque sin llegar a constituir un incendio de copas generalizado. El riesgo principal sigue asociado al fuego de superficie de alta intensidad en el matorral.

- **Zonas fuera de la capacidad de extinción**

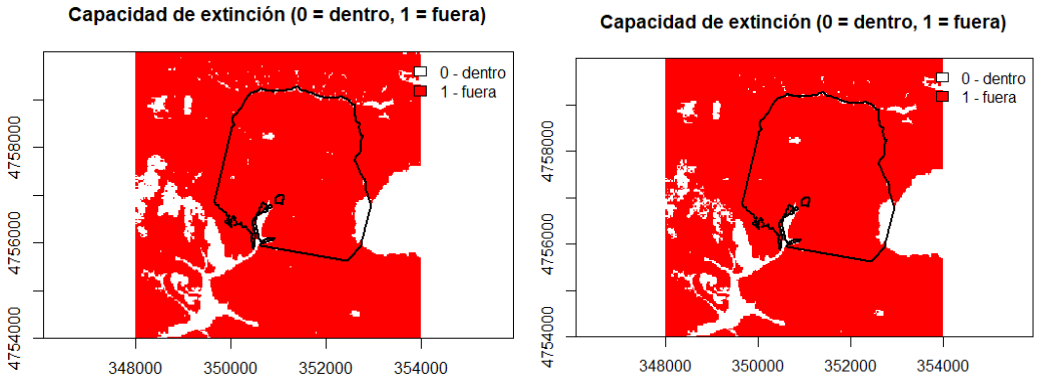



**Ilustración 39.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en Peñalba (León)***

- **Ejes de propagación**

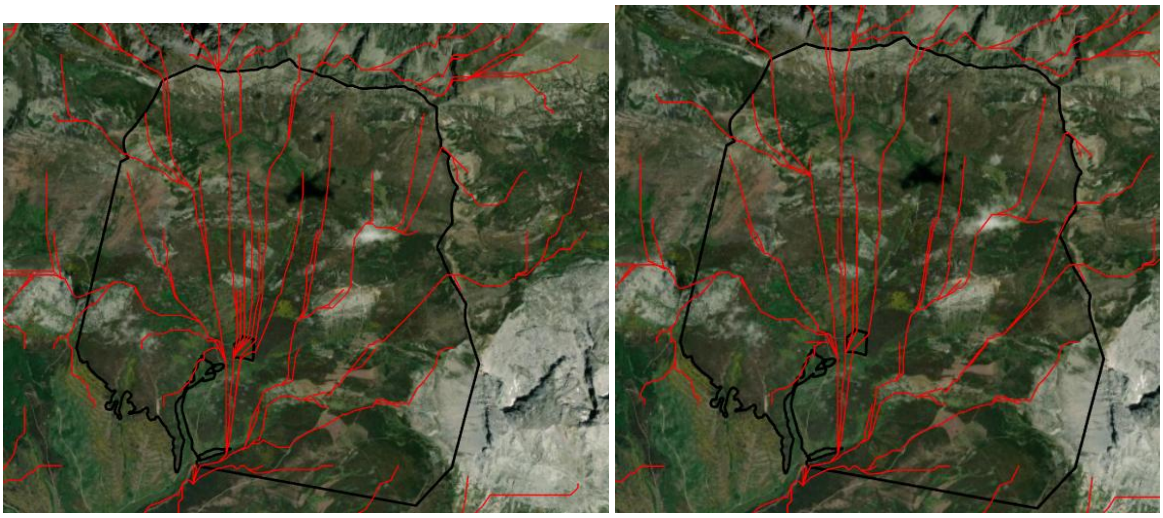


**Ilustración 40.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en Peñalba (León)***

En el **escenario medio**, los ejes de propagación indican un avance dominante desde el punto de inicio hacia las zonas altas del puerto, siguiendo las laderas de matorral y los corredores naturales.

En el **escenario extremo**, los ejes se multiplican y alargan, cubriendo prácticamente todo el ámbito y mostrando trayectorias muy rápidas hacia las divisorias y hacia la pequeña mancha arbolada. Este patrón evidencia un incendio con fuerte potencial de generalización y con escasas oportunidades de control.

- **Alcance del incendio**

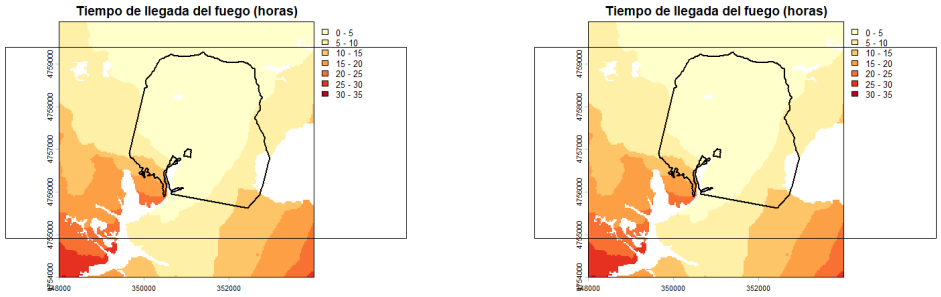



**Ilustración 41.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en Peñalba (León)***

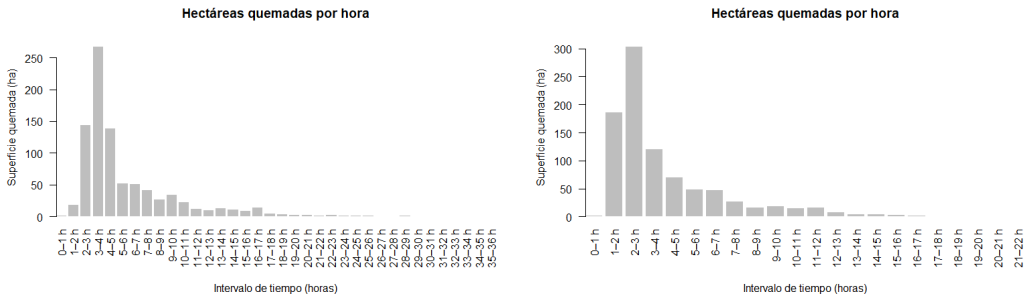



**Ilustración 42.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente en Peñalba (León)***

En el **escenario medio**, el fuego afecta a unas 807,4 ha de las 900,7 ha del puerto (89,6 %), con una tasa media de 67,3 ha/h.

En el **escenario extremo**, la superficie quemada aumenta hasta unas 869,0 ha (96,5 %), con una tasa aproximada de 72,4 ha/h. El incendio potencial implica, por tanto, la práctica totalidad del puerto en condiciones extremas.

- **Tiempo de respuesta para la extinción**

En Peñalba, donde el incendio simulado afecta a casi toda la superficie del puerto en ambos escenarios, el modelo indica que el margen temporal para la extinción es muy limitado. La combinación de matorral de alta continuidad y pendientes acusadas hace que, si no se actúa muy pronto, el fuego recorra en pocas horas las principales laderas y alcance la pequeña mancha de melojar. Por ello, la respuesta operativa debe plantearse como de alta prioridad temporal, con necesidad de ataque inicial inmediato y utilización intensiva de los accesos y discontinuidades disponibles antes de que el incendio consolide frentes extensos.

- **Conclusiones**

Peñalba constituye un ejemplo claro de paisaje de alta montaña dominado por matorral de elevada continuidad, en el que los incendios potenciales presentan velocidades y alturas de llama muy altas y afectan a casi toda la superficie disponible, especialmente en condiciones extremas. La gestión debería priorizar actuaciones de creación o refuerzo de discontinuidades en las laderas más continuas, y la protección específica de la pequeña mancha de melojar, que puede sufrir daños severos cuando es alcanzada por frentes de fuego de alta intensidad.

### *3.5. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en el Puerto de Villanueva de la Peña (Castrejón de la Peña) -Palencia*



**Ilustración 43.-*Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)***

En el puerto de Villanueva de la Peña situado al norte de la provincia de Palencia, la cartografía del Mapa Forestal de España (MFE) muestra un paisaje claramente dominado por formaciones no

arboladas, con un mosaico de matorral montano, pastizales y zonas rocosas, sobre el que se insertan manchas de monte arbolado. Las formaciones arbustivas más representativas corresponden a enebrales y sabinares rastreros, junto con brezales de carácter meso- a xerófilo y matorrales mixtos de ericáceas. Estas comunidades cubren buena parte de las laderas y zonas altas del puerto, y constituyen el sustrato principal de la vegetación combustible de la zona.

| Uso MFE | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| **Desarbolado** | 921,46 | 82,71 % |
| **Arbolado** | 172,15 | 15,45 % |
| **Cultivos** | 17,37 | 1,56 % |
| **Arbolado disperso** | 3,05 | 0,27 % |
| **Artificial** | 0,07 | 0,01 % |
| **Total** | **1.114,10** | **100 %** |

**Tabla 13.-Usos generales del MFE en el puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)**

El monte arbolado aparece en manchas de tamaño medio y pequeño, distribuidas sobre todo en las umbrías y en las zonas de menor exposición. Predominan los encinares y melojares (rebollares), acompañados localmente por pinares de pino albar (*Pinus sylvestris*) y pequeñas choperas de producción en los fondos de valle. En conjunto, estas formaciones arboladas ocupan una proporción menor de la superficie total del puerto en comparación con el matorral, pero resultan relevantes desde el punto de vista de la estructura vertical del combustible y del comportamiento potencial del fuego.

| Tipo de formación arbolada | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| **No arbolado** | 941,94 | 84,55 % |
| **Encinares (*Quercus ilex*)** | 95,68 | 8,59 % |
| **Melojares / rebollares (*Quercus pyrenaica*)** | 64,94 | 5,83 % |
| **Pinar de pino albar (*Pinus sylvestris*)** | 11,34 | 1,02 % |
| **Hayedos (*Fagus sylvatica*)** | 0,12 | 0,01 % |
| **Choperas y plataneras de producción** | 0,08 | 0,01 % |
| **Total** | **1.114,10** | **100 %** |

**Tabla 14.-Tipo de formación arbolada según el MFE en el puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)**

Asociadas a estas comunidades aparecen también pastizales y herbazales de distinta productividad, que se localizan en zonas de uso agroganadero tradicional y en claros dentro del matorral y del arbolado. En las partes más expuestas afloran superficies rocosas y suelos muy someros, con escasa cobertura vegetal, que actúan como elementos de discontinuidad parcial del combustible. En conjunto, la vegetación del puerto de Villanueva de la Peña puede caracterizarse como un paisaje de montaña con predominio de matorral montano y pastizales, salpicado de manchas de encinar, rebollar y pinar, y con presencia de pequeñas áreas de uso agrícola y elementos artificiales ligados a infraestructuras y aprovechamientos locales.

| Tipo de matorral | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| **Sabinares/enebrales rastreros** | 491,49 | 44,12 % |
| **Brezales de mesófilos a xerófilos y biercolares (incl. matorrales mixtos de Ericáceas)** | 221,89 | 19,92 % |
| **Orlas y espinares mesófilos mixtos (dominio Rosaceae)** | 53,10 | 4,77 % |

***Tabla 15.-Tipo de formación de matorral según el MFE en el puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)***

El punto de inicio del incendio se ha situado en el puerto de Villanueva de la Peña, al norte de la provincia de Palencia, sobre la carretera que asciende desde el valle agrícola hacia la zona de cumbres, en el lugar señalado en la figura con un círculo rojo, en el borde sur del ámbito de estudio. Esta ubicación responde a criterios de plausibilidad: las infraestructuras lineales (carreteras de puerto, pistas y accesos) concentran una parte importante de las igniciones reales, asociadas al tránsito de vehículos, frenadas prolongadas, trabajos de mantenimiento viario y uso recreativo del entorno. Además, el punto elegido marca el contacto entre el mosaico agrícola del fondo de valle y el dominio de matorrales montanos, pastizales y zonas rocosas descrito por la cartografía del Mapa Forestal de España, lo que lo convierte en un lugar verosímil para la aparición de un fuego de origen antrópico.

Desde el punto de inicio seleccionado, el incendio simulado puede propagarse pendiente arriba a través del continuo de enebrales, sabinares rastreros, brezales y matorrales mixtos de ericáceas que cubren las laderas y zonas altas del puerto, interactuando posteriormente con las manchas de monte arbolado insertas en este paisaje. De este modo, el escenario de modelización reproduce una situación realista de inicio de incendio en un puerto de montaña muy transitado y, al mismo tiempo, permite evaluar cómo se comporta el fuego al atravesar la matriz dominante de formaciones no arboladas y su conexión con las masas arboladas presentes en el ámbito de estudio.

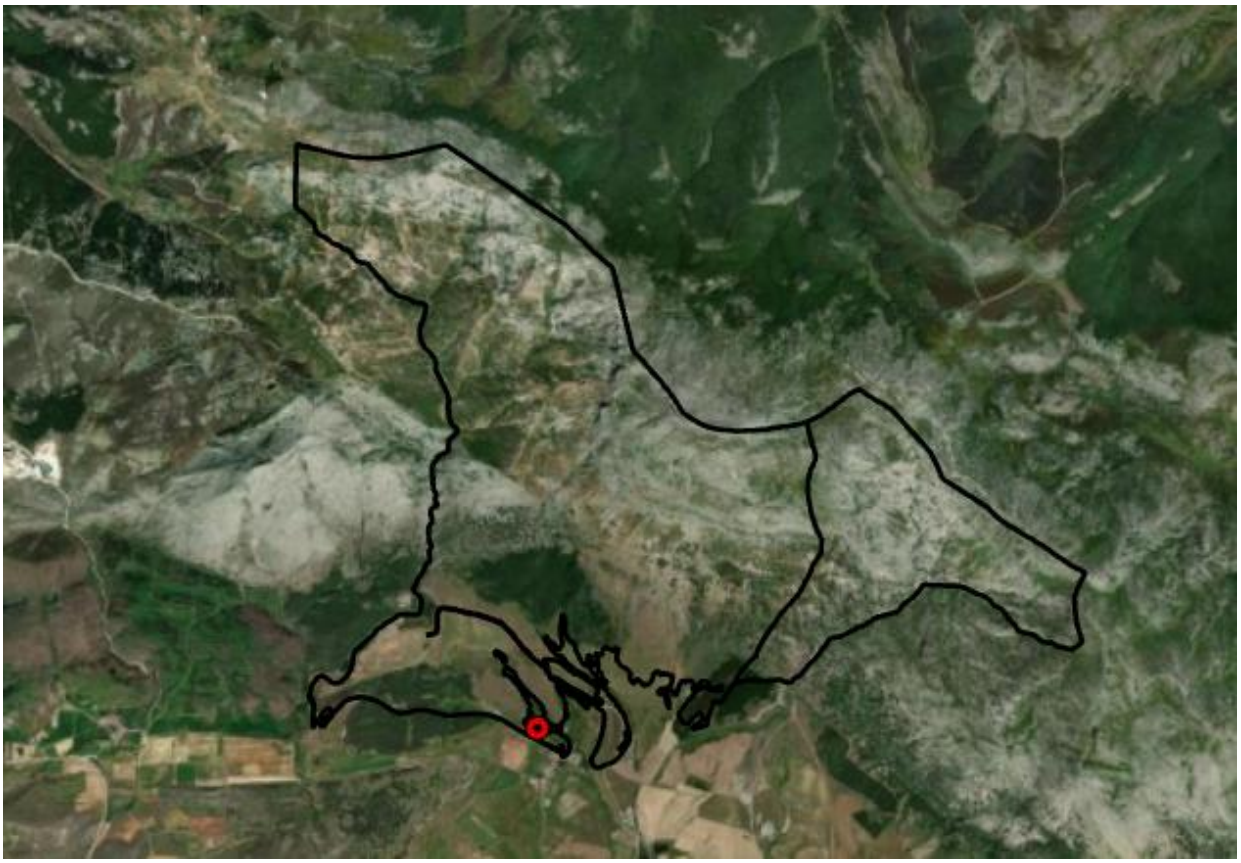


**Ilustración 44.- Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)*y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio***

- **Modelo de combustible**

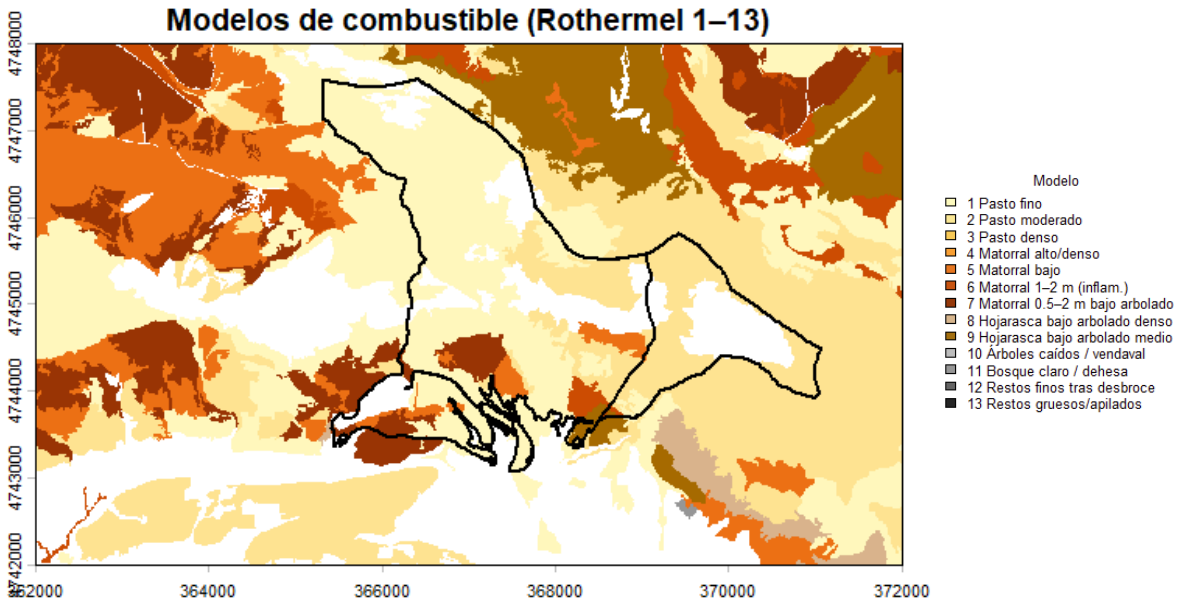



**Ilustración 45.-Modelo de combustión en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)**

La cartografía de modelos de combustible elaborada para el puerto de Villanueva de la Peña refleja fielmente el patrón descrito a partir del Mapa Forestal de España. El ámbito está claramente dominado por **formaciones no arboladas** (82,7 % de la superficie), donde destacan los **sabinares y enebrales rastreros** junto con **brezales y matorrales mixtos de ericáceas** y orlas espinosas mesófilas. Estos matorrales montanos, que en conjunto superan el 60 % del área, se han clasificado mayoritariamente como **modelos arbustivos de media-alta carga (Rothermel 4–7)**, caracterizados por una elevada continuidad horizontal del combustible fino leñoso y una estructura capaz de sostener llamas relativamente altas bajo condiciones de sequedad y viento.

Asociados a estas comunidades aparecen **pastizales y herbazales** en zonas de uso agroganadero tradicional, así como claros dentro del matorral y del arbolado. Estas superficies, junto con pequeñas áreas agrícolas y algunos elementos artificiales, se corresponden principalmente con **modelos de pasto (1–3)** y con píxeles de **combustible nulo** en las zonas de roca aflorante y suelos muy someros. Aunque su carga de combustible es menor, bajo episodios de clima extremo pueden actuar como corredores de propagación rápida, conectando entre sí las manchas de matorral más denso.

El **monte arbolado** ocupa en torno al 15 % de la superficie y aparece en manchas de tamaño medio y pequeño, principalmente en umbrías y laderas de menor exposición. Predominan los **encinares (8,6 %)** y **melojares/rebollares (5,8 %)**, acompañados de pequeñas manchas de **pinar de pino albar** y choperas de producción. En la cartografía de modelos de combustible estas formaciones se asignan a **modelos de hojarasca bajo arbolado (8–9)** y, de forma muy localizada, a **bosque claro (11)** cuando la cobertura de copa es menor y el estrato herbáceo adquiere mayor protagonismo. Aunque representan una fracción menor del total, estas masas introducen **estructura vertical de combustible**, incrementando el potencial de incendios de mayor intensidad allí donde se encuentran en contacto con los matorrales montanos de alta carga.

En conjunto, el puerto de Villanueva de la Peña se configura, desde el punto de vista de modelos de combustible, como un **paisaje de montaña dominado por matorrales montanos y pastizales (modelos 1–3 y 4–7), salpicado de manchas de encinar, rebollar y pinar (modelos 8–9/11) y con discontinuidades parciales asociadas a roca y usos agrícolas**. Esta combinación da lugar a un escenario donde, en condiciones de clima normal, el comportamiento del fuego se espera dominado por incendios de superficie en matorral y pasto; sin embargo, bajo condiciones extremas de sequía y viento, la elevada continuidad de los modelos arbustivos puede favorecer frentes de fuego rápidos y de intensidad significativa, con capacidad de afectar a las manchas arboladas insertas en el paisaje.

