

Propuesta de defensa frente a Incendios Forestales de la Sierra de Los Filabres en base a la gestión de Tramos Dinámicos

Trabajo Fin de Máster
Máster Universitario en Ingeniería de Montes

AUTOR: D. Juan Antonio Muñoz Navarro

DIRECTOR: D. Juan Ramón Molina Martínez

TUTOR: D. Francisco Rodríguez y Silva

FECHA: diciembre 2017

El autor quisiera agradecer a todos los miembros del grupo AGR 211 por el apoyo prestado durante la elaboración del presente Trabajo Fin de Máster, especialmente al Dr. Juan Ramón Molina Martínez, director de este trabajo y al Prof. Dr. Francisco Rodríguez y Silva, tutor de este trabajo y director del Laboratorio de Incendios Forestales de la Universidad de Córdoba.

Asimismo, quisiera agradecer al Servicio de Extinción de Incendios de la provincia de Almería por toda la ayuda prestada y de forma especial a D. Francisco Alcocer Martínez, subdirector de incendios forestales, a D. Javier Rubio Marín y a D. Cayetano Espigares Peláez, Técnicos de Operaciones en incendios forestales, por su inestimable apoyo.

ÍNDICE

ÍNDICE	4
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS	14
CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO	15
Medio Natural y Físico	16
Topografía, Geología y Edafología.....	16
Clima y Meteorología	17
Fauna y Flora	17
Presencia histórica de incendios forestales	21
METODOLOGÍA	23
Análisis del vector viento.....	23
Análisis respecto a la velocidad.....	25
Análisis respecto a la dirección.....	25
Simulación del viento general.....	26
Comportamiento del frente de llamas	26
Distribución espacial de las especies	27
Humedad del combustible vivo aéreo	27
Altura de la base de la copa	28
Densidad aparente de copas	29
Intensidad Crítica Superficial	31
Velocidad Crítica de Propagación	32
Tipo de carrera de fuego	32
Sin propagación	32
Propagación superficial.....	32
Propagación por copas	33
Actuaciones preventivas	34
Consideraciones generales	34
Casos detallados.....	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
Análisis del vector viento.....	39
Análisis respecto a la velocidad.....	40
Análisis respecto a la dirección.....	48

Simulación del viento general.....	50
Comportamiento del frente de llamas	51
Distribución espacial de las especies	54
Humedad del combustible vivo aéreo.....	54
Altura de la base de la copa	55
Densidad aparente de copas	55
Intensidad Crítica Superficial	55
Velocidad Crítica de Propagación	55
Tipo de carrera de fuego	58
Actuaciones preventivas	63
Consideraciones generales	63
Casos detallados.....	68
CONCLUSIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEJO I.....	84
Glosario.....	84
ANEJO II	85
Tablas – Caracterización del medio.....	85
Figuras – Caracterización del medio.....	91
ANEJO III.....	97
Figuras – Metodología	97
ANEJO IV.....	99
Tablas – Resultados	99
Figuras – Resultados	102
ANEJO V.....	110
Fichas	110

Tabla 1. Valor del coeficiente Δ en función de la velocidad del viento y de la pendiente del terreno. Fuente: Butler (2014).	35
Tabla 2. Condiciones meteorológicas de diseño para el dimensionamiento de la IPD de 1 ^{er} orden ...	39
Tabla 3. Información de las parcelas donde se han tomado registros de viento. AB = Área Basimétrica; H1RV = altura a la 1 ^a rama viva; H1RM = altura a la 1 ^a rama; \emptyset = diámetro a 1,3 m. Fuente: Servicio de Extinción de Incendios de la provincia de Almería.	39
Tabla 4. Valores de humedad en base seca para las distintas especies de coníferas presentes en la zona de estudio en el verano del año 2016. Fuente: Servicio de Extinción de Incendios Forestales de la provincia de Almería.	54
Tabla 5. Mamíferos presentes en la zona de estudio.	85
Tabla 6. Invertebrados presentes en la zona de estudio.	86
Tabla 7. Muestra de aves presentes en la zona de estudio	87
Tabla 8. Anfibios presentes en la zona de estudio.	87
Tabla 9. Reptiles presentes en la zona de estudio.	88
Tabla 10. (Abajo) Casuística detallada de incendios forestales en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.	89
Tabla 11. (Izquierda) Casuística general de incendios forestales en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.	89
Tabla 12. Frecuencia de incendios forestales en los términos municipales de la zona de estudio, ponderada en función de la superficie. Fuente: elaboración propia.	90
Tabla 13. Características de los pies arbóreos potencialmente influyentes en los registros de la estación meteorológica de la parcela nº 25 respecto a la propia estación. Fuente: elaboración propia.	99

Figura 1. Posición de la Sierra de Los Filabres. Fuente: Google Earth.	15
Figura 2. Municipios que contienen a la Sierra de Los Filabres. Fuente: elaboración propia.	16
Figura 3. Infraestructura presente en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.	20
Figura 4. Gráfico de barras que muestra la casuística de los incendios forestales en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.	21
Figura 5. Sucesos por municipio; ponderado a su extensión. Fuente: elaboración propia.	22
Figura 6. Ocurrencia de incendios por horas del día en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.	22
Figura 7. Ocurrencia de incendios por meses del año para la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.	22
Figura 8. Marco conceptual de la metodología. SFI = intensidad esperada del frente de llamas; ROS = velocidad de propagación esperada por el frente de llamas; ISO = intensidad crítica para la subida a copas del frente de llamas; RAC = velocidad de propagación necesaria para el fuego activo de copas; CBH = distancia desde el suelo a la base de la copa; CBD = densidad aparente de copas; IPD = infraestructura preventiva de defensa. Fuente: elaboración propia.	23
Figura 9. Perfil altitudinal del viento general. Fuente: USDA Forest Service.	24
Figura 10. Esquema ejemplificante del ángulo utilizado como deriva.	25
Figura 11. Asignación de información espacial a los polígonos del Mapa Forestal Andaluz desde el IFN3.	27
Figura 12. CBH = Altura del fuste; Hm = Altura del combustible superficial; z = hueco entre el combustible superficial y el dosel arbóreo.	29
Figura 13. Esquema del tratamiento del combustible en una zona arbolada dispersa. A = Anchura; Hv = Altura de la vegetación; Ll = Longitud de llama.	36
Figura 14. Esquema del tratamiento de combustible en zona arbolada densa.	37
Figura 15. Esquema del tratamiento del combustible en zona con combustible exclusivamente superficial.	37
Figura 16. N° de registros por intervalo de velocidad del viento en la parcela nº 25. Fuente: elaboración propia.	40
Figura 17. Determinación de la profundidad de la masa.	41
Figura 18. Relación entre los parámetros de las ecuaciones logarítmicas que determinan el WAF para cada parcela con la altura efectiva de dichas parcelas. Fuente: elaboración propia.	42
Figura 19. Relación entre el WAF y la velocidad del viento en la masa de la parcela nº 25. Fuente: elaboración propia.	43
Figura 20. Relación entre el WAF y la velocidad del viento en la masa de la parcela nº 26. Fuente: elaboración propia.	44
Figura 21. Relación entre el WAF y la velocidad del viento en la masa de la parcela nº 27. Fuente: elaboración propia.	45
Figura 22. Relación entre el WAF y la velocidad del viento en la masa de la parcela nº 31. Fuente: elaboración propia.	46
Figura 23. Relación entre el WAF y la velocidad del viento en la sección superior de la LC. Fuente: elaboración propia.	47
Figura 24. Valor del WAF en función de la dirección de procedencia del viento general en altura. En verde se observa la posición de los pies potencialmente influyentes en las mediciones. Los datos se encuentran centrados para la estación colocada dentro de la masa de la parcela nº 25. Fuente: elaboración propia.	49

Figura 25. Resultados de la simulación de velocidades y dirección del vector viento para la zona de estudio mediante el software WindNinja. Fuente: elaboración propia.50

Figura 26. Resultados de la simulación en FlamMap para la longitud de llama (m). Fuente: elaboración propia.52

Figura 27. Resultados de la simulación en FlamMap para la intensidad por longitud de frente de llama(kW/m). Fuente: elaboración propia.52

Figura 28. Resultados de la simulación en FlamMap para la velocidad superficial de propagación (m/min). Fuente: elaboración propia.....53

Figura 29. Resultados de la simulación en FlamMap para el calor por unidad de área (kJ/m²). Fuente: elaboración propia.....53

Figura 30. CBH crítica. Fuente: elaboración propia.56

Figura 31. Velocidad de propagación superficial crítica. Fuente: elaboración propia.57

Figura 32. Comportamiento del frente de llamas en cuanto a si se produce o no subida al dosel arbóreo. Fuente: elaboración propia.....59

Figura 33. Comportamiento potencial del fuego por el dosel arbóreo. Fuente: elaboración propia....60

Figura 34. Nivel de probabilidad de error en la determinación de la subida a copas del frente de llamas. Fuente: elaboración propia.....61

Figura 35. Nivel de probabilidad de error en la determinación del tipo de comportamiento por copas del frente de llamas. Fuente: elaboración propia.61

Figura 36. Mapa de tipos de propagación esperada del frente de llamas en condiciones meteorológicas de diseño. Fuente: elaboración propia.62

Figura 37. Distancias de seguridad por píxel (metros). Fuente: elaboración propia.66

Figura 38. Zonas donde se prevé un efecto de la llama sobre la seguridad de los combatientes en la IPD más cercana. Fuente: elaboración propia.....67

Figura 39. DEM de la zona de estudio expresada en metros. Fuente: REDIAM.92

Figura 40. Pendiente de la zona de estudio en porcentaje (%). Fuente: elaboración propia.93

Figura 41. Exposición del terreno en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.93

Figura 42. Modelos de combustible del sistema Behave. Fuente: REDIAM.94

Figura 43. Modelos de combustible del sistema UCO-40. Fuente: LABIF.....94

Figura 44. Cobertura arbórea de la zona de estudio para el simulador FlamMap. Fuente: elaboración propia.95

Figura 45. Naturaleza de la superficie de la zona de estudio. Transparente = no combustible; Verde = sin arbolado. Marrón = con arbolado. Fuente: elaboración propia.96

Figura 46. Posición de las parcelas donde se ha realizado el análisis del viento. Fuente: elaboración propia.98

Figura 47. Masa en la parcela n° 25 103

Figura 48. Masa en la parcela n° 26 103

Figura 49. Masa en la parcela n° 27 103

Figura 50. Masa en la parcela n° 31 103

Figura 51. Detalle de estación inferior de LC 103

Figura 52. Veletas en la LC para las parcelas superiores 103

Figura 53. Medición de posición de los pies arbóreos..... 103

Figura 54. Posición de los pies arbóreos con posible afección a los registros de viento de la estación en la parcela n° 25. A mayor tamaño de punto mayor diámetro del pie arbóreo a la altura del pecho. Fuente: elaboración propia..... 104

Figura 55. Muestra del fallo debido al efecto borde en la simulación de WindNinja para la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.	105
Figura 56. Humedad foliar de las especies arbóreas en base seca. Fuente: Servicio de Extinción de Incendios de la provincia de Almería.	105
Figura 57. Parcelas de muestro del Tercer Inventario Forestal Nacional en la zona de estudio. Fuente: MAPAMA.....	106
Figura 58. Superficie ocupada por distintas especies arbóreas en la zona de estudio. Fuente: REDIAM.	106
Figura 59. Distancia entre la parte superior del combustible superficial y la base de la copa viva. Fuente: elaboración propia.....	107
Figura 60. Densidad aparente de copas del dosel arbóreo en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.	107
Figura 61. IPD presentes en la zona de estudio. Se hace distinción entre aquellas priorizadas (verde) y el resto (azul). Fuente: elaboración propia.....	108
Figura 62. Disminución necesaria de la CBD para evitar la propagación activa por copas del frente de llamas. Fuente: elaboración propia.	109
Figura 63. Disminución de la CBD para evitar la propagación activa por copas. Fuente: elaboración propia.	109

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales constituyen un fenómeno de gran importancia en la actualidad, tanto por sus efectos ecológicos sobre el medio natural (Keane et al., 2008) como por el elevado impacto económico que presentan (Morton et al., 2003), habiéndose convertido en un fenómeno mediatizado que requiere de una respuesta por parte de la sociedad. Este es en sí mismo un fenómeno que ha ocurrido a lo largo de la historia de nuestro planeta de manera natural (Pausas, 2010), lo que ha implicado la adaptación de las distintas especies a distintos regímenes de fuego (Keeley et al., 2011); la proliferación del hombre por el planeta ha provocado, sin embargo, un fuerte incremento del número de incendios forestales, no ya por causas naturales si no por causas antrópicas (Martínez et al., 2009), llegando a suponer en términos generales (dependiendo de la región) un incremento del 2000% en el número de sucesos. Esto se ha visto agravado por i) el cambio climático (Pausas, 2004) y por ii) los cambios en la sociedad, que tiende al éxodo rural y la concentración en núcleos de población cada vez más masificados, dando lugar a un abandono de las tareas realizadas tradicionalmente en el monte y a una acumulación de combustibles (Romero & Perry, 2004) y exige por otro lado un derecho a disfrutar del medio natural.

La respuesta a esta problemática se ha de desarrollar desde dos marcos: un marco tecnológico para el corto y el medio plazo, y un marco social en el largo plazo. De cara a este marco tecnológico se presentan las vías de la extinción y de la prevención, las cuales se encuentran limitadas por la cantidad de recursos disponibles para ser desarrolladas, así como por un límite lógico de la eficiencia en la gestión de dichos recursos (Gorte & Economics, 2013; Donovan & Rideout, 2003; Mendes, 2010). Las tareas requeridas desde este punto de vista en el territorio pueden llegar a ser colosales y en muchos casos inviables, incompatibles con muchos objetivos que defienden la multifuncionalidad de nuestros montes o, simplemente, se carece de presupuesto suficiente como para abordar todo el territorio; es por ello que las herramientas de priorización se constituyen como una opción útil que nos acerca al óptimo deseado en cada momento, pero permitiendo mantenernos dentro de las capacidades de actuación.

La gestión de estos recursos -tanto en el campo de la prevención como en el de la extinción- supone un reto debido a la enorme cantidad de actuaciones a realizar con unos recursos limitados. De cara a la extinción se han realizado trabajos como el de Donovan & Rideout (2003) para determinar la mejor combinación y cantidad de recursos humanos y materiales que se destinan a las tareas de extinción dependiendo de las características del fuego, el de Lee et al. (2012) para el correcto dimensionamiento del ataque inicial de cara a la capacidad del dispositivo para atender a las emergencias que acontezcan con una cantidad suficiente de medios o el de Rodríguez y Silva & González-Cabán (2016) que trata de asignar una productividad a las tareas de extinción. Todos estos trabajos, con un efecto claro sobre la extinción, se realizan anticipadamente y provocan cambios en las tareas preventivas. Estas tareas preventivas se determinan fruto de optimizaciones, como los modelos de programación lineal de Omi et al. (1981) o de Prestemont et al. (2001) para distribuir las inversiones en la gestión de combustibles y persiguen distintos objetivos, como puede ser la reducción de las pérdidas económicas ocasionadas por el frente de llamas (Wei et al., 2012), siendo posible adaptarse a distintas realidades del entorno, como las variaciones climáticas y meteorológicas en las distintas escalas temporales (Carringham et al., 2008; Muñoz-Navarro, 2015).

Los distintos índices, elaborados a partir de variables del entorno y de predicciones del comportamiento del frente de llamas, nos permiten por otro lado caracterizar a las zonas donde se van a desarrollar las distintas tareas, mejorando el conocimiento sobre el área de estudio y por tanto la

gestión de la información. Estos índices nos permiten conocer el comportamiento potencial del frente de llamas (Vélez et al., 2000), el riesgo de aparición de focos de ignición (ICONA, 1981), la dificultad que supondrá la extinción (Rodríguez y Silva et al., 2014) o la valoración económica en el entorno por el impacto del frente de llamas (Rodríguez y Silva et al., 2012). En toda esta tarea, los simuladores de incendios forestales, en continuo desarrollo y evolución, constituyen un punto de apoyo en la planificación y en la definición de las estrategias, permitiendo prever el comportamiento y el impacto del incendio forestal.

El presente trabajo se desarrolla en la Sierra de Los Filabres y su entorno, ubicada en la provincia de Almería (Andalucía, España). Este enclave, que guarda a buena parte de los recursos forestales de la provincia, constituye una zona de vanguardia frente al nuevo paradigma de cambio climático, con una palpable modificación en la distribución espacial de las principales especies presentes, lo que la hace una zona especialmente sensible a las perturbaciones, comprometiendo la recuperación posterior de los servicios ecosistémicos. En él se trata de caracterizar al entorno de la Sierra de Los Filabres en cuanto al comportamiento de los Incendios Forestales se refiere y se proponen una serie de actuaciones sobre las principales infraestructuras preventivas de defensa presentes, priorizadas según el trabajo de Muñoz-Navarro (2017).

OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es el de realizar una caracterización del entorno de la Sierra de Los Filabres en cuanto a Incendios Forestales se refiere y en base a dicha caracterización, elaborar una serie de propuestas de actuación sobre las principales Infraestructuras Preventivas de Defensa frente a Incendios Forestales.

Para ello se proponen los siguientes objetivos secundarios:

- Caracterizar a las masas forestales respecto a su comportamiento frente al viento
- Predecir la interrelación entre el vector viento y la orografía
- Simular la propagación esperada de un frente de llamas bajo las condiciones meteorológicas de diseño
- Predecir la subida a copas del frente de llamas
- Evaluar el comportamiento del frente de llamas en las inmediaciones de las Infraestructuras Preventivas de Defensa

CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO

La Sierra de Los Filabres pertenece a la Cordillera Penibética y se encuentra en el sureste peninsular, en la franja central de la provincia de Almería (Andalucía). El mismo complejo montañoso se extiende hacia el oeste por la provincia de Granada (Andalucía), conociéndose aquí como la Sierra de Baza.

Su longitud es de aproximadamente 50 km y su anchura de 25 km. Este complejo montañoso separa las dos principales cuencas hidrográficas de la provincia: la cuenca del Andarax hacia el sur y la del Almanzora hacia el norte.



Figura 1. Posición de la Sierra de Los Filabres. Fuente: Google Earth.

Legalmente pertenece a los términos municipales de Albánchez, Alcóntar, Alcodia de Monteagud, Armuña de Almanzora, Bayarque, Bacaes, Benitagla, Cantoria, Castro de Filabres, Chercos, Cóbdar, Gérgal, Laroya, Lijar, Macael, Olula de Castro, Purchena, Senés, Serón, Sierro, Suflí, Tabernas, Tahal, Lubrín y Velehique (Figura 2). Su superficie es tanto propiedad pública como privada, abundando los consorcios con los particulares que mantienen la propiedad pero ceden la gestión a la entidad pública correspondiente.

Las poblaciones que ocupan la sierra de Los Filabres cuentan con unas 14.000 personas, estimándose en un 60% a la población activa (entendiendo como tal a la que se encuentra en condiciones de trabajar), no pudiendo hablar en general de una población envejecida. La ocupación de esta población activa se divide entre los sectores primario, secundario y terciario.

El sector primario destaca no tanto por la agricultura como por la explotación minera (áridos, piedra caliza y mármol), destacando aquí al pueblo de Macael (Rodríguez-Navarro et al., 1997). La principal fuente de trabajo dentro del sector secundario se encuentra ligada a la actividad del sector primario en la zona. El sector terciario se ha visto impulsado por la facilidad de las personas para moverse, habiendo podido de este modo desarrollarse.

Entre los aprovechamientos del monte no puede destacarse una fuerte producción maderera ni una potente cabaña ganadera, aunque la actividad cinegética si supone una fuente de ingresos a tener en cuenta. El aprovechamiento micológico (hoy día bastante desregularizado), puede suponer una inversión de futuro.

La región en la que se insertan las celdas de estudio es una región amplia y habitada, lo que implica la presencia de todo tipo de infraestructuras, desde carreteras a Infraestructuras Preventivas de Defensa contra Incendios Forestales (IPD). Las distintas infraestructuras presentes pueden ser consultadas en la Figura 3.

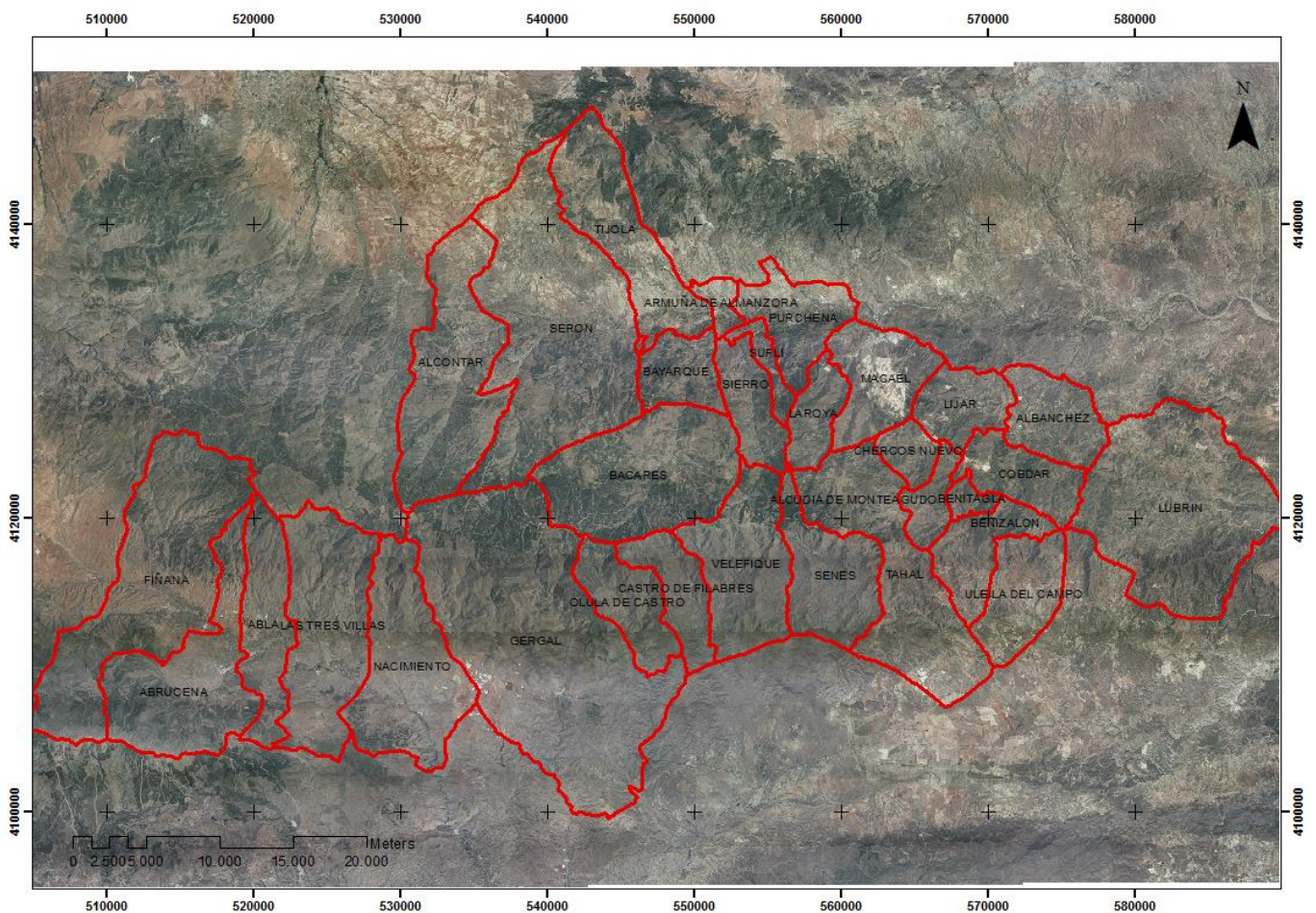


Figura 2. Municipios que contienen a la Sierra de Los Filabres. Fuente: elaboración propia.

Medio Natural y Físico

Topografía, Geología y Edafología

Dado el carácter montañoso de la Sierra de Los Filabres, presenta pendientes considerables en la práctica totalidad del terreno estudiado, con unas orientaciones predominantes generales norte-sur dado el eje longitudinal este-oeste que presenta (ANEJO II - Figura 40).

Geológicamente, la Sierra de Los Filabres pertenece en su mayoría al complejo tectónico Nevado-Filábride, que tiene una orientación predominante de este a oeste. Dentro de este complejo distinguimos en cuanto a su litología una base de micaesquistos grafitosos y granatíferos con bancos de cuarcitas grisáceas cuya formación corresponde al Paleozoico, una formación de micaesquistos y cuarcitas del Permotriásico y puntualmente sobre estas series, mármoles y micaesquistos intercalados de anfibolitas del Triásico inferior; además del complejo Nevado-Filábride, la Sierra de Los Filabres se encuentra conformada en menor medida por el complejo Alpujárride, que se superpone al complejo Nevado-Filábride al norte del sistema montañoso (Sánchez-Martos et al., 2001; Rodríguez-Navarro et al., 1997) dando lugar a puntuales afloramientos de calizas y dolomías, siendo aquí donde se encuentran la mayor parte de los yacimientos de recursos minerales.

Edafológicamente, la mayor parte de los suelos están conformados por Cambisoles eútricos, Regosoles, Lluvisoles y Litosoles, siendo estos suelos compatibles con la presencia arbórea pero con limitaciones debidas principalmente a unos suelos poco profundos y en pendiente. En menor medida es posible encontrar Fluvisoles eútricos pertenecientes a suelos jóvenes a partir de materiales aluviales, Fluvisoles calcáricos, que son suelos de gran fertilidad o Rankers.

Pertencen de modo general a las unidades 1, 2, 5, 12, 15 y 32 (FAO, 1990).

Clima y Meteorología

La Sierra de Los Filabres presenta un clima mediterráneo -inviernos fríos con precipitaciones y veranos calurosos y secos -, tal como corresponde a su localización, pero dadas las variaciones altitudinales presentes en la zona de estudio, es posible encontrar diversos matices: desde los límites de los subdesiertos de Tabernas que coinciden con la falda meridional, hasta el Calar Alto, destacando las solanas y las umbrías o los valles y las crestas, dando lugar a particularidades microclimáticas.

Ateniéndonos a la clasificación de Allué (1990), en el entorno de estudio es posible encontrar los siguientes subtipos fitoclimáticos mediterráneos:

- IV (VII): Mediterráneo subestepario, propio de las alturas nevadenses y filábricas noculminales en que se encuentra el grupo de montes.
- IV (VI)₁: Mediterráneo subnemoral.
- IV₃: Mediterráneo genuino (500 < P < 400 mm).
- IV₁: Mediterráneo genuino (P < 400 mm)
- IV (III): Mediterráneo subsahariano.

Las precipitaciones se presentan tanto en forma de agua como en forma de nieve, principalmente en las zonas más altas, con unos valores registrados alrededor de los 300-400 mm·año⁻¹. Las temperaturas medias oscilan entre los 7 y los 16°C.

Fauna y Flora

Fauna

La sierra de Los Filabres alberga a una fauna realmente rica, tal como corresponde a un espacio natural de sus características. A pesar de esto, y en parte por ello, queda mucho por conocer todavía acerca de una gran cantidad de las especies presentes.