- **Velocidad de propagación del fuego (m/min)**

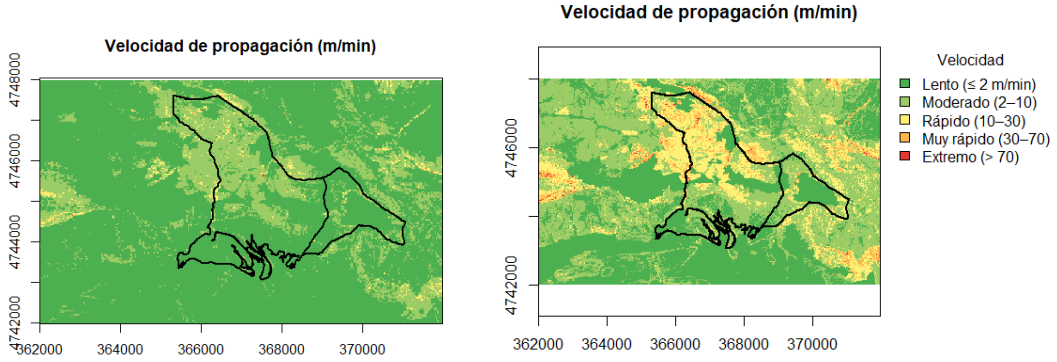



**Ilustración 46.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)***

En el **escenario medio**, la velocidad de propagación del incendio presenta valores moderados, con una clara diferenciación espacial ligada a la topografía y al tipo de combustible. Las mayores tasas de avance se concentran en las laderas de mayor pendiente y en las zonas de matorral continuo, especialmente en los enebrales y brezales que rodean el puerto, mientras que en los pastizales y áreas con menor carga de combustible la velocidad se mantiene en rangos más bajos. Bajo estas condiciones, el frente de fuego progresa de forma significativa, pero todavía en un rango potencialmente abordable con medios de extinción directos en gran parte del perímetro.

En el **escenario extremo**, el mapa muestra un incremento generalizado de la velocidad de propagación, con amplias superficies alcanzando valores claramente superiores a los del escenario medio. Este aumento es especialmente notable en las laderas de exposición favorable al viento dominante y en los sectores con mayor continuidad de matorral, donde el fuego podría propagarse rápidamente a lo largo de la ladera. La comparación entre ambos escenarios pone de manifiesto que, bajo condiciones extremas de sequía y viento, el incendio puede alcanzar velocidades que superan la capacidad de ataque directo en amplias zonas del puerto, reduciendo de forma notable las oportunidades de control en fase inicial.

## Altura de llama (m)

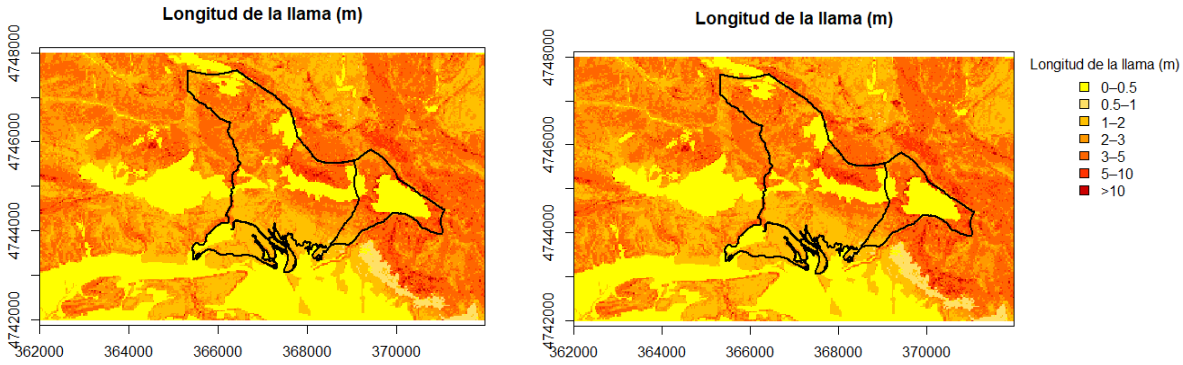



**Ilustración 47.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)***

En el **escenario medio**, la altura de llama se mantiene mayoritariamente en valores bajos o moderados, asociados a incendios de superficie en matorral y pastizal. Las llamas más altas se localizan en las zonas de mayor carga de combustible y continuidad vertical, especialmente en los enclaves de matorral denso en contacto con masas arboladas (encinares y rebollares), donde se favorece un comportamiento más intenso del fuego. Aun así, el patrón general indica una altura de llama compatible con maniobras de extinción directa en buena parte del perímetro, siempre que se disponga de recursos suficientes y condiciones seguras de trabajo.

En el **escenario extremo**, se observan aumentos significativos en la altura de llama, tanto en extensión espacial como en magnitud. Las áreas donde en el escenario medio se registraban llamas de moderada altura pasan a mostrar valores elevados, particularmente en las laderas orientadas al sur y suroeste y en los bordes de las masas arboladas. Este incremento implica una mayor intensidad del fuego y un mayor potencial de generación de focos secundarios por pavesas, dificultando el trabajo de los medios terrestres y condicionando la posibilidad de ataque directo. La comparación entre ambos escenarios evidencia que las condiciones extremas de humedad de combustible y meteorología se traducen en un salto cualitativo en la severidad del comportamiento del fuego.

### Actividad del fuego en las copas de los árboles

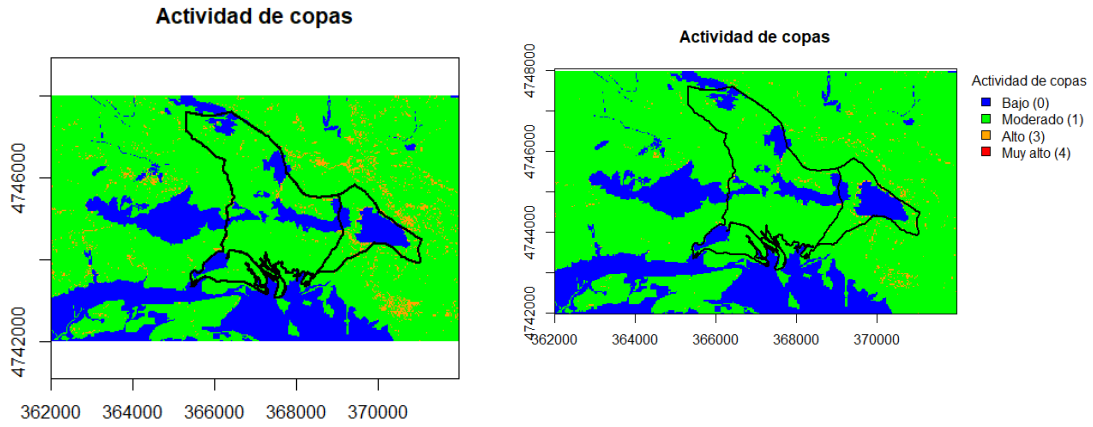



**Ilustración 48.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)***

El mapa de **actividad de copas** para el **escenario medio** refleja que, en la mayor parte del puerto, el comportamiento del fuego se mantiene como incendio de superficie o, en todo caso, con actividad de copas limitada (valores bajos en la escala de actividad). Los sectores con mayor probabilidad de transición a fuego de copas se concentran en los bordes de las masas arboladas más densas y en las zonas donde la continuidad vertical del combustible (matorral bajo copa) es más marcada, principalmente en encinares y rebollares de umbría. No obstante, el dominio de formaciones de matorral y pastizal reduce la probabilidad de incendios de copas generalizados bajo condiciones medias.

En el **escenario extremo**, el modelo muestra una expansión de las áreas con fuego de copas pasivo e incluso activo (valores altos en la clasificación de actividad de copas), especialmente en las masas arboladas situadas en las laderas más expuestas y en aquellas con mayor carga de matorral en el sotobosque. Este incremento de la actividad de copas implica un riesgo mucho mayor en términos de

intensidad, generación de pavesas y potencial de propagación a larga distancia. La comparación entre escenarios indica que el paso de condiciones “medias” a “extremas” puede suponer el cambio desde un comportamiento predominantemente de superficie a situaciones con incendios de copas en una proporción relevante de la superficie arbolada del puerto.

### Zonas fuera de la capacidad de extinción

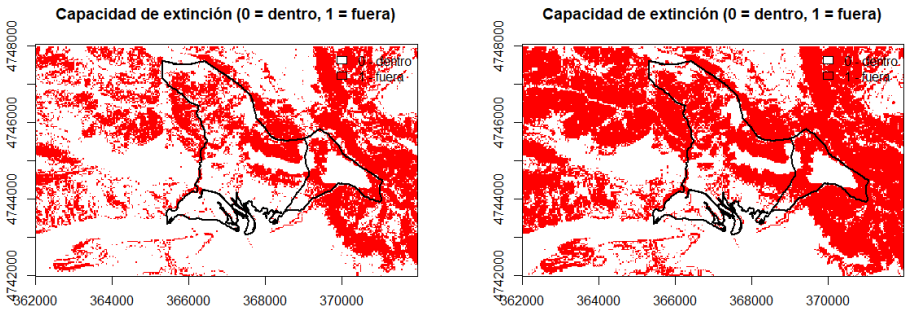



**Ilustración 49.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)***

Tomando como referencia los criterios definidos en la metodología —velocidad de propagación > 33 m/min, longitud de llama > 3 m y presencia de fuego de copas—, el mapa de **capacidad de extinción** para el **escenario medio** identifica un conjunto de zonas puntuales fuera de capacidad, principalmente asociadas a laderas de fuerte pendiente con matorral denso y a los bordes de las masas arboladas. Estas áreas se distribuyen de forma relativamente fragmentada, alternando con sectores donde, aun siendo elevado el peligro, las condiciones del fuego podrían ser abordables mediante estrategias de ataque directo o indirecto.

En el **escenario extremo**, las áreas clasificadas como fuera de la capacidad de extinción se amplían de forma notable, coalesciendo en manchones continuos que abarcan gran parte de las laderas de mayor pendiente y de las masas arboladas más densas. El resultado es un mosaico en el que las zonas potencialmente controlables se ven reducidas y desplazadas hacia sectores menos productivos en términos de combustible o con condiciones topográficas más favorables. La comparación entre ambos escenarios evidencia que, bajo condiciones extremas, el puerto de Villanueva de la Peña presenta una proporción sustancial de su superficie en una situación en la que las operaciones de extinción directa serían inviables o extremadamente peligrosas, obligando a plantear estrategias basadas en el uso de áreas de oportunidad, quemas de ensanche y protección selectiva de valores prioritarios.

### Ejes de propagación



**Ilustración 50.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)***

En el **escenario medio**, los ejes de propagación simulados muestran un patrón de avance del incendio coherente con la topografía del puerto: el fuego tiende a progresar desde el punto de ignición seleccionado en el pie de ladera hacia las zonas altas, siguiendo las líneas de máxima pendiente y los corredores de matorral continuo. Los ejes se concentran en las laderas orientadas en la dirección del viento considerado en la simulación, pero mantienen una densidad moderada, compatible con un desarrollo del incendio importante pero relativamente acotado en el tiempo de simulación establecido.

En el **escenario extremo**, los ejes de propagación se densifican y se expanden espacialmente, indicando un frente de fuego más agresivo y con mayor capacidad de ocupar rápidamente el conjunto del puerto. Se observa un aumento del número de trayectorias que alcanzan las divisorias y los sectores más alejados del punto de ignición, así como una mayor dispersión lateral en las laderas expuestas. La comparación entre ambos escenarios sugiere que, bajo condiciones extremas de humedad del combustible y meteorología adversa, el incendio no solo avanza más rápido, sino que explora un mayor abanico de rutas potenciales, reduciendo la capacidad de anticipación y de anclaje seguro de las maniobras de extinción.

## Alcance del incendio

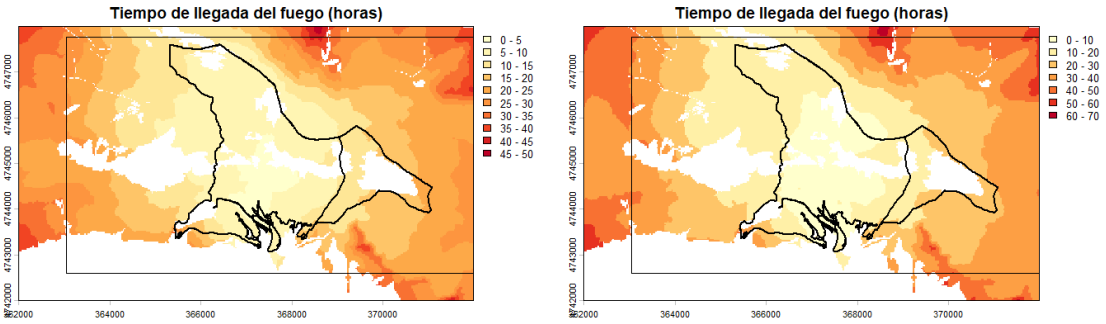



**Ilustración 51.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)***

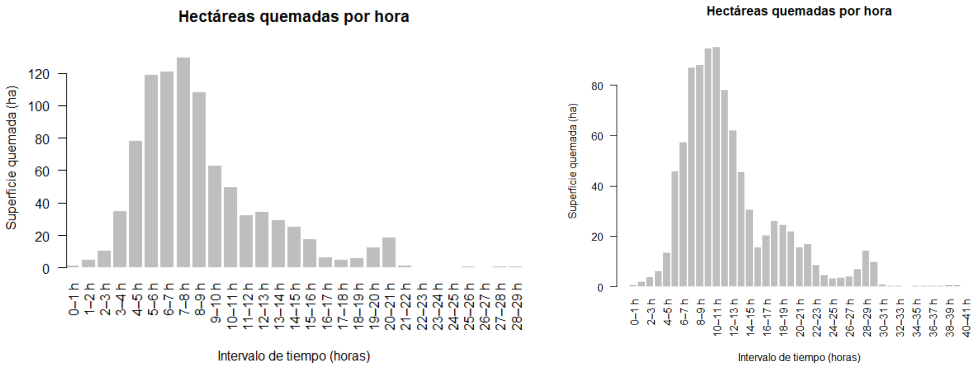



**Ilustración 52.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente en el Puerto de Villanueva de la Peña (Palencia)***

El mapa de **alcance del incendio**, basado en el tiempo de llegada del fuego (MTT), muestra en el **escenario medio** una mancha quemada que, si bien afecta a una parte significativa del puerto, permanece limitada en extensión dentro del periodo de simulación considerado. Los tiempos de llegada más cortos se concentran en el entorno del punto de ignición y en las laderas con mayor continuidad de matorral, mientras que las zonas más alejadas, las cumbres y algunos fondos de valle con menor carga de combustible se ven afectadas más tarde o no llegan a ser alcanzadas.

En el **escenario extremo**, la simulación refleja un aumento evidente del alcance espacial del incendio y una reducción generalizada de los tiempos de llegada. El fuego progresa más rápidamente hacia las partes altas del puerto y alcanza sectores que en el escenario medio permanecían sin afectar, generando una superficie quemada potencialmente mucho mayor. Las islas de combustible no alcanzadas por el fuego se reducen, y el patrón de afectación tiende a ser más continuo en torno a la ladera principal. La comparación entre ambos escenarios pone de manifiesto que, bajo condiciones extremas, el incendio podría comprometer buena parte del puerto de Villanueva de la Peña en tiempos relativamente cortos, lo que refuerza la necesidad de considerar este tipo de situaciones en la planificación preventiva y en la definición de zonas estratégicas de gestión del combustible.

- **Tiempo de respuesta para la extinción**

En Villanueva de la Peña, el comportamiento diferenciado entre escenarios y la combinación de matorrales montanos, pastizales y manchas arboladas sugieren una **sensibilidad alta al momento en que se produce la intervención**. Un ataque inicial temprano, mientras el frente aún se encuentra en las laderas bajas de matorral y pasto, puede evitar que el incendio alcance los encinares, rebollares y pinares que incrementan la severidad del comportamiento del fuego. Si la respuesta se retrasa y el fuego gana altura, el modelo muestra una rápida expansión del área afectada, reduciendo la eficacia de cualquier actuación posterior y obligando a centrar los esfuerzos en defensa de infraestructuras y masas de mayor valor.

- **Conclusiones**

La comparación conjunta de los dos escenarios de simulación (medio y extremo) muestra un cambio claro tanto en la **intensidad** como en la **extensión** del comportamiento del fuego en el puerto de Villanueva de la Peña. En el escenario medio, la velocidad de propagación y la altura de las llamas se mantienen mayoritariamente en rangos moderados, asociados a incendios de superficie en matorral y pastizal, con una actividad de copas limitada y relativamente localizada. Bajo estas condiciones, las zonas clasificadas como fuera de la capacidad de extinción se concentran en sectores concretos (laderas más inclinadas y bordes de masas arboladas), y el alcance espacial del incendio dentro del periodo de simulación, aunque significativo, permanece acotado.

En el escenario extremo, el modelo refleja un **salto cualitativo** en el comportamiento del incendio. La velocidad de propagación aumenta de forma generalizada, la altura de llama se incrementa y se amplía la superficie con fuego de copas pasivo y activo, especialmente en las masas arboladas con mayor carga de combustible y continuidad vertical. Como consecuencia, las **zonas fuera de capacidad de extinción** se expanden y tienden a formar manchas continuas, reduciendo drásticamente las áreas donde serían viables estrategias de ataque directo. De forma coherente con ello, los ejes de propagación se densifican y diversifican sus trayectorias, y el alcance del incendio (tiempos de llegada más reducidos y mayor superficie potencialmente afectada) pone de manifiesto que, bajo condiciones extremas, una parte sustancial del puerto podría verse comprometida en periodos relativamente cortos.

En conjunto, el análisis de ambos escenarios indica que el puerto de Villanueva de la Peña presenta un comportamiento relativamente manejable bajo condiciones medias, pero puede pasar a una situación de alta complejidad operativa y riesgo elevado en escenarios extremos de sequía y viento. Estos resultados subrayan la importancia de integrar en la planificación preventiva actuaciones de **gestión del combustible** (especialmente en laderas de mayor pendiente, bordes de masas arboladas y zonas de transición matorral–bosque), así como la identificación de áreas de oportunidad y puntos estratégicos de manejo que permitan, en la medida de lo posible, limitar el desarrollo de incendios de alta intensidad y fuera de capacidad de extinción en el puerto.

### *3.6. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en el Puerto de Herreruela (Cervera de Pisuerga)-Palencia.*




**Ilustración 53.-*Puerto de Herreruela (Palencia)***

En el puerto de Herreruela situado al norte de la provincia de Palencia. La cartografía del Mapa Forestal de España (MFE) muestra un paisaje claramente dominado por formaciones no arboladas, con un mosaico de matorral montano, pastizales y escasas zonas rocosas, con una pequeña zona arbolada en el suroeste. Las formaciones arbustivas más representativas corresponden a brezales de mesófilos a xerófilo puros o mixtos junto con piornales de montaña. Estas comunidades cubren la mayor parte de las laderas del puerto, y constituyen el sustrato principal de la vegetación combustible de la zona.

| Uso MFE | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Arbolado | 1,29 | 0,50 |
| Desarbolado | 256,1 | 99,50 |
| **Total** | **256,1** | 100 |

**Tabla 16.-Usos generales del MFE en *Puerto de Herreruela (Palencia)***

El monte arbolado aparece de manera escasa en pequeña extensión donde está presente un melojar (*Quercus pirenaica*). Las zonas desarboladas son las presentes mayoritariamente con matorral

y resulta relevante su continuidad en la mayor parte de la superficie suponiendo una continuidad horizontal en la estructura de la vegetación lo que da información sobre el comportamiento del fuego.

| Tipo de formación arbolada | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Melojares (*Quercus pyrenaica*) | 1,29 | 0,50 |
| No arbolado | 256,1 | 99,50 |
| **Total** | **257,39** | 100 |

**Tabla 17.-Tipo de formación arbolada según el MFE en Puerto de Herreruela (Palencia)**

Asociadas a estas comunidades aparecen matorrales de brezales de mesófilos a xerófilo y piornales de montaña. Se localizan algunas zonas rocosas bastante superficie con actúan como elementos de discontinuidad parcial del combustible. En conjunto, la vegetación del puerto de Herreruela puede caracterizarse como un paisaje de montaña con predominio de matorral montano pequeñas zonas arboladas, que muestra continuidad horizontal en la vegetación.

| Tipo de matorral | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Brezales de mesófilos a xerófilos y biercolares, puros o mixtos (incluyendo matorrales mixtos de Ericáceas) | 1,29 | 0,50 |
| Piornales de montaña | 256,1 | 99,50 |
| **Total** | **257,39** | 100 |

**Tabla 18.-Tipo de formación de matorral según el MFE en *Puerto de Herreruela (Palencia)***

Para el cálculo del IPI se definió un punto de ignición de referencia situado

Como ya se explico anteriormente en la metodología se han modelizado dos escenarios de propagación de incendio uno medio y otro extremo.

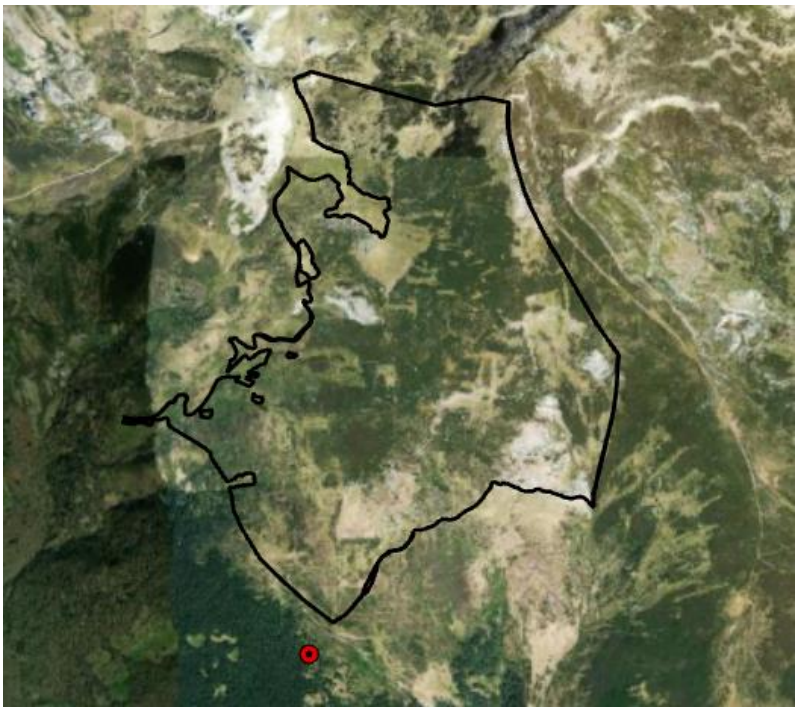


**Ilustración 54.-** ***Puerto de Argajadas (León) y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio***

El punto de inicio del incendio se ha situado en el **puerto de Herreruela**, al norte de la provincia de Palencia, sobre la pista que accede al puerto por el suroeste, en el tramo donde dicha vía entra en contacto directo con el borde inferior del ámbito de estudio y con la pequeña mancha arbolada presente en este sector. Esta ubicación responde a criterios de **plausibilidad**, ya que las infraestructuras lineales (caminos y pistas de montaña) concentran una parte importante de las ignociones reales, asociadas al tránsito de vehículos, trabajos de mantenimiento y uso recreativo del entorno. Además, el punto elegido marca el contacto entre el valle más humanizado y el dominio de matorral montano y pastizales descrito por el Mapa Forestal de España, lo que lo convierte en un lugar verosímil para la aparición de un fuego de origen antrópico.

Desde este punto de inicio, el incendio simulado puede **propagarse pendiente arriba** a través del mosaico de **brezales mesó- a xerófilos y piornales de montaña**, acompañado de pastizales y pequeñas áreas de roca, que cubren la mayor parte de las laderas del puerto y constituyen el principal sustrato de vegetación combustible. Posteriormente, el frente de fuego puede interactuar con la reducida zona arbolada del suroeste y con el resto de la matriz de matorral y pastizal, permitiendo evaluar en la modelización cómo se comporta el incendio a escala de todo el puerto de Herreruela.

- **Modelo de combustible**

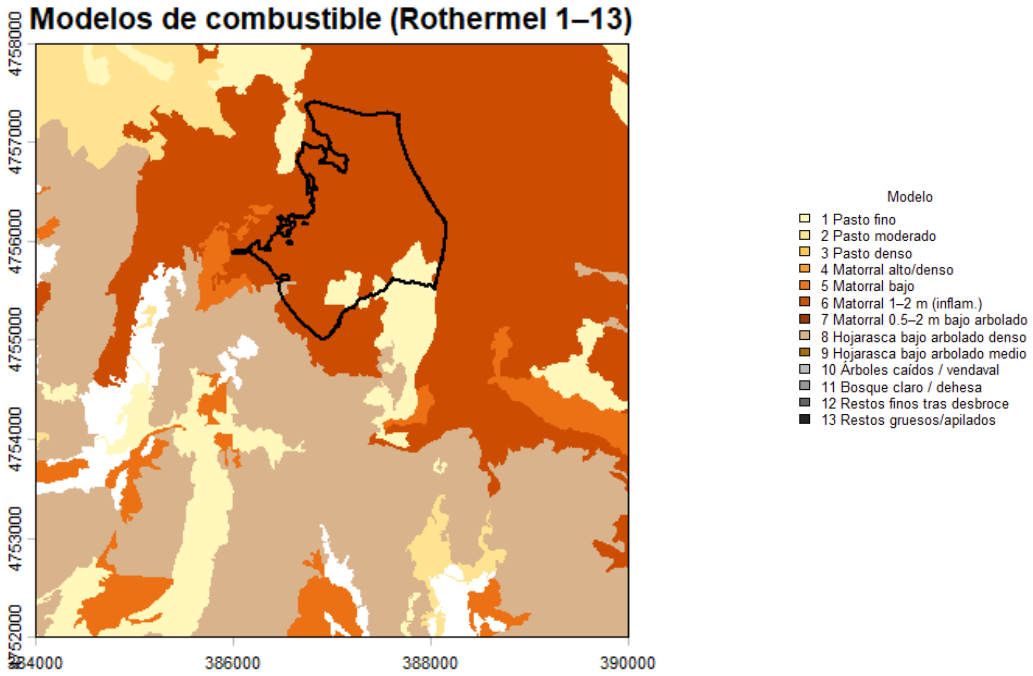



**Ilustración 55.-*Modelo de combustible en* el *Puerto de Argajadas (León)***

La cartografía de modelos de combustible (Rothermel 1–13) para el puerto de Herreruela confirma el carácter de **paisaje de montaña dominado por matorral montano y pastizales** descrito a partir del Mapa Forestal de España. Dentro del perímetro del puerto (zona delimitada en negro) predominan claramente los **modelos arbustivos 4, 5 y, sobre todo, 6** (matorral alto/denso, matorral bajo y matorral de 1–2 m inflamable), que se corresponden con los **brezales mesófilos a xerófilos y los piornales de montaña** que cubren la mayor parte de las laderas. Estos modelos se caracterizan por una **alta continuidad horizontal de combustible fino leñoso** y por la capacidad de generar llamas relativamente altas bajo condiciones de sequedad y viento, configurando un potencial de incendio de **intensidad moderada-alta** a escala de puerto.

De forma más localizada, especialmente en los sectores centrales y meridionales del ámbito, aparecen manchas de **modelos de pasto (1–3)** vinculadas a **herbazales–pastizales** y a pequeñas zonas de uso agroganadero. Estos combustibles presentan menor carga leñosa, pero cuando el estrato herbáceo está muy seco pueden actuar como **corredores de propagación rápida**, conectando entre sí los parches de matorral más denso (modelos 4–6). La reducida superficie arbolada del suroeste apenas introduce píxeles de modelos de hojarasca bajo arbolado, manteniéndose el puerto, en conjunto, como un sistema prácticamente desprovisto de combustible arbóreo continuo.

En síntesis, el puerto de Herreruela se configura, desde el punto de vista de modelos de combustible, como un **mosaico dominado por matorral montano de media-alta carga (4–6) y pastizales (1–3), con presencia muy limitada de combustible arbolado**, lo que se traduce en un escenario donde el comportamiento esperado del fuego es fundamentalmente de **incendio de superficie en matorral y pasto**, con capacidad para generar frentes rápidos e intensos en episodios de sequía y viento, pero con un menor papel de los incendios de copas respecto a otros paisajes más arbolados.

- **Velocidad de propagación del fuego (m/min)**

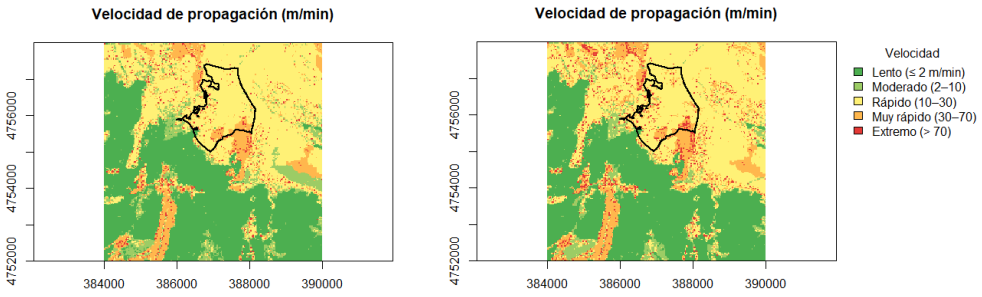



**Ilustración 56.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Herreruela (Palencia)***

En el **escenario medio**, la velocidad de propagación es rápida en la mayor parte del puerto, dominado por matorral montano de media-alta carga (modelos 4–6), con algunos tramos muy rápidos en las laderas de mayor pendiente y continuidad.

En el **escenario extremo**, el incremento de la sequedad del combustible y del forzamiento meteorológico se traduce en un aumento adicional de la velocidad, de forma que gran parte del puerto presenta valores en las clases “rápido” y “muy rápido”. El incendio potencial muestra así una elevada capacidad de expansión en un espacio de tiempo corto.

- **Altura de llama (m)**

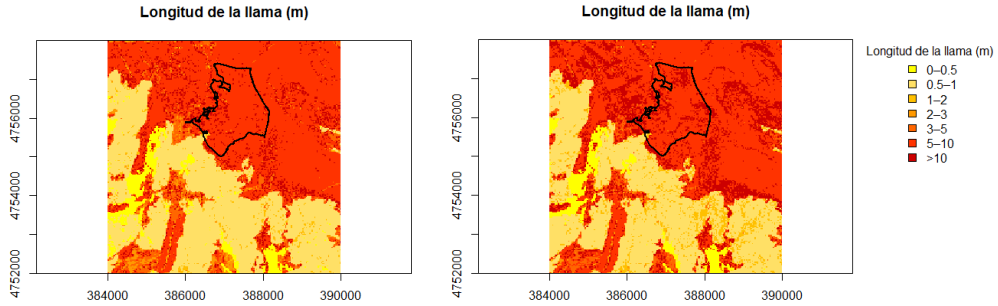



**Ilustración 57.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Herreruela (Palencia)***

En el **escenario medio**, la altura de llama se sitúa principalmente en valores moderados, propios de incendios de superficie en matorral, con picos más altos en las zonas de matorral denso y en algunos tramos de pastizal con carga acumulada.

En el **escenario extremo**, las llamas alcanzan alturas mayores y se extienden a una superficie aún más amplia, reflejando un incremento de la intensidad del fuego y del potencial de daño sobre el matorral y el suelo. La escasez de arbolado continuo limita, no obstante, la interacción con copas.

- **Actividad del fuego en las copas de los árboles**

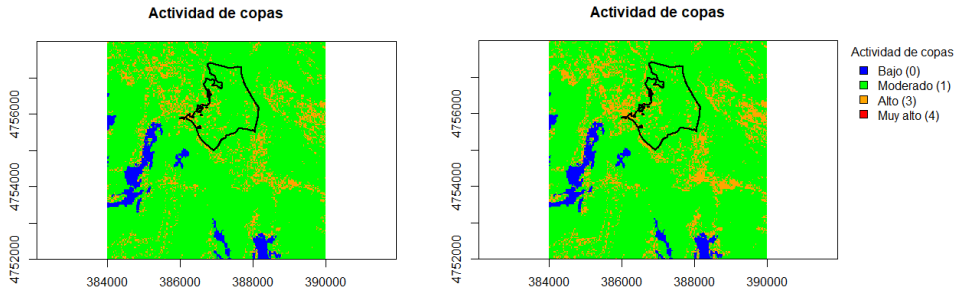



**Ilustración 58.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Herreruela (Palencia)***

Dada la práctica ausencia de masas arboladas significativas dentro del puerto, la actividad de copas es residual en ambos escenarios. En el escenario medio, prácticamente no se registran píxeles con fuego de copas, y en el extremo ésta se limita, en su caso, a algún árbol aislado o pequeño rodal, sin importancia a escala global. El comportamiento dominante es de incendio de superficie en matorral y pasto.

- **Zonas fuera de la capacidad de extinción**

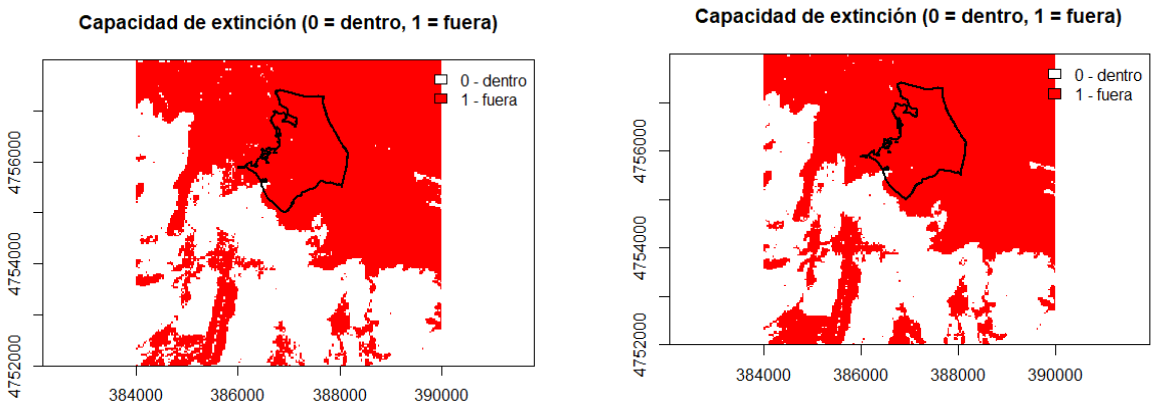



**Ilustración 59.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Herreruela (Palencia)***

En el **escenario medio**, la combinación de velocidades altas y llamas relativamente largas hace que gran parte del puerto aparezca ya cartografiado como fuera de capacidad de extinción, especialmente en las laderas de matorral continuo. Solo pequeñas áreas en el entorno de pastizales o en zonas de menor pendiente presentan condiciones algo más favorables.

En el **escenario extremo**, prácticamente toda la superficie se sitúa fuera de capacidad, lo que indica un incendio potencial de muy difícil control, donde las posibilidades reales de extinción se limitan a la actuación muy temprana y al uso de discontinuidades externas al puerto.

- **Ejes de propagación**

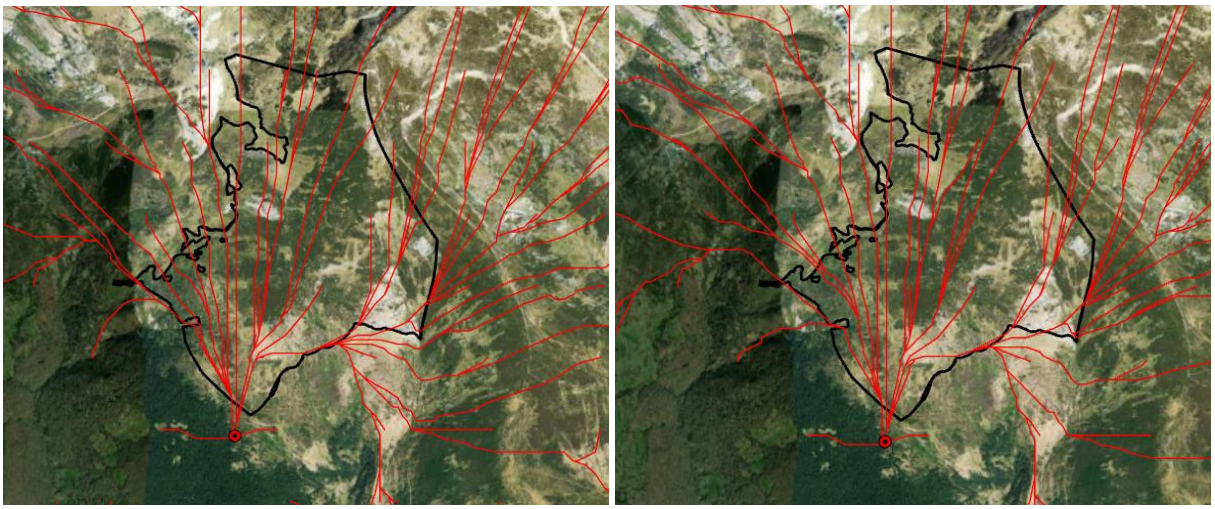


**Ilustración 60.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Herreruela (Palencia)***

En el **escenario medio**, los ejes de propagación describen un avance rápido desde el punto de inicio hacia el interior del puerto, siguiendo las laderas de matorral y los corredores topográficos más favorables.
En el **escenario extremo**, se observa un aumento de la densidad y longitud de los ejes, que alcanzan la práctica totalidad de la superficie disponible. El patrón de propagación sugiere un incendio con gran capacidad de envolver el puerto en pocas horas.

- **Alcance del incendio**

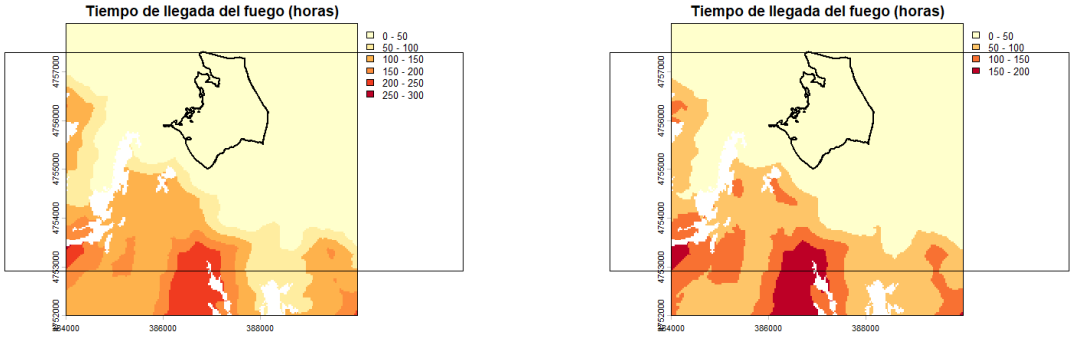



**Ilustración 61.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Herreruela (Palencia)***

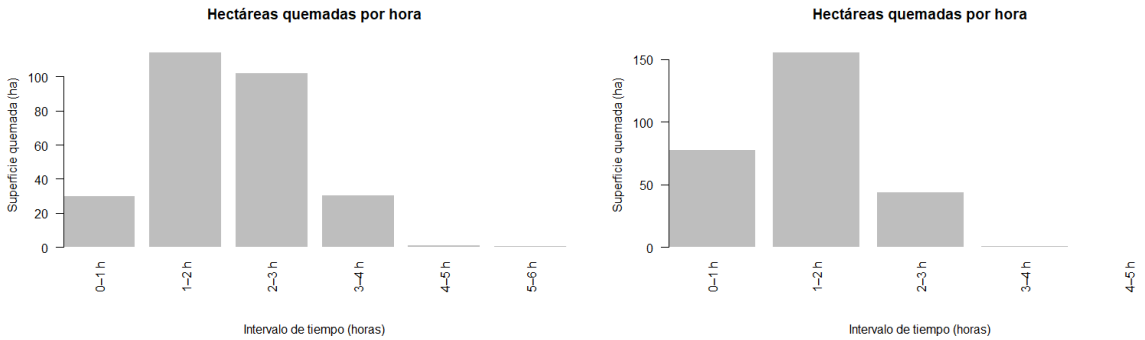



**Ilustración 62.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Herreruela (Palencia)***

En el **escenario medio**, el incendio simulado quema unas 252,8 ha de las 256,2 ha del puerto (98,7 %), con una tasa media de alrededor de 21,1 ha/h.

En el **escenario extremo**, la superficie afectada asciende a unas 254,3 ha (99,3 %), con una tasa de unas 21,2 ha/h. La diferencia entre escenarios es pequeña en términos de superficie, dado que la continuidad del matorral hace que prácticamente todo el puerto resulte afectado en ambos casos.

- **Tiempo de respuesta para la extinción**

En Herreruela, el incendio potencial prácticamente "llena" el puerto en ambas situaciones, lo que implica que el **tiempo de respuesta efectivo se mide en decenas de minutos más que en horas**. La alta continuidad del matorral y las velocidades de propagación simuladas hacen que, tras una detección tardía, el fuego se sitúe rápidamente en condiciones fuera de capacidad de extinción. De ahí que la planificación deba asumir que las **mejores oportunidades de control se encuentran en un ataque inicial muy precoz desde el suroeste**, aprovechando la pista de acceso y cualquier discontinuidad de combustible cercana al punto de ignición.

- **Conclusiones**

Herreruela representa un paisaje de pequeño tamaño pero de altísima continuidad de matorral, donde los incendios potenciales implican prácticamente la totalidad de la superficie, con velocidades y alturas de llama que superan los umbrales de capacidad de extinción en la mayor parte del puerto. Las opciones de gestión pasan por crear y mantener discontinuidades funcionales en los bordes y accesos al puerto y por integrar este ámbito en una planificación de escala mayor que contemple fajas de gestión estratégica en zonas adyacentes.