El grupo más conocido de la fauna presente en este espacio natural es, sin duda, el de los grandes vertebrados (ANEJO II - Tabla 5). Ciervo (*Cervus elaphus*), cabra montés (*Capra pyrenaica*) y jabalí

(*Sus scrofa*) son especies muy visibles y en cierto modo, estéticas, de la sierra de Los Filabres, lo que sumado a su explotación cinegética les confiere un valor considerable. Lo cierto -y evidente -es que un entorno como este no se limita a unas pocas especies, siendo posible encontrar todo tipo de especies: lepidópteros, ortópteros, coleópteros, himenópteros, moluscos, mamíferos, aves, reptiles o anfibios entre otros¹. Por último, y volviendo a los mamíferos, se ha de añadir a la lista la presencia de numerosos micromamíferos, pequeños mamíferos, carnívoros y murciélagos.

La otra cara de la moneda la constituyen los invertebrados (ANEJO II - Tabla 6), siendo los menos conocidos del ámbito de estudio. A pesar de esto existen numerosas especies singulares que deben ser tenidas en cuenta, fundamentalmente endemismos y especies amenazadas, como pueden ser la mariposa apolo de esta sierra (*Parnassius apollo* ssp. *filabricus*), *Colotis evagore* ssp. *nouna*, *Euphydryas aurina*, *Pseudochazar ahippolyte* ssp. *williamsi*, *Plebicula nivescens* o *Lycaeides idas* ssp. *nevadensis*.

Aves, anfibios y grandes mamíferos son los grupos sobre los cuales se tiene más información. El paisaje de esta sierra, compuesto de distintos escenarios hace que, junto a la baja presencia humana, muchas especies de estos grupos se puedan desarrollar. Aun así, el favorecimiento de uno u otro tipo de paisaje (v.gr. el pinar frente a un bosque mixto) puede favorecer o perjudicar a unas especies frente a otras.

Entre las aves encontramos unas 110 especies representadas entre nidificantes, invernantes y temporales durante las migraciones (ANEJO II - Tabla 7). Las principales amenazas a las que se enfrentan las aves en la sierra de Los Filabres varían según la especie, su entorno y sus costumbres, pero a modo general se pueden destacar el cambio de paisajes, las actividades humanas, los tendidos eléctricos o los atropellos.

Los anfibios (ANEJO II - Tabla 8) se encuentran limitados por la escasez de puntos de agua (ocasionados por las bajas precipitaciones, las pendientes moderadas y la naturaleza del suelo entre otros factores), lo que confiere una especial importancia a las infraestructuras tradicionales del agua, tan ligadas a la etnología de la zona y que sufren hoy día un deterioro proporcional al abandono rural.

En la sierra de Los Filabres hay presentes numerosos reptiles (ANEJO II - Tabla 9), cuya principal amenaza es el desconocimiento sobre su distribución y estado de conservación que impide la toma de medidas en caso de ser necesaria.

Flora

La vegetación presente en la Sierra de los Filabres presenta una gran variación debido al amplio elenco de entornos (clima, suelo y posición) que es posible encontrar y a la mano del hombre, que ha modificado este paisaje favoreciendo la presencia o ausencia de especies a través de sus actividades a lo largo del tiempo.

De un modo general se puede hablar de una transición altitudinal desde las formaciones de espartal presentes en la base hasta el piornal que ocupa las posiciones más cacuminales, apareciendo en el gradiente un amplio abanico de especies herbáceas, arbustivas y arbóreas, entre las que se encuentran numerosos endemismos – más de media centena si se tienen en cuenta los ibéricos – como *Centaurea sagredo* Blanca ssp. *pulvinata* Blanca, *Coincya monensis* subsp. *nevadensis* (Willk.) Leadlay, o *Erodium rupícola* Boiss.

¹ En esta enumeración se nombran clasificaciones de distinta índole.

Las masas arbóreas están conformadas fundamentalmente por especies de coníferas, siendo el género *Pinus* el indiscutible predominante, aunque es posible encontrar manchas más o menos extensas de *Cedrus atlántica* (Endl.) Manetti ex Carrière en algunas cumbres, e incluso individuos de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Estas masas del género *Pinus* varían según la altura, apareciendo desde la base hacia las cumbres *Pinus halepensis* Mill., *Pinus pinaster* Ait., *Pinus nigra* Arnold (tanto *Pinus nigra* subsp. *salzmanii* (Dunal) Franco como *Pinus nigra* subsp. *nigra*) y *Pinus sylvestris*. El origen de estas masas es la labor repobladora llevada a cabo desde aproximadamente 1940 hasta la actualidad, y provenían respectivamente de Murcia y Almería, Valladolid y Jaén (Cazorla), Cuenca y Jaén (Cazorla) y Segovia y Granada.

En cuanto a las masas de frondosas, más escasas pues no han sido aún capaces de recuperarse de las distintas perturbaciones sufridas a lo largo de la historia, destacan las de *Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp. También es posible encontrar individuos de *Quercus coccifera* L. e incluso se sabe, ateniéndose a la toponimia, de la existencia en el pasado cercano de *Quercus suber* L. en la zona.

Dejando a un lado los endemismos, un repaso somero a la vegetación presente nos hablará de una vegetación mediterránea típica conformada por *Thymus* spp., *Asparagus* spp., *Cistus* spp., *Rosmarinus officinalis* L., *Pistacia lentiscus* L., *Juniperus* spp. u *Olea europea* var. *Sylvestris* L. entre tantísimas otras especies.

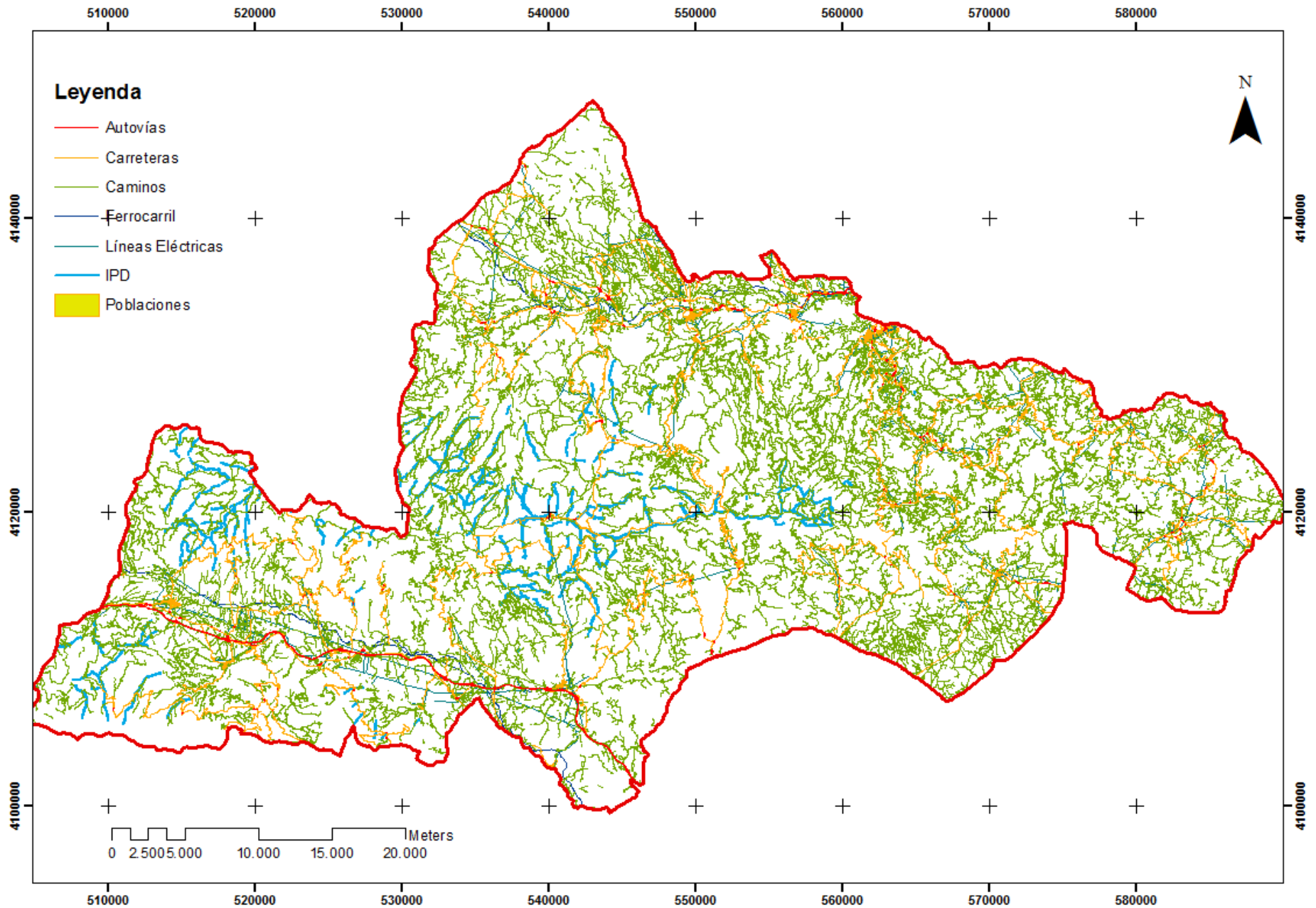


Figura 3. Infraestructura presente en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

Presencia histórica de incendios forestales

El área general de estudio ostenta un nivel alto de ocurrencia de incendios forestales, con una media anual de 27,7 actuaciones anuales si se tienen en cuenta los conatos. Aun así, es necesario indicar la gran extensión estudiada (1870,3 km²), por lo que una cifra mucho más representativa es la de sucesos por unidad de superficie, que se sitúa alrededor de los 0,015 sucesos por kilómetro cuadrado y año. De forma general se puede afirmar que el número de conatos se sitúa alrededor del 85% del total.

En términos de superficie, la superficie quemada es en promedio de 2,8 ha teniendo en cuenta los conatos y de 17,5 ha excluyendo a los conatos.

En cuanto a la causalidad, destacan las negligencias con cerca de un 40% y los incendios intencionados con casi un tercio del total (Figura 4; ANEJO II - Tabla 11).

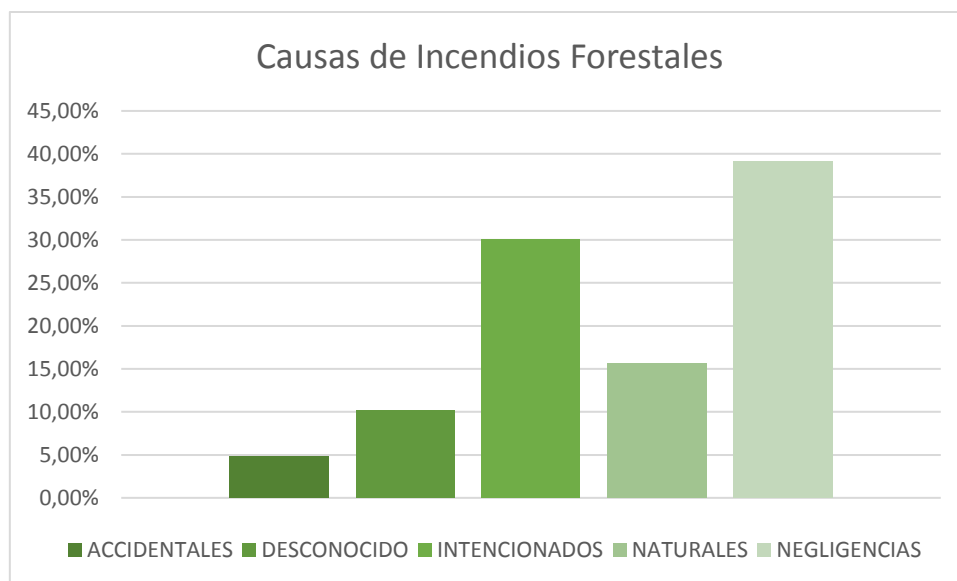


Figura 4. Gráfico de barras que muestra la casuística de los incendios forestales en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

Dentro de los tipos de causa sobresalen las quemas agrícolas, englobando a un 23,3% de los casos; un desarrollo más detallado de la casuística de incendios forestales en la zona de estudio puede ser consultado en la Tabla 10 (ANEJO II).

De cara a conocer la importancia de los municipios que componen el área de estudio en la ocurrencia de incendios, es necesario ponderar en función de su superficie; de este análisis se desvela Gérgal como el municipio con un mayor número de sucesos (el 12,3%), lejos del segundo, que es Serón (9% de los casos). A la cola se encuentran los municipios de Armuña de Almanzora (0,4%) y Suflí (0,5%) (Figura 5; ANEJO II - Tabla 12).

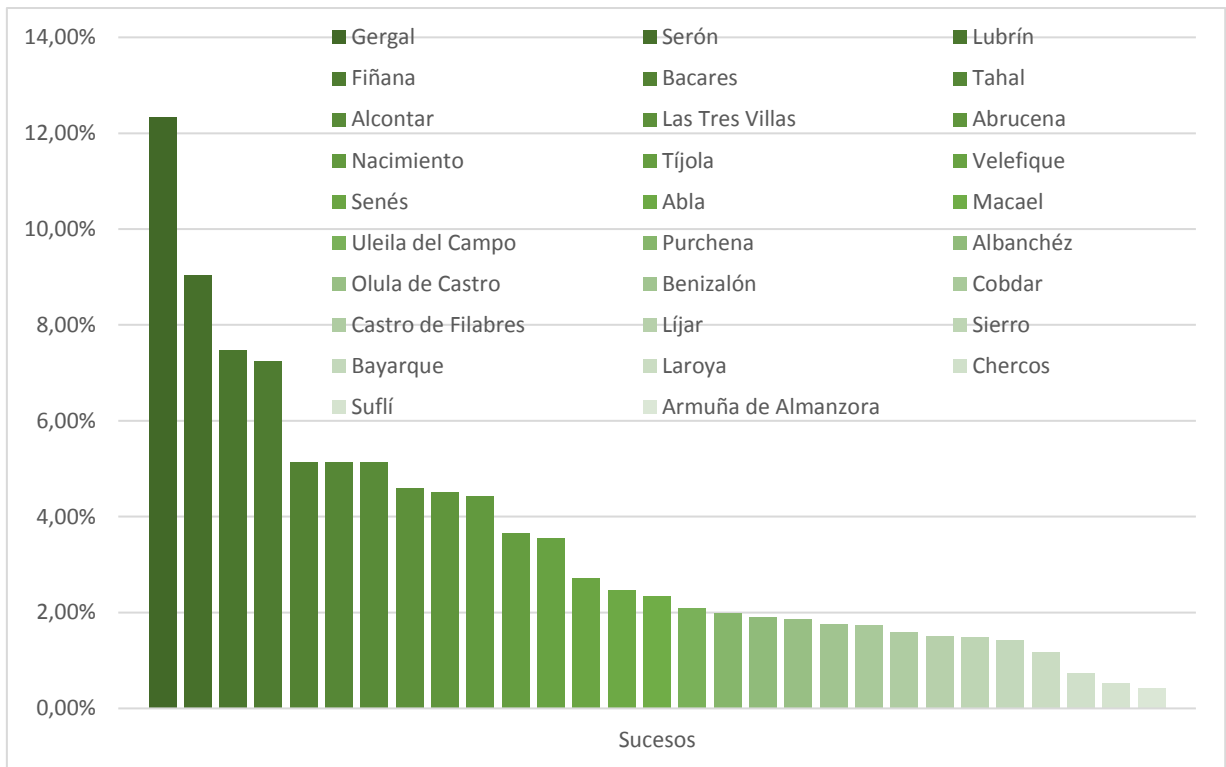


Figura 5. Sucesos por municipio; ponderado a su extensión. Fuente: elaboración propia.

Un análisis temporal no muestra una diferencia significativa en la ocurrencia de incendios forestales dependiendo del día de la semana, aunque sí que es posible encontrar tendencias intradiarias y mensuales; En la escala horaria se observa una ocurrencia mínima durante las horas nocturnas que va en aumento conforme avanza el día hasta encontrar un pico a primeras horas de la tarde (Figura 6) y en la escala mensual se aprecia un crecimiento del número de sucesos hacia los meses de verano, con una destacable bajada en el mes de julio (Figura 7).

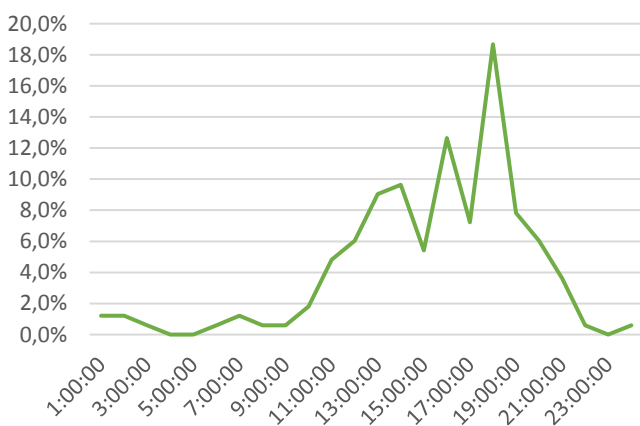


Figura 6. Ocurrencia de incendios por horas del día en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

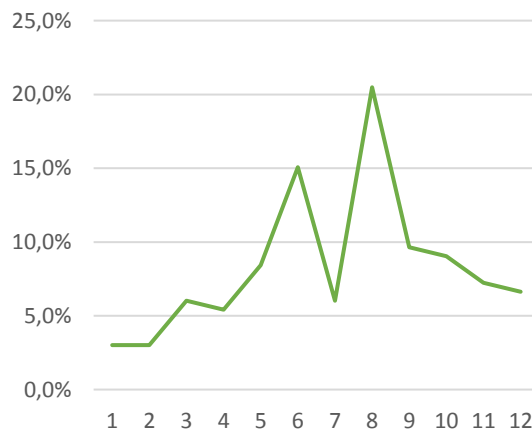


Figura 7. Ocurrencia de incendios por meses del año para la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

METODOLOGÍA

El marco conceptual del presente trabajo se fundamenta en la interrelación de los componentes del medio físico de la zona de estudio, con objeto de estimar el comportamiento del frente de llamas en base a estos y realizar, en consecuencia, una serie de propuestas de actuación (Figura 8).

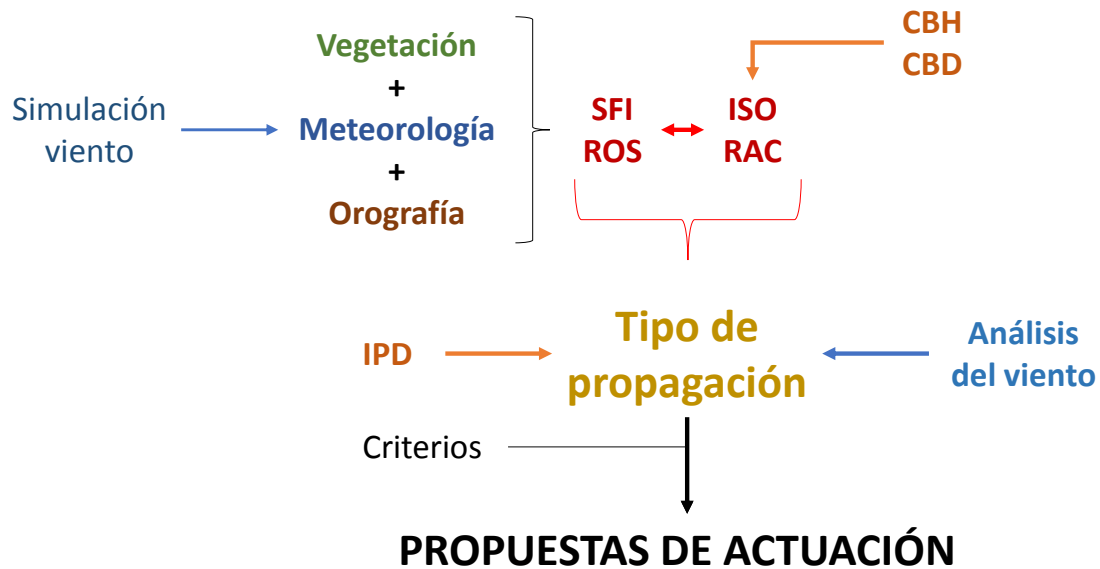


Figura 8. Marco conceptual de la metodología. SFI = intensidad esperada del frente de llamas; ROS = velocidad de propagación esperada por el frente de llamas; ISO = intensidad crítica para la subida a copas del frente de llamas; RAC = velocidad de propagación necesaria para el fuego activo de copas; CBH = distancia desde el suelo a la base de la copa; CBD = densidad aparente de copas; IPD = infraestructura preventiva de defensa. Fuente: elaboración propia.

Análisis del vector viento

Debido a que el fin último de este trabajo es el dimensionamiento de los distintos tratamientos preventivos para la defensa contra Incendios Forestales en los Tramos Dinámicos (TD)² priorizados en el estudio de Muñoz-Navarro (2017) a través de los Puntos Estratégicos de Gestión (PEG)³, las condiciones meteorológicas utilizadas para el desarrollo del presente trabajo se corresponden a las contempladas para el diseño de las Infraestructuras Preventivas de Defensa (IPD)⁴ de primer orden por el Servicio de Extinción de Incendios de la provincia de Almería.

² Tramos Dinámicos (TD): secciones de Infraestructuras Preventivas de Defensa de características homogéneas, definidas por parte del Servicio de Extinción de Incendios para su ejecución y mantenimiento dentro de los Planes Quinquenales.

³ Puntos Estratégicos de Gestión (PEG): zonas puntuales donde una intervención sobre las características naturales y físicas del terreno maximizaría la efectividad de las actuaciones de lucha contra incendios forestales.

⁴ Infraestructuras Preventivas de Defensa (IPD): superficies de terreno forestal intervenidas silvícolamente y mantenidas periódicamente con el objetivo de modificar las condiciones de propagación de un Incendio Forestal para permitir la actuación eficaz de los medios de extinción.

El Coeficiente de Fricción (WAF) (1) cuantifica el efecto que los distintos tipos de cubiertas vegetales tienen sobre la velocidad del viento (Figura 9), reduciendo su velocidad. Muestra la relación entre el viento en altura y el viento a la altura de media llama (Andrews, 2012).

$$WAF = \frac{V_{altura}}{V_{media\ llama}} \quad (1)$$

Donde:

- WAF representa al Coeficiente de Fricción (adimensional).
- V_{altura} se corresponde a la velocidad del viento medido sobre la masa forestal en una zona desprovista de vegetación cercana.
- $V_{media\ llama}$ se corresponde a la velocidad del viento a la altura del pecho y dentro de la masa arbórea.

El WAF se ha ajustado para las masas de pinares de la zona de estudio a través de la toma de datos de velocidad y dirección del viento en distintas parcelas caracterizadas dasométricamente por el Servicio de Extinción de Incendios de la provincia de Almería. Estas parcelas presentaban distinta posición relativa en la ladera, altura de poda, altura de copa viva, presencia de huecos y distribución espacial. Para ello se han tomado datos del interior de las masas a la altura de media llama y datos de referencia en las Líneas Cortafuegos (LC) tanto a la misma altura que en el interior de la masa como sobre el dosel arbóreo.

Para el registro de los datos se han utilizado simultáneamente hasta 7 estaciones meteorológicas portátiles modelo “SkyWatch GEOS nº 11” posicionadas sobre trípodes, con una frecuencia de toma de datos de 10 segundos. La altura a la que se posicionó el anemómetro de las estaciones en superficie fue de 1,80 metros. La altura a la que se posicionó el anemómetro en altura varió según la masa forestal adyacente, posicionándose siempre por encima de las copas para reducir el efecto de estas sobre las mediciones.

Las estaciones de referencia se han colocado en el tercio central de la LC pero, dentro de este tercio, en el borde más alejado de la masa adyacente a barlovento. En cuanto a su posición respecto a las estaciones de dentro de la masa se ha procurado siempre que ha sido posible posicionarlas en el eje formado por el centro de la parcela y la dirección predominante del viento general y a barlovento del centro de la masa. Las estaciones dentro de la masa se han posicionado en el borde de la parcela inventariada (a 12,6 metros del centro) a sotavento del centro de la parcela y en el mismo eje que forman la dirección del viento general y el centro.

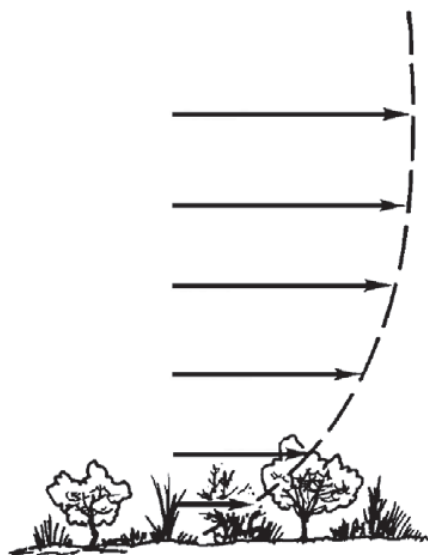


Figura 9. Perfil altitudinal del viento general. Fuente: USDA Forest Service.

Análisis respecto a la velocidad

Para analizar la variación del WAF en las distintas parcelas respecto a la velocidad del viento se ha utilizado el *Average Wind Speed* (AWS) ofrecido por las estaciones meteorológicas; este dato no es el dato instantáneo de velocidad del viento tomado por la estación en cada registro guardado, sino el valor medio del periodo entre el guardado de dos registros, teniendo de este modo una mayor representatividad.

Estos registros se han agrupado en distintos intervalos en orden de tener una medida representativa y práctica, para lo que ha sido necesario tener en cuenta el tiempo de viaje de las masas de aire entre la estación de referencia en altura y la estación en el interior de la masa. A su vez, se han agrupado por intervalos de velocidad del viento.

En este análisis se ha realizado también una distinción entre vientos de origen local y vientos de origen general, considerando como vientos de origen local a aquellos que son fruto del calentamiento de la ladera y de origen general a aquellos que son fruto del viento general en altura y registrado por la estación de referencia en altura. El límite entre ambos se ha considerado para WAF menores a la unidad, esto es, cuando la velocidad del viento en superficie dentro de la masa sea mayor a la velocidad del viento general.

Análisis respecto a la dirección

Para estudiar la variación de la fricción en un punto en función de las singularidades superficiales que lo rodeen se han analizado los cambios en el WAF dependiendo de la dirección de procedencia del viento general en altura. Al igual que en el caso de la fricción respecto a la velocidad del viento, se ha utilizado la AWS, que se ha agrupado en función de un intervalo de tiempo y en función del concepto de *deriva* del viento.

El vector viento cambia su dirección mientras atraviesa la masa forestal dependiendo de los obstáculos presentes, es por ello que la estación dentro de la masa puede registrar una dirección distinta a la detectada por la estación de referencia en altura. Para evitar las consecuencias de este efecto en los resultados, se ha considerado el WAF asociado a una dirección de procedencia del viento general como el WAF representativo de un ángulo sólido que se ha denominado *deriva* (Figura 10).

Para evitar el efecto de los vientos locales, se ha introducido un valor umbral mínimo de velocidad del viento, hallado en el apartado de análisis respecto a la velocidad.