### *3.7. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en el Puerto de Piedrahita (Triollo)-Palencia.*




**Ilustración 63.-*Puerto de Piedrahita (Palencia)***

En el puerto de Piedrahita situado al norte de la provincia de Palencia. La cartografía del Mapa Forestal de España (MFE) muestra un paisaje claramente dominado por formaciones no arboladas, con un mosaico de matorral montano, pastizales y abundantes zonas rocosas, con zonas arboladas generalmente al sur. Las formaciones arbustivas más representativas corresponden a brezales de mesófilos a xerófilo puros o mixtos junto con escobonales, piornales de montaña y sabino enebrales rastreros. Estas comunidades cubren la mayor parte de las laderas del puerto, y constituyen el sustrato principal de la vegetación combustible de la zona.

| Uso MFE | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| **Arbolado** | 251,4 | 10,24 |
| **Arbolado disperso** | 38,2 | 1,56 |
| **Arbolado ralo** | 55,4 | 2,26 |
| **Cultivos** | 6,0 | 0,25 |
| **Desarbolado** | 2.103,4 | 85,70 |

| | | |
|---|---|---|
| **Total** | **2.454,4** | **100** |

**Tabla 19.-Usos generales del MFE en *Puerto de Piedrahita (Palencia)***

El monte arbolado aparece en porciones de pequeña extensión donde está presente un melojar (*Quercus pirenaica*) y robledales de (*Q. robur* y *Q. pirenaica*). Las zonas desarboladas son las presentes mayoritariamente con matorral y resulta relevante su continuidad en la mayor parte de la superficie suponiendo una continuidad horizontal en la estructura de la vegetación lo que da información sobre el comportamiento del fuego.

| Tipo de formación arbolada | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Melojares (*Quercus pyrenaica*) | 267,0 | 10,88 |
| No arbolado | 2.147,6 | 87,50 |
| Robledales de *Q. robur* y/o *Q. petraea* | 39,8 | 1,62 |
| **Total** | **2.454,4** | **100,00** |

**Tabla 20.-Tipo de formación arbolada según el MFE en Puerto de *Piedrahita* (Palencia)**

Asociadas a las comunidades anteriores, aparecen matorrales de brezales de mesófilos a xerófilo, escobonales, piornales de montaña y sabino enebrales rastreros. Se localizan zonas rocosas bastante superficie en toda la parte superior del puerto que actúan como elementos de discontinuidad parcial del combustible. En conjunto, la vegetación del puerto de Piedrahita puede caracterizarse como un paisaje de montaña con predominio de matorral montano pequeñas zonas arboladas, que muestra continuidad horizontal en la vegetación.

| Tipo de matorral | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Brezales de mesófilos a xerófilos y biercolares, puros o mixtos (incluyendo matorrales mixtos de Ericáceas) | 985,9 | 40 |
| Escobonales/xesteiras | 64,9 | 3 |
| Piornales de montaña | 439,0 | 18 |
| Sabino enebrales rastreros | 27,6 | 1 |
| Sin datos | 936,9 | 38 |
| **Total** | **2.454,4** | **100** |

**Tabla 21.-Tipo de formación de matorral según el MFE en *Puerto de Piedrahita (Palencia)***

Para el cálculo del IPI se definió un punto de ignición de referencia situado sobre la carretera de acceso que asciende desde el fondo del valle hacia la zona alta del puerto, en el lugar señalado en la figura con un círculo rojo, en el borde sur del ámbito de estudio. Esta ubicación responde a criterios de plausibilidad, ya que las infraestructuras lineales (carreteras de puerto, pistas y accesos a collados) concentran una parte importante de las igniciones reales, asociadas al tránsito de vehículos, frenadas prolongadas, trabajos de mantenimiento viario y uso recreativo de alta montaña. Además, el punto elegido marca el contacto entre el valle de fondo más humanizado y el inicio del dominio de matorral

montano y pastizales descrito por el Mapa Forestal de España, lo que lo convierte en un lugar verosímil para la aparición de un fuego de origen antrópico.

Desde este punto de inicio, el incendio simulado puede **propagarse pendiente arriba** a través del mosaico de **brezales mesófilos a xerófilos, escobonales, piornales de montaña y sabino-enebrales rastreros** que cubren la mayor parte de las laderas del puerto, interactuando posteriormente con las manchas arboladas situadas principalmente al sur. De este modo, el escenario de modelización reproduce una situación realista de inicio de incendio en un puerto de montaña muy expuesto y transitado y, al mismo tiempo, permite evaluar cómo se comporta el fuego al atravesar la matriz dominante de formaciones no arboladas de alta montaña y su conexión con las masas arboladas presentes en el ámbito de estudio.

Como ya se explicó anteriormente en la metodología se han modelizado dos escenarios de propagación de incendio uno medio y otro extremo.

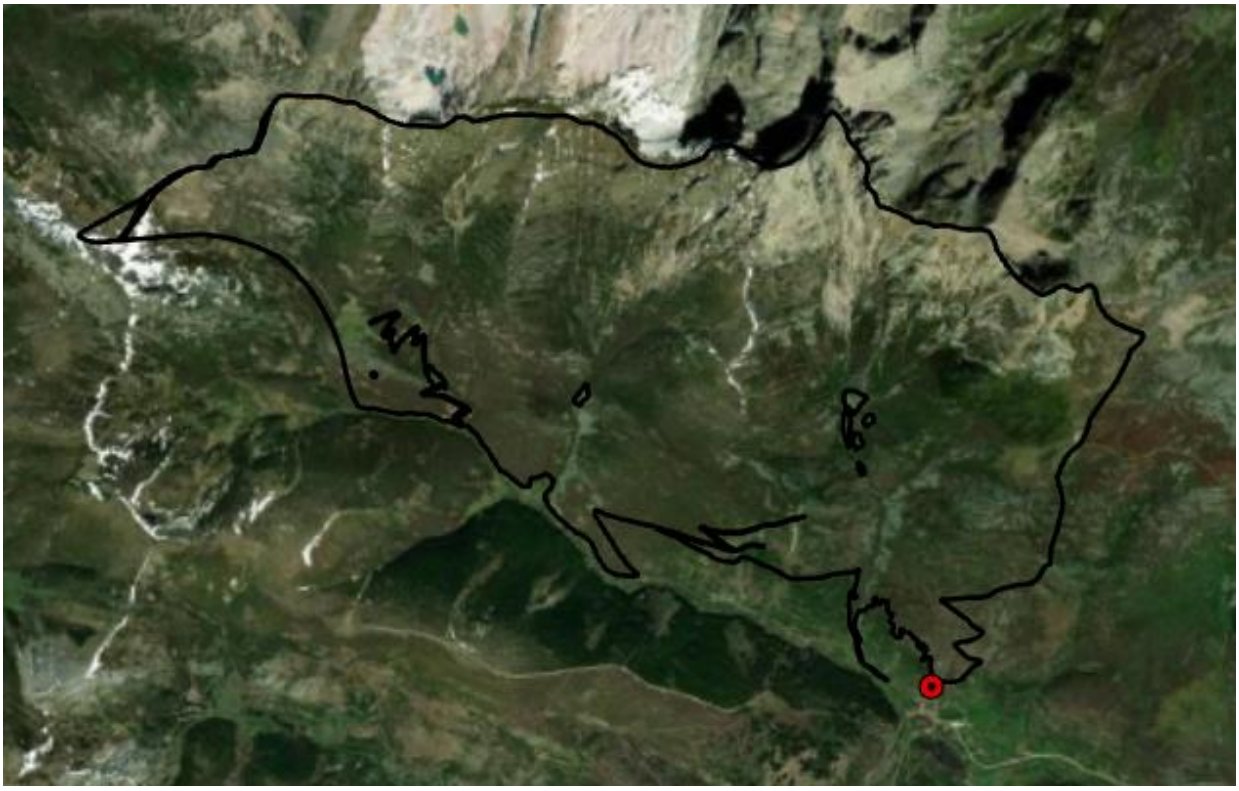


**Ilustración 64.-** ***Puerto de Piedrahita (Palencia) y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio***

- **Modelo de combustible**

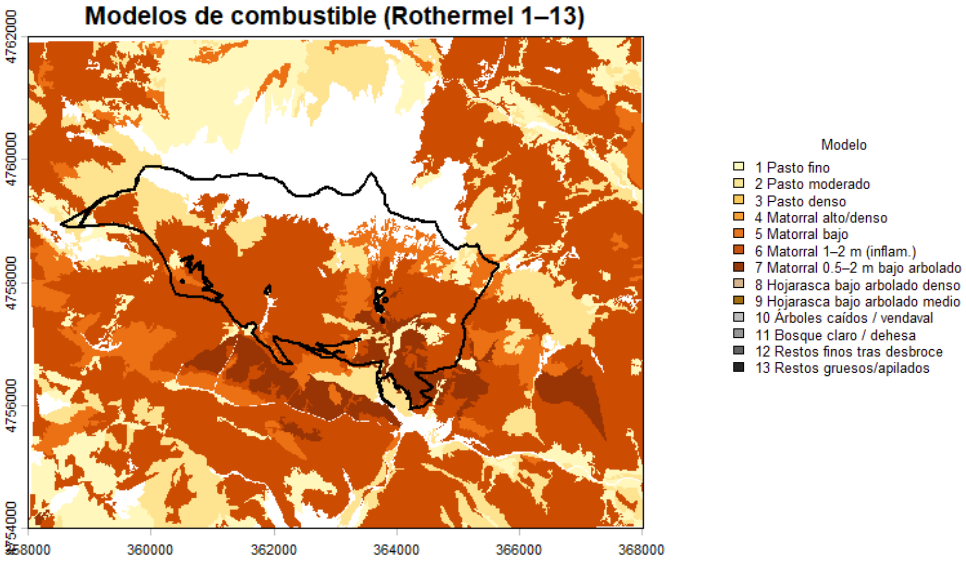



**Ilustración 65.-*Modelo de combustible en* el *Puerto de Argajadas (León)***

La cartografía de modelos de combustible para el puerto de Piedrahita refleja un paisaje de alta montaña claramente dominado por **matorrales montanos de media y alta carga**, en coherencia con la información del Mapa Forestal de España. Dentro del perímetro del puerto (zona delimitada en negro) predominan los **modelos arbustivos 4, 5 y 6** (matorral alto/denso, matorral bajo y matorral de 1–2 m inflamable), asociados a los **brezales meso- a xerófilos, escobonales, piornales de montaña y sabino-enebrales rastreros** que cubren la mayor parte de las laderas. Estos modelos se caracterizan por una elevada continuidad horizontal del combustible fino leñoso y por una estructura que, bajo condiciones de sequedad y viento, puede sostener llamas relativamente altas y un comportamiento de fuego de intensidad moderada-alta.

De forma más localizada aparecen **modelos de pasto (1–3)** en fondos de valle, pequeños rellanos y zonas de uso agroganadero tradicional, que representan una carga de combustible menor pero pueden actuar como **corredores de propagación rápida** cuando los pastizales están muy secos. En el borde sur del puerto y en algunas manchas internas se cartografían también píxeles de **modelos de hojarasca bajo arbolado (8–9)** y, puntualmente, de **bosque claro (11)**, relacionados con las pequeñas masas arboladas que se sitúan sobre todo en las solanas bajas y en las transiciones hacia el pinar. Estas manchas, aunque ocupan una proporción reducida del área total, introducen **estructura vertical de combustible** y pueden incrementar localmente la intensidad del incendio allí donde se encuentran en contacto con los matorrales de alta carga.

En conjunto, el puerto de Piedrahita se configura, desde el punto de vista de modelos de combustible, como un **paisaje de montaña dominado por matorral montano (modelos 4–6) y pastizal (1–3), salpicado de pequeñas manchas de arbolado (8–9/11)** y con abundantes afloramientos rocosos que actúan como discontinuidades parciales. Bajo un clima normal el comportamiento esperado del fuego está dominado por incendios de superficie en matorral y pasto; sin embargo, en condiciones extremas de sequía y viento, la elevada continuidad de los modelos arbustivos puede dar lugar a frentes de fuego muy rápidos y de intensidad significativa a escala de todo el puerto.

- **Velocidad de propagación del fuego (m/min)**

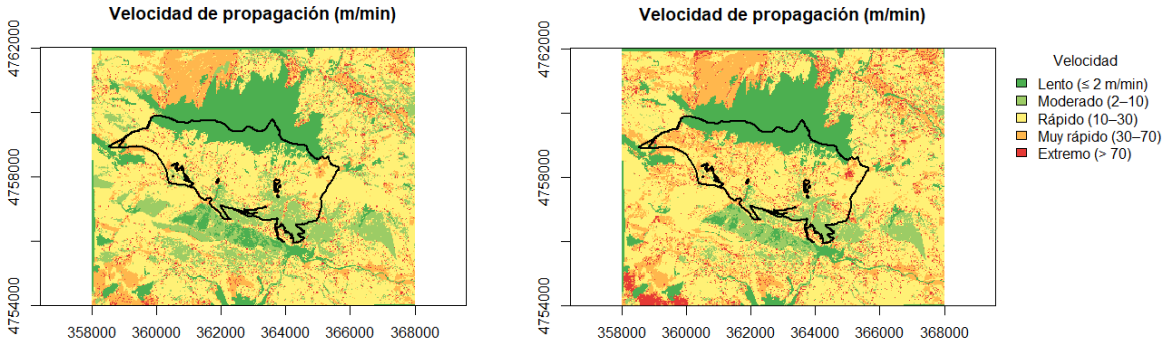



**Ilustración 66.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Piedrahita (Palencia)***

En el **escenario medio**, la velocidad de propagación es predominantemente moderada a rápida en las zonas de matorral (modelos 4–6) y algo menor en los pastizales y sectores rocosos, donde la continuidad de combustible se reduce. El fuego tiende a concentrar las mayores velocidades en las laderas de mayor pendiente y en los corredores de matorral continuo.

En el **escenario extremo**, se observa un aumento generalizado de la velocidad, con amplias superficies que pasan a las clases "rápido" e incluso "muy rápido". Este incremento se traduce en un avance mucho más agresivo del frente de fuego, capaz de recorrer grandes distancias dentro del puerto durante el periodo de simulación.

- **Altura de llama (m)**

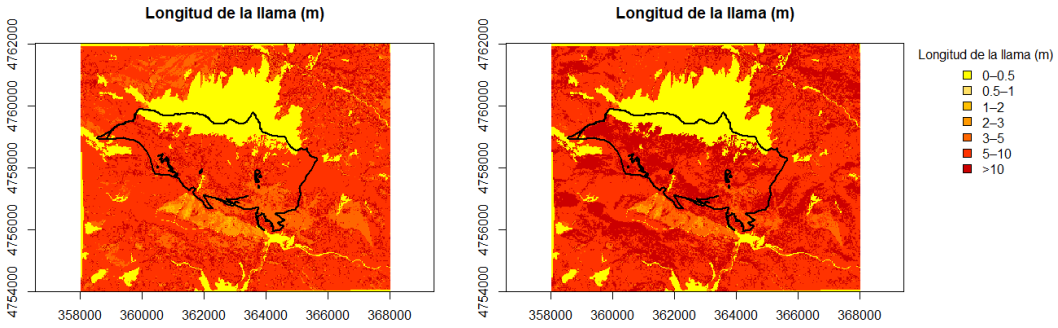



**Ilustración 67.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Piedrahita (Palencia)***

En el **escenario medio**, las alturas de llama se sitúan en valores bajos o moderados en la mayor parte del puerto, coherentes con incendios de superficie en matorral y pasto, con picos algo más elevados en las zonas de matorral más denso o en los contactos con las pequeñas manchas arboladas.

En el **escenario extremo**, las llamas alcanzan alturas sensiblemente mayores en buena parte de las laderas, en particular en las exposiciones favorables al viento y en las transiciones hacia el arbolado. Esto implica un incremento de la intensidad del fuego y de la dificultad para realizar ataques directos seguros, así como una mayor probabilidad de focos secundarios.

- **Actividad del fuego en las copas de los árboles**

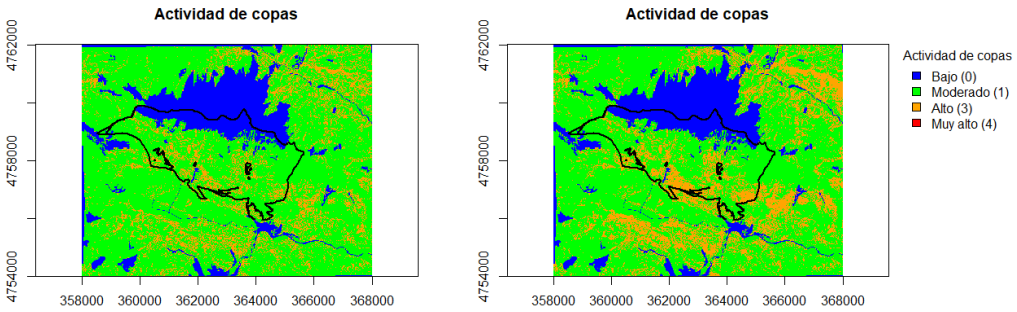



**Ilustración 68.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Piedrahita (Palencia)***

En el **escenario medio**, la actividad de copas es muy limitada y se circunscribe a ciertos puntos de las pequeñas masas de arbolado, donde puede producirse transición puntual desde el matorral subyacente. El comportamiento dominante sigue siendo de incendio de superficie.

En el **escenario extremo**, aumenta la probabilidad de fuego de copas pasivo en las masas arboladas más continuas, aunque sin llegar a alcanzar un incendio de copas generalizado a escala de todo el puerto. Aun así, la presencia de estos focos incrementa notablemente la complejidad del escenario de extinción.

- **Zonas fuera de la capacidad de extinción**

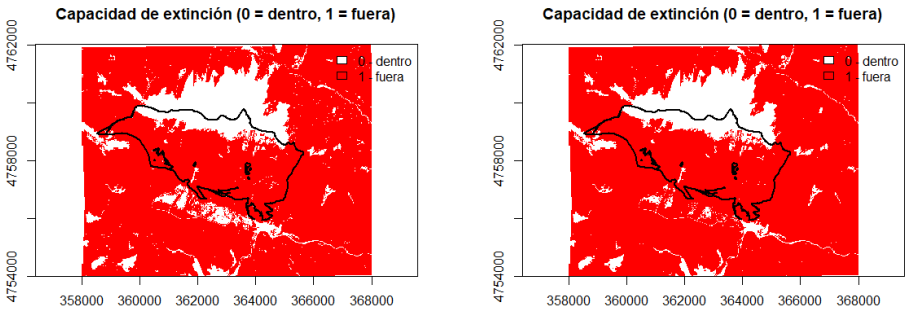



**Ilustración 69.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Piedrahita (Palencia)***

En el **escenario medio**, el mapa de capacidad de extinción señala varias laderas y corredores de matorral como zonas fuera de capacidad, mientras que en los pastizales y sectores rocosos se mantienen condiciones algo más favorables para el ataque directo. El puerto presenta así un mosaico de áreas de mayor y menor viabilidad operativa.

En el **escenario extremo**, las zonas fuera de capacidad se amplían y conectan, ocupando una porción mucho mayor del ámbito y afectando especialmente a las laderas centrales y occidentales. Esto supone una reducción importante de las ventanas de oportunidad para el control con medios convencionales.

- **Ejes de propagación**

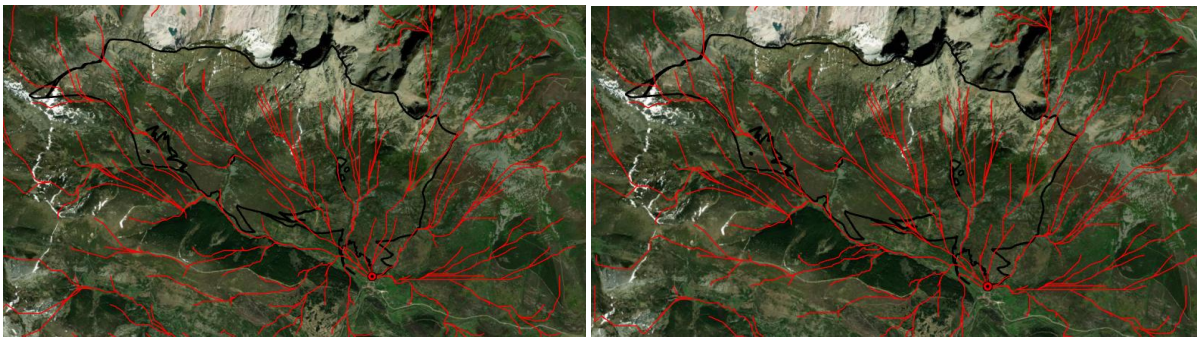


**Ilustración 70.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Piedrahita (Palencia)***

En el **escenario medio**, los ejes de propagación muestran un avance principal desde el punto de inicio hacia el interior del puerto, canalizado por las vaguadas y laderas de matorral que actúan como corredores naturales. El incendio progresa de forma significativa, pero aún con cierta diferenciación espacial.

En el **escenario extremo**, los ejes se densifican y se extienden hacia cotas más altas y zonas más internas, revelando un patrón de propagación mucho más generalizado. La longitud y número de ejes activos indican un incendio con fuerte capacidad de expansión y de afectación simultánea de distintos sectores del puerto.

- **Alcance del incendio**

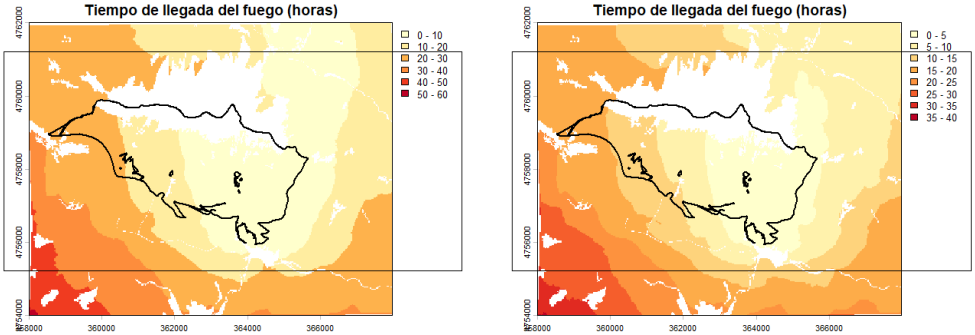



**Ilustración 71.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Piedrahita (Palencia)***

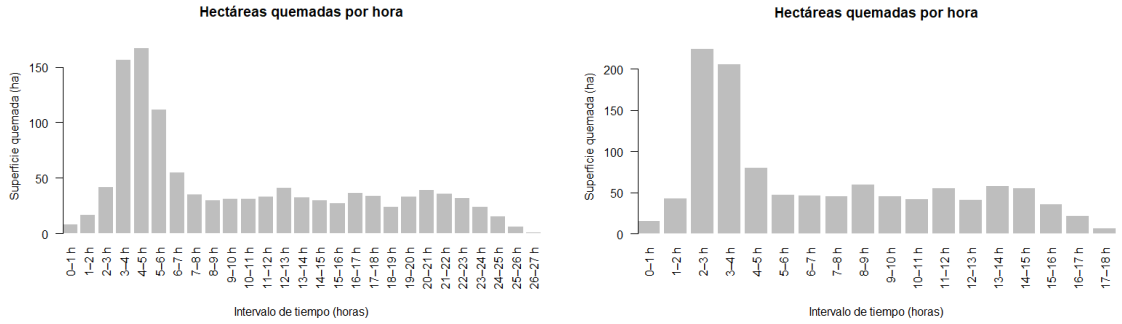



**Ilustración 72.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente en Puerto de Piedrahita (Palencia)***

En el **escenario medio**, el incendio simulado afecta a unas 716 ha de las 1.332,1 ha del puerto (aproximadamente un 53,8 % de la superficie), con una tasa media de 59,7 ha/h.

En el **escenario extremo**, la superficie quemada se incrementa hasta unas 908,4 ha (68,2 % del puerto), con una tasa media de 75,7 ha/h. El paso del escenario medio al extremo supone, por tanto, un aumento muy notable tanto del alcance espacial como de la velocidad de propagación.

- **Tiempo de respuesta para la extinción**

En Piedrahita, las diferencias entre escenario medio (≈54 % quemado) y extremo (≈68 %) ponen de manifiesto que el tiempo de respuesta condiciona fuertemente el alcance final del incendio. Bajo condiciones medias, una detección temprana y un ataque inicial en las primeras horas pueden limitar la expansión a las laderas más expuestas y evitar que el fuego conecte todos los corredores de matorral. En un episodio extremo, esa ventana se reduce notablemente y la falta de respuesta rápida favorece que el incendio alcance la configuración simulada, con más de dos tercios del puerto afectados y frentes de propagación difíciles de anclar.

- **Conclusiones**

Piedrahita presenta un comportamiento de incendio muy sensible a las condiciones meteorológicas: bajo clima medio, el fuego afecta a algo más de la mitad del puerto, mientras que en el escenario extremo logra involucrar cerca de dos tercios de la superficie, con velocidades y alturas de llama claramente superiores. La gestión debería orientarse a reforzar las discontinuidades de combustible en las laderas más continuas de matorral y en los corredores preferentes de propagación, así como a proteger específicamente las pequeñas masas arboladas que pueden ver incrementada su vulnerabilidad bajo episodios extremos.

### *3.8. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en La Hinojosa (Cáceres)-Cáceres*



**Ilustración 73.-*Dehesa La Hinojosa (Cáceres)***

La dehesa La Hinojosa se encuentra situada al norte de la provincia de Cáceres. Para el estudio de la vegetación de la zona se ha realizado un buffer de 20 km de radio alrededor de la superficie de la dehesa. La cartografía del Mapa Forestal de España (MFE) muestra los siguientes usos dentro de la superficie del buffer de estudio:

| Uso MFE | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Agua | 1.952,33 | 1,34 |
| Arbolado | 46.847,44 | 32,20 |
| Arbolado disperso | 4.003,64 | 2,75 |
| Arbolado ralo | 7.603,56 | 5,23 |
| Artificial | 4.581,00 | 3,15 |
| Cultivos | 16.273,26 | 11,19 |
| Desarbolado | 64.223,51 | 44,14 |
| **Total** | **145.484,73** | 100 |

**Tabla 22.-Usos generales del MFE en *La Hinojosa (Cáceres)***

Se observa que dentro de la superficie de la Dehesa La Hinojosa el uso asignado es "Desarbolado" y que dentro de la superficie que alcanza la zona completa de estudio se da en un 44,14 % el uso "Desabolado" también, constituyendo el uso "Arbolado" el 32,20 % con zonas de arbolado disperso y ralo en menor porcentaje. Se observa también zonas de cultivo con un porcentaje del 11,19 % intercalando con zonas no arboladas principalmente.

Las formaciones arboladas se encuentran principalmente representadas por alcornocales (*Quercus ilex*), dehesas, encinares (*Quercus ilex*), bosques mixtos de frondosas autóctonas de la región biogeográfica mediterránea, eucaliptales, mezcla de coníferas alóctonas/autóctonas y mezcla de coníferas entre otros. Principalmente dominan las formas adehesadas de especies como el alcornoque, la encina, entre otras.

| Tipo de formación arbolada | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Acebuchales (*Olea europaea var. sylvestris*) | 32,96 | 0,02 |
| Alcornocales (*Quercus suber*) | 1.062,24 | 0,73 |
| Bosque ribereño | 45,97 | 0,03 |
| Bosques mixtos de frondosas autóctonas en región biogeográfica mediterránea | 169,33 | 0,12 |
| Choperas y plataneras de producción | 0,99 | 0,00 |
| Coníferas alóctonas de gestión (*Cupressus spp, Cedrus spp*. otros | 5,44 | 0,00 |

| | | |
|---|---|---|
| pinos, etc.) | | |
| Dehesas | 50.089,57 | 34,43 |
| Encinares (*Quercus ilex*) | 2.785,18 | 1,91 |
| Eucaliptales | 149,63 | 0,10 |
| Fresnedas (*Fraxinus spp.)* | 2,65 | 0,00 |
| Frondosas alóctonas con autóctonas | 15,05 | 0,01 |
| Mezcla de coníferas con frondosas, autoctónas con alóctonas | 1,59 | 0,00 |
| Mezcla de coníferas y frondosas autóctonas en la región biogeográfica Mediterránea | 11,26 | 0,01 |
| No arbolado | 91.109,06 | 62,62 |
| Pinar de pino carrasco (*Pinus halepensis*) | 3,79 | 0,00 |
| **Total** | **145.484,73** | 100 |

**Tabla 23.-Tipo de formación arbolada según el MFE en *La Hinojosa (Cáceres)***

Asociadas a estas comunidades aparecen matorrales de aliagares, aulagares, cantuesares, coscojales, cubiertas arbustivas glicohidrófilas o freatófilas, escobonales, jarales mixtos, mezcla de matorrales de labiadas y tomillares y retamares principalmente.

| Tipo de matorral | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Aliagares, aulagares y afines | 31 | 1,06 |
| Cantuesares (*Lavandula stoechas, L. pedunculata, L. viridis*) | 14 | 0,48 |
| Codesares (*Adenocarpus complicatus, hispanicus*) | 2 | 0,07 |
| Coscojares + puros (*Quercus coccifera*) | 2 | 0,07 |
| Cubiertas arbustivas y subarbustivas glicohidrófilas o freatófilas | 6 | 0,21 |
| Escobonales/xesteiras | 133 | 4,55 |
| Galerías arbustivas mixtas | 3 | 0,10 |
| Jaguarzales y jaral-carpazales menores (*Halimium spp*.) | 8 | 0,27 |
| Jarales mixtos o mezclados (*Cistus spp.)* | 50 | 1,71 |
| Jarales y matorrales de Cistáceas | 12 | 0,41 |
| Manchas | 27 | 0,92 |
| Mezcla de matorrales de labiadas y tomillares (incluye pastizales leñosos) | 416 | 14,24 |
| Mezcla de matorrales de leguminosas retamoides | 33 | 1,13 |
| Orlas, espinares mesófilos mixtos y afines (dom. *Rosaceae*) | 19 | 0,65 |

| | | |
|---|---|---|
| Retamares | 837 | 28,64 |
| Sin datos | 1.329 | 45,48 |
| **Total** | **2.922** | 100 |

**Tabla 24.-Tipo de formación de matorral según el MFE en *La Hinojosa (Cáceres)***

La superficie no arbolada se encuentra principalmente representada por formaciones herbáceas de herbazal/pastizal y juncal carrizal:

| Tipo de formaciones herbáceas | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| Herbazal/Pastizal | 52.107,95 | 99,97 |
| Juncal y carrizal | 13,29 | 0,03 |
| **Total** | **52.121,24** | 100 |

**Tabla 25.-Tipo de formación herbácea según el MFE en Dehesa La Hinojosa (Cáceres).**

En conjunto, la vegetación de la zona del estudio alrededor de la Dehesa La Hinojosa se encuentra caracterizada por zonas no arboladas de herbazales y pastizales, así como algunas zonas de cultivo y zonas de arbolado (incluyendo disperso y ralo) con uso mayoritariamente de dehesa. Dadas estas características, es particularmente importante, la capa de pasto continuo bajo las formaciones arboladas que durante el periodo estival se agosta y se convierte en un combustible altamente inflamable ayudando al fuego a propagarse con rapidez. En el caso concreto de la superficie de la superficie concreta de la Dehesa La Hinojosa, se encuentra mayoritariamente rodeada de zonas de herbazal/pastizal con una zona cercana en su zona este de dehesa.

El punto de inicio del incendio se ha situado en la **Dehesa La Hinojosa**, al norte de la provincia de Cáceres, sobre la carretera que discurre al sur de la finca, en el tramo donde dicha vía entra en contacto directo con el borde meridional del ámbito de estudio. Esta localización responde a criterios de **plausibilidad**, ya que las infraestructuras lineales (carreteras, pistas agrícolas y accesos a fincas) concentran una parte importante de las igniciones reales, asociadas al tránsito de vehículos, trabajos de cosecha y mantenimiento, chispas en los frenos, quemas agrícolas mal controladas o uso recreativo de la zona. Además, el punto elegido marca el contacto entre las parcelas de cultivo del entorno y la superficie desarbolada de la dehesa, descrita por el Mapa Forestal de España como un continuo de pastizal y matorral ralo (modelo de combustible de pasto moderado).

Desde este punto de inicio, el incendio simulado puede **propagarse hacia el interior de la dehesa** sobre el tapiz de pasto fino–moderado que caracteriza La Hinojosa, aprovechando la ligera pendiente y la continuidad horizontal del combustible herbáceo, e interactuar posteriormente con las manchas arboladas y adehesadas existentes en el entorno del buffer de estudio (alcornocales, encinares, dehesas mixtas, etc.). De este modo, el escenario de modelización reproduce una situación verosímil de inicio de incendio en un contexto agrario-ganadero típico de la zona y permite evaluar el comportamiento del fuego en una dehesa fundamentalmente desarbolada bajo distintos escenarios de severidad climática.

Como ya se explicó anteriormente en la metodología se han modelizado dos escenarios de propagación de incendio uno medio y otro extremo.

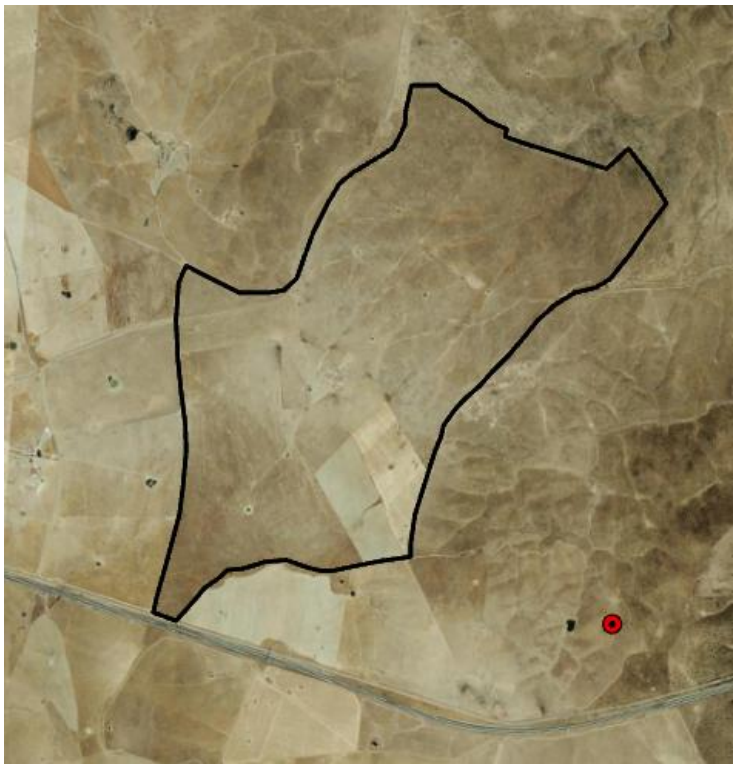


**Ilustración 74.-** ***Puerto de Argajadas (León) y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio***

- **Modelo de combustible**

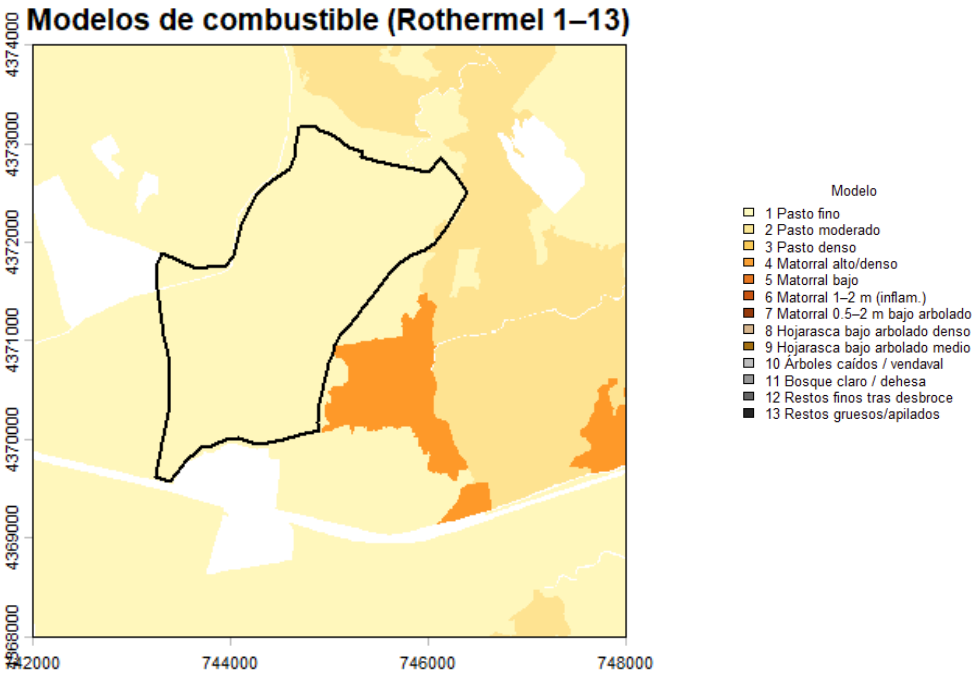


**Ilustración 75.-*Modelo de combustión en La Hinojosa (Cáceres)***

La cartografía de modelos de combustible (Rothermel 1–13) en la Dehesa La Hinojosa (zona delimitada en negro) muestra un ámbito **claramente dominado por combustibles de pasto fino**. El interior de la dehesa se representa prácticamente de forma homogénea con el **modelo 1 (pasto fino)**, asociado a un estrato herbáceo ralo, de muy baja carga leñosa y escasa estructura vertical. Este tipo de combustible favorece un comportamiento del fuego típico de **incendios de superficie rápidos pero de intensidad moderada**, con alturas de llama generalmente contenidas, muy sensibles al estado de la humedad del pasto y a la velocidad del viento.

En el entorno inmediato del polígono, fuera de la dehesa, aparecen áreas de **pasto moderado y denso (modelos 2 y 3)** en parcelas agrícolas, ribazos y eriales, así como algunas manchas de **matorral bajo o denso (modelos 4–5)** hacia el este y sureste de la zona. Estos combustibles externos presentan mayor carga y continuidad que el pasto fino del interior, por lo que, en caso de incendios que se inicien fuera de la finca, podrían aportar **frentes de fuego más intensos** si alcanzan el perímetro de La Hinojosa.

En conjunto, la Dehesa La Hinojosa se configura, desde el punto de vista de modelos de combustible, como un **mosaico fundamentalmente herbáceo dominado por pasto fino (modelo 1)**, rodeado por pastos de mayor carga (2–3) y pequeñas manchas de matorral (4–5). Este patrón se traduce en un escenario donde el comportamiento esperado del fuego es el de **incendios rápidos en pastizal de baja carga**, con reducido protagonismo de combustibles leñosos salvo en el contacto con las formaciones arbustivas y arboladas del entorno.

- **Velocidad de propagación del fuego (m/min)**

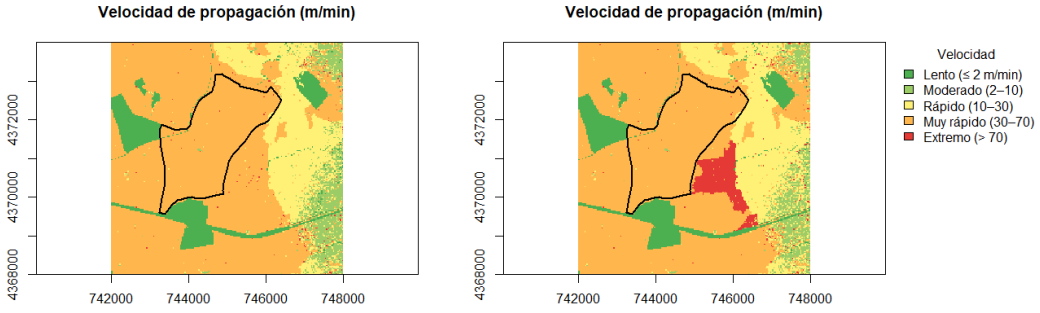



**Ilustración 76.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en La Hinojosa (Cáceres)***

En el **escenario medio**, la velocidad de propagación se mantiene mayoritariamente en rangos moderados a rápidos, propios de combustibles de pasto continuo con algo de matorral disperso. El frente avanza de forma relativamente homogénea por casi toda la dehesa, con valores algo más elevados en las pequeñas lomas y zonas ligeramente abancaladas, donde la pendiente y la alineación con la dirección del viento favorecen el avance del fuego.

En el **escenario extremo**, se observa un incremento generalizado de la velocidad de propagación, con la aparición de mayores superficies en las clases “rápido” y “muy rápido”. Bajo estas condiciones el incendio puede recorrer con facilidad toda la superficie de la dehesa, reduciendo mucho el margen de

maniobra para el ataque directo, especialmente en las zonas donde el combustible herbáceo es más continuo y seco.

- **Altura de llama (m)**

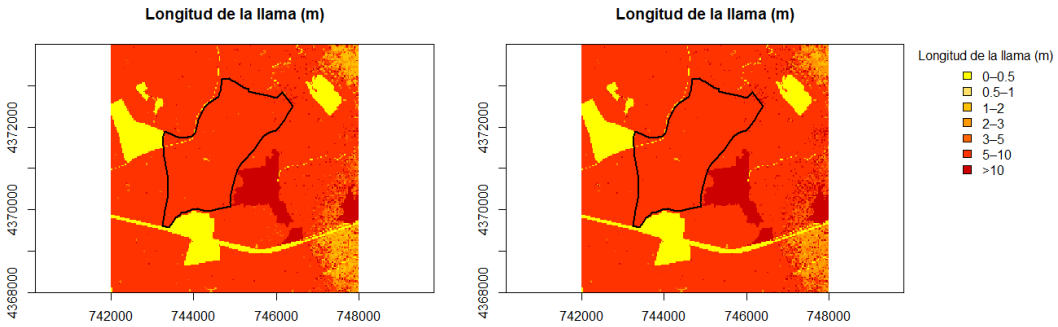



**Ilustración 77.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente en La Hinojosa (Cáceres)***

En el **escenario medio**, la altura de llama se mantiene, en general, en valores bajos o moderados, coherentes con un comportamiento de incendio de superficie en pasto y matorral ralo. Puntualmente se registran llamas más altas en los sectores donde el pastizal se combina con pequeñas manchas o alineaciones de arbolado disperso, pero sin configurarse un patrón continuo de fuego de elevada intensidad.
En el **escenario extremo**, la altura de llama aumenta de forma apreciable, tanto en extensión como en magnitud, especialmente en las áreas de pasto más denso y en los bordes con arbolado adehesado. Este incremento implica una mayor intensidad del fuego y un aumento del potencial de generación de focos secundarios, dificultando las labores de extinción terrestre.