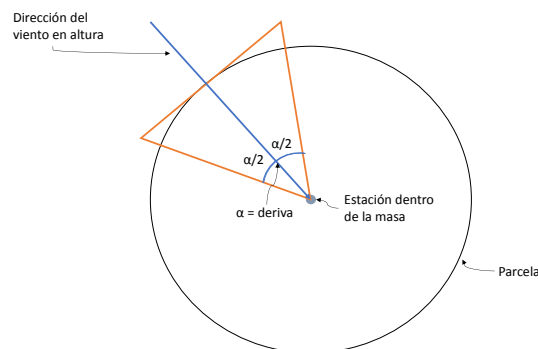


Figura 10. Esquema ejemplificante del ángulo utilizado como deriva

Simulación del viento general

El vector viento en altura se determinó con mayor precisión mediante el uso del software WindNinja versión 3.1.0 (Forthofer et al., 2010), desarrollado por el USDA Forest Service. La dirección e intensidad del viento base introducidas en el simulador se corresponden con las condiciones de diseño de las IPD de primer orden, y las condiciones del entorno fueron introducidas desde el archivo de Landscape Project (.lcp) generado para la simulación en FlamMap (apartado “Comportamiento del frente de llamas”), lo cual permite una mayor precisión al contemplar la rugosidad de la superficie al incluir los modelos de combustible y la cubierta del dosel arbóreo. La simulación se realizó mediante ecuaciones de conservación de la masa.

Para minimizar en lo posible el efecto borde del Modelo Digital de Elevaciones (DEM), se redujeron los valores de este hasta igualar a cero el valor del punto de menor cota de la zona de estudio.

Comportamiento del frente de llamas

Para la determinación del comportamiento del frente de llamas a nivel de píxel se utilizó el software FlamMap versión 5.0.3 64 bit (Finney et al., 2004), desarrollado por el USDA Forest Service.

Las capas de información geográfica incluidas en la simulación fueron:

- Modelo Digital de Elevaciones (DEM) con una resolución de 10 x 10 metros, en formato ascii (.asc) (ANEJO II- Figura 39).
- Pendiente en porcentaje, creada a partir del DEM, en formato ascii (.asc) (ANEJO II - Figura 40).
- Orientación en grados (base 360) creada a partir del DEM, en formato ascii (.asc) (ANEJO II - Figura 41).
- Modelos de Combustible del sistema Behave (Burgan & Rotermel, 1984), en formato ascii (.asc) (ANEJO II - Figura 42).
- Cubierta del suelo por la vegetación arbórea, entendida como la fracción horizontal de suelo cubierta por copas, en formato ascii (.asc) y en una escala cuantitativa del 1 al 4 según el siguiente criterio (ANEJO II - Figura 44):
 - 1) 0 – 20%
 - 2) 21 – 50%
 - 3) 50 – 80%
 - 4) 81 – 100%

Esta clasificación se ha realizado mediante una reclasificación de la capa de modelos de combustible.

- Dirección e intensidad del vector viento, cuya determinación se desarrolla en el apartado “Simulación del viento general”, en formato ascii (.asc).

Además de estas capas de información, fue necesaria la creación de un fichero de texto en formato específico “.fms” para la inclusión de las humedades de los combustibles, determinadas para 1, 10 y 100 horas de tiempo de retardo, además de las humedades

esperadas para los combustibles leñosos y herbáceos vivos. Estas fueron determinadas mediante el uso de las tablas del ICONA (1981) y datos previos (Fuente: LABIF y Servicio de Extinción de Incendios Forestales de la provincia de Almería) para las condiciones meteorológicas de diseño de las Infraestructuras Preventivas de Defensa de primer orden.

Distribución espacial de las especies

La distribución espacial de las distintas especies en la zona de estudio se ha extraído del Mapa de Vegetación Natural de Andalucía, elaborado a partir del Atlas de Andalucía (Tomo II).

La asignación a las parcelas del Mapa Forestal Andaluz de los distintos datos requeridos para el estudio se ha realizado mediante una unión espacial con la posición de las parcelas del 3^{er} Inventario Forestal Nacional (3IFN), clasificando por especies (Figura 11).

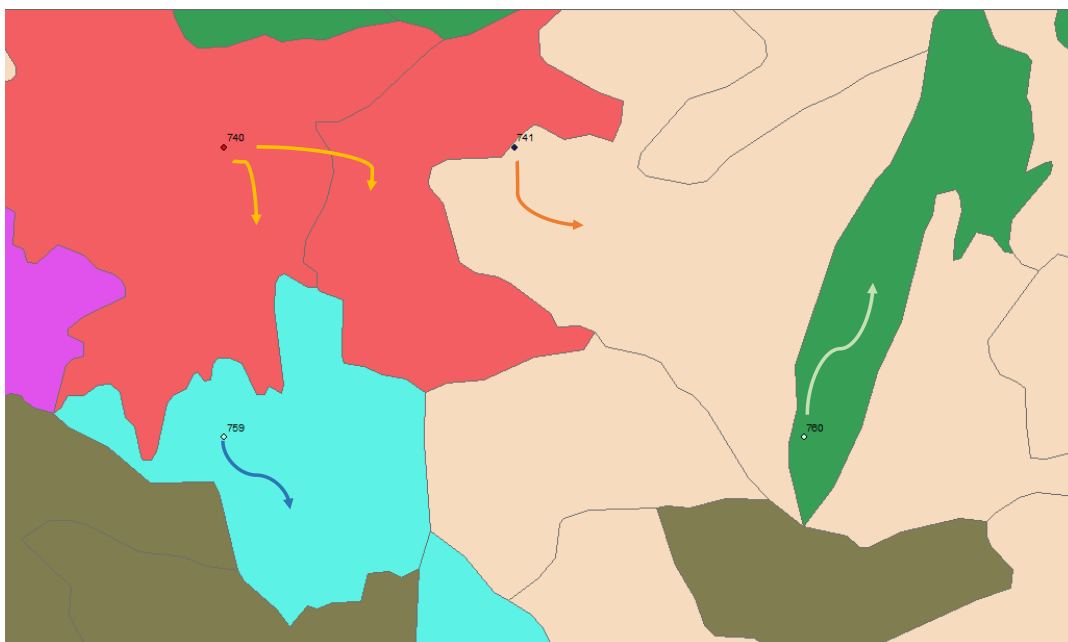


Figura 11. Asignación de información espacial a los polígonos del Mapa Forestal Andaluz desde el IFN3

Humedad del combustible vivo aéreo

La humedad del combustible vivo aéreo se obtuvo de los datos recogidos por el Servicio de Extinción de Incendios de la provincia de Almería para el año 2016, por ser este un año de baja pluviometría que dio lugar a unas bajas humedades del combustible aéreo foliar.

Las muestras usadas para la obtención de la humedad se correspondieron a las acículas de más de un año presentes en las ramas medias-bajas y bajas de distintas masas de pinar monoespecífico de *Pinus sylvestris* L., *Pinus nigra* subsp. *nigra* Arn. y *Pinus halepensis* Mill.

Los valores usados en el presente trabajo resultan del promedio de la humedad presente durante los meses de verano, distinguiendo entre exposición de solana y exposición de umbría. Se encuentran expresados en base seca.

Altura de la base de la copa

La altura a la base de la copa viva (CBH) es un parámetro necesario tanto para el cálculo de la transición a fuego de copas como para el cálculo, según determinadas metodologías, de la densidad aparente de copas.

En el presentes estudio la CBH se determinó de forma distinta según la especie arbórea:

- *Pinus sylvestris* L.:

En el caso de las masas de *Pinus sylvestris* se testaron y ajustaron las ecuaciones alométricas para el cálculo de la base de las copas de Pretzsch et al. (2002) y de Cermák (1998) (Widlowsky et al., 2003) con la información proveniente del inventario llevado a cabo por el Servicio de Extinción de Incendios de la provincia de Almería (Figura 46). De estas, se seleccionó la más representativa (2).

$$CBH_{Ps} = 1,6182 + 0,2684 \cdot H \cdot \left(1 - \exp^{0,376 - 0,9963 \frac{H}{DBH} - 0,0218 \cdot DBH} \right) \quad \begin{matrix} (2) \\ R^2=0,877 \\ p<0,01 \end{matrix}$$

Donde:

- CBH_{Ps} se refiere a la CBH de las masas de *Pinus sylvestris* y se expresa en metros
- H se refiere a la altura total del árbol en metros, habiéndose usado para las masas el valor medio de la altura
- DBH (*Diameter at Breast Height*) se expresa en cm y se refiere al diámetro del fuste a la altura de 1,3 metros

- *Pinus pinaster* L.:

En el caso de las masas de *Pinus pinaster* se utilizaron curvas alométricas adaptadas al entorno de la Sierra de Los Filabres (Abellanas et al., 2013) distinguiendo entre masas aclaradas y masas sin aclarar y entre la cara norte y la cara sur de la Sierra de Los Filabres (3) (4) (5) (6).

$$CBH_{PpNSC} = 0,532937 - 0,0543396 \cdot DBH + 0,577868 \cdot H \quad \begin{matrix} (3) \\ R^2=0,6434 \\ p<0,05 \end{matrix}$$

$$CBH_{PpNCC} = 0,95021 - 0,1366350 \cdot DBH + 0,610762 \cdot H \quad \begin{matrix} (4) \\ R^2=0,7667 \\ p<0,05 \end{matrix}$$

$$CBH_{PpSSC} = -1,3283 - 0,116625 \cdot DBH + 0,942663 \cdot H \quad \begin{matrix} (5) \\ R^2=0,5584 \\ p<0,05 \end{matrix}$$

$$CBH_{PpSCC} = -0,713031 - 0,15323 \cdot DBH + 0,977958 \cdot H \quad \begin{matrix} (6) \\ R^2=0,5476 \\ p<0,05 \end{matrix}$$

Donde:

- CBH_{PpNSC} se refiere a la CBH de las masas de *Pinus pinaster* de la cara norte sin claras y se expresa en metros
- CBH_{PpNCC} se refiere a la CBH de las masas de *Pinus pinaster* de la cara norte con claras y se expresa en metros

- $CBH_{PpS SC}$ se refiere a la CBH de las masas de *Pinus pinaster* de la cara sur sin claras y se expresa en metros
- $CBH_{PpS CC}$ se refiere a la CBH de las masas de *Pinus pinaster* de la cara sur con claras y se expresa en metros
- *Pinus nigra* subsp. *nigra* Arn. y *Pinus halepensis* Mill.

En el caso de las masas de *Pinus nigra* y *Pinus halepensis*, al no tener información suficiente como para la elaboración de curvas alométricas, se utilizó la información contenida en el 2º Inventario Forestal Nacional (2IFN) (ICONA, 1993).

Dado que entre el momento de elaboración de este inventario y la actualidad no se han sembrado o plantado nuevas masas en la zona de estudio, la base de las copas se habrá realzado -esto es, habrá aumentado la altura a la base de la copa -, por tanto, los resultados obtenidos cuentan con un margen de seguridad de aproximadamente 20 años. Con la intención de obtener un resultado más preciso sin salir de dicho margen de seguridad, se ha considerado un realce de 0,3 metros.

La distancia utilizada para predecir la subida del fuego a copas en función de la lejanía entre el combustible superficial y la base de la copa (z) se ha calculado teniendo en cuenta la altura del combustible superficial, que actúa reduciendo la distancia entre las llamas y la base de la copa. La altura considerada del combustible superficial fue el resultado de la ponderación de la altura media de las distintas especies presentes en función de su FCC, siempre y cuando la FCC total superase el 30% de la parcela (Figura 12).

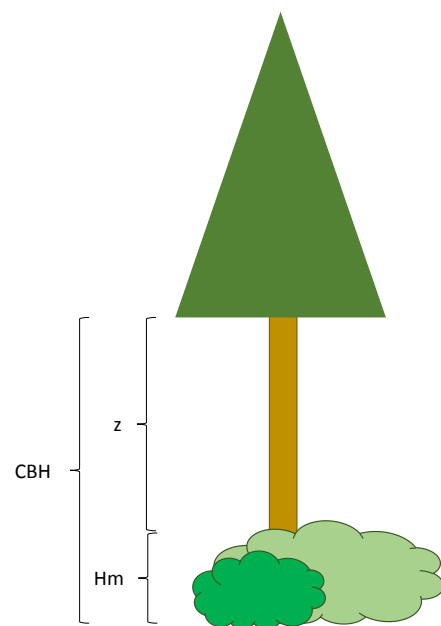


Figura 12. CBH = Altura del fuste; Hm = Altura del combustible superficial; z = hueco entre el combustible superficial y el dosel arbóreo.

Densidad aparente de copas

La densidad aparente de copas (CBD) se refiere a la cantidad de combustible presente por unidad de volumen del dosel arbóreo. Este es un parámetro clave en la propagación del fuego por las copas de los árboles, pero su determinación de manera precisa es costosa y se realiza mediante inventarios destructivos, razón por la cual se estima mediante curvas alométricas dependiendo de la especie:

- *Pinus sylvestris* L.:

En el caso de las masas de *Pinus sylvestris* se trabajó con los datos del 1º Inventario de sumideros de CO_2 en Andalucía (Oliet et al., 2005) teniendo en cuenta el nivel de consumo de los combustibles aéreos indicado por Molina et al. (2014) para obtener la carga de combustible aéreo (CFL). El ajuste de las escalas de trabajo de ambos estudios se realizó para un comportamiento logarítmico.

El paso de CFL a CBD se llevó a cabo mediante la ecuación (7).

$$CBD = \frac{CFL \cdot Densidad}{CL \cdot 10000} \quad (7)$$

Donde:

- CBD se expresa en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- CFL se expresa en kilogramos de combustible (en masa seca) por pie arbóreo
- Densidad se refiere a la densidad arbórea en pies por hectárea
- CL (*Crown Length*) se refiere a la profundidad vertical de la copa en metros
- 10000 se refiere a los metros cuadrados por hectárea

- *Pinus pinaster* L.:

En el caso de las masas de *Pinus pinaster* se utilizó la curva alométrica presentada en Molina et al. (2014) (8).

$$CBD = 0,73 - 0,926 \cdot CR - 0,028 \cdot CD + 0,002 \cdot FCC \quad (8)$$

R²=0,94
p<0,05

Donde:

- CR (*Crown ratio*) es un índice que indica la longitud de la copa respecto al total de la altura del árbol, y en este caso se refiere a los valores medios de la masa (9)
- CD (*Crown Diameter*) es un valor que indica el diámetro medio de las copas de los árboles en su proyección vertical, y en este caso se refiere a los valores medios de la masa (10)
- FCC se refiere a la Fracción de Cobertura expresada en porcentaje (%).

$$CR = \frac{CL}{H} \quad (9)$$

$$CD = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{FCC \cdot 10000}{Densidad}} \quad (10)$$

- *Pinus nigra* subsp. *nigra* Arn.:

En el caso de las masas de *Pinus nigra* se actuó del mismo modo que en el caso de las masas de *Pinus sylvestris*.

- *Pinus halepensis* Mill.:

En el caso de las masas de *Pinus halepensis* se utilizó la curva alométrica presentada por Mitsopoulos & Dimitrakopoulos (2014) (11)

$$CBD = 0,038 + 0,002 \cdot AB \quad (11)$$

R²=0,74
p<0,05

Donde:

- AB se refiere al área basimétrica de la masa expresada en $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$

Intensidad Crítica Superficial

El cálculo de la Intensidad Crítica Superficial necesaria para el paso de fuego de superficie a fuego de copas se realizó en base a la relación establecida por Thomas (1963) que relaciona la temperatura a distintas alturas con la intensidad desprendida desde la superficie (12).

$$\Delta T \propto \frac{I^{2/3}}{z} \quad (12)$$

Donde:

- z representa la cota a la cual se quiere conocer la temperatura
- ΔT representa a la temperatura alcanzada a la cota z
- I representa a la intensidad desprendida, determinada por Byram (1959) por anchura del frente de llamas (13).

$$I = H \cdot W \cdot R \quad (13)$$

Donde:

- H representa al calor desprendido durante la combustión
- W representa a la carga superficial de combustible
- R representa a la velocidad de propagación

Transformando (12) de la manera descrita por Van Wagner (1977) resulta (14):

$$ISO = (C \cdot CBH \cdot h)^{3/2} \quad (14)$$

Donde:

- ISO es la intensidad crítica en superficie para el paso del frente de llamas a copas y se encuentra expresada en $\text{kW} \cdot \text{m}^{-1}$
- C es una constante empírica obtenida de la observación directa en fuegos de copa experimentales (Van Wagner 1964, 1968) y se estima en 0,01
- CBH (*Crown Base Height*) representa la altura a la base de la copa viva en metros, cuya determinación se detalla en el apartado Altura de la base de la copa
- h representa el calor al que ha de ser expuesto el combustible para que se produzca la ignición, y se ha calculado según la relación determinada por Van Wagner (1968) (15). Se encuentra expresada en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

$$h = 460 + 25,9 \cdot M \quad (15)$$

Donde:

- M representa a la humedad foliar del combustible vivo expresada en porcentaje (%). Su determinación se detalla en el apartado Humedad del combustible vivo aéreo.

En el presente estudio y mediante un cambio de variable, no se ha trabajado directamente con la intensidad crítica superficial sino con la altura crítica a la base de la copa (CBH_c),

para la cual, toda base de la copa con una altura menor a dicho valor, es susceptible de sufrir un antorchamiento.

Velocidad Crítica de Propagación

La velocidad Crítica de propagación (RAC) es aquella velocidad de propagación superficial del frente de llamas por encima de la cual se produce una combustión continua del combustible aéreo. En el presente estudio se determinó de la manera propuesta por Van Wagner (1977) (16).

$$RAC = \frac{S_0}{CBD} \quad (16)$$

Donde:

- S_0 representa la cantidad de combustible aéreo que ha de ser consumido por unidad de tiempo para poder mantener la reacción de combustión en copas. Este parámetro ha sido determinado experimentalmente de la observación directa en fuegos de copa experimentales (Van Wagner 1964, 1968) y se estima en $0,05 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.
- CBD (*Crown Bulk Density*) se refiere a la densidad aparente de copas, expresada en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ y cuya determinación se detalla en el apartado Densidad aparente de copas.

Tipo de carrera de fuego

En función de los factores orográficos, meteorológicos y dasométricos dados para una zona homogénea, el fuego se propaga de acuerdo a uno de los siguientes escenarios (Van Wagner, 1977):

Sin propagación

En entornos incombustibles o escenarios meteorológicos muy adversos a la propagación, fundamentalmente debidos a la alta humedad de los combustibles, la reacción de combustión es incapaz de mantenerse.

Al ser las condiciones meteorológicas del presente estudio favorables a la propagación del fuego, se englobaron en este apartado únicamente aquellas zonas incombustibles por no presentar vegetación.

Propagación superficial

La carrera del fuego tiene lugar únicamente en la superficie. Este se corresponde con el mejor escenario de propagación por ser el que, a igualdad del resto de condiciones, desprende una menor energía. Ocurre en aquellos modelos de combustible carentes de dosel arbóreo y en aquellos modelos de combustible que, presentando dosel arbóreo, no desprenden energía suficiente como para provocar la ignición de las copas. Centrándonos en los modelos de combustible arbolados, por ser los interesantes desde el punto de vista del fuego de copas:

$$ISO > SFI \quad (17)$$

Donde:

- ISO (*Critical Surface Intensity*) representa a la intensidad superficial mínima desprendida por el frente de llamas que es necesaria para que tenga lugar la subida del fuego a las copas de los árboles. Su cálculo se aborda en el apartado “Intensidad Crítica Superficial”.
- SFI (*Intensity of Surface Fire*) representa a la intensidad superficial desprendida para unas condiciones determinadas. Su determinación se aborda en el apartado “Comportamiento del frente de llamas”.

Propagación por copas

La carrera del fuego tiene lugar también por las copas de los árboles, siendo este el escenario más peligroso por ser el que desprende una mayor cantidad de energía.

Dependiendo de las condiciones, se distinguieron distintos tipos de propagación por copas:

Propagación pasiva por copas

En este tipo de propagación, la carrera del fuego tiene lugar por la superficie, produciéndose de manera esporádica la ignición (antorcheo) de pies discretos. Supone un punto intermedio entre la propagación por superficie y la propagación activa por copas. Se consideró dicho comportamiento en aquellos escenarios donde:

$$ISO < SFI \quad (18)$$

$$RAC > ROS \quad (19)$$

Donde:

- RAC (*Critical spread rate for solid crown flame*) representa a la velocidad de propagación crítica del frente de llamas por encima de la cual el flujo energético vertical es capaz de mantener una reacción continua de combustión en el dosel arbóreo. Su cálculo se aborda en el apartado “Velocidad Crítica de Propagación”.
- ROS (*Rate Of Spread*) representa a la velocidad superficial de propagación para unas condiciones determinadas. Su determinación se abordó en el apartado “Comportamiento del frente de llamas”.

La probabilidad de error en la estimación de la subida del fuego a copas se ha realizado como la diferencia en valor absoluto entre la altura de la base de la copa y la altura crítica de transición a fuego de copas (20), normalizada.

$$\varepsilon \propto |CBH - CCBH| \quad (20)$$

Donde:

- CBH (*Crown Bulk Density*) se refiere a la altura a la base de la copa viva
- CCBH (*Critical Crown Bulk Density*) se refiere a la altura crítica a la base de la copa viva por encima de la cual se produce la transición a fuego de copas y se obtiene despejando CBH en la ecuación (14).

Propagación activa por copas

En este tipo de propagación, la carrera del fuego tiene lugar tanto por la superficie como por las copas de los árboles, estando supeditada la combustión de las copas a la energía desprendida durante la combustión del combustible superficial. Se consideró dicho comportamiento en aquellos escenarios donde:

$$ISO < SFI \quad (21)$$

$$RAC < ROS \quad (22)$$

$$E_0 > E \quad (23)$$

Donde:

- E_0 (*Critical energy flux*) representa al flujo de energía crítico desprendido por el dosel arbóreo y dirigido al dosel arbóreo circundante capaz de mantener por sí mismo una reacción de combustión continuada a través del dosel arbóreo.
- E (*Horizontal energy flux*) representa al flujo de energía desprendido por el dosel arbóreo y dirigido al dosel arbóreo circundante.

La probabilidad de error en la estimación de la propagación activa por copas se ha realizado como la diferencia en valor absoluto entre la velocidad superficial de propagación y la velocidad superficial crítica de propagación (24), normalizada.

$$\varepsilon \propto |ROS - RAC| \quad (24)$$

Actuaciones preventivas

Se han propuesto actuaciones preventivas con criterios de seguridad y efectividad para el total de las IPD presentes en la zona de estudio, haciendo hincapié en aquellas de mayor prioridad propuestas por Muñoz (2017) y seleccionadas por el criterio indicado en Rodríguez y Silva et al. (2010).

Consideraciones generales

Las consideraciones propuestas en este apartado son de carácter general, pudiendo sufrir modificaciones en el análisis de los casos detallados.

Seguridad

En primer lugar, se aplicó el criterio de seguridad (Butler et al., 2014; Page & Butler, 2017), determinando por píxel la distancia mínima de seguridad (SSD) respecto al frente de llamas, mediante el uso de (25). Estos cálculos son válidos para frentes de llama que se aproximan por barlovento.

$$SSD = 8 \cdot H_v \cdot \Delta \quad (25)$$

Donde:

- SSD se refiere a la distancia mínima de seguridad expresada en metros
- H_v se refiere a la altura de la vegetación que es viable para entrar en ignición, en metros
- Δ se refiere al factor pendiente-viento, siendo este un coeficiente empírico cuyo valor se indica en la Tabla 1

Tabla 1. Valor del coeficiente Δ en función de la velocidad del viento y de la pendiente del terreno. Fuente: Butler (2014).

Δ	Pendiente del terreno (%)			
	Llano (< 20%)	21 - 30%	31 - 50%	> 50%
Velocidad del viento (km/h)				
Ligero (0 - 11)	1	1	3	5
Moderado (12 - 24)	1,5	2	4	6
Fuerte (25 - 48)	3	3	6	7,5
Muy fuerte (> 48)	4,5	4	7	9

La contraposición de esta información con la distancia a las IPD muestra hasta qué distancia del eje central de cada IPD la energía desprendida durante la propagación por radiación y por convección puede llegar a hacer inviable el trabajo con el margen indicado de seguridad.

Propagación por copas

En los casos en los que se prevé la ocurrencia de fuego de copas en los bordes de la IPD, el objetivo propuesto es el de conseguir una propagación por superficie que pueda ser detenida en la LC. Para ello se han propuesto actuaciones que difieren según las características de la masa:

En masas poco densas se ha propuesto la construcción de un Área Preventiva de Defensa (APD)⁵ colindante a la LC en la cual, mediante la disminución de la densidad aparente de copas (CBD) y el aumento de la distancia z por disminución de la carga de combustible superficial y el aumento de la altura a la base de la copa (CBH), se fuerce una propagación por superficie sin posibilidad de antorcheos (fuego pasivo por copas). En caso de considerarse oportuno, se ha planteado también la construcción de una Banda Colindante de Seguridad (BCS)⁶ (Figura 13).

⁵ Superficie forestal mantenida con una baja carga de combustible superficial y baja densidad aparente de copas para su uso en la lucha contra Incendios Forestales.

⁶ Bandas longitudinales colindantes a los sistemas lineales preventivos de defensa en la cual se realiza una descarga progresiva de la carga de combustible.

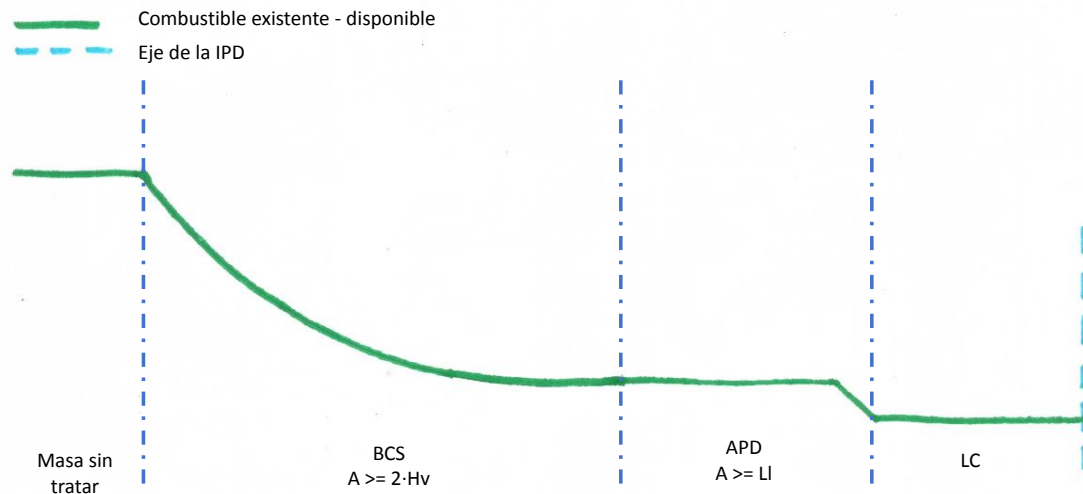


Figura 13. Esquema del tratamiento del combustible en una zona arbolada dispersa. A = Anchura; H_v = Altura de la vegetación; L_l = Longitud de llama.