- **Actividad del fuego en las copas de los árboles**

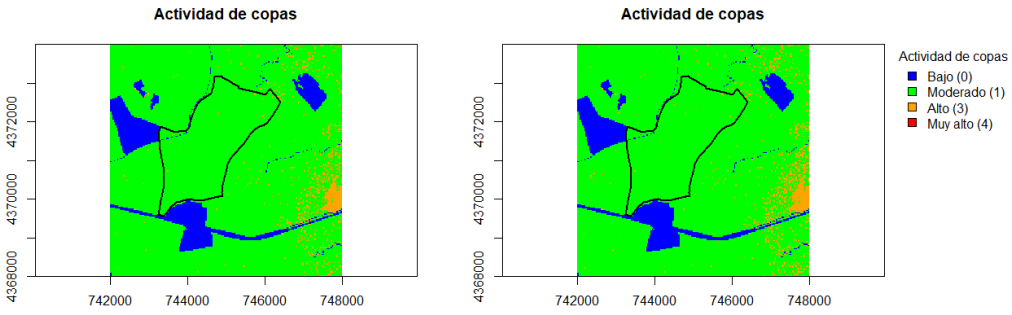



**Ilustración 78.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en La Hinojosa (Cáceres)***

En el **escenario medio**, la actividad de copas es muy reducida y se limita a algunos puntos concretos en las zonas donde el arbolado adehesado es más denso. Predomina claramente el fuego de superficie, sin desarrollo sostenido de fuego de copas.

En el **escenario extremo**, se incrementa la probabilidad de transición puntual del fuego desde el estrato herbáceo a las copas en las manchas de dehesa más cerradas, pero sin llegar a configurarse un incendio de copas generalizado. El riesgo principal sigue vinculado al fuego de superficie de alta intensidad sobre el pastizal continuo.

- **Zonas fuera de la capacidad de extinción**

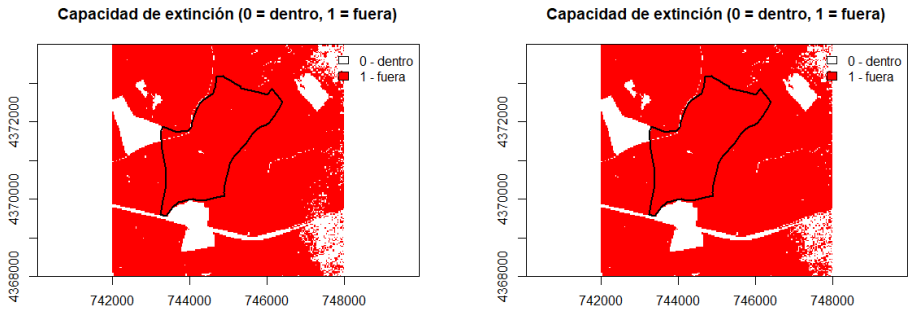



**Ilustración 79.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en La Hinojosa (Cáceres)***

Tomando como referencia los umbrales de velocidad (>33 m/min), altura de llama (>3 m) y presencia de fuego de copas, el escenario medio muestra ya manchas significativas fuera de capacidad de extinción, concentradas en los sectores de pasto continuo más expuestos al viento. No obstante, todavía se conservan franjas periféricas donde serían posibles estrategias de ataque directo o indirecto.

En el escenario extremo, las áreas fuera de capacidad se amplían y tienden a unirse hasta abarcar la mayor parte de la dehesa, de forma que la capacidad real de control queda muy condicionada a la actuación temprana y al empleo de tácticas de anclaje en caminos y discontinuidades de combustible.

- **Ejes de propagación**

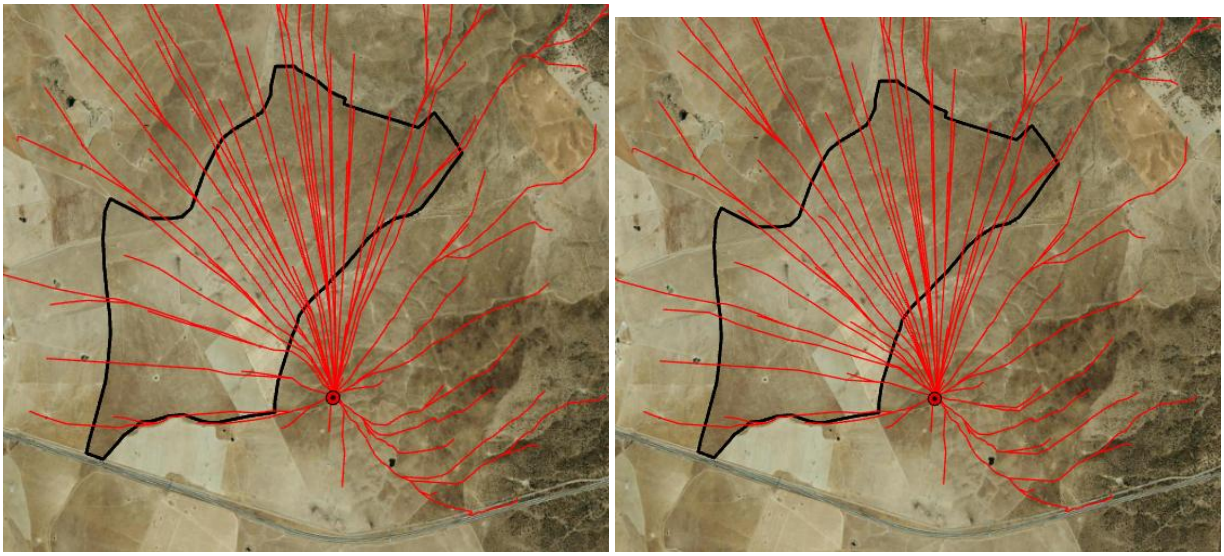


**Ilustración 80.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en La Hinojosa (Cáceres)***

En el **escenario medio**, los ejes de propagación muestran un patrón de avance relativamente uniforme desde el punto de inicio, siguiendo la ligera pendiente y el mosaico de cultivos y pastizales hacia el interior de la dehesa. El fuego tiende a extenderse a favor del viento dominante, ocupando progresivamente la totalidad del recinto.

En el **escenario extremo**, los ejes se densifican y alargan, con trayectorias más rápidas que intersectan varias veces las vías de comunicación internas y los límites de las parcelas. Este patrón refleja un incendio con elevada capacidad de salto entre manchas y de afectación generalizada de la superficie modelizada.

- **Alcance del incendio**

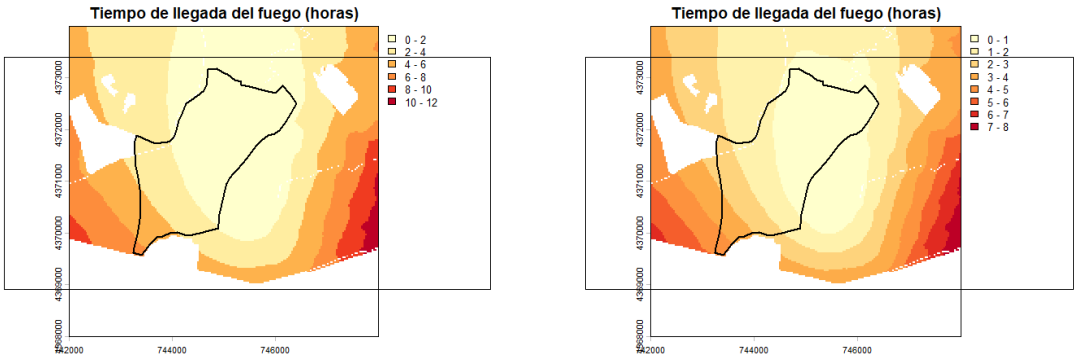



**Ilustración 81.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en La Hinojosa (Cáceres)***

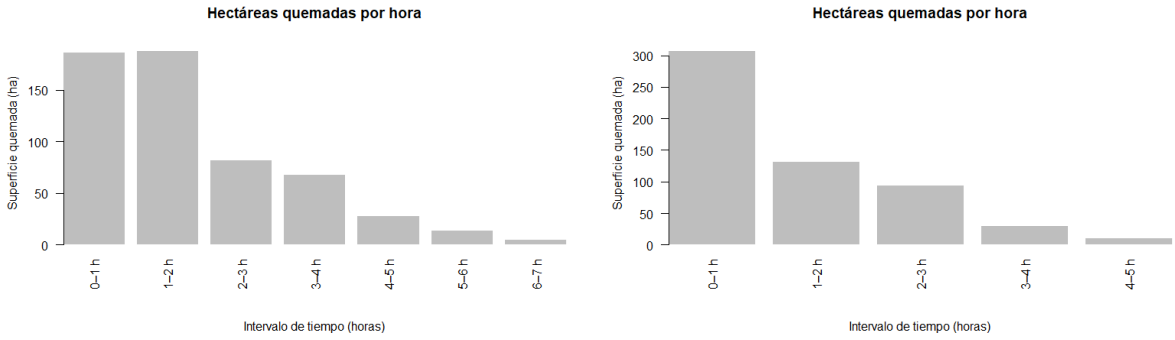



**Ilustración 82.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente La Hinojosa (Cáceres)***

El mapa de alcance del incendio muestra que, en el escenario medio, el fuego llega a quemar aproximadamente 489 ha de las 551,6 ha de la dehesa (en torno al 88,7 % de la superficie), lo que equivale a unas 40,8 ha/h en una simulación de 12 horas.

En el escenario extremo, la superficie afectada se incrementa hasta unas 507,4 ha (92,0 % de la dehesa), con una tasa media de alrededor de 42,3 ha/h. La diferencia entre escenarios no es tanto en el porcentaje final quemado —ya muy elevado en ambas situaciones— como en la rapidez con que se alcanza esa afectación casi total.

- **Tiempo de respuesta para la extinción**

En La Hinojosa, la elevada continuidad del pastizal y el alto porcentaje de superficie quemada (≈90 % en apenas 12 horas) indican una **ventana operativa muy reducida**. El incendio potencial recorre rápidamente la dehesa, de manera que la **detección casi inmediata y un ataque inicial dentro de la primera hora** son determinantes para tener opciones reales de confinamiento dentro del propio perímetro de la finca. Si la respuesta se retrasa, el fuego tiende a saturar la práctica totalidad de la dehesa, obligando a plantear estrategias de contención en los bordes o ya en el entorno exterior, con un esfuerzo mucho mayor y menor capacidad de éxito.

- **Conclusiones**

En La Hinojosa, la elevada continuidad del pastizal y la escasa presencia de barreras de combustible hacen que, incluso en condiciones de clima medio, el incendio potencial tenga una gran capacidad de propagación y un alcance prácticamente generalizado. Bajo condiciones extremas, la intensidad del fuego y la velocidad de propagación aumentan, reduciendo aún más las oportunidades de control. Desde la óptica de la gestión, resulta clave mantener y reforzar las discontinuidades funcionales (caminos, áreas de laboreo, fajas sin combustible) y considerar tratamientos específicos en las zonas de dehesa más cerradas, donde la interacción pasto–arbolado puede incrementar puntualmente la severidad del incendio.

### *3.9. Índice de Propagación de Incendio (IPI) en La Dehesa San Francisco - Huelva*

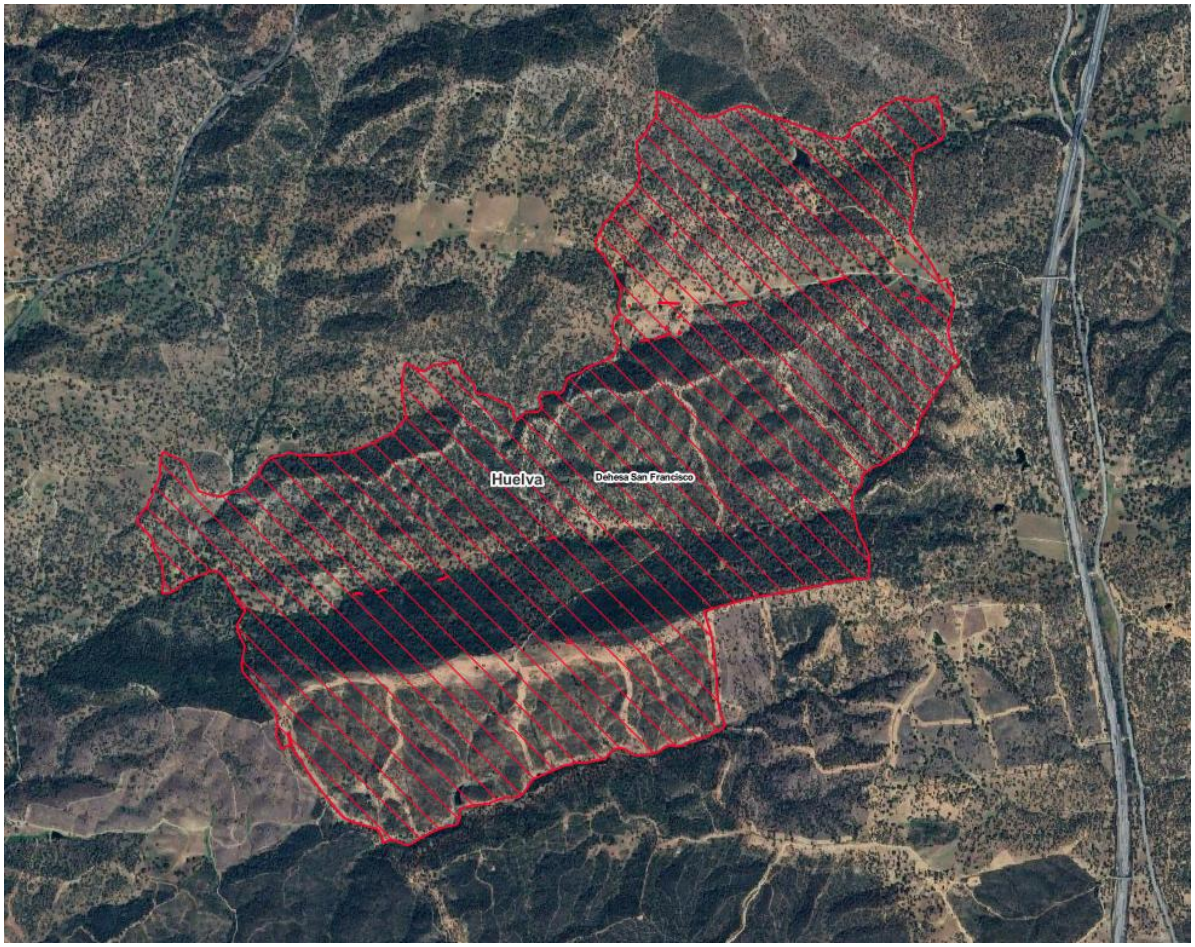



**Ilustración 83.-*Dehesa San Francisco (Huelva)***

En la Dehesa San Francisco, situada en el término municipal de Santa Olalla del Cala (Huelva), la cartografía del Mapa Forestal de España (MFE) muestra un paisaje claramente dominado por formaciones arboladas de carácter adehesado. El uso arbolado supone alrededor del 87 % de la superficie (1.800,85 ha), al que se suma un 12,76 % clasificado como arbolado ralo (263,97 ha), propio de dehesas más aclaradas o con menor densidad de pies. Las superficies desarboladas son testimoniales, con apenas 4,13 ha (0,20 % del total), asociadas a pequeñas manchas de pastizal o claros

internos. En conjunto, el área de estudio abarca aproximadamente 2.068,95 ha, con un marcado carácter forestal y silvopastoral.

| Uso MFE | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| **Arbolado** | 1.800,85 | 87,04 % |
| **Arbolado ralo** | 263,97 | 12,76 % |
| **Desarbolado** | 4,13 | 0,20 % |
| **Total** | **2.068,95** | **100 %** |

**Tabla 26.-Usos generales del MFE en la *Dehesa San Francisco (Huelva)***

Desde el punto de vista de la formación arbolada, el MFE identifica de manera mayoritaria la categoría "Dehesas", que ocupa en torno al 87 % del área (1.800,69 ha). Se trata de dehesas mixtas de encina (Quercus ilex) y alcornoque (Quercus suber), donde la especie dominante puede variar localmente pero mantiene una estructura típica de arbolado disperso sobre pastizal. Junto a ellas, se cartografía un bloque de alcornocal puro (Quercus suber) que representa aproximadamente el 12,77 % de la superficie (264,13 ha), configurando masas algo más densas y continuas de frondosas esclerófilas. Las áreas clasificadas como "No arbolado" son muy marginales (0,20 %), restringidas a pequeños enclaves desarbolados dentro del perímetro de la finca.

| Tipo de formación arbolada | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| **Dehesas** | 1.800,69 | 87,03 % |
| **Alcornocales (*Quercus suber*)** | 264,13 | 12,77 % |
| **No arbolado** | 4,13 | 0,20 % |
| **Total** | **2.068,95** | **100 %** |

**Tabla 27.-Tipo de formación arbolada según el MFE en la *Dehesa San Francisco (Huelva)***

En cuanto al matorral, el MFE no cartografía formaciones arbustivas densas como unidad principal dentro de la Dehesa San Francisco. Únicamente se identifica una pequeña superficie (4,13 ha, el 0,20 % del área) clasificada como "Monte desarbolado. Herbazal o pastizal", lo que indica que el sotobosque dominante es de tipo herbáceo. En la práctica, el matorral presente se distribuye de forma dispersa bajo las copas de encinas y alcornoques (retamas, jaras, coscoja, etc.), actuando más como componente del sotobosque que como formación independiente, por lo que no aparece reflejado como categoría específica en el MFE. Este patrón es coherente con el funcionamiento silvopastoral de la dehesa, donde la gestión orientada al aprovechamiento ganadero favorece la presencia de pastizales y la reducción del matorral denso.

| Tipo de matorral | Superficie (ha) | % sobre el área |
|---|---|---|
| **Herbazales y pastizales en monte desarbolado** | 4,13 | 0,20 % |
| **Total** | **2.068,95** | **100 %** |

**Tabla 28.-Tipo de formación de matorral según el MFE en la *Dehesa San Francisco (Huelva)***

Como ya se explicó anteriormente en la metodología se han modelizado dos escenarios de propagación de incendio uno medio y otro extremo.

Para la simulación del comportamiento del fuego en la Dehesa San Francisco se ha definido un punto de inicio del incendio situado en el borde oriental de la finca, en el fondo de valle y al pie de la ladera principal. La elección de este emplazamiento responde, en primer lugar, a criterios de verosimilitud: el valle oriental concentra la principal infraestructura viaria y de comunicación de la zona, por lo que constituye un corredor típico de igniciones asociadas a la actividad humana (tráfico, maquinaria, trabajos en la red viaria, etc.). Desde el punto de vista operativo, se trata de una de las entradas más probables de un incendio que se origina fuera de la dehesa y penetra en la finca impulsado por el viento dominante.

En segundo lugar, esta localización permite analizar un escenario de peor caso razonable para la propagación dentro de la dehesa. La ignición en el fondo del valle, en una posición relativamente baja en altitud, favorece la propagación ascendente del fuego por la ladera principal, atravesando el gradiente de usos y estructuras de combustible presentes en la finca (pastizales, manchas de matorral y dehesa arbolada). De este modo, el modelo permite evaluar cómo se comportaría un incendio que, partiendo de una zona de alta probabilidad de ignición, dispone de un recorrido amplio y continuidad de combustible suficiente para comprometer una parte sustancial de la Dehesa San Francisco, proporcionando información útil para la identificación de zonas críticas y la planificación de actuaciones preventivas.

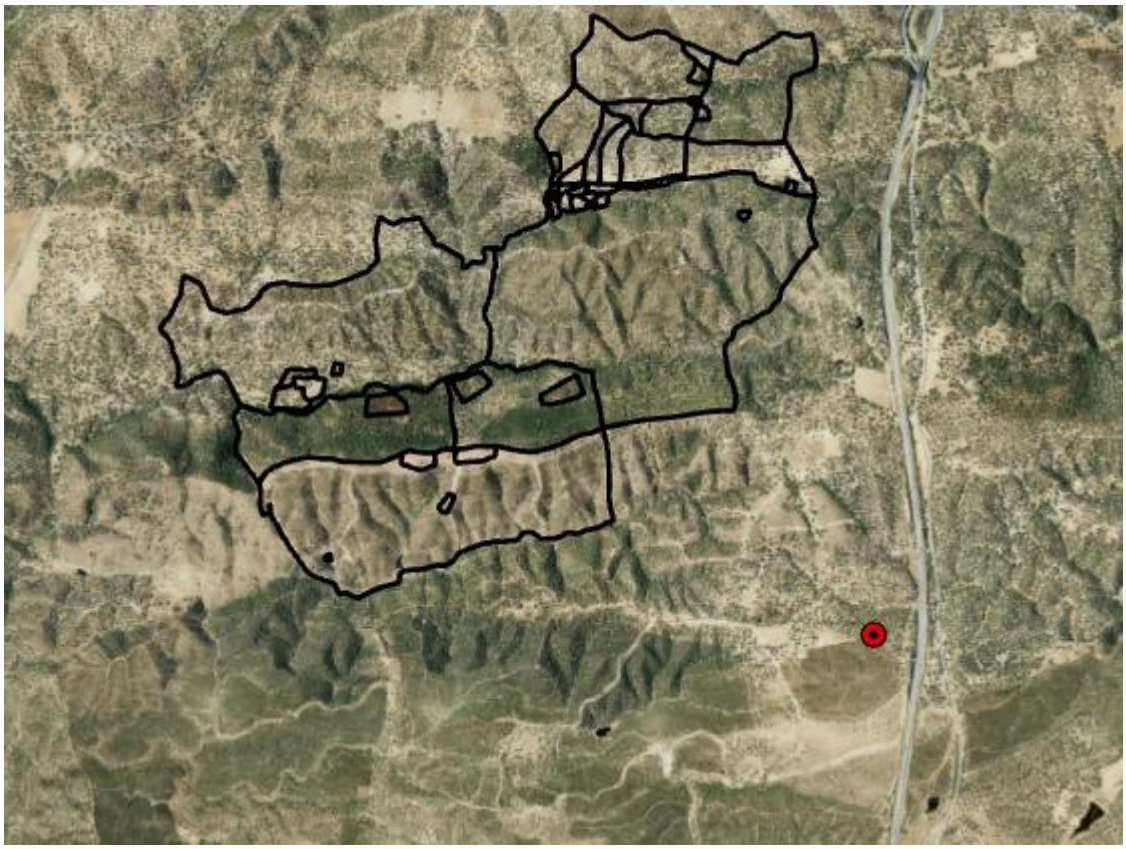


**Ilustración 84.-*Dehesa San Francisco (Huelva) y el punto rojo punto de inicio de la simulación del incendio***

- **Modelo de combustible**

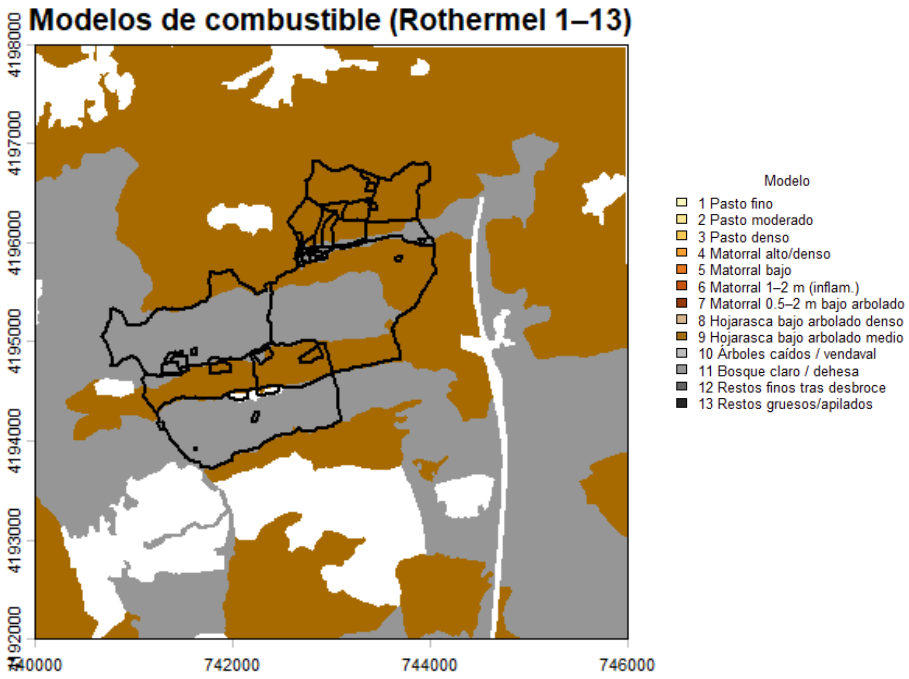



**Ilustración 85.-*Modelo de combustión en la Dehesa San Francisco (Huelva)***

La zona de estudio marcada en negro corresponde a una dehesa arbolada, con pies dispersos de quercíneas y un estrato herbáceo dominante, salpicado localmente por pequeños rodales de matorral bajo y claros de suelo desnudo. Desde el punto de vista de la modelización, esta estructura se ha cartografiado mayoritariamente como modelo de combustible 11 (bosque claro / dehesa), caracterizado por una baja a media continuidad horizontal del combustible leñoso y una carga de combustible fino concentrada en el pasto y la hojarasca superficial. La presencia de arbolado disperso aporta discontinuidades adicionales en el combustible de superficie, de forma que el comportamiento esperado del fuego se ajusta, en condiciones normales, a un incendio de baja a moderada intensidad, dominado por la propagación en el estrato herbáceo y con una probabilidad reducida de transición a fuego de copas.

Bajo un escenario de clima normal, con humedades de combustible y viento moderados, este modelo de combustible se traduce en velocidades de propagación relativamente contenidas y alturas de llama bajas o moderadas, lo que facilita el ataque directo con medios terrestres y el uso de las pistas y claros internos como líneas de defensa. Sin embargo, en un escenario extremo (episodios de sequía prolongada, humedades muy bajas y vientos fuertes), la misma dehesa puede comportarse como un continuo de pasto fino muy seco, capaz de generar frentes de fuego rápidos, con mayor longitud de llama y potencial para afectar al arbolado disperso, especialmente en las zonas donde existe algo de matorral o acumulación de restos. Por ello, aunque la dehesa representa en general un modelo de combustible más favorable que los pinares densos o los matorrales continuos, su comportamiento bajo condiciones extremas justifica la necesidad de un manejo continuado de la carga de pasto y del matorral, así como el mantenimiento de la red de pastoreo y de discontinuidades internas que refuercen su papel como área de amortiguación del incendio en el paisaje.

- **Velocidad de propagación del fuego (m/min)**

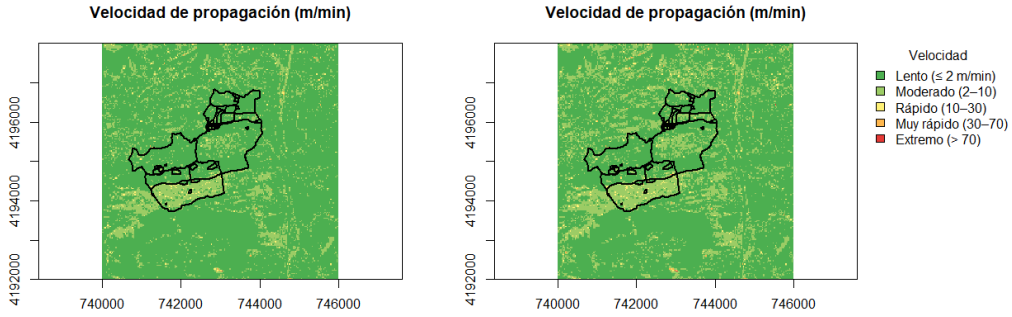



**Ilustración 86.-*Velocidad de propagación (m/min) en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)***

En el escenario medio, la velocidad de propagación del incendio en la Dehesa San Francisco presenta valores en general moderados, coherentes con un paisaje dominado por dehesa arbolada y pastizales bajo cubierta. El fuego tiende a avanzar más rápidamente en las zonas de pastizal continuo y en las laderas con mayor pendiente, donde la continuidad horizontal del combustible fino es elevada. En las áreas con mayor cobertura de copa y menor carga de pasto en el sotobosque, la velocidad de propagación se reduce, dando lugar a un comportamiento más lento y fragmentado del frente de llama. Bajo estas condiciones, el incendio progresa de forma significativa, pero todavía dentro de un rango en el que, al menos en parte del perímetro, podrían plantearse estrategias de ataque directo y maniobras de contención con medios terrestres.

En el escenario extremo, la simulación muestra un incremento generalizado de la velocidad de propagación, con amplias superficies alcanzando valores superiores a los registrados en el escenario medio. El aumento es especialmente notable en los sectores de pastizal más continuo, en las laderas más expuestas al viento dominante y en los bordes de las manchas de alcornocal más densas, donde la combinación de pendiente, sequedad del combustible y viento favorece una rápida expansión del frente. La comparación entre ambos escenarios pone de manifiesto que, bajo condiciones extremas de sequía y viento, la dehesa puede pasar de un comportamiento relativamente manejable a una situación en la que la velocidad del fuego se aproxima o supera los umbrales operativos de control en una parte relevante de la finca, reduciendo la ventana temporal disponible para el ataque inicial.

- **Altura de llama (m)**

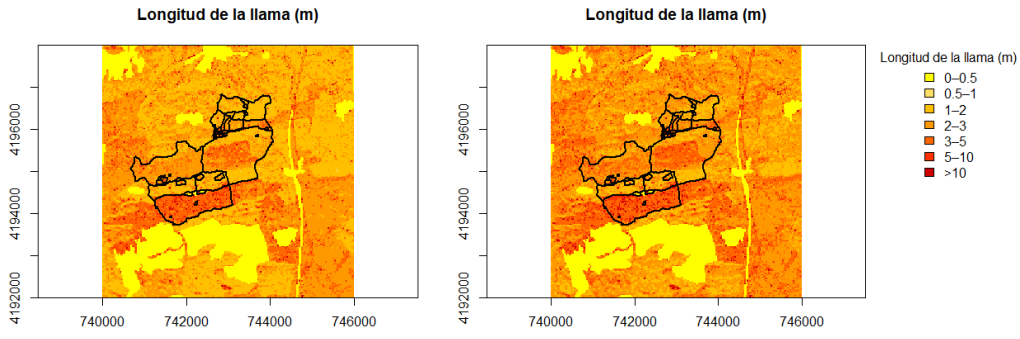



**Ilustración 87.-*Altura de la llama (m) en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)***

En el escenario medio, la altura de llama se mantiene mayoritariamente en valores bajos o moderados, típicos de incendios de superficie que afectan principalmente al estrato herbáceo y, en menor medida, al matorral disperso bajo las copas. Las llamas más altas se localizan en las zonas donde el pastizal presenta mayor carga de combustible fino o donde existe cierta continuidad vertical entre el matorral y las copas de encinas y alcornoques, especialmente en laderas con pendiente acusada. No obstante, el patrón general indica una altura de llama compatible con la intervención directa en buena parte del frente, siempre que las condiciones de seguridad y la disponibilidad de medios lo permitan.

En el escenario extremo, se aprecia un aumento claro de la altura de las llamas, tanto en extensión espacial como en magnitud. Las áreas que en el escenario medio presentaban llamas moderadas pasan a mostrar valores más elevados, especialmente en los pastizales más secos y en los bordes de las masas arboladas donde el sotobosque presenta mayor continuidad de combustible. Este incremento implica una mayor intensidad del fuego y un aumento del potencial de generación de pavesas y focos secundarios, lo que dificulta la actuación de los medios terrestres y condiciona la viabilidad del ataque directo. La comparación entre escenarios refleja que el paso de condiciones “medias” a “extremas” supone un salto cualitativo en la severidad del comportamiento del fuego en la dehesa.

- **Actividad del fuego en las copas de los árboles**

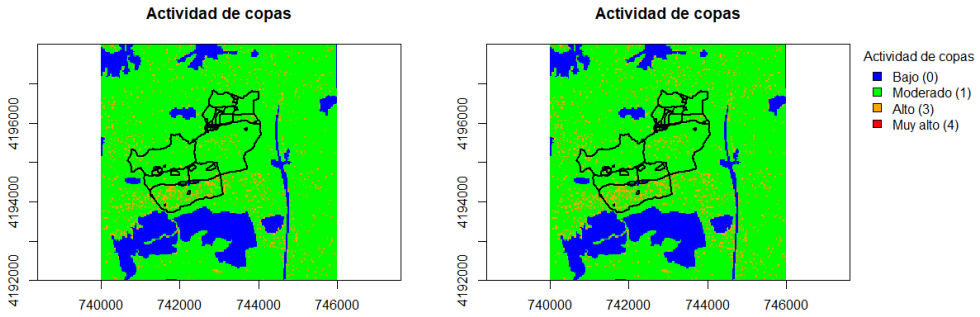



**Ilustración 88.-*Actividad del fuego en las copas de los árboles en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)***

En el **escenario medio**, el mapa de **actividad de copas** muestra que, en la mayor parte de la Dehesa San Francisco, el comportamiento del fuego se mantiene como **incendio de superficie**, con una actividad de copas limitada o nula. Las áreas con mayor probabilidad de transición a fuego de copas (pasivo) se concentran en los **alcornocales más densos** y en algunos sectores de dehesa donde la continuidad vertical del combustible (matorral bajo copa, regenerado denso) es más acusada. Sin embargo, estas zonas son relativamente reducidas y aparecen rodeadas de áreas con combustibles más abiertos, lo que limita la probabilidad de desarrollo de incendios de copas generalizados bajo condiciones medias.

En el **escenario extremo**, el modelo muestra una **expansión de las zonas con actividad de copas**, especialmente en las masas de alcornocal más continuas y en los enclaves de dehesa donde se combinan altas cargas de combustible fino con sotobosque arbustivo. Aumenta la superficie con **fuego de copas pasivo** y, puntualmente, con indicios de actividad de copas más intensa, lo que implica un incremento del riesgo en términos de intensidad, proyección de pavesas y dificultad de control. La comparación entre escenarios indica que, aunque la estructura de dehesa tiende a favorecer los

incendios de superficie, bajo condiciones extremas pueden generarse episodios localizados de fuego de copas que incrementan significativamente la peligrosidad, especialmente en los rodales más cerrados.

- **Zonas fuera de la capacidad de extinción**

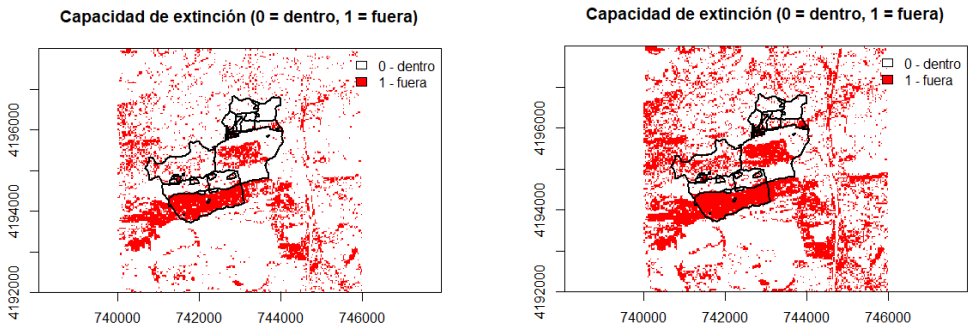



**Ilustración 89.-*Zonas fuera de la capacidad de extinción en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)***

Tomando como referencia los criterios establecidos en la metodología —**velocidad de propagación > 33 m/min, longitud de llama > 3 m y presencia de fuego de copas**—, el mapa de **capacidad de extinción** para el **escenario medio** identifica un conjunto de **zonas puntuales fuera de capacidad**, fundamentalmente asociadas a laderas con mayor pendiente y a sectores donde coinciden pastizales muy secos con arbolado relativamente denso. Estas áreas aparecen distribuidas de forma fragmentada dentro de la finca, alternando con amplias superficies en las que las condiciones del fuego, aun siendo exigentes, podrían permitir la aplicación de estrategias de ataque directo o indirecto con un margen de maniobra razonable.

En el **escenario extremo**, las **zonas fuera de capacidad de extinción** se **amplían y tienden a coalescer**, especialmente en las laderas más expuestas al viento y en los alcornocales y dehesas más cerradas, donde coinciden altas velocidades de propagación, llamas de mayor altura y mayor actividad de copas. El resultado es un mosaico en el que las áreas potencialmente controlables se ven reducidas y desplazadas hacia sectores menos productivos en términos de combustible o con topografía más favorable. La comparación entre ambos escenarios pone de manifiesto que, bajo condiciones extremas, una parte significativa de la Dehesa San Francisco podría quedar en situación de **fuego fuera de capacidad**, obligando a priorizar la protección de infraestructuras y valores clave frente al control directo del frente principal.

- **Ejes de propagación**

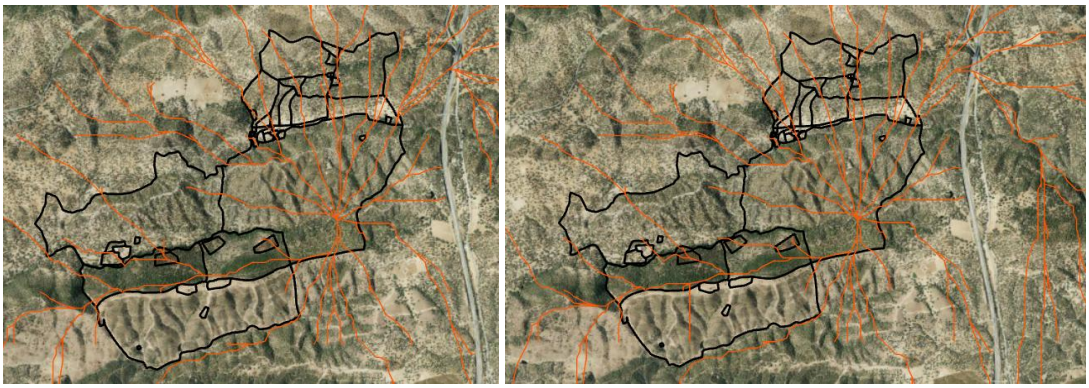


**Ilustración 90.-*Ejes de propagación en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)***

En el **escenario medio**, los **ejes de propagación** simulados reflejan un comportamiento del fuego coherente con la topografía y la estructura de combustibles de la dehesa. Desde el punto de ignición situado en el fondo del valle oriental, el fuego tiende a avanzar **ladera arriba**, siguiendo las líneas de máxima pendiente y los corredores de pastizal continuo bajo el arbolado. Los ejes se concentran en las laderas orientadas en la dirección del viento dominante, pero mantienen una densidad moderada, lo que indica un desarrollo del incendio importante pero relativamente acotado durante las 12 horas de simulación.

En el **escenario extremo**, los ejes de propagación se **densifican y expanden** tanto hacia las partes altas de la finca como lateralmente a lo largo de las laderas. El fuego explora un mayor número de rutas potenciales, ocupando con rapidez gran parte de los pastizales bajo dehesa y afectando también a los rodales de alcornocal más continuos. La mayor densidad y longitud de los ejes evidencia un comportamiento del incendio más agresivo, con menor capacidad de anticipación y de anclaje de las líneas de defensa. La comparación entre escenarios sugiere que, bajo condiciones extremas, la dehesa pasa de un patrón de propagación relativamente canalizado a otro mucho más difuso y difícil de contener.

- **Alcance del incendio**

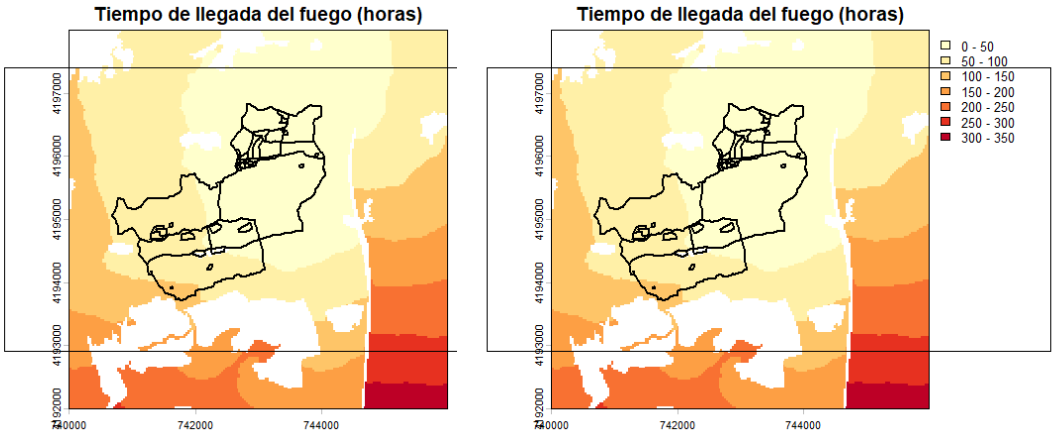



**Ilustración 91.-*Alcance del incendio (horas) en el escenario medio y extremo respectivamente en la Dehesa San Francisco (Huelva)***

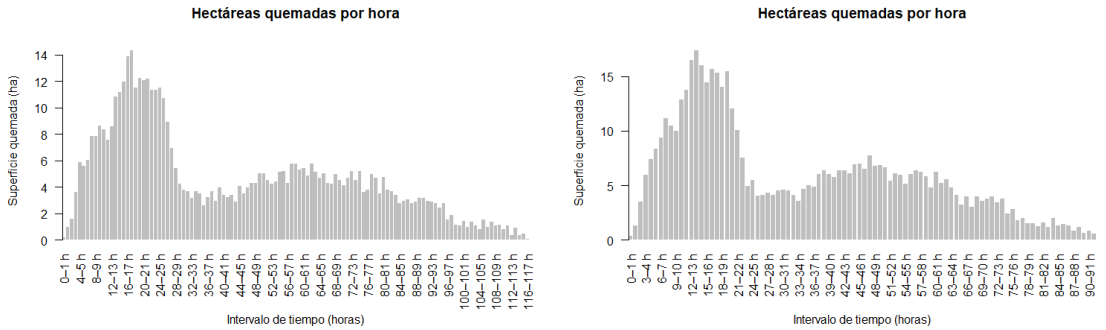



**Ilustración 92.-*Hectáreas quemadas por hora en el escenario medio y extremo respectivamente en* la *Dehesa San Francisco (Huelva)***

El mapa de **alcance del incendio**, basado en el tiempo de llegada del fuego (MTT), muestra en el **escenario medio** una **superficie quemada de 64,08 ha** al cabo de 12 horas de simulación, lo que equivale a una tasa media aproximada de **5,3 ha/h**. La mancha afectada se concentra en torno al valle oriental y las laderas adyacentes, avanzando de forma predominante hacia las cotas superiores pero sin llegar a comprometer la totalidad de la dehesa. Los tiempos de llegada más cortos se registran en las inmediaciones del punto de ignición y en los pastizales más continuos, mientras que las zonas más alejadas y algunos rodales arbolados de mayor humedad relativa permanecen sin afectar dentro del periodo considerado.