En masas densas, donde por la elevada Fracción de Cobertura Cúbica (FCC) no se espere una fácil matorralización de la superficie tratada, se ha propuesto la disminución de la carga de combustible superficial (y por tanto una modificación del modelo de combustible) y en caso de ser necesario, el realce de las copas, impidiendo de este modo la subida del frente de llamas al dosel arbóreo. De cara a impedir que un fuego de copas iniciado en una zona previa a la zona tratada continúe su propagación a través de la zona tratada o que el combustible superficial presente en el borde de la zona arbolada actúe a modo de combustible en escalera, se propone la construcción de una LC secundaria destinada a aislar la zona tratada de aquellas zonas sin tratar (Figura 14). Dicha LC secundaria se posicionará en el borde de la masa, o en caso de no ser esto viable, se posicionará apoyándose en caminos u otras infraestructuras previamente presentes que maximicen su utilidad y minimicen su coste; en este segundo caso, el tratamiento no comenzará justo junto a la LC secundaria, sino antes, permitiendo de este modo disminuir su anchura.

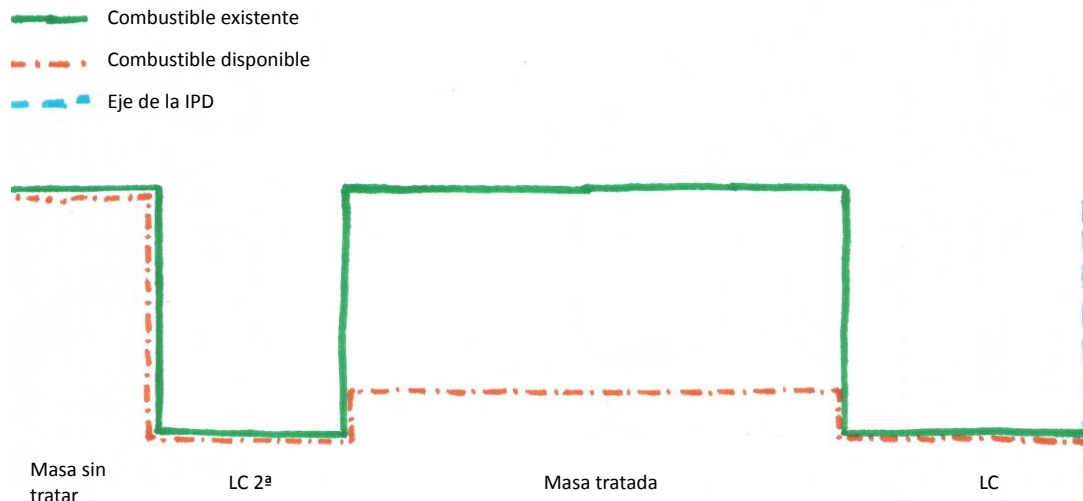


Figura 14. Esquema del tratamiento de combustible en zona arbolada densa

Propagación superficial con presencia de arbolado

En los escenarios en los que se prevé una propagación bajo el arbolado del frente de llamas en las inmediaciones de la IPD, sin una subida a las copas, se ha trabajado exclusivamente con la anchura de la LC, procurando no abrir la masa, fomentando de este modo la entrada de matorral. Al igual que en el caso anterior, puede proponerse la construcción de una LC secundaria si se considera oportuno (Figura 14).

Propagación superficial en modelos desarbolados

Cuando el modelo de combustible no presente dosel arbóreo, se han propuesto actuaciones centradas en la figura de la LC y la BCS (Figura 15).

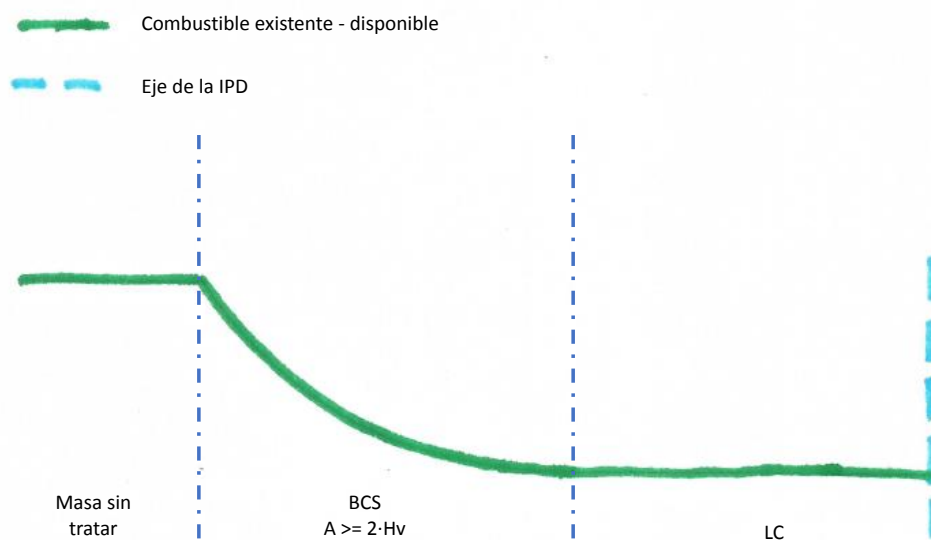


Figura 15. Esquema del tratamiento del combustible en zona con combustible exclusivamente superficial

Focos secundarios

Para abordar la problemática de los focos secundarios se han propuesto, en aquellos casos en los que sea posible, la creación de estructuras vegetales resistentes al fenómeno del *paveseo* y que permitan la actuación por parte de los medios de extinción terrestres. Dichas estructuras son superficies que actúan a modo colchón de recepción de pavesas y se pueden clasificar como un modelo 8 de combustible en el sistema Behave.

Casos detallados

Se realizó un análisis del estado actual de las IPD priorizadas para el presente estudio, así como del comportamiento esperado por un frente de llamas bajo las condiciones meteorológicas de diseño. En base a esto se propusieron actuaciones concretas destinadas a hacer a estas IPD eficaces para la extinción de incendios propagados bajo las condiciones meteorológicas de diseño. La anchura mínima necesaria a intervenir se ha determinado a partir de simulaciones informáticas con el software Visual Fuego (Rodríguez y Silva, 2017) y distancias de seguridad a partir de las longitudes de llama esperadas y de los flujos térmicos tolerables (Butler y Cohen, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del vector viento

Las condiciones meteorológicas contempladas para el dimensionamiento de las Infraestructuras Preventivas de Defensa (IPD) de primer orden por el Servicio de Extinción de Incendios de la provincia de Almería pueden consultarse en la Tabla 2.

Tabla 2. Condiciones meteorológicas de diseño para el dimensionamiento de la IPD de 1^{er} orden

PARÁMETRO	MAGNITUD
Hora solar	- 12:00
Temperatura	- 35 °C
Humedad Relativa	- 19 %
Velocidad del viento (10 m)	- 40 km·h ⁻¹ (270°)

Estas se corresponden con unas condiciones muy favorables a la propagación de los Incendios Forestales, con una alta velocidad del viento, relativamente común en la zona de estudio para la componente de poniente, una temperatura elevada y una baja humedad relativa.

En total se recogieron 28.551 registros a intervalos de 10 segundos entre las parcelas de medición (ANEJO III - Figura 46; Tabla 3) y los puntos de referencia (ANEJO III - Figura 52), con los que fue posible caracterizar a las masas objetivo desde el punto de vista de su interacción con el vector viento, aunque también se recogieron datos de temperatura ambiente, humedad relativa, punto de rocío o presión atmosférica entre otros.

La parcela n° 25 se encuentra al sur de una LC y muy cercana a la divisoria, encontrándose el resto de parcelas a media ladera. Dentro de esta, la masa presenta continuidad horizontal con apenas huecos y un grado muy bajo de matorralización, solo presente en las zonas en luz por colindar con la LC; esta parcela se encuentra podada con objetivos preventivos contra incendios forestales. La parcela n° 26 presenta una continuidad horizontal aún mayor y una menor altura de poda. En la parcela n° 27 los pies son similares a los presentes en la n° 26, pero la masa presenta una mayor cantidad de huecos. Por último, la parcela n° 31 es una parcela colindante a la misma LC que la parcela n° 25, pero en esta jamás se ha realizado ningún tipo de poda, existiendo ramas muertas hasta casi la base del fuste; también presenta un desnivel entre la LC y la base de la parcela.

Tabla 3. Información de las parcelas donde se han tomado registros de viento. AB = Área Basimétrica; H1RV = altura a la 1ª rama viva; H1RM = altura a la 1ª rama; Ø = diámetro a 1,3 m. Fuente: Servicio de Extinción de Incendios de la provincia de Almería.

PARCELA	AB (m ² ·ha ⁻¹)	H1RV (m)	H1RM (m)	Ø (cm)	Densidad (pies·ha ⁻¹)	Altura (m)
25 - 493163	20,54	3,43	1,8	19,06	720	11,49
26 - 493164	22,23	2,59	1,3	15,76	1140	9,28
27 - 493165	17,51	2,61	0,8	15,4	940	9,72
31 - 494072	17,49	3,36	0,6	19,26	600	12,37

Análisis respecto a la velocidad

Con estos datos se analizaron las relaciones entre el viento general y el viento dentro de la masa a través del índice WAF para distintos intervalos temporales de agrupación de datos y distintos intervalos de velocidad del viento. Dicho intervalo temporal osciló entre 20 segundos (20'') y 10 minutos (10'). La razón de seleccionar los 20'' como el umbral inferior es la de asegurar que las rachas de viento son percibidas en el mismo rango de análisis tanto por las estaciones fuera de la masa en zonas despejadas como por las estaciones en el interior de la masa. La razón de seleccionar los 10' como el umbral superior es debida a que es este el intervalo con el que registra datos la Unidad Móvil de Meteorología y Transmisiones (UMMT) con la que el dispositivo INFOCA trabaja en los incendios forestales. Finalmente se optó para el análisis por el intervalo temporal mínimo (20'') y por un intervalo de velocidad del viento de 2 km·h⁻¹, priorizando el detalle en los resultados.

En la parcela n° 25 (Figura 47) se ha podido observar cómo las características protectoras de la masa impiden al viento general enmascarar a los vientos locales hasta velocidades del viento general próximas a los 5 km·h⁻¹. Una vez que el viento general logra romper el *cinturón* de vientos locales se puede apreciar una fricción dinámica por parte de la masa que va en aumento (es decir, disminuye el WAF) hasta los 10-12 km·h⁻¹ de velocidad del viento, momento en el cual se tiende a una estabilización de la fricción de la masa (Figura 19). La presencia de valores discordantes para los datos más elevados de velocidad viento encuentran su explicación en la baja cantidad de datos recogidos en este intervalo (0,14% del total) (Figura 16), no pudiendo hablarse por tanto de representatividad en el intervalo.

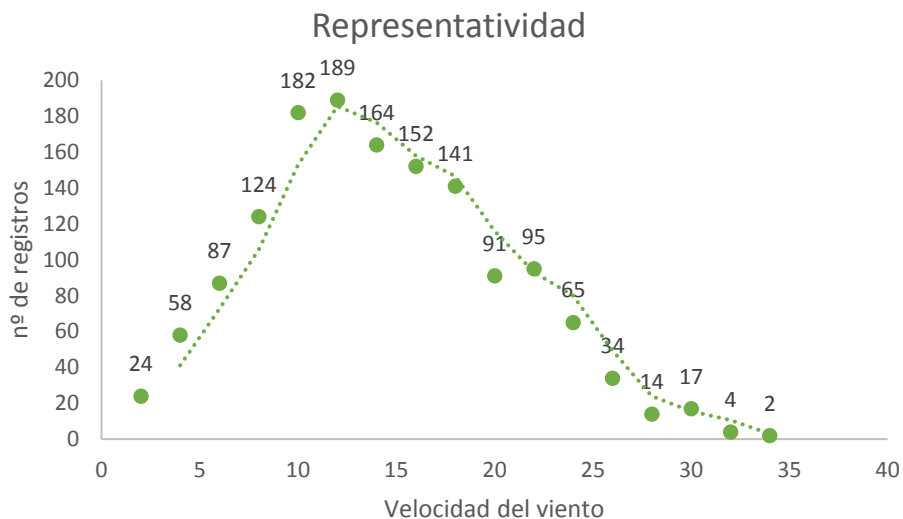


Figura 16. Nº de registros por intervalo de velocidad del viento en la parcela n° 25. Fuente: elaboración propia.

La distribución suavizada de los datos es la que muestra, al estabilizarse, el valor del WAF más representativo de la masa, con un valor de 0,30 en caso de no incluir en el análisis aquellos datos agrupados en los cuales no se registraba viento en el interior de la masa, pero sí en el exterior o de 0,20 si se incluyen todos los datos agrupados. Este valor de 0,30 es el valor del WAF más representativo cuando queremos estudiar comportamientos del frente de llamas con un viento general más acusado mientras que 0,20 es el valor del

WAF que mostrará mayor representatividad a la hora de estudiar la propagación del frente de llamas en condiciones de baja velocidad del viento, siempre y cuando esta velocidad del viento general sea la suficiente como para romper el *cinturón* de vientos locales del cual se hablaba anteriormente; en caso contrario habremos de olvidarnos del viento general en el estudio de la propagación y centrarnos exclusivamente en los vientos locales.

En la parcela nº 26 (Figura 48) hay un menor número de casos en los que dentro de la masa no se perciba velocidad del viento, pero sí en el exterior, mostrándose como un modelo más *permeable* a la entrada del viento. Esto implica que el WAF teniendo o no en cuenta los valores nulos sea muy similar, con valores de 0,16 y 0,17 respectivamente (Figura 20).

La parcela nº 27 (Figura 49) presenta un comportamiento mucho más caótico que las anteriores, no existiendo una relación tan clara entre la velocidad del viento general y el coeficiente de fricción de la masa, debido probablemente a la existencia de los huecos descritos anteriormente que fomentan la creación de vórtices de viento. Aun así, la tendencia es clara al suavizarse, presentando como en la parcela nº 26 un índice WAF muy similar se tengan o no en cuenta los valores nulos, con una magnitud de 0,09 y 0,11 respectivamente (Figura 21).

La parcela nº 31 (Figura 50) presenta una altísima fricción, lo que concuerda con las características que presenta y que han sido detalladas previamente. Esta fricción tan elevada supone un WAF muy bajo, con magnitud de 0,02 teniendo en cuenta los valores nulos y de 0,06 sin tener en cuenta dichos valores nulos. Estos valores tan cercanos al cero están indicando que las velocidades de viento que sí que han sido capaces de atravesar las masas arbóreas del resto de parcelas son incapaces de atravesar la parcela nº 31, siendo por tanto mucho más *impermeable* al viento (Figura 22). Será necesario aunar más datos a mayores velocidades de cara a poder ofrecer un umbral de velocidad del viento que sea capaz de atravesar de forma efectiva la cubierta arbórea.

A expensas de la recolección de un mayor número de datos por parcela, se ha elaborado un modelo provisional que relaciona el valor de la fricción de la masa a través del WAF con la velocidad del viento general y la profundidad de la masa (26), entendiéndose la profundidad de la masa (Figura 17) como una diferencia de cota entre la parte superior de la masa y una altura entre el inicio del ramaje muerto y el inicio de la copa viva, ejemplificando de esta forma un efecto de rozamiento también por parte del ramaje muerto, de magnitud menor al ejercido por el ramaje vivo. Se ha utilizado un coeficiente provisional de rozamiento del ramaje muerto respecto al vivo del 50%, siendo necesario hallar un valor objetivo mediante la experimentación (Molina et al., 2017).

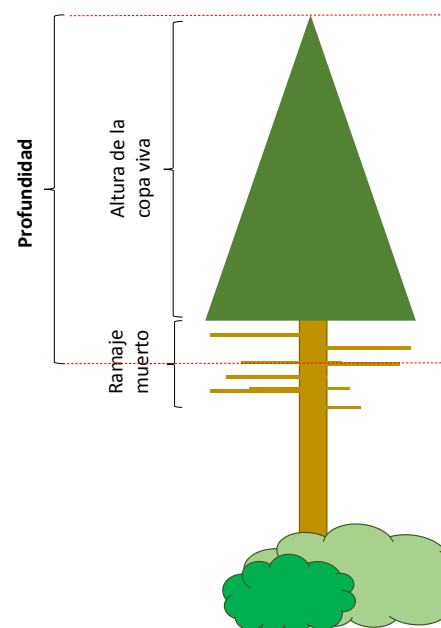


Figura 17. Determinación de la profundidad de la masa.

Se ha determinado para la elaboración de este modelo la relación logarítmica entre la variable dependiente WAF y la variable independiente de la velocidad del viento en altura para las distintas parcelas, y se han relacionado las distintas parcelas entre sí (Figura 18).

$$WAF = \ln(V_h^{0,046 \cdot H_{ef}^{-0,5}}) - 0,1668 \cdot H_{ef} + 1,8924 \quad (26)$$

Donde:

- WAF es el coeficiente adimensional que refleja la fricción de la masa
- V_h se refiere a la velocidad del viento fuera de la masa a 6 metros de altura en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$
- H_{ef} se refiere al concepto anteriormente introducido de profundidad de la masa, expresado en metros

Las mejoras a este modelo adaptado a las masas de *Pinus sylvestris* de la Sierra de Los Filabres, abordables al aumentar el número de mediciones, irán encaminadas a tener en cuenta el efecto de la presencia de huecos y la posición de la masa respecto a la ladera.

En cuanto a la fricción del viento dentro de la misma línea cortafuegos (Figura 51) se muestra un valor del WAF de 0,46 teniendo en cuenta los valores nulos y de 0,50 sin tenerlos en cuenta (Figura 23). A pesar de estar medido en la vertical de la estación de referencia en altura y encontrarse en una zona libre de vegetación, no es posible descartar en este valor un posible efecto perturbador de los vórtices creados por el confinamiento entre las masas arboladas colindantes; la presencia de estos vórtices fue fácilmente constatable mediante la observación de las veletas con las que contaban las estaciones (ANEJO IV - Figura 52).

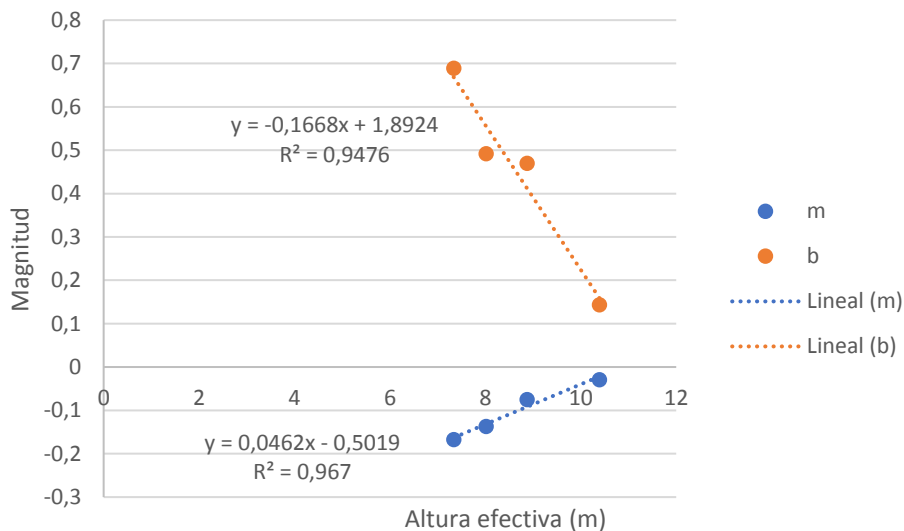


Figura 18. Relación entre los parámetros de las ecuaciones logarítmicas que determinan el WAF para cada parcela con la altura efectiva de dichas parcelas. Fuente: elaboración propia.

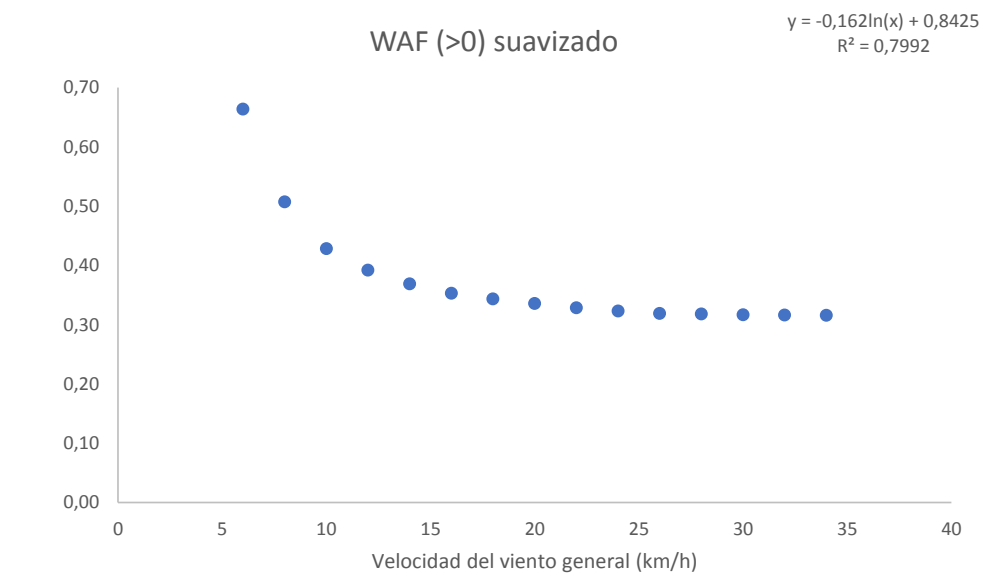
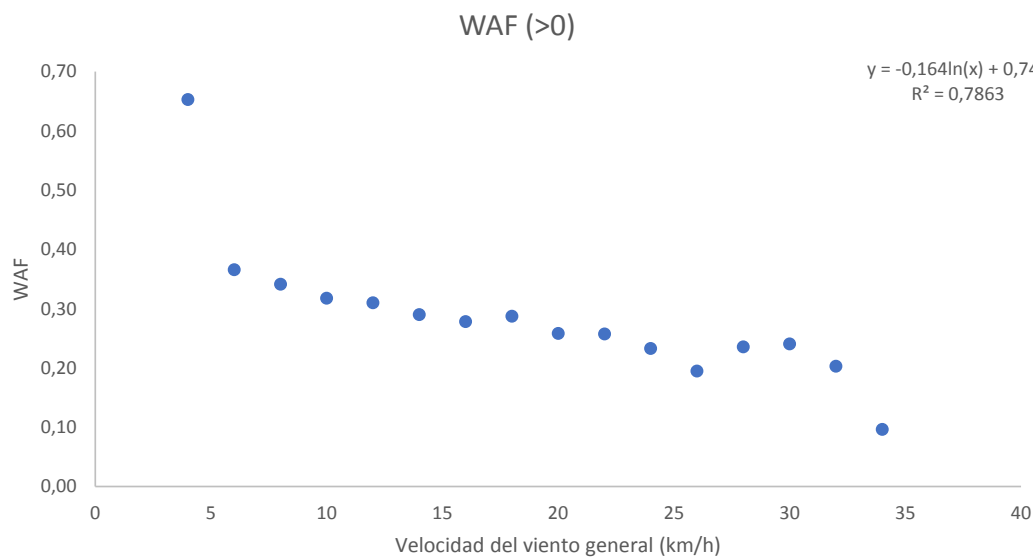
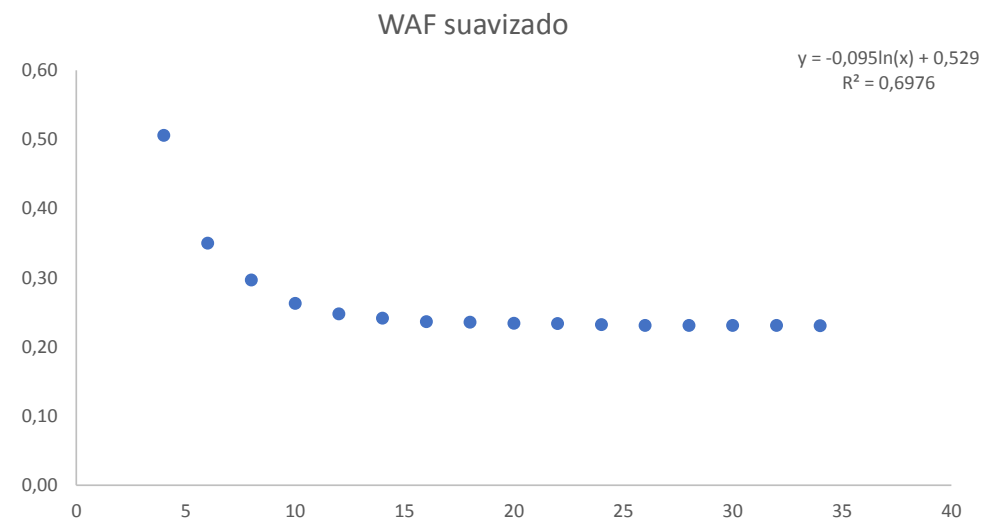
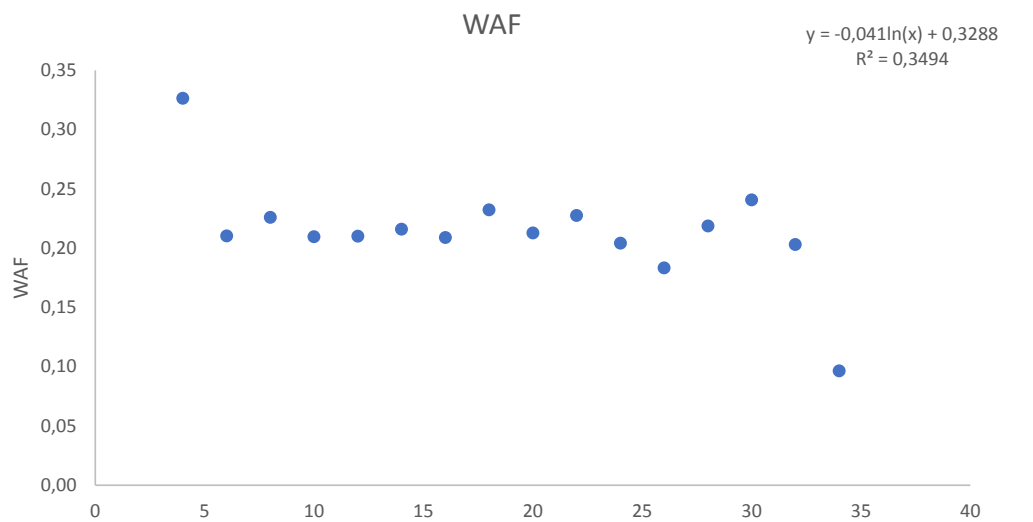


Figura 19. Relación entre el WAF y la velocidad del viento en la masa de la parcela nº 25. Fuente: elaboración propia.

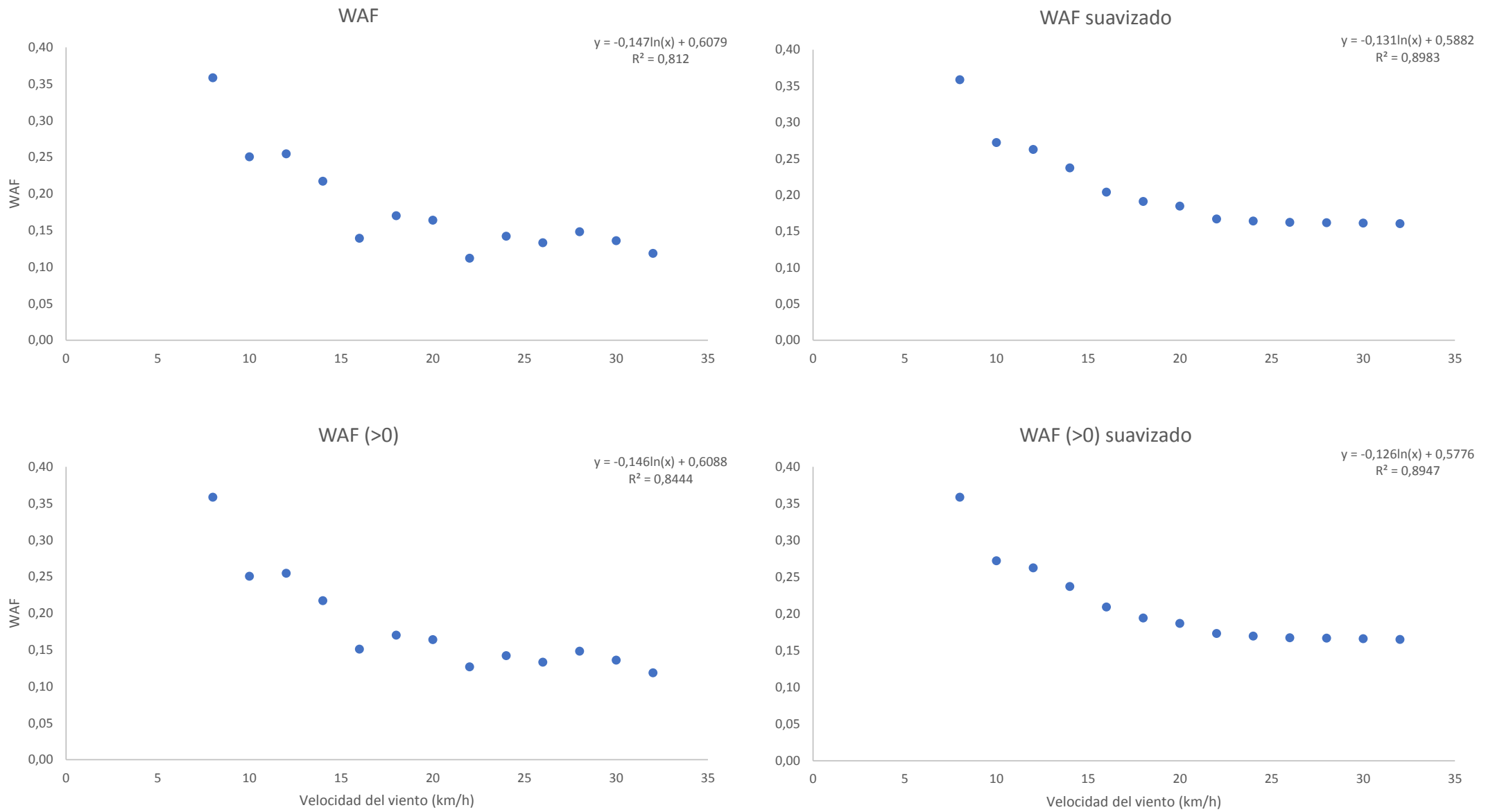


Figura 20. Relación entre el WAF y la velocidad del viento en la masa de la parcela nº 26. Fuente: elaboración propia.

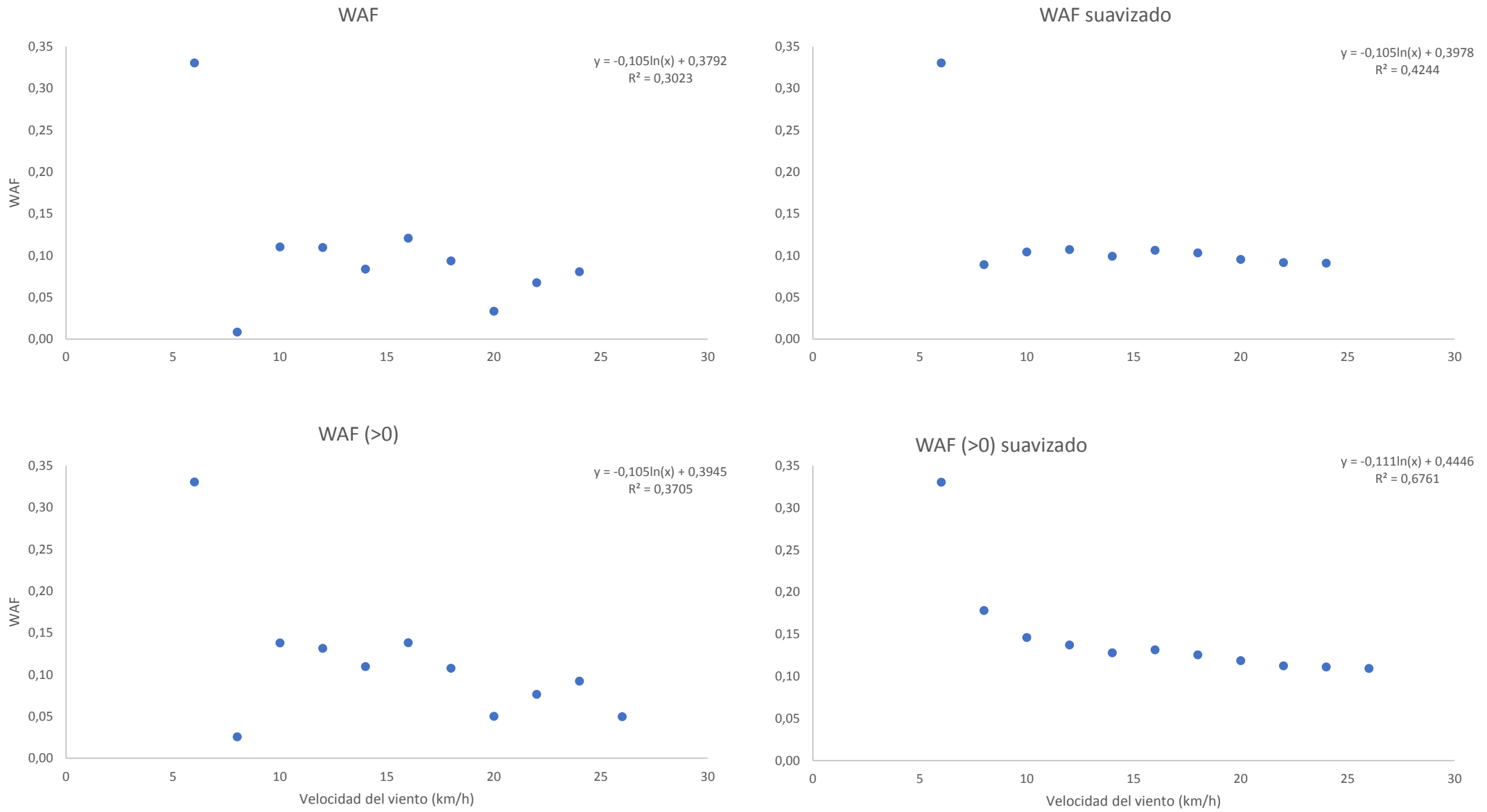


Figura 21. Relación entre el WAF y la velocidad del viento en la masa de la parcela nº 27. Fuente: elaboración propia.

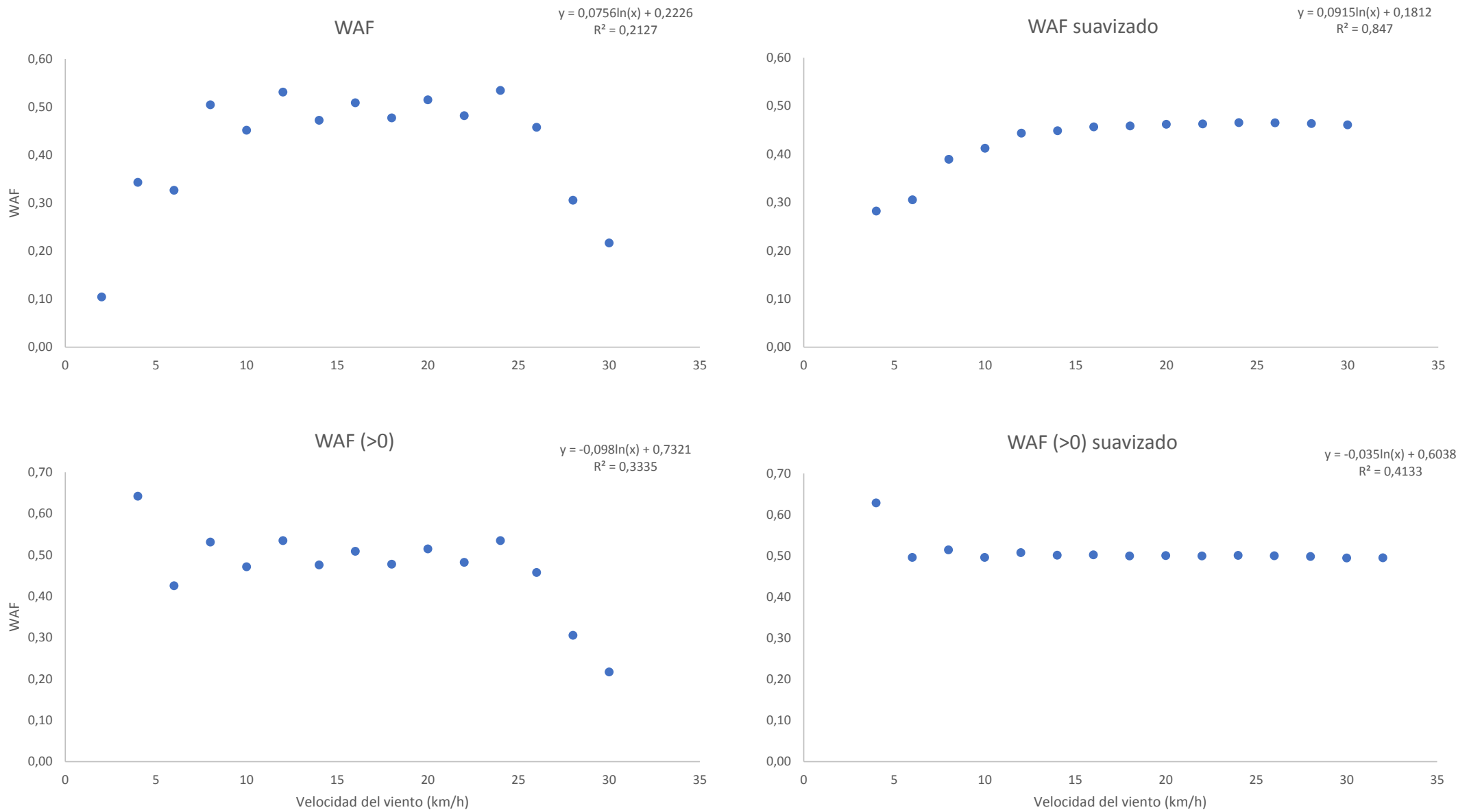


Figura 22. Relación entre el WAF y la velocidad del viento en la masa de la parcela nº 31. Fuente: elaboración propia.

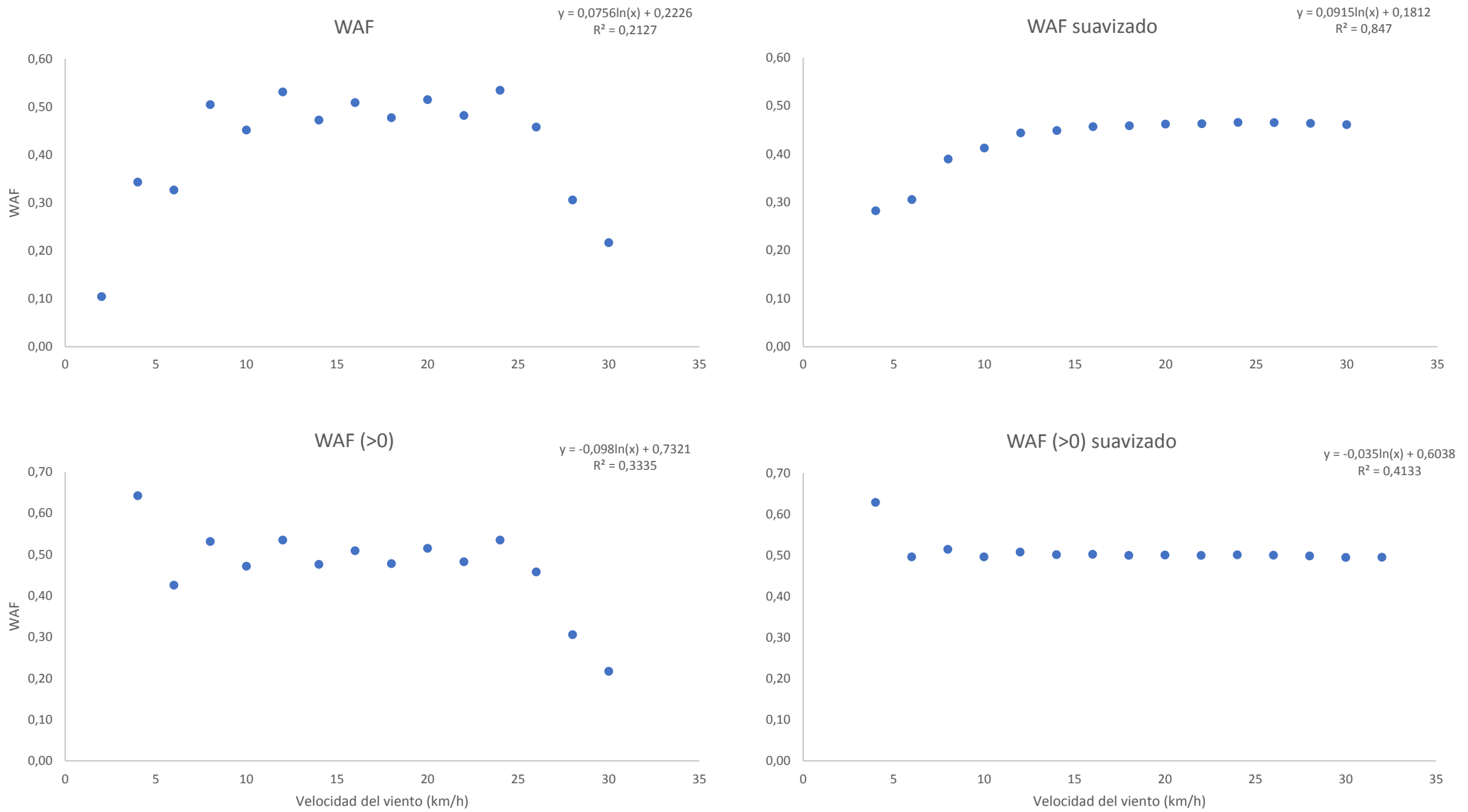


Figura 23. Relación entre el WAF y la velocidad del viento en la sección superior de la LC. Fuente: elaboración propia.

Análisis respecto a la dirección

La fricción del viento dentro de una masa se puede ver alterada por la cercanía a elementos singulares tales como huecos, fustes o elementos más significativos dentro del combate contra los incendios forestales como son las propias infraestructuras preventivas de defensa. El estudio de la fricción de la masa por dirección de procedencia del viento general en la parcela nº 25 da valores a estos efectos y plantea nuevas cuestiones.

La posición de los pies cercanos a la parcela nº 25 puede ser observada en la Figura 54, así como la posición del centro de la parcela y de la estación. En la Tabla 13 se indican también las distancias a la estación y el diámetro de los fustes.

Al tratarse de la parcela nº 25, se ha utilizado un umbral mínimo de velocidad del viento de $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, para eliminar el efecto de los vientos locales. Asimismo, se ha considerado una deriva de 10° , por ser la que visualmente ofrece una mejor adaptación a los elementos circundantes.

Se puede observar cómo el WAF tiene para la mayor parte del ángulo sólido estudiado ($250 - 355^\circ \pm 10^\circ$) una magnitud aproximada de 0,30, lo cual coincide con el valor del WAF si no se tienen en cuenta los valores nulos, indicando por tanto desde qué direcciones posee la masa una mayor *permeabilidad*. El aumento del 0,30 hasta el 0,35 a $320^\circ (\pm 10^\circ)$ se debe a la presencia de huecos; contrariamente a esto y a pesar del hueco existente, se observa una bajada del WAF hasta el 0,25 desde los 270° hasta los 250° , lo que puede indicar i) un efecto distinto entre los huecos aislados y los huecos con continuidad (como la continuidad con el cortafuegos que presenta el hueco del primer caso), ii) una disipación del valor del WAF debida exclusivamente a la inclusión del concepto de deriva o iii) una combinación de los dos casos anteriores (Figura 24).

Como efectos particulares observados a partir de las mediciones es necesario remarcar dos:

1. Entre los 350° y los 355° existe un pasillo de pies arbóreos debidos al patrón de la repoblación. En este pasillo se observa un fuerte incremento del WAF hasta casi el 0,47, con valores de velocidad del viento similares a los presentes en las zonas sin presencia de arbolado como es la LC. Se intuye por tanto un posible efecto de canalización del viento que puede llegar a hacer a algunos patrones de repoblación más susceptibles de ser dañados ante incendios forestales dominados por viento.
2. A los 180° respecto a la posición de la estación de medición, la masa es continua durante 150 metros. En esta misma dirección se tienen registros de viento que sugieren un valor del WAF de 0,3, igual que el observado en la dirección de la LC. Se sugiere de esto que los 30 metros de distancia entre el borde de la LC y la estación son suficientes como para alcanzar el coeficiente de fricción característico de la masa, es decir, como para encontrarnos fuera de la zona de transición afectada por el efecto borde. El efecto de los huecos detallado anteriormente sugiere que esta zona de transición se prolonga entre los 15 metros (distancia de la estación al hueco descrito) y los 30 metros (a los cuales se constata que este efecto se ha disipado).

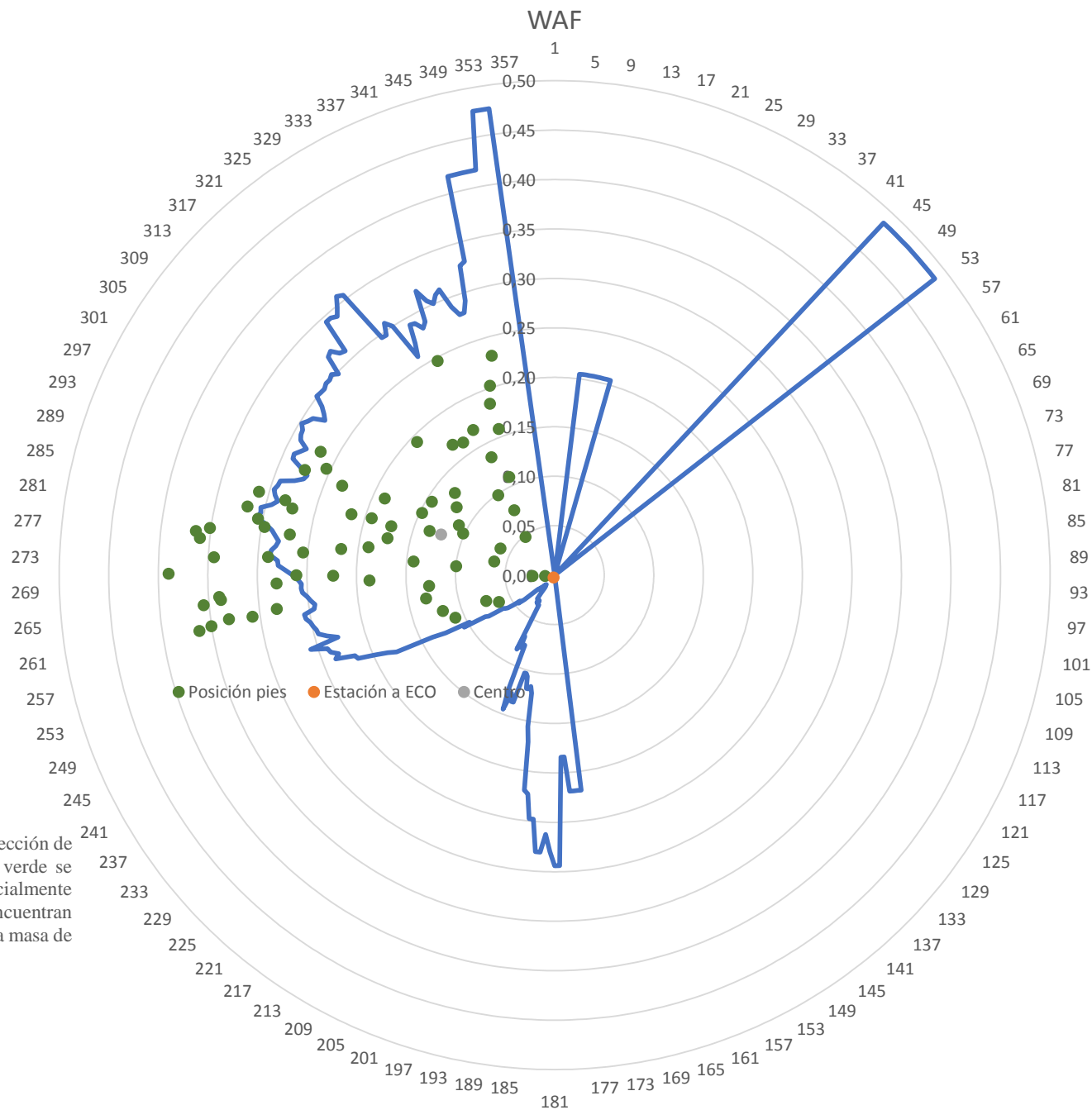


Figura 24. Valor del WAF en función de la dirección de procedencia del viento general en altura. En verde se observa la posición de los pies potencialmente influyentes en las mediciones. Los datos se encuentran centrados para la estación colocada dentro de la masa de la parcela nº 25. Fuente: elaboración propia.

Simulación del viento general

La simulación muestra un aumento de la velocidad del viento en las divisorias y sus cercanías debido a un efecto Venturi tanto mayor cuanto más ortogonal sea la divisoria respecto a la dirección del viento general. En los fondos de barranco se produce, por el contrario, una disminución de la velocidad del viento tanto mayor cuanto mayor sea la profundidad del barranco y la perpendicularidad de su recorrido respecto a la dirección del viento general. Cuando la divisoria es paralela a la dirección del viento general, este apenas sufre modificaciones en su velocidad, mientras que para los fondos de barranco dependerá de si la cota se encuentra en aumento o en decrecimiento (Figura 25). Esto recalca las condiciones extremas a las que se verán expuestas las IPD en las divisorias con orientación Norte-Sur, más aún teniendo en cuenta que el frente de llamas se encontrará en alineación también con la pendiente.

Dada la moderada suavidad de las vertientes de la Sierra de Los Filabres, no se aprecia la existencia de contravientos significativos en las divisorias que pueden llegar a aumentar la complejidad en la evaluación y diseño de las IPD. La dirección del viento no sufre apenas modificaciones respecto a la dirección del viento general a lo largo de la zona de estudio.

Los valores de la velocidad del viento esperables para las condiciones meteorológicas de diseño oscilan entre los $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en un fondo de barranco y los $54 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en algunas divisorias.

Se observan valores extremos de velocidad del viento (superiores a los $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) y ocurrencia de contravientos en la sección más occidental de la zona de estudio debido al efecto borde en la simulación. Estos valores, tanto más extremos cuanto mayor es la cota del punto, se deben a que el software entiende el inicio del DEM de la simulación como una *pared* vertical, por lo que el caudal de viento sufre en $t=0$ una reducción de sección superior a los 1.000 metros de cota. Dichas secciones deben de ser obviadas y sustituidas por los valores que han sido simulados para el resto del sistema (ANEJO IV - Figura 55).

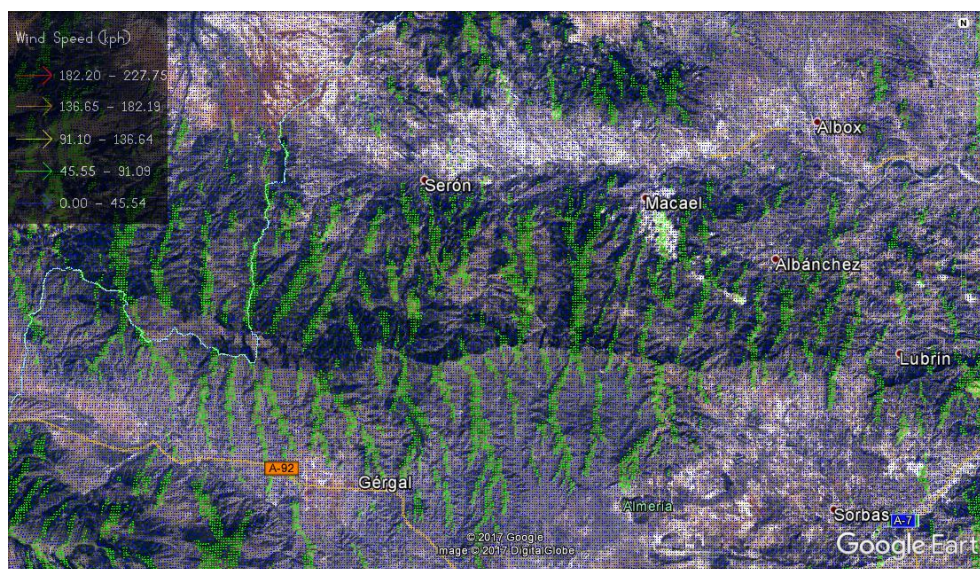


Figura 25. Resultados de la simulación de velocidades y dirección del vector viento para la zona de estudio mediante el software WindNinja. Fuente: elaboración propia.

Comportamiento del frente de llamas

Las distintas capas de información utilizadas en la determinación del comportamiento del frente de llamas para la zona de estudio con las condiciones meteorológicas de diseño pueden ser consultadas en las siguientes referencias (ANEJO II):

DEM	Figura 39
Pendiente (%)	Figura 40
Orientación (360°)	Figura 41
Mod. Comb. 13	Figura 42
Nivel de sombreado	Figura 44

Debido a lo extremo de las condiciones meteorológicas de diseño y a la orografía, cuyas pendientes favorecen la propagación, se espera un comportamiento altamente agresivo del frente de llamas.

La simulación de la longitud de las llamas (Figura 26) devuelve valores muy altos en aquellas zonas donde la velocidad del viento a media llama es muy elevada, siendo de bajos a muy bajos en las zonas arboladas. La existencia de valores extremos se debe a las causas de excepción explicadas en el apartado “Simulación del viento general”.

Un comportamiento muy similar puede observarse en las predicciones de la simulación de la intensidad lineal del frente de llamas (Figura 27), debido a la alta relación existente entre estas dos variables.

La velocidad de propagación superficial esperada (Figura 28) es aceptable y se encuentra dentro de la capacidad de extinción en aquellas zonas protegidas del viento, tendiendo a aumentar con la pendiente. Aquellas zonas de elevada pendiente o alta exposición al viento pueden llegar a presentar velocidades de propagación muy elevadas. Al ser esta una variable muy influenciada por la velocidad del viento, se ve especialmente afectada por las causas de excepción explicadas en el apartado “Simulación del viento general”.

El calor superficial (Figura 29) tiene un comportamiento similar a las variables anteriores, pero presenta una menor proporción de valores extremos.

En general, se puede afirmar que la distribución espacial de los valores normalizados para las distintas simulaciones realizadas es muy similar, indicando el potente efecto mitigador de las masas arboladas sobre las variables de propagación tanto por su efecto de rozamiento sobre las masas de aire como por su inhibición del crecimiento del combustible superficial debido al sombreado y la complejidad presente en el caso contrario: en aquellas zonas desprovistas de cubierta arbórea y situadas en divisorias.

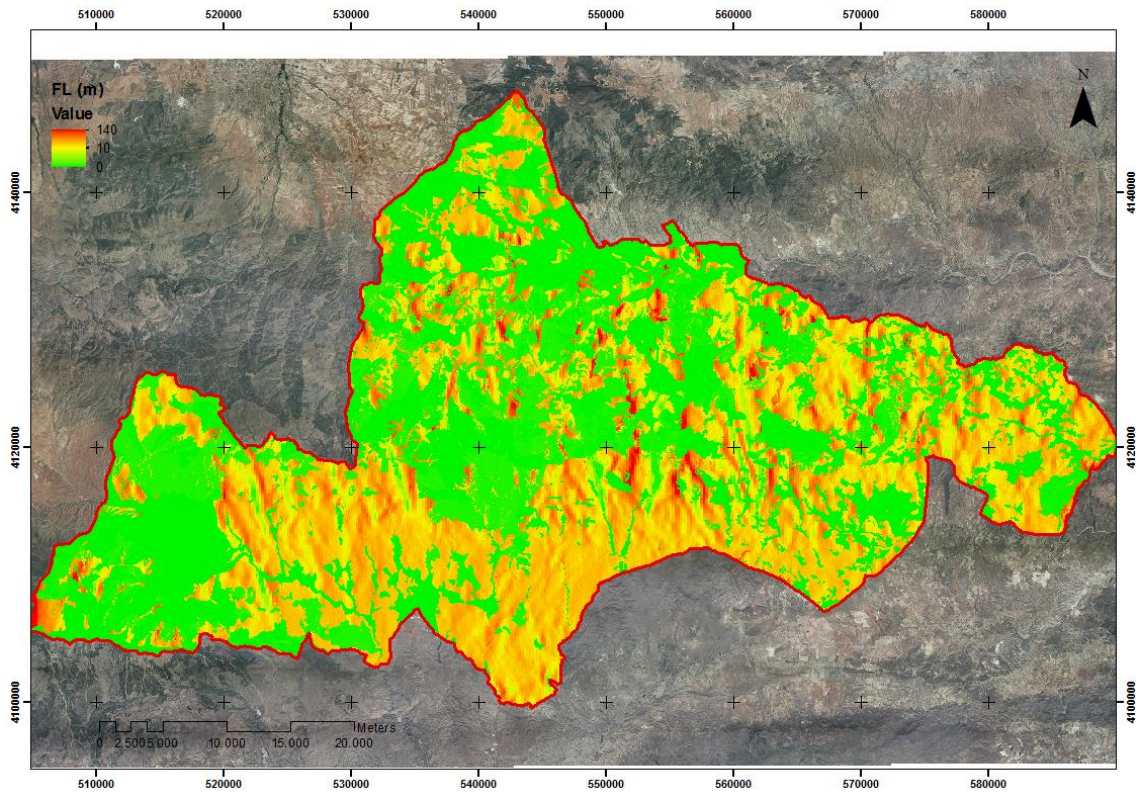


Figura 26. Resultados de la simulación en FlamMap para la longitud de llama (m). Fuente: elaboración propia.

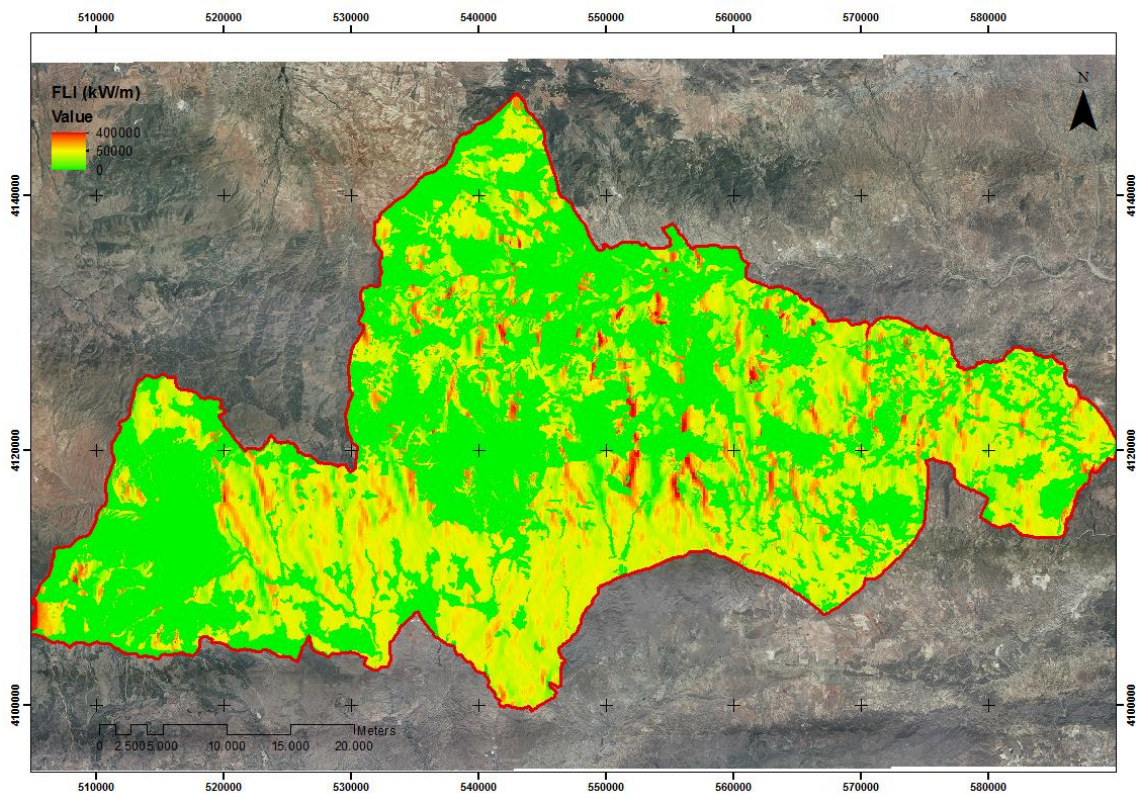


Figura 27. Resultados de la simulación en FlamMap para la intensidad por longitud de frente de llama(kW/m). Fuente: elaboración propia.

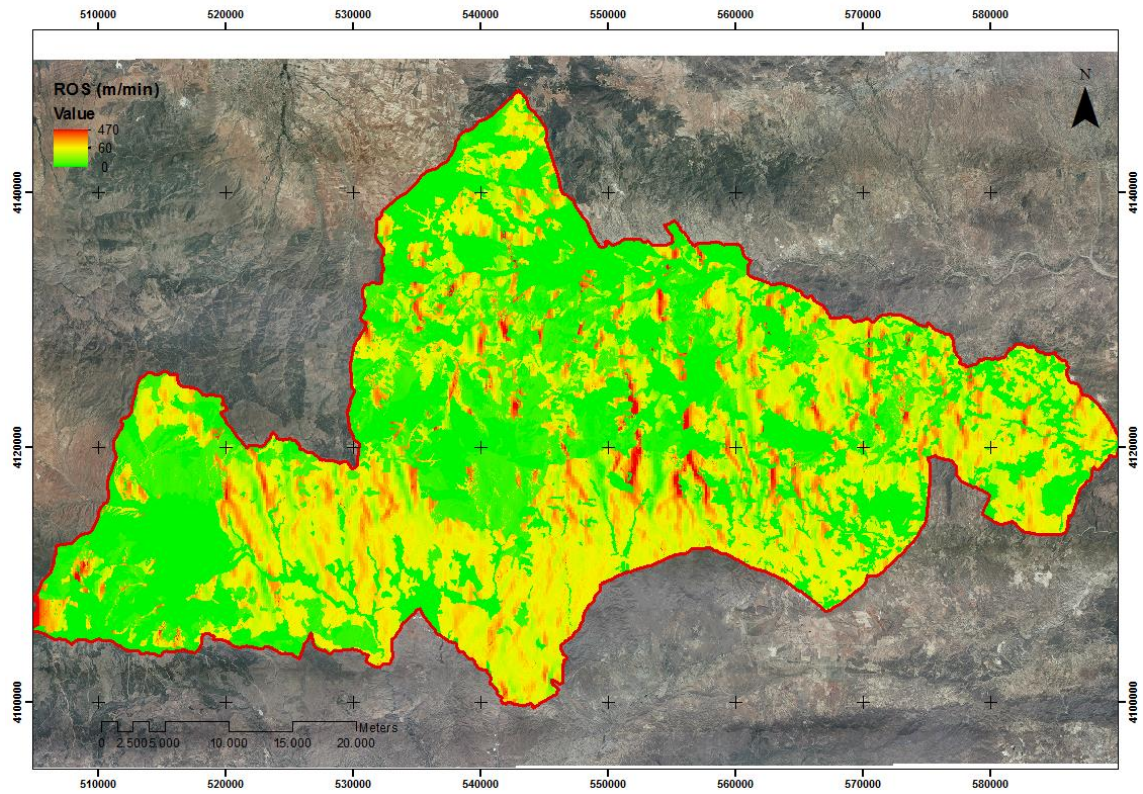


Figura 28. Resultados de la simulación en FlamMap para la velocidad superficial de propagación (m/min). Fuente: elaboración propia.

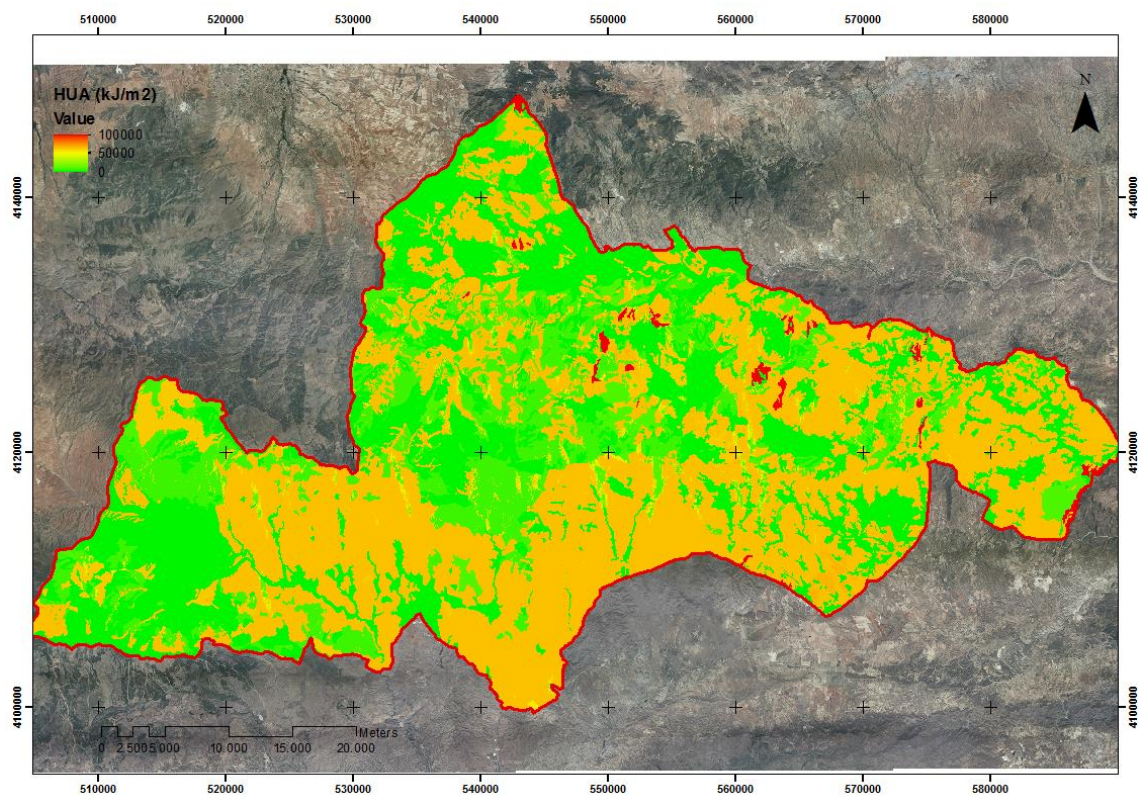


Figura 29. Resultados de la simulación en FlamMap para el calor por unidad de área (kJ/m²). Fuente: elaboración propia.

Distribución espacial de las especies

El 3IFN aporta, con los datos recogidos en cada una de las parcelas presentes en la zona de estudio, información útil y necesaria para el análisis predictivo de los incendios forestales en el entorno de la Sierra de Los Filabres, permitiendo complementarse con datos del 2IFN. En total existen 374 parcelas inventariadas por el 3IFN en la zona de estudio (ANEJO IV - Figura 57).

La asignación de esta información puntual a los polígonos que representan a las distintas masas naturales (ANEJO IV - Figura 58) se ha realizado por un criterio de cercanía espacial filtrando por especies, asegurando de esta manera que las características asignadas se corresponden con la naturaleza del polígono. Esto implica, no obstante, una cierta generalización obvia para el análisis a grandes escalas espaciales pero en ocasiones significativo cuando se trabaja en detalle.

Humedad del combustible vivo aéreo

Los datos de humedad aportados por el Servicio de Extinción de Incendios Forestales de la provincia de Almería (Tabla 4; ANEJO IV - Figura 56) muestran valores de humedad considerablemente bajos para el combustible aéreo de más de un año, lo que favorece la transición del fuego de superficie a fuego de copas.

Es de destacar que el análisis de la humedad contemplando el verano del año 2016 tuvo como objetivo trabajar con un margen de seguridad, al añadir a las restrictivas condiciones meteorológicas de diseño la condición de haber sido un *año hidrológico seco*.

Tabla 4. Valores de humedad en base seca para las distintas especies de coníferas presentes en la zona de estudio en el verano del año 2016. Fuente: Servicio de Extinción de Incendios Forestales de la provincia de Almería.

Especie	Humedad
<i>P. sylvestris</i> umbría	120%
<i>P. sylvestris</i> solana	111%
<i>P. nigra</i> umbría	100%
<i>P. nigra</i> solana	85%
<i>P. halepensis</i> umbría	80%
<i>P. halepensis</i> solana	85%
<i>P. pinaster</i>	100% *

Es palpable el efecto que ejerce la exposición sobre la humedad foliar, apreciándose diferencias de hasta un 15% entre las masas en solana y las masas en umbría. Es interesante resaltar también el comportamiento de las masas de *Pinus halepensis*, las cuales presentan un 5% más de humedad en la solana que en la umbría, de modo contrario al del resto de las masas del género *Pinus* presentes en la zona de estudio. Este es uno de los factores que demuestran su resistencia y su papel clave en el futuro de cambio

climático para la zona de estudio. (*) Para las masas de *Pinus pinaster* se ha utilizado un valor de humedad conservador, del 100%.

Altura de la base de la copa

La altura a la base de la copa (CBH) se puede consultar en la Figura 59. Las zonas sin valores se corresponden a zonas desarboladas.

Es necesario indicar que la altura a la base de la copa se ve mermada por la altura del combustible superficial, de este modo, aquellos modelos de combustible que presenten vegetación abundante bajo el dosel arbóreo se ven mucho más expuestos antes el fenómeno del fuego de copas, aunque es necesario tener aquí en cuenta el efecto de rozamiento con el viento.

Densidad aparente de copas

La densidad aparente de copas (CBH) presenta valores claramente mayores en los pisos altitudinales más elevados, correspondientes en su mayoría a la especie de *Pinus sylvestris*, aunque también presentan una alta densidad aparente ciertos rodales de *Pinus nigra* y en menor medida *Pinus pinaster*. Esto es debido al mayor porte de las masas presentes en estos pisos debido a unas condiciones climáticas más favorables. Las masas de *Pinus halepensis*, por el contrario, presenta una densidad aparente considerablemente menor debido en su mayoría a las menores densidades que presentan estas masas en los pisos inferiores (Figura 60).

Intensidad Crítica Superficial

En el presente estudio, tal como se indicó en la metodología, no se ha trabajado directamente con el concepto de Intensidad Crítica Superficial (ISO) sino con el concepto de altura crítica a la base de la copa (CBH_c) (Figura 30).

En esta se puede apreciar cómo, en la mayoría de las zonas arboladas, la altura crítica es de muy baja, oscilando entre los 0,2 y los 2 metros debido a la baja intensidad superficial esperada. En las masas menos protectoras respecto al viento, la CBH_c asciende hasta valores medios (~3 m).

Las zonas con mayores valores de la CBH_c se corresponden a zonas no arboladas, por lo cual no son significativas de cara a los incendios de copa. Los valores más extremos (hasta 870 metros) se corresponden a los fallos debidos al efecto borde en la simulación de la velocidad del viento.

Velocidad Crítica de Propagación

La velocidad crítica de propagación (RAC) (Figura 31) es mayor cuanto menor es la densidad aparente de las copas, indicando de este modo cómo los realces de copa o las claras favorecen la propagación no activa por copas del frente de llamas. Este tipo de tratamientos han de realizarse teniendo en mente las posibles matorralizaciones de las parcelas.

Las zonas que presentan un menor valor de velocidad crítica de propagación se corresponden con aquellas masas más frondosamente arboladas y por tanto, con una mayor densidad aparente de copas. Esto es más frecuente en los pisos superiores, dominados por *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*.

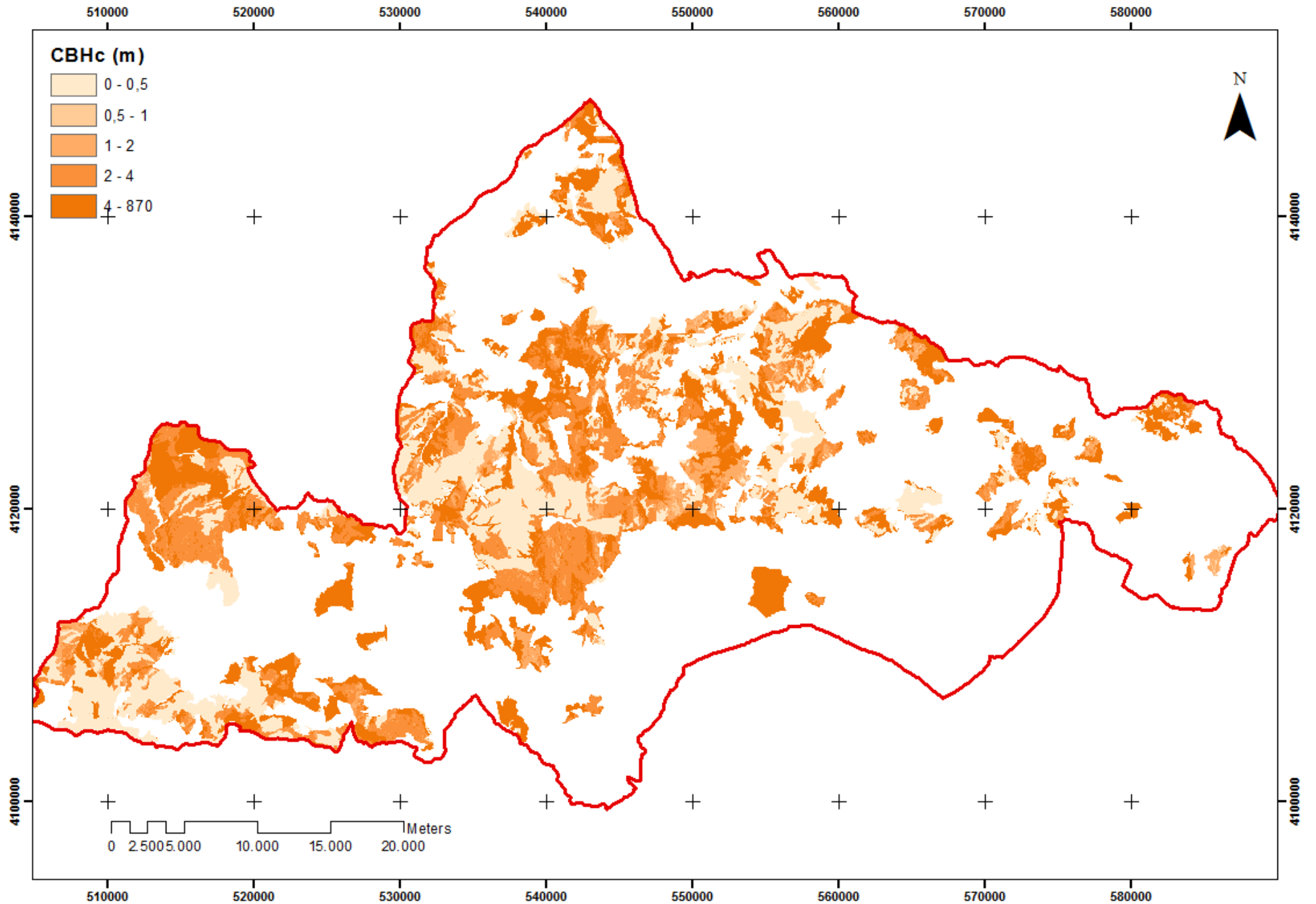


Figura 30. CBH crítica. Fuente: elaboración propia.

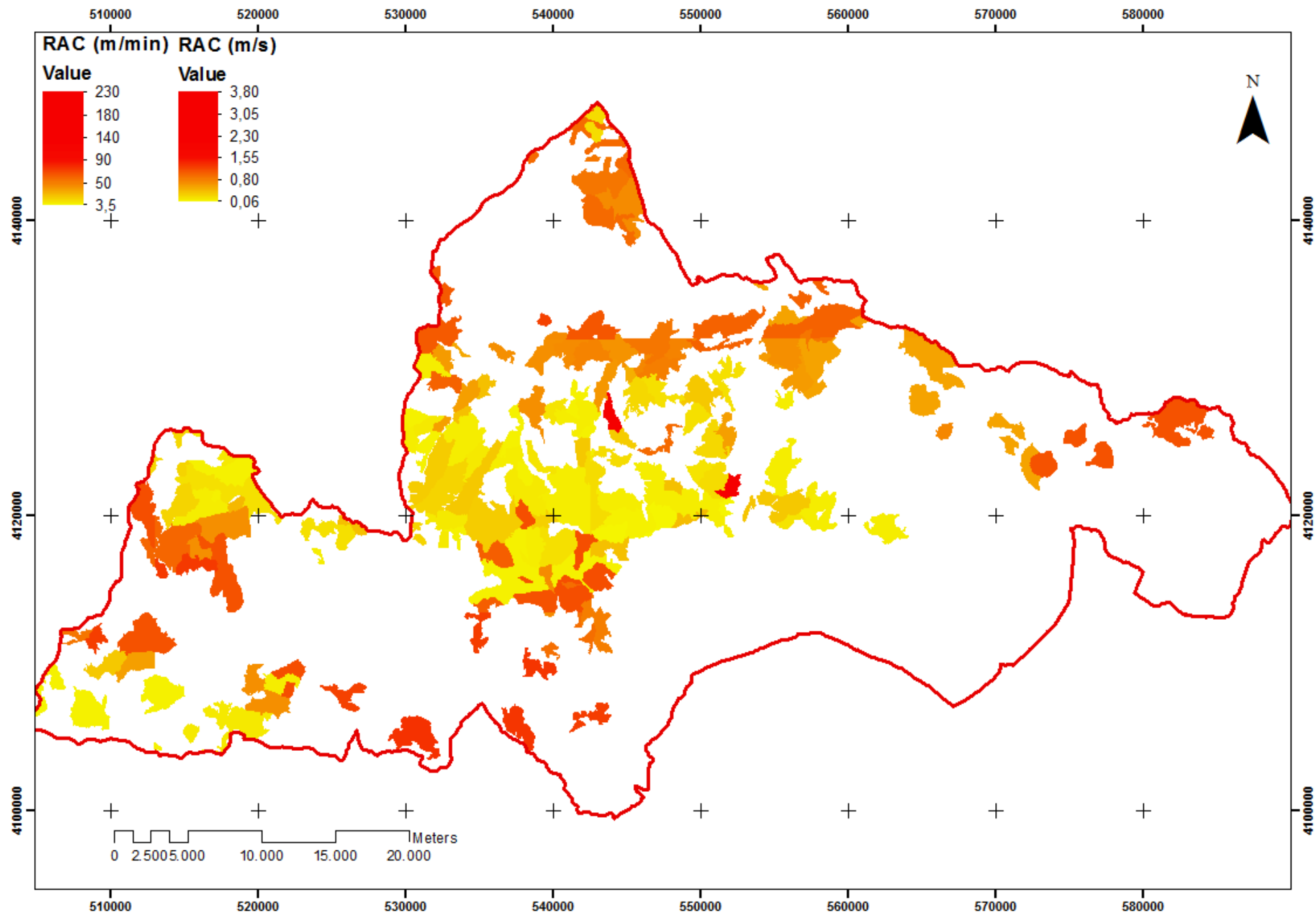


Figura 31. Velocidad de propagación superficial crítica. Fuente: elaboración propia.

Tipo de carrera de fuego

En la Figura 45 (ANEJO II) se pueden distinguir aquellos polígonos de la zona de estudio que no son combustibles de aquellos que sí lo son. Dentro de los polígonos combustibles, únicamente los arbolados son susceptibles de sufrir fuego de copas.

En primer lugar se testó la subida del fuego a copas (Figura 32), ocurriendo este fenómeno cuando la intensidad desprendida por la combustión en superficie era suficiente como para que el combustible presente en la base de las copas se deshiciese de su humedad, expulsase Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC's) inflamables y estos entrasen en ignición. En algunos polígonos no se poseía la información suficiente como para determinar si el frente de llamas se propagaría o no por las copas de los árboles, principalmente por falta de información en cuanto a la altura de la base de la copa se refiere.

Del análisis de la Figura 32 se puede apreciar cómo en la mayor parte de las masas de *Pinus sylvestris* el frente de llamas no es capaz de desprender la suficiente energía como para producir la ignición de las copas. Las masas de *Pinus pinaster* son más susceptibles a la subida del fuego, pero aun así presentan gran variabilidad, con alternancia de parcelas con fuego de copas y parcelas con fuego de superficie. Las masas de *Pinus nigra* y las de *Pinus halepensis* son las más favorables a la ocurrencia de fuegos de copa, aunque existen parcelas de estas especies con una propagación exclusivamente superficial del fuego.

A pesar de estos cálculos, la determinación de la ocurrencia del fenómeno de subida del fuego desde la superficie hasta la copa de los árboles está sujeto a error, pues es en la realidad un proceso muy complejo dependiente de multitud de variables, por ello se ofrece en la Figura 34 un índice de probabilidad de error; en este índice, valores bajos indican una alta fiabilidad del resultado, mientras que valores altos indican una probabilidad clara de que dicho fenómeno no ocurra como ha sido predicho.

En la Figura 33 se muestra el tipo de comportamiento que tendría el fuego por copas, independientemente de si el fuego superficial es o no capaz de ascender hasta el dosel arbóreo. Este mapa es útil en tanto en cuanto se tenga en cuenta la probabilidad de error en la determinación de la subida del fuego a copas.

En términos generales se puede indicar que el comportamiento del fuego de copas no se debe tanto a la especie arbórea como a las condiciones superficiales, siendo predominante el fuego pasivo de copas (de suceder) al activo. Aun así, sí que es destacable la predominancia del fuego pasivo en las masas de *Pinus halepensis*.

Al igual que para el caso de la subida del fuego a copas, se ha elaborado un índice de probabilidad de error en cuanto al tipo de carrera por copas, consultable en la Figura 35. Valores bajos indican una alta fiabilidad del resultado, mientras que valores altos indican una probabilidad elevada de observar un fenómeno distinto al predicho.

El mapa de comportamiento del frente de llamas por copas en base a la determinación de subida puede consultarse en la Figura 36. En este, se aprecia una notable reducción de la superficie afectada por fuego pasivo de copas, viéndose el fuego activo alterado en mucha menor medida.

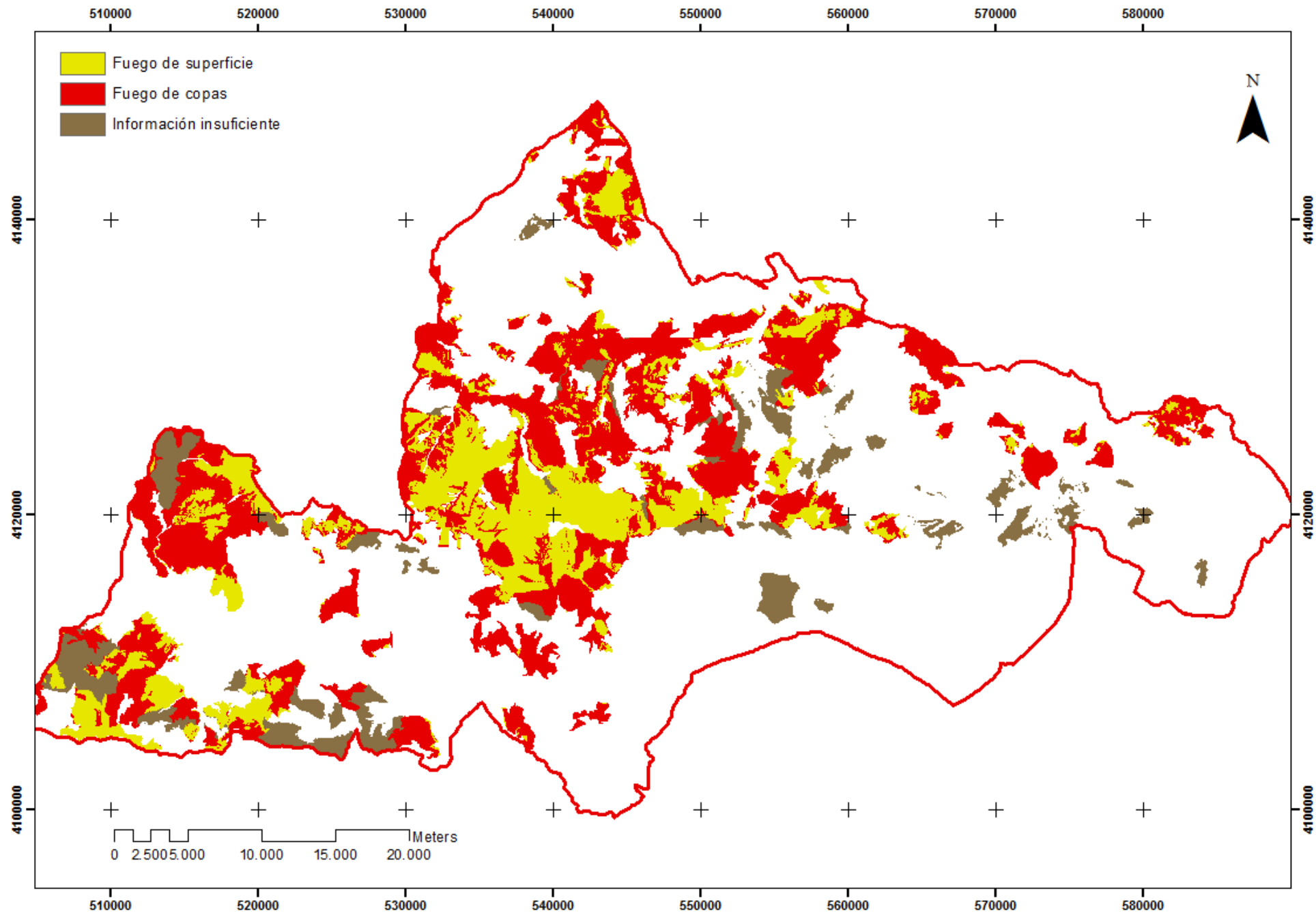


Figura 32. Comportamiento del frente de llamas en cuanto a si se produce o no subida al dosel arbóreo. Fuente: elaboración propia.

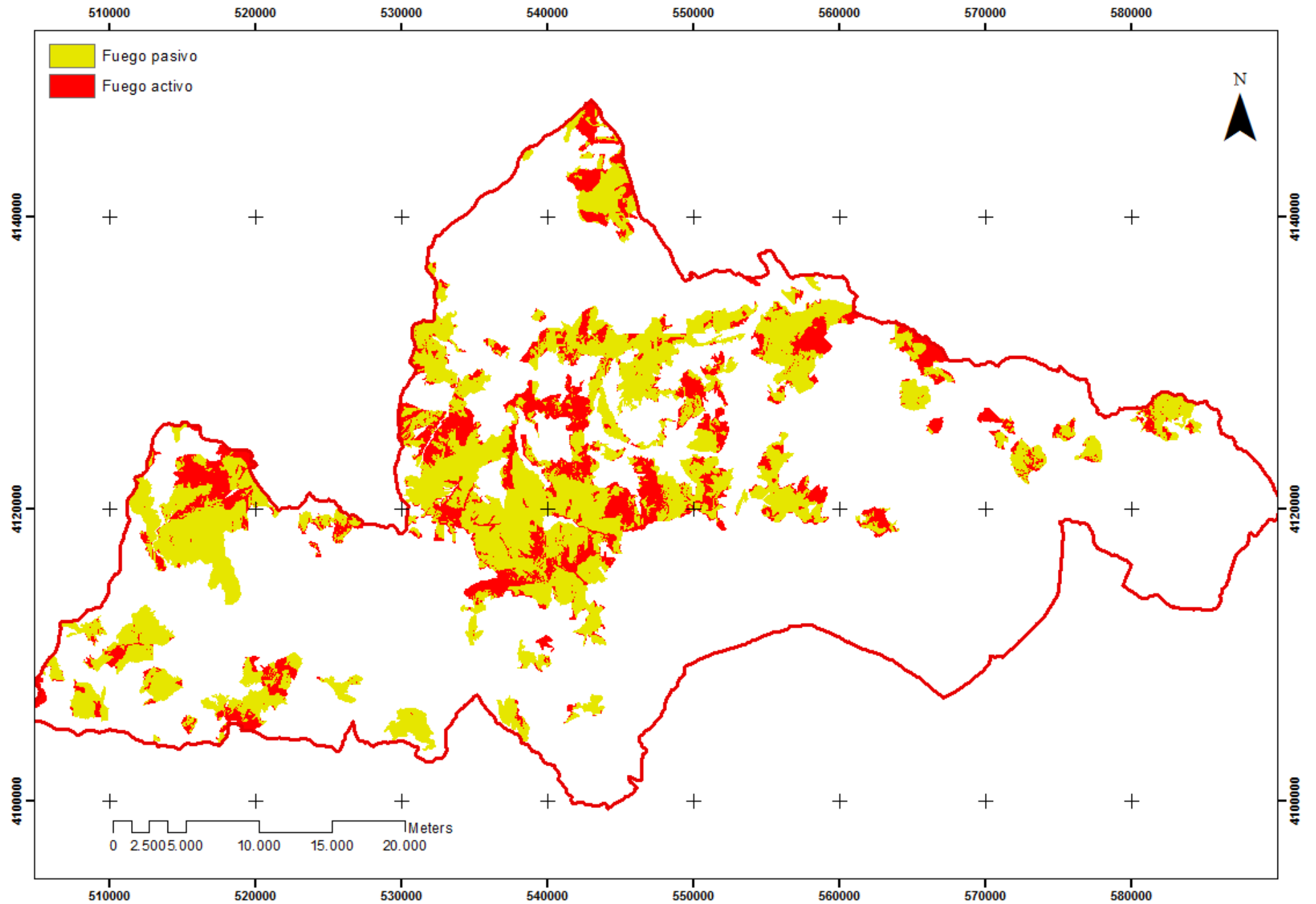


Figura 33. Comportamiento potencial del fuego por el dosel arbóreo. Fuente: elaboración propia.

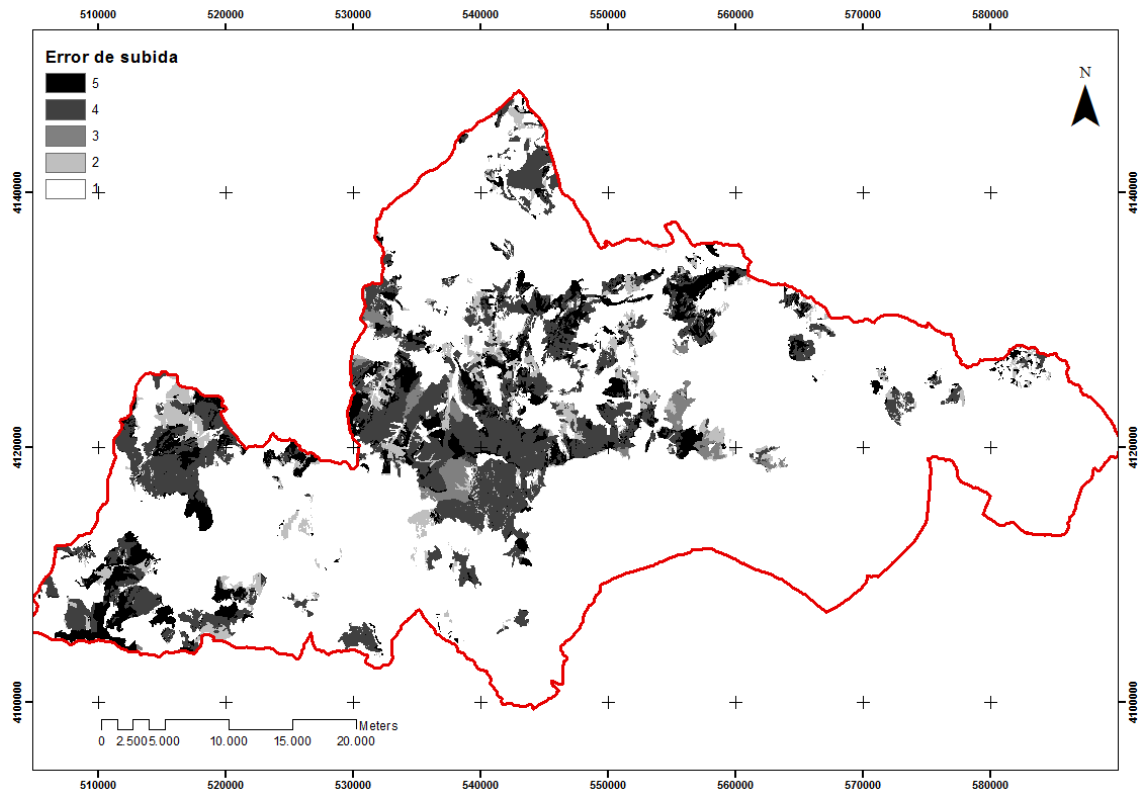


Figura 34. Nivel de probabilidad de error en la determinación de la subida a copas del frente de llamas. Fuente: elaboración propia.

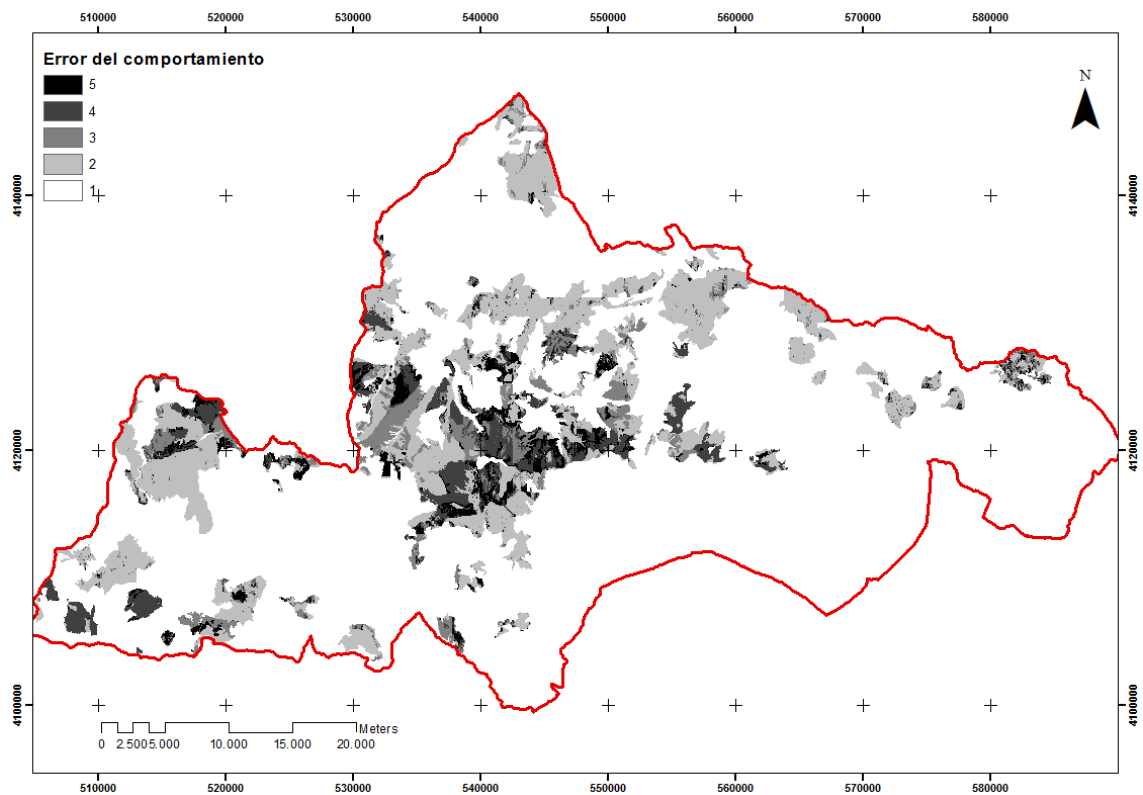


Figura 35. Nivel de probabilidad de error en la determinación del tipo de comportamiento por copas del frente de llamas. Fuente: elaboración propia.

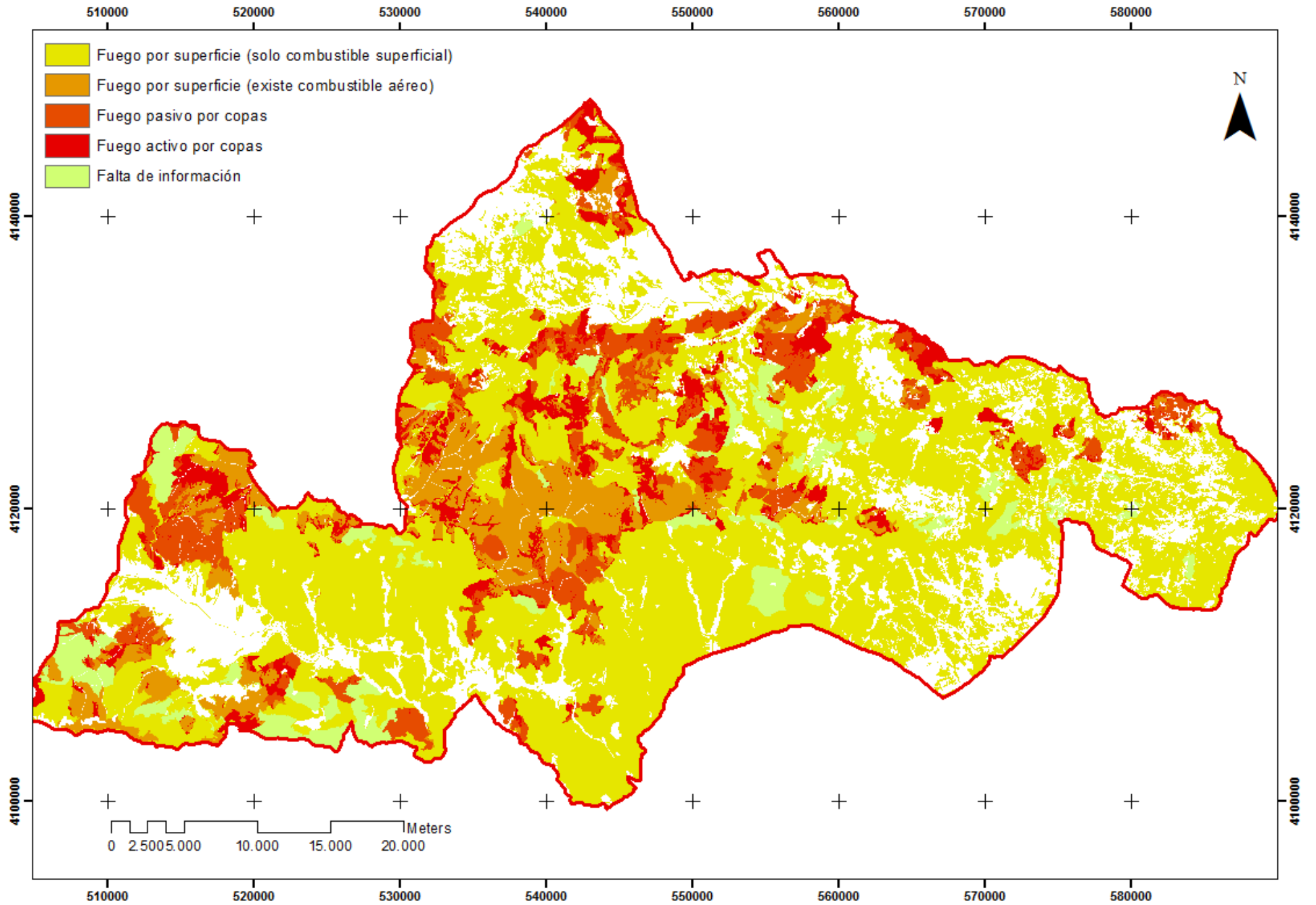


Figura 36. Mapa de tipos de propagación esperada del frente de llamas en condiciones meteorológicas de diseño. Fuente: elaboración propia.

Actuaciones preventivas

De los 84 de Tramos Dinámicos presentes en la zona de estudio, priorizados en el trabajo previo de Muñoz et al. (2017), se ha seleccionado el tercio de mayor importancia (28 TD), buscando el punto óptimo en el cual se reduce el coste ratio-beneficio (Rodríguez y Silva et al., 2010) (ANEJO IV - Figura 61).

Consideraciones generales

El criterio de seguridad (Figura 37) se ve muy influenciado por el tipo de propagación del frente de llamas, dando lugar a distancias de seguridad muy elevadas en el caso de los fuegos de copa, que se ven a su vez acrecentadas por la orografía de la zona de estudio y la velocidad del viento, que entra en la categoría de fuerte (Tabla 1) en la mayor parte de la zona de estudio, presentando valores bajos tan solo en las zonas más protegidas.

De la comparación entre la distancia de seguridad y la distancia al eje de las IPD se ha obtenido un mapa de las zonas que afectan directamente a la seguridad de los combatientes en las IPD (Figura 38). Estas zonas de influencia serán por tanto sobre las que haya que actuar o ejercer un mayor control de cara a la seguridad operacional.

La anchura de estas zonas de influencia se encuentra dentro de unos límites razonables en aquellos casos donde la propagación esperada sea por superficie; sin embargo, en algunos de los casos en los que se produce una propagación por copas (activa o pasiva), la anchura calculada adquiere valores muy elevados (>500 m) que son incompatibles con un correcto mantenimiento de la red de infraestructuras preventivas de defensa por lo elevado del coste; es por ello que se ha limitado a un máximo de 200 metros la anchura a tratar.

De un modo general se han establecido para estas zonas de influencia la disminución de la CBD (ANEJO IV - Figura 63) y el aumento de la CBH (ANEJO IV - Figura 62) necesarios para evitar los fuegos activos y pasivos por copas, aunque las actuaciones finalmente propuestas se han adaptado a cada uno de los casos particulares analizados en el apartado “Casos detallados”.

Dichas actuaciones, aunque adaptadas a cada caso particular, siguen un esquema similar cuando la situación previa sea comparable.

El escenario más óptimo lo constituyen aquellas masas arboladas con alta FCC y baja carga de combustible superficial donde no se espera una propagación por copas y donde además sea posible trabajar con facilidad bajo la masa (*v.gr.* el modelo de combustible HR5). Estas masas no solo permiten el trabajo con seguridad y comodidad por parte de los medios de extinción, sino que generan una baja longitud de llama que simplifica el diseño de las IPD y suponen un *colchón de pavesas* que dificulta el inicio de los focos secundarios y permite su rápido combate una vez que estos se han iniciado. El problema en estas masas puede aparecer, precisamente, en el borde de las mismas LC, al producirse aquí la puesta en luz de la masa y una mayor facilidad a la entrada del viento.

Esta solarización puede provocar la entrada de un sotobosque que fomente un modelo distinto de combustible que dé lugar a una subida a copas justo en el borde de la masa. Por ello estas zonas límite se deben de vigilar con mayor atención, pues en caso contrario esta estrecha franja puede ocasionar la ineficacia de toda la IPD.

A esto se suma la mayor facilidad a la entrada del viento, que pasa de valores de rozamientos normales en el interior de la masa ($0,05 < WAF < 0,30$) a valores normales de la LC ($WAF \sim 0,50$), fenómeno que ha de tenerse en cuenta al calcular el realce de las copas. Estos realces de las copas, si son realizados de manera generalizada, pueden dar lugar en algunos casos, como en las divisorias, (v.gr. el caso de la parcela nº 25) a una significativa reducción del rozamiento ($WAF 0,10 \rightarrow 0,30$) que por un lado dará lugar a una mayor intensidad del frente de llamas (derivado de \uparrow ROS) y por otro alejará a la llama del dosel arbóreo (\uparrow inclinación de la llama), dificultando de este modo la transición del fuego a copas. Cabe mencionar aquí el caso de la parcela nº 31, donde por la ausencia de tratamientos de realce de copas, su posición a media ladera y la existencia de un desnivel entre la base de la LC y de la parcela, se consiguió una masa de baja carga superficial, alta CBH y WAF excepcionalmente bajo.

Cuando se espera una carrera (sea activa o pasiva) por copas pero la masa presente una alta continuidad horizontal (alta FCC) se tratará de llevar a cabo una conversión del modelo de combustible hasta construir un escenario similar al del caso anterior. Cuando esta subida a copas se deba a una alta carga del combustible superficial muerto (modelos de combustible de hojarasca y restos), el tratamiento irá destinado a reducir la carga superficial sin mayor consideración, pero cuando esta subida a copas se vea influenciada por la presencia de un sotobosque potente (modelos de hojarasca, pasto y matorral), pesará en la decisión del modo de eliminación de la cubierta vegetal superficial qué técnicas y frecuencias de tratamiento dificultarán la reintroducción del matorral, siendo aquí la alta FCC un importante apoyo. En caso de decidirse, además, la eliminación de los pies menores que puedan fomentar la disposición en escalera del combustible, se hará procurando una baja disminución de la FCC que asegure su pronta recuperación. Se habrá de tener en cuenta, además, la disposición de los pies remanentes, pues se ha observado cómo la presencia de *pasillos* ocasionados por el marco regular en que se realizó espacialmente la repoblación puede fomentar la creación de flujos de aire que aceleren la propagación y ayuden en la subida a copas del frente de llamas.

Con la intención de separar a las zonas con dosel arbóreo tratadas para impedir el fuego de copas de aquellas zonas no tratadas, se ha propuesto la construcción de LC secundarias que ocasionen una discontinuidad en el combustible, impidiendo la continuación de una carrera por copas (cuando a ambos lados exista masa arbolada) o una subida por el combustible en escalera (cuando a un lado haya presencia de matorral y al otro arbolado tratado). Dichas LC serán perimetrales a la zona tratada, procurando utilizar, siempre que sea posible, infraestructuras o particularidades del territorio que maximicen la utilidad y minimicen los costes de mantenimiento.

En aquellos casos donde se espere una subida al dosel arbóreo, pero la FCC sea baja, no es posible conseguir rápidamente ni un modelo de combustible fácil de automantener ni un modelo de combustible con la misma resistencia al paveseo que en los casos anteriores. Si el estado de dicha masa hace suponer que pueda alcanzar un grado de evolución similar al de los casos anteriores en el futuro cercano, se optará por trabajar en ella reduciendo la carga superficial y realizando las copas hasta que la masa se cierre de forma natural; aunque este tratamiento supone una mayor frecuencia de intervenciones durante los primeros años, esta frecuencia disminuirá una vez que la estructura se asemeje a la

descrita en los dos primeros casos, por lo que resultará rentable a medio plazo. Aquí el empleo de quemas prescritas puede ser una opción para su mantenimiento dentro de unos costes asumibles en un plan quinquenal a nivel provincial.

Si por el contrario no se espera dicha evolución en el futuro cercano, se propondrá la creación de un APD colindante a la LC en la cual no sea posible la propagación por copas ($\uparrow z$ y $\downarrow CBD$ hasta $0,10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) y su complementación con una BCS de anchura igual o superior al doble de la altura de la vegetación en la zona sin tratar (Rodríguez y Silva, 2014). La anchura del APD será la suficiente como para permitir el trabajo con seguridad en, al menos, la mitad opuesta de la LC. Dicha anchura ha sido contrastada considerando a la transmisión de calor por convección como un tercio de la transmisión por radiación.

Si se espera una propagación por superficie en un modelo no arbolado, las actuaciones irán encaminadas a mantener la anchura adecuada de la IPD mediante el mantenimiento de la LC y la creación de una BCS.

El principal problema que se presenta es que estas estructuras son adecuadas para detener el avance del frente de llamas debido a los mecanismos de transmisión del calor por radiación y por convección, pero no es así para la propagación por focos secundarios. Estos focos secundarios, que se van a ver, además, favorecidos a grandes distancias por la alta velocidad del viento, no constituirán una amenaza grave cuando se prevea su caída sobre modelos poco agresivos, como puede ser el modelo HR5, más aún si existe facilidad en el acceso como el que pueden garantizar las vías de saca; resulta, por tanto, de vital importancia la compatibilización de los aprovechamientos forestales en la zona de influencia de las líneas y áreas preventivas de defensa, manteniendo modelos poco virulentos, ya sea por aprovechamientos ligeros destinadas a impedir la entrada de matorral y viento; bien sea con aprovechamientos más agresivos pero con un mantenimiento periódico, siempre asumiendo los elevados costes que esta opción conllevaría

Cuando el modelo presente en la zona de caída de pavesas sea distinto a los anteriormente descritos, se procurará la creación y mantenimiento de estructuras en las cuales los combatientes puedan actuar con seguridad a sotavento de las LC, pero en muchos casos y tal como se ha comentado anteriormente, este requisito puede ser inviable cuando se espere una elevada distancia de recepción de pavesas (*v.gr.* 500 metros).

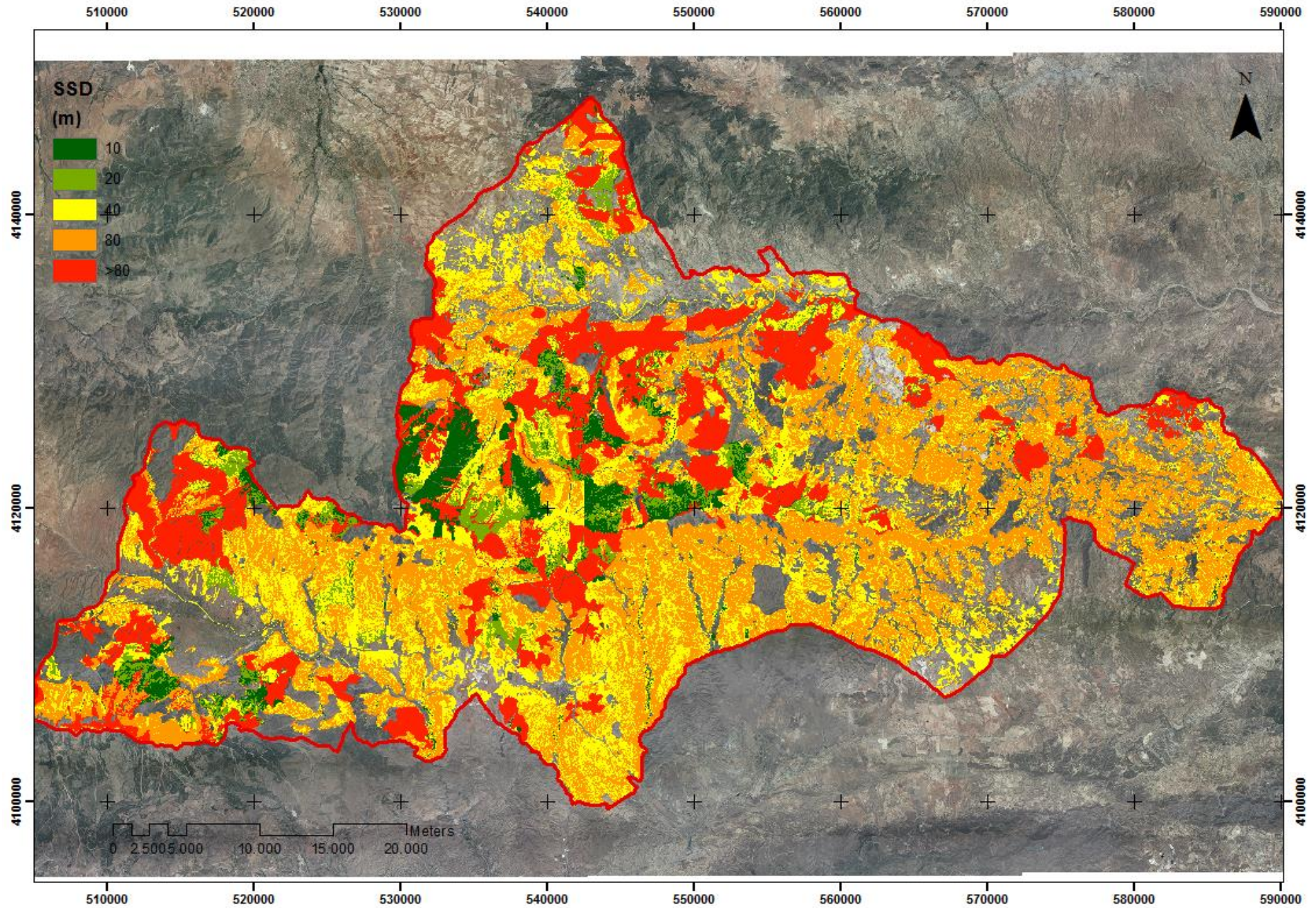


Figura 37. Distancias de seguridad por píxel (metros). Fuente: elaboración propia.

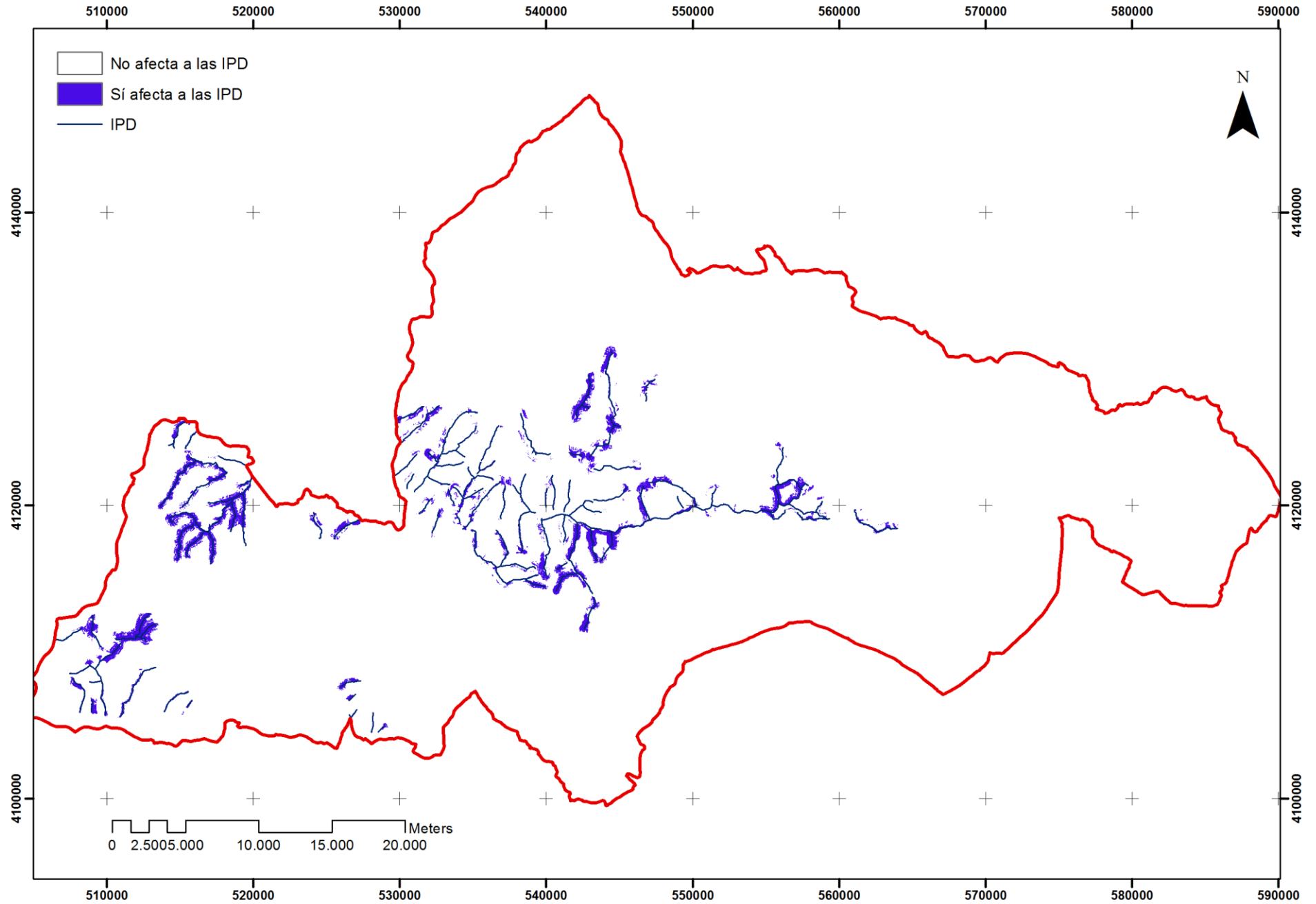


Figura 38. Zonas donde se prevé un efecto de la llama sobre la seguridad de los combatientes en la IPD más cercana. Fuente: elaboración propia.

Casos detallados

A continuación, se exponen las actuaciones propuestas a realizar en aquellos TD prioritarios (ANEJO V):

1. 10065LC02

Ficha 1

Esta IPD presenta una estructura bastante homogénea del combustible tanto a barlovento como a sotavento, correspondiéndose a un modelo M7. Aun así, el mayor porte de los pies arbóreos en el tercio superior de la IPD podría hacer pensar en un modelo HPM de baja FCC. Su dirección, perpendicular al avance de un potencial frente de llamas, hace que deba testarse ante comportamientos de cabeza.

La pendiente oscila alrededor del 20% y la velocidad del viento esperada ronda los 40 km·h⁻¹. La longitud de llama esperada en la zona sin tratar se ha simulado en 17 metros, necesitando una anchura de IPD de al menos 50 metros para asegurar la contención de la propagación por radiación y convección, mayor a los 30 metros de la LC presente.

Para asegurar la capacidad resistiva de la IPD se propone en los dos tercios inferiores la construcción de una BCS de una anchura igual a 20 metros a barlovento de la LC y de 5 metros a sotavento en la que tenga lugar una descarga continua del combustible. En esta BCS se hará hincapié en la limpieza de la base de los pies arbóreos (incluido un posible realce de copas) con objeto de impedir las subidas puntuales a copas en las cercanías a la LC.

El tercio superior presenta una mayor complejidad debido al aumento del arbolado, por lo que se va a hablar de una APD en lugar de tan solo una BCS, proponiéndose una clara de los pies menores y un realce de las copas de los pies mayores en 25 metros a cada lado de la LC.

Con estos tratamientos se cubre a su vez la zona más inmediata de caída de pavesas, aunque estas son esperables a 400 metros de distancia, lo que supone una superficie demasiado amplia como para ser correctamente mantenida, razón por la cual se potencia el mantenimiento de la zona inmediatamente colindante.

2. 10021LC11

Ficha 2

Esta IPD presenta una LC de 40 metros de anchura; además presenta de forma dispersa en su recorrido -pero más concentradas en su tercio central – zonas adyacentes desarboladas y con una baja carga de combustible superficial. Las pendientes rondan el 20% y velocidad del viento los 35 km·h⁻¹. El modelo de combustible es un HPM3 compuesto por *Pinus sylvestris* en las cotas más altas y *Pinus nigra* en las más bajas.

Se espera una propagación por superficie, pasando el frente de llamas bajo el dosel arbóreo, pero con un problema de focos secundarios, que se esperan a distancias de hasta 350 metros.

No se propone por tanto ninguna actuación sobre la IPD, que queda constituida por la LC sin necesidad de la construcción de otro tipo de estructuras. La presencia de numerosas

vías de saca en el modelo HR5 presente a sotavento permite una actuación de los medios de actuación sobre los posibles focos secundarios.

3. 10065LC01

Ficha 3

Esta IPD está rodeada a ambos lados por masas de *Pinus nigra* en las que se espera un fuego activo y pasivo de copas. A lo largo de su recorrido se pueden llegar a distinguir diversos modelos de combustible a barlovento y sotavento que no presentan, aun así, grandes diferencias. La pendiente ronda el 20% y el viento los 40 km·h⁻¹, llegando a esperarse hasta 50 km·h⁻¹ en las zonas más bajas.

La anchura de la LC es de 20 metros, proponiéndose su ampliación a 30 metros en la primera. Esta ampliación se realizará a sotavento en el tercio superior, con el objetivo de hacer transitable por los vehículos la zona más alejada del potencial frente de copas. A continuación de la LC se propone la construcción de una APD de 60 metros a barlovento.

La baja FCC y la matorralización del lado a sotavento impiden la creación de un colchón efectivo contra focos secundarios, que pueden caer a distancias de hasta medio kilómetro.

4. 10021LC13

Ficha 4

Esta IPD ocupa parte de la cuerda de la Sierra de Los Filabres, dividiendo a la solana – desprovista de arbolado con un modelo de combustible PM1 – de la umbría, que mezcla modelos de combustible arbolados HR5, HPM3 y HPM5.

Se espera, en base a las simulaciones realizadas y a los incendios previos, que tenga que contener en un mayor número de casos a incendios que provengan de la cara sur, es decir, incendios que se propaguen por superficie. Dado su eje principal de poniente a levante, se esperan para las condiciones meteorológicas de diseño, impactos de frente de llama que se corresponden más a flanco que a la propia cabeza. No por ello se pueden descartar los incendios topográficos que puedan ocurrir en condiciones distintas a las de diseño.

La pendiente ronda el 30% y la velocidad del viento de poniente los 47 km·h⁻¹ por el efecto de la divisoria; esta alta velocidad prevista del viento puede dar lugar a subidas a copas justo en los bordes de las masas de la cara norte.

La simulación de la propagación por la cara sur advierte de un problema derivado únicamente por los focos secundarios, esperables en unos 165 metros, siendo la longitud de la LC actualmente construida (30 metros) suficiente para la contención directa del frente de llamas.

Para la contención de dichos focos se muestra muy útil la masa al norte en modelo HR5, actuando como un colchón para las pavesas dentro del cual se puede, además, actuar debido a la propagación esperada únicamente por superficie con longitudes bajas de llama. El problema en este modelo HR5 se puede presentar en sus zonas límite, donde es esperable una entrada del matorral que pueda producir igniciones en la copa de algunos pies. Por ello se propone una reducción del combustible superficial y un realce de las copas que así lo necesitasen allí donde la masa colinde con la LC a modo de BCS (5-10

metros). También se propone una reducción del combustible superficial por idénticas razones en la pista forestal al norte de la LC a modo de BCS.

Unas mayores complejidades ofrecen los modelos HPM3 y HPM5 de la cara norte, donde se espera fuego pasivo y activo de copas respectivamente. Para impedir su efecto sobre la IPD y de cara a poder atajar a los focos secundarios más inmediatos, se propone una intervención intensa desde la LC hasta 60 metros al interior de la masa donde se realcen las copas y se reduzca la CBD mediante clara (APD). Aunque la anchura propuesta es elevada, es la mínima necesaria para cumplir los criterios de seguridad.

En cuanto a las masas en aprovechamiento a levante del tramo, se espera en ellas una propagación por superficie que es compatible con su función de colchón de pavesas. Las zonas más cercanas a la divisoria (y por tanto a la LC) presentan no obstante un peligro de subida a copas con el aumento de la velocidad del viento en la divisoria y la puesta en luz que puede ocasionar una matorralización. Es por ello que en este tramo se propone la construcción de una APD hacia la cara norte que de seguridad en las tareas de remate de focos secundarios para frentes que entren desde el sur y que atenúe la propagación en el borde ante frentes que provengan del norte.

Dada la dirección de avance del frente de llamas esperado respecto a la IPD, se espera una caída de focos secundarios en la zona tratada o en los modelo HR5.

5. 10046LC13

Ficha 5

Este TD se corresponde con una IPD en umbría con recorrido de norte a sur, es decir, perpendicular al avance del frente de llamas en condiciones de diseño. Se encuentra rodeada por masas de *Pinus sylvestris* que conforman un modelo de combustible HR5 en el que espera una propagación por superficie bajo el dosel arbóreo. La presencia de una masa continua en HR5 disminuye el riesgo de focos secundarios.

Se consideraría una mejora de la IPD su continuación 200 metros en sentido sur, con el objetivo de anclarla en una zona de cultivos.

6. 10056LC02

Ficha 6

Este TD presenta tres zonas bien diferenciadas en cuanto a su composición de combustibles en la parte meridional: la primera de ellas tiene una dirección de OSO a ENE y en ella predomina un modelo de combustible HPM5. La segunda y la tercera presentan una dirección ortogonal a la primera (de ONO a ESE), pero mientras que en este segundo tramo el modelo es un M3, el tercer tramo vuelve a presentar un HPM5. La parte septentrional presenta un modelo PM3 medianamente homogéneo.

Se espera en base a las simulaciones que los frentes de llama que se propaguen bajo las condiciones de diseño lleguen a la IPD desde el lado arbolado y en contra de la pendiente, mientras que aquellos otros incendios que puedan ocasionarse bajo condiciones distintas a las de diseño, lleguen desde el lado desarbolado y a favor de la pendiente. Habrán de tenerse en cuenta, pues, todos los casos.

De un modo general se propone la ampliación de la LC de 25 a 30 metros. El resto de las actuaciones propuestas dependen de los combustibles; En el primer sector, al igual que en el tercero (HPM5) el problema se deriva del fuego de copas en una masa con alta FCC y rozamiento respecto al viento. Para evitarlo se propone un cambio de combustible en el cual se reduzca drásticamente la carga superficial de combustible, creando de este modo una masa que actuará a su vez como colchón de pavesas para las masas aledañas no tratadas. No se propone, sin embargo, un realce de las copas para evitar una disminución mayor de la fricción con el viento. Para evitar la transmisión del fuego de copas hacia la masa tratada se ha dimensionado una pequeña LC destinada a aislar ambas masas, con 5 metros de anchura.

En la zona del modelo M3 (barlovento) se propone únicamente una BCS de 10 metros destinada a reducir la carga progresivamente; las actuaciones, por el menor impacto sobre el medio y la menor pérdida de cubierta vegetal, se centrarían a sotavento, con una BCS que cubriese los 20 metros restantes hasta la anchura mínima eficaz simulada.

7. 10065LC09

Ficha 7

Este TD se encuentra rodeado por masas de *Pinus pinaster* con una baja FCC, una base de la copa relativamente alta y unos matorrales altos pero con baja FCC. Esto da lugar a la ocurrencia de fuego activo en las zonas más densas y antorcheos aislados en las menos densas, lo que junto a las pendientes elevadas (aprox. 25%) y la velocidad del viento ($40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) pueden llegar a comprometer a la IPD, que habrá de presentar según las simulaciones una anchura mínima de 35 metros. El principal problema se encuentra, de nuevo, en los focos secundarios, esperables en 300 metros.

Se proponen actuaciones directas sobre la IPD mediante la construcción de una BCS de 15 metros hacia poniente en la cual se eliminen los pies arbóreos susceptibles de antorcharse y se realcen las copas de los remanentes en las zonas donde se espere una propagación pasiva o una APD donde se espere una propagación activa. También se llevará a cabo un realce de las copas a sotavento con el objetivo de facilitar el paso de los combatientes cuando se deba atajar la aparición de algún foco secundario.

8. 10056LC08

Ficha 8

Se presentan tres zonas diferenciadas en cuanto a su estructura sur-norte: la primera de HPM2 a HR5, la segunda de PM3 a HR5 y la última de PM1 a M3. En el modelo HR5 se espera una propagación por superficie, a pesar de la existencia del dosel arbóreo. Conviene para mantener el fuego en superficie fomentar la fricción de la masa y además aumentar la FCC para favorecer el colchón de pavesas.

En la primera de las zonas se espera una llegada por copas del frente de llamas, que será necesario bajar a superficie previamente a la llegada a la LC. Por ello se propone una doble estructura: en las zonas menos densas se propone una APD (que dada la baja densidad, no necesitaría de una clara excesiva) para impedir el fuego activo y pasivo, con una anchura de 50 metros y en las zonas de mayor densidad se propone un realce de copas junto a una descarga del combustible superficial (cambio de modelo de combustible) para

evitar la subida del fuego al dosel; a pesar del mayor coste de mantenimiento de esta estructura inicial, se prevé una disminución del coste conforme avanza el desarrollo de esta masa. Para evitar que una carrera de copas continúe a través de la zona tratada, se propone la creación de una LC de menor entidad, con una anchura de 7 metros.

La anchura requerida para la contención de un frente que llegue desde el modelo PM3 es de 40 metros y de 30 para el PM1. Si el frente llega desde el modelo M3 se estima una anchura necesaria de 45 metros, por lo que al ser la más limitante es la que se aplicará. Se propone una BCS de 5 metros al norte y de 10 al sur, con el objetivo de reducir el coste del mantenimiento pues la carga superficial es de forma natural menor en esta última vertiente.

El problema mayor vuelve a venir de la mano de los focos secundarios, que se esperan en hasta 500 metros desde el modelo PM3. Para solventar este problema es muy útil la presencia de vías para vehículos en la vertiente norte, aunque la zona central queda desprotegida, para lo cual se propone un cambio de modelo de combustible mantenido mediante quemas prescritas.

9. 10043LC02

Ficha 9

Esta IPD divide masas de pinar poco denso con una base de la copa que alcanza el suelo, por lo que son muy susceptibles al antorchamiento e incluso a los fuegos activos en los rodales más densos. Como contraposición a esto, el combustible superficial es mínimo, por lo que tan solo cuando aumenta la carga de este podrá ocurrir la subida a las copas. Las actuaciones aquí van orientadas por tanto a evitar la subida del frente a las copas, asegurando de este modo la integridad de la IPD. En zonas concretas aumenta la densidad de la masa, aumentando la CBH pero no así el combustible superficial.

Esto requiere de la construcción de una BCS a ambos lados que de anchura igual a la longitud esperada de la llama (20 metros) en la cual se realcen las copas. En la zona más densamente arbolada este realce de copas irá acompañado de la construcción de una LC de 5 metros que separe la masa tratada de la masa sin tratar.

10. 10021LC01

Ficha 10

Se trata de una IPD de gran longitud con eje E-W con masas compuestas fundamentalmente con *Pinus nigra* en las que se espera una propagación por superficie bajo el arbolado. Se considera suficiente a la LC actual.

El tercio final, el cual presenta al sur un modelo PM1 si requiere de la construcción de una BCS en la cual se descargue el combustible superficial en una anchura de 15 metros. Se propone el realce de las copas de los pies presentes en la zona.

11. 30132LC01

Ficha 11

Esta IPD, de anchura variable entre 25 y 50 metros, se puede subdividir en tres tramos para su análisis.

El primer sistema presenta a barlovento modelos de combustible PM1 y PM4, presentando arbolado en ciertos tramos (HPM2). Aunque la propagación esperada es por superficie, puede producirse el antorchamiento de dichos pies, por lo que propone la ampliación hasta los 30 metros de la LC en aquellos segmentos donde sea menor, y la construcción hacia barlovento de una APD donde se presente arbolado (BCS donde no) de anchura 40.

En el segundo sistema (PM1-HPM4) es necesario definir un trazado más claro de la LC hasta los 30 metros de anchura. Además de esto, es necesario asegurar la propagación en superficie del frente de llamas en la masa a sotavento, donde en principio se espera un comportamiento activo por copas; para ello se propone una separación de esta masa a tratar de la masa no tratada utilizando el camino presente (4 ha), de anchura mínima igual a 3 metros y una transformación del modelo de combustible a un HR5, fácilmente mantenible debido a la alta FCC.

El sistema HR5-HR5 no presenta complejidad debido a la evolución esperada por superficie.

12. 10056LC05

Ficha 12

Esta IPD divide siguiendo el Collado García la solana, compuestas por modelos de pasto y matorral, de la umbría compuesta además por modelos arbolados. En este sentido, y distinguiendo entre la vegetación a barlovento/sur y a sotavento/norte, se distinguen los sistemas M5-HR5; M5-PM1; PM3-PM1; PM1-HR5 y M5-HR5.

El sistema M5-HR5 presenta unas pendientes del 20%, con velocidades del viento que pueden llegar a superar los $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, encontrándose la IPD en dirección perpendicular a la pendiente y al avance esperado de un frente de llamas bajo condiciones de diseño. Con estas condiciones, la anchura mínima necesaria ha de ser de 30 metros, por lo que se propone una ampliación de 5 metros de la LC hacia poniente y la construcción de una BCS de otros 5 metros. A sotavento se propone el realce de las copas para permitir el control de los posibles focos secundarios en el primer tercio (delimitado por el camino) de la masa en HR5 desde dentro hacia afuera. Con este método se pretende dejar los bordes de la masa sin realce de copas para mitigar la velocidad del viento en el interior de esta. Ante la subida ocasional en algún pie, se propone la eliminación de combustible superficial en la pequeña masa de arbolado. Asimismo, se recomienda su separación mediante una LC de 4 metros con la masa dispersa alledaña.

El modelo de combustible M5 es muy energético y requiere de grandes anchuras limpias de combustible para su contención, es por ello que se propone la creación de un APD de aspecto similar a como está conformada la LC en este tramo (de 20 metros), para ampliar su anchura otros 20 metros hacia barlovento y 30 hacia sotavento (M5 – PM1).

En el caso de la estructura de modelo de combustible PM3 (con condiciones de 40% de pendiente y $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ de viento) se estima una anchura necesaria de 40 metros para su contención por lo que se propone una ampliación de 10 metros de la LC junto a una gestión de una banda de 100 metros apoyada en la pista a levante que puede ser mantenida mediante el fuego prescrito para el cambio del modelo de combustible.

En el caso del sistema PM1-HR5 (35% de pendiente y $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ de viento) se estima suficiente con una anchura de 30 metros de la LC, tal como la que hay presente. Se propone en este sentido, únicamente la eliminación de pies concretos a lo largo de este tramo que puedan disminuir la anchura efectiva de la LC. Para atajar a los posibles focos secundarios se propone el mantenimiento de la masa HR5 a sotavento, para lo cual el uso del fuego prescrito puede ser una herramienta adecuada, previa eliminación manual de aquel combustible superficial que pueda dar lugar a una subida a copas puntual.

Por último, queda el sistema M5-HR5, para el cual se proponen idénticas actuaciones que en el caso anterior, siendo necesario, eso sí la construcción de una LC clara.

13. 10046LC10 Ficha 13

IPD en umbría que separa dos masas continuas de modelo HR5 en las cuales se espera una propagación por superficie. Las únicas actuaciones propuestas van encaminadas a eliminar en las zonas de borde posible carga superficial que pueda dar lugar a una subida puntual a copas.

14. 10021LC06 Ficha 14

Esta IPD, posicionada perpendicular a la dirección del viento de diseño y de pendientes elevadas (30%), se prevé que pueda interactuar con más frentes provenientes de la cara sur que de su propia cara norte, impactando, además, de flanco. Aun así, se ha diseñado para frentes de llama que provengan del mismo valle e impacten, por tanto, de cabeza. Dichos frentes de llama pueden provenir de un modelo PM1 (PM1-HR5) o un HPM5 (HPM5-HR5), siendo para ambos casos suficiente con la anchura de la LC, excepto en el primer tercio donde la ausencia de una LC clara y lo complicado de la orografía dan fuerza a la idea de una zona tratada donde se realce la copa y se disminuya el combustible superficial (10 m).

El modelo HPM5 sí que constituye un problema al esperarse un fuego incluso activo de copas donde la CBD lo permita, influenciado en parte por la alta velocidad del viento derivada de la posición de la IPD. Se propone aquí la construcción de un APD hasta alcanzar la primera discontinuidad horizontal (existen en la zona parcelas dispersas desarboladas), para evitar que un fuego previamente activo continúe propagándose por el dosel arbóreo; la anchura del APD será de, como mínimo, 40 metros. Aunque esta distancia es en ocasiones grande, la baja densidad permite el tratamiento bajo costes aceptables.

15. 10021LC05 Ficha 15

Junto al TD anterior, encierra una zona de importante valor de unas 700 hectáreas de extensión. Esta