En el **escenario extremo**, el **alcance espacial del incendio aumenta de forma notable**, alcanzándose una superficie quemada de **94,50 ha** en las mismas 12 horas de simulación, es decir, una tasa media cercana a **7,9 ha/h**. El fuego progresa más rápidamente desde el valle hacia las partes altas y penetra con mayor profundidad en los rodales de dehesa y alcornocal, reduciendo el número y tamaño de las áreas que quedan como islas no afectadas. El patrón de afectación se hace más continuo y se extiende sobre una mayor proporción de la ladera principal. La comparación entre ambos escenarios indica que, bajo condiciones extremas, el incendio no solo alcanza **mayor superficie** y lo hace a **mayor ritmo**, sino que compromete zonas que en el escenario medio se mantenían al margen, lo que incrementa de manera significativa la peligrosidad global y la necesidad de medidas preventivas específicas de gestión del combustible y de planificación de la respuesta operativa en la Dehesa San Francisco.

- **Tiempo de respuesta para la extinción**

En la Dehesa San Francisco, el alcance relativamente contenido del incendio en ambos escenarios sugiere una **ventana de respuesta algo más amplia** que en otros ámbitos analizados, siempre que la detección sea temprana. Aun así, las velocidades de propagación sobre el pastizal hacen recomendable que el **ataque inicial se produzca en las primeras 1–2 horas** desde la ignición para evitar que el fuego consolide frentes largos y alcance zonas de mayor carga de combustible o estructuras vulnerables. Más allá de ese intervalo, el incendio tiende a ocupar la mayor parte del sector afectado en el modelo, lo que complica las maniobras y aumenta el esfuerzo necesario para su control.

- **Conclusiones**

El análisis del comportamiento potencial del fuego en la Dehesa San Francisco muestra que, bajo condiciones **medias**, el incendio se desarrolla principalmente como **fuego de superficie** sobre pastizales bajo dehesa y alcornocal, con velocidades de propagación y alturas de llama en general moderadas. La actividad de copas es reducida y localizada, y las **zonas fuera de capacidad de extinción** aparecen de forma puntual, asociadas a laderas más inclinadas y rodales con mayor carga de combustible. En estas condiciones, el incendio quema del orden de **64,08 ha en 12 horas**, afectando

sobre todo al entorno del valle oriental y a las laderas adyacentes, pero sin comprometer una proporción muy elevada de la superficie total de la finca.

En el **escenario extremo**, el sistema pasa a un estado claramente más crítico: aumentan la **velocidad de propagación**, la **altura de las llamas** y la **actividad del fuego en copas**, especialmente en los alcornocales más cerrados y en las dehesas con mayor continuidad vertical del combustible. Las zonas fuera de capacidad de extinción se amplían y tienden a conectarse entre sí, reduciendo drásticamente las áreas en las que serían viables maniobras de ataque directo. El incendio alcanza aproximadamente **94,50 ha en las mismas 12 horas**, con una afectación más continua y profunda a lo largo de la ladera principal y una mayor ocupación de la matriz de dehesa.

En conjunto, la comparación entre ambos escenarios pone de manifiesto que la Dehesa San Francisco, aun siendo un sistema estructuralmente más favorable a los incendios de superficie que a los de copas, puede experimentar **saltos bruscos de peligrosidad** cuando se combinan condiciones extremas de sequía y viento. Esto se traduce en un incremento significativo de la superficie quemada, de la intensidad del fuego y de la extensión de las zonas fuera de capacidad de extinción. Los resultados subrayan la necesidad de reforzar las **medidas preventivas de gestión del combustible** (especialmente en laderas de mayor pendiente, bordes de alcornocal y dehesas más densas) y de integrar estos escenarios de peor caso en la planificación operativa y en la definición de puntos estratégicos de gestión dentro de la finca.

## *4. Síntesis comparativa global del IPI en los puertos y dehesas analizados*

La lectura conjunta de las simulaciones del Índice de Propagación de Incendios (IPI) pone de manifiesto un patrón común: en la mayor parte de los ámbitos analizados, el fuego potencial presenta **una gran capacidad de propagación y de afectación de superficie** incluso bajo un escenario climático medio, que se acentúa en el escenario extremo.

### *4.1. Dehesas versus puertos de montaña*

Las dos **dehesas** modelizadas presentan un comportamiento diferenciado:

- **Dehesa San Francisco (Huelva)** muestra una afectación relativamente limitada en ambos escenarios (≈12 % en el medio y 18 % en el extremo). La presencia de estructuras adehesadas con arbolado disperso, un mosaico de usos y cierta compartimentación interna favorecen una propagación más contenida del fuego.
- **Dehesa La Hinojosa (Cáceres)**, en cambio, se comporta casi como un continuo de pastizal: se quema en torno al 89 % de la superficie en el escenario medio y el 92 % en el extremo. La escasez de barreras internas y la elevada continuidad del combustible herbáceo explican este comportamiento casi “saturado” del incendio potencial.

En contraste, los **puertos de montaña** presentan, en general, **niveles muy altos de afectación** debidos al predominio de matorral montano de media-alta carga y pendientes acusadas:

- En **Regadas, Las Pintas, Peñalba y Herreruela** la superficie quemada supera el 95 % bajo condiciones extremas y se mantiene ya por encima del 90–97 % en el escenario medio, reflejando una continuidad de combustible que apenas deja espacio para maniobras de control.
- En **Argajadas**, pese al predominio de pastizales, el porcentaje quemado ronda el 89 % en ambos escenarios, lo que indica que el incendio potencial recorre prácticamente todo el puerto en las 12 horas simuladas.

- **Piedrahita** y **Villanueva de la Peña** son los únicos puertos donde la diferencia entre escenarios es más marcada: en Piedrahita se pasa de un 54 % quemado en el escenario medio a un 68 % en el extremo; en Villanueva de la Peña, curiosamente, el escenario medio alcanza un 67 % de afectación frente a un 51 % en el extremo, lo que sugiere una mayor sensibilidad del incendio a la combinación concreta de viento y direccionalidad del relieve en el escenario medio.

### *4.2. Pastizales continuos frente a matorrales y masas arboladas*

La comparación entre ámbitos dominados por **pasto** (San Francisco, La Hinojosa, Argajadas) y aquellos donde prevalece el **matorral montano y/o masas arboladas** (Regadas, Las Pintas, Piedrahita, Peñalba, Herreruela, Villanueva de la Peña) revela:

- En los **paisajes pastizales**, la peligrosidad se traduce sobre todo en **velocidades muy altas y tiempos de llegada cortos**, pero con alturas de llama moderadas y sin apenas actividad de copas. El incendio es muy móvil, pero su severidad estructural es menor salvo en los contactos con arbolado.
- En los **paisajes de matorral y bosque**, además de velocidades altas se observan **llamas largas y presencia puntual o extensa de fuego de copas**, especialmente en masas de pino, melojar o hayedo. Son estos puertos donde las zonas "fuera de la capacidad de extinción" se generalizan rápidamente y donde el potencial de daño ecológico es mayor.

### *4.3. Efecto del escenario extremo*

El paso del **escenario medio** al **escenario extremo** tiene efectos diferenciados según el grado de saturación inicial:

- En **zonas ya casi saturadas** (Regadas, Las Pintas, Peñalba, Herreruela, Argajadas, La Hinojosa), el salto de escenario **no aumenta mucho la superficie final quemada**, porque el incendio ya afecta a la práctica totalidad del ámbito en el escenario medio. El cambio se manifiesta sobre todo en una **mayor intensidad del fuego (llamas más largas, más zonas fuera de capacidad y más actividad de copas)**.
- En **zonas con mayor heterogeneidad y presencia de discontinuidades** (San Francisco, Piedrahita, Villanueva de la Peña), el escenario extremo sí se traduce en **aumentos apreciables del alcance del incendio**, ampliando la superficie finalmente afectada y reduciendo las áreas que podrían funcionar como áreas oportunas.

## *5. Conclusiones generales*

1. **Alta vulnerabilidad estructural**. La mayoría de los puertos analizados presentan una estructura de combustible (matorral denso, pastos continuos, masas arboladas conectadas) que favorece incendios de gran extensión, con porcentajes de superficie quemada superiores al 90 % en varios casos incluso bajo condiciones climáticas medias.
2. **Papel determinante de la continuidad del matorral**. Allí donde el matorral montano (modelos 4–6) forma mantos continuos sobre pendientes acusadas (Regadas, Las Pintas, Peñalba, Herreruela), los incendios potenciales son de muy difícil control, con amplias zonas fuera de capacidad y episodios probables de fuego de copas en masas arboladas asociadas.
3. **Pastizales como combustible muy móvil**. En dehesas y puertos dominados por pasto (San Francisco, La Hinojosa, Argajadas) el fuego muestra una gran rapidez de propagación y una alta proporción de superficie quemada, pero con menor severidad vertical salvo en los puntos de

contacto con el arbolado. Estos ámbitos pueden funcionar tanto como zonas de oportunidad si se gestionan adecuadamente, como corredores de propagación muy rápidos si se descuida la carga herbácea.

4. **Escenario extremo: más intensidad que superficie adicional**. En muchos casos el escenario extremo no implica un salto enorme en la superficie final quemada porque el incendio ya "llena" el puerto en el escenario medio; sin embargo, sí **incrementa claramente la severidad** (más altura de llama, más fuego de copas, más superficie fuera de capacidad), lo que se traduce en mayores impactos y peores condiciones para la extinción.
5. **Importancia de la escala de paisaje**. Los resultados muestran que la efectividad real de cualquier tratamiento puntual depende de su **inserción en un mosaico más amplio**: donde el entorno es muy continuo (p. ej. macizos de matorral montano), las actuaciones aisladas tienden a quedar sobrepasadas por incendios de gran escala.

## *6. Implicaciones para la gestión*

1. **Priorización espacial de actuaciones**
   - Los puertos con **mayor porcentaje de superficie quemada y más zonas fuera de capacidad** (Regadas, Las Pintas, Peñalba, Herreruela, La Hinojosa) deberían considerarse **zonas prioritarias de gestión del combustible**, especialmente en las laderas que actúan como ejes principales de propagación.
   - Los ámbitos con **respuesta más sensible al cambio de escenario** (Piedrahita, Villanueva de la Peña, San Francisco) son candidatos idóneos para **reforzar discontinuidades existentes**, ya que aún presentan margen para reducir de forma efectiva el alcance del incendio.
2. **Gestión diferenciada según tipo de combustible**
   - En **matorrales montanos**, las simulaciones confirman la necesidad de **clareos, desbroces y creación de fajas de baja carga**, especialmente en corredores de propagación identificados y en el contacto con masas arboladas vulnerables.
   - En **pastizales y dehesas**, el foco debe ponerse en **regular la carga herbácea** (pastoreo dirigido, siega, manejo de rastrojos) y en **mantener la compartimentación** mediante caminos, cultivos y áreas sin combustible.
3. **Integración con planificación forestal y de defensa contra incendios**
   - Los resultados del IPI deberían incorporarse a los **planes de ordenación y planes de defensa contra incendios** como capas de referencia para la selección y diseño de áreas cortafuegos, tratamientos selvícolas y usos del territorio.
   - La identificación de **zonas recurrentemente fuera de capacidad** es clave para planificar **infraestructuras de apoyo a la extinción** (puntos de agua, áreas seguras, pistas estratégicas) y para priorizar la asignación de recursos en emergencias.
4. **Escala de paisaje y conectividad**
   - Dado que muchos incendios potenciales atraviesan el puerto completo en menos de 12 horas, la mejora del comportamiento del fuego requiere actuar **más allá del límite administrativo de cada puerto o dehesa**, estableciendo **redes de áreas de oportunidad y corredores de baja carga** a escala de cuenca o comarca.

## *7. Recomendaciones operativas*

1. **Diseño y mantenimiento de un mosaico de combustibles**
    - Crear y mantener un **mosaico de estructuras** (pastizales manejados, matorral aclarado, manchas arboladas de menor densidad, cultivos) que rompa la continuidad actual del matorral y del pasto continuo, especialmente en:
        - fondos de valle y laderas de arranque,
        - divisorias y crestas,
        - contactos matorral–bosque (pino, melojar, hayedo).
    - Utilizar las áreas donde las simulaciones muestran menor intensidad como **"áreas de oportunidad"** para ubicar nuevas actuaciones (desbroces, clareos, cambios de uso).
2. **Refuerzo de líneas y puntos de anclaje**
    - Priorizar el **mantenimiento y mejora de pistas, cortafuegos, linderos agrícolas y cauces** que aparecen en los modelos como límites naturales al avance del fuego, convirtiéndolos en anclajes robustos para la extinción.
    - En puertos con incendio prácticamente generalizado (Regadas, Las Pintas, Peñalba, Herreruela), diseñar **fajas estratégicas** de baja carga ligadas a estas infraestructuras, de suficiente anchura y longitud para ser operativas bajo escenarios extremos.
3. **Gestión específica del arbolado vulnerable**
    - En masas de **hayedo, pino y melojar**, donde las simulaciones muestran mayor probabilidad de fuego de copas, aplicar **intervenciones selvícolas de reducción de densidad y continuidad vertical** (clareos, podas selectivas, eliminación de matorral bajo copa).
    - Proteger de forma prioritaria los **rodales de alto valor ecológico** (ej. hayedos relictos, melojares maduros), usándolos como nodos para el diseño de la red de tratamientos preventivos.
4. **Manejo del pasto en dehesas y puertos pastorales**
    - En dehesas y puertos dominados por pastos (San Francisco, Hinojosa, Argajadas), fomentar el **pastoreo dirigido**, la siega o el aprovechamiento de biomasa para mantener el combustible herbáceo en niveles compatibles con la capacidad de extinción.
    - Coordinar calendarios de manejo del pasto con la **temporada de alto riesgo**, evitando acumulaciones excesivas de combustible fino antes del verano.
5. **Uso de la modelización como herramienta iterativa**
    - Considerar las simulaciones presentadas como **línea base** e incorporar nuevos escenarios una vez se ejecuten tratamientos, de modo que el IPI se convierta en una herramienta **iterativa de apoyo a la decisión**, capaz de evaluar ex ante el efecto de distintas combinaciones de actuaciones.
    - Integrar estos resultados en los sistemas de información geográfica operativos (CECOP, centros de mando) para apoyar la **planificación de ataques iniciales y ampliados** en caso de incendio real.

En conjunto, la lectura global de los resultados del IPI muestra que, sin cambios en la estructura actual de los combustibles, muchos de los puertos y dehesas analizados presentan un comportamiento potencial de incendio **próximo al peor escenario posible**. La gestión preventiva orientada a generar y conectar áreas de menor carga de combustible es, por tanto, una condición necesaria para que la extinción pueda ser realmente eficaz bajo un contexto de cambio climático que tenderá a hacer más frecuentes los episodios de escenario extremo.

## *8. Priorización de zonas de actuación*

A partir de la lectura conjunta de:

- La **superficie quemada** en los escenarios medio y extremo.
- La **extensión y continuidad de las zonas fuera de la capacidad de extinción**.
- La presencia o ausencia de **actividad de fuego en las copas** y de combustibles de alta severidad (matorral montano continuo, masas arboladas densas),

se propone una **clasificación orientativa de prioridades de actuación** para los puertos y dehesas analizados:

**· Prioridad muy alta**

Ámbitos donde el incendio potencial **afecta a más del 90–95 % de la superficie** en al menos uno de los escenarios y donde las zonas fuera de capacidad se generalizan:

- **Puerto de Regadas** (León)
- **Puerto de Las Pintas** (León)
- **Puerto de Peñalba** (León)
- **Puerto de Herreruela** (Palencia)
- **Dehesa La Hinojosa** (Cáceres)

En estos casos, la continuidad del matorral montano o del pastizal, combinada con la topografía, da lugar a incendios potenciales de gran extensión y severidad, con muy pocas oportunidades de control con medios convencionales.

**· Prioridad alta**

Ámbitos con **incendios rápidos y de gran alcance**, pero con menor protagonismo del fuego de copas y/o algo más de heterogeneidad interna:

- **Puerto de Argajadas** (León)
- **Puerto de Villanueva de la Peña** (Palencia)

Aquí el incendio afecta a un porcentaje elevado de la superficie y recorre el puerto con rapidez, pero existen pastizales, zonas rocosas y cambios de pendiente que todavía pueden aprovecharse para diseñar o reforzar discontinuidades de combustible.

**· Prioridad media**

Ámbitos donde el **alcance del incendio es más sensible a las condiciones meteorológicas** y existe margen para mejorar claramente el comportamiento del fuego reforzando el mosaico de combustibles:

- **Dehesa San Francisco** (Huelva)

- **Puerto de Piedrahita** (Palencia)

En estos casos, la gestión puede conseguir reducciones apreciables del IPI mediante la consolidación de estructuras ya relativamente favorables (dehesas, cultivos, pastos manejados, discontinuidades topográficas).

Esta priorización no sustituye a la planificación detallada a escala local, pero ofrece un **marco de referencia** para programar:

- Tratamientos selvícolas y de gestión del combustible.
- Medidas de apoyo a la extinción (pistas, puntos de agua, fajas auxiliares).
- Acciones de coordinación con otros instrumentos de planificación (planes de defensa, ordenación forestal, etc.).

## *9. Líneas futuras de trabajo*

Los resultados obtenidos abren varias **líneas de trabajo futuro** que permitirían consolidar y mejorar el uso del IPI en la planificación:

1. **Actualización post-actuaciones**
    - Recalcular los modelos de combustible y parámetros de copa tras la ejecución de tratamientos selvícolas, desbroces o cambios de uso, para **evaluar de forma cuantitativa** la reducción efectiva del riesgo alcanzada.
    - Repetir las simulaciones con FlamMap como parte de un **ciclo iterativo de planificación–ejecución–evaluación**.
2. **Integración de escenarios de cambio climático**
    - Incorporar escenarios meteorológicos consistentes con las proyecciones climáticas regionales (aumento de olas de calor, sequías prolongadas, cambios en los patrones de viento), de forma que el IPI permita anticipar la evolución de la peligrosidad en plazos de **10–30 años**.
3. **Mayor resolución y detalle en áreas críticas**
    - En los puertos y dehesas de prioridad muy alta, profundizar en análisis de detalle (resoluciones espaciales más finas, escenarios horarios, variaciones de viento) que apoyen el diseño de **tratamientos estratégicos** y la ubicación precisa de líneas de defensa.
4. **Integración en herramientas operativas**
    - Incorporar las capas de IPI y de alcance de incendio en los **visores SIG y sistemas de apoyo a la decisión** utilizados por los servicios de extinción y las administraciones competentes, de modo que puedan consultarse en tiempo real durante la planificación de ataques iniciales y ampliados.
5. **Formación y transferencia**
    - Utilizar los resultados y la metodología como base para **acciones formativas con técnicos, agentes y cuadrillas**, fomentando una cultura de planificación basada en evidencia.

- Elaborar materiales divulgativos simplificados (infografías, fichas, mapas de síntesis) que permitan trasladar a propietarios y población local el papel de la gestión del combustible en la reducción del riesgo.

## *10. Limitaciones y supuestos de la modelización*

Los resultados presentados deben interpretarse teniendo en cuenta los **supuestos y limitaciones** del ejercicio de modelización realizado. Las simulaciones se han llevado a cabo con FlamMap a partir de:

- Cartografía de **modelos de combustible Rothermel 1–13**.
- Parámetros de copa (CBH, CBD, fracción de cabida cubierta, altura de masa) derivados de la información forestal disponible.
- **Escenarios meteorológicos sintéticos** tipo "medio" y "extremo", definidos a partir de combinaciones representativas de viento, humedad relativa y humedad de combustible, pero que simplifican la variabilidad espacio-temporal real de estas variables.

El modelo asume, además:

- Una **ignición única y puntual** en el lugar seleccionado, sin aparición de nuevos focos secundarios alejados del frente principal.
- Una **duración fija de la simulación** (12 horas), que no contempla cambios de estrategia de extinción, ni posibles rebrotes posteriores.
- Un comportamiento del fuego regido por la física y la topografía incluidas en el modelo, pero sin representar fenómenos extremos poco frecuentes (colapso de columna convectiva, pirocumulonimbos, vórtices, etc.).

Por todo ello, el Índice de Propagación de Incendios (IPI) **no debe entenderse como una predicción exacta** de la evolución de un incendio real en cada puerto o dehesa, sino como un **indicador comparativo** de:

- La **peligrosidad estructural del paisaje** (continuidad y tipo de combustible, topografía).
- La **capacidad potencial del fuego para propagarse** y generar situaciones fuera de la capacidad de extinción bajo distintos escenarios climáticos.

Pese a estas limitaciones, la aplicación coherente de los mismos supuestos, fuentes de datos y procedimientos de modelización en todos los ámbitos estudiados permite una **comparación robusta entre puertos y dehesas**, útil para:

- Priorizar zonas de gestión del combustible.
- Identificar corredores de propagación y áreas de oportunidad.
- Alimentar la planificación estratégica de prevención y defensa contra incendios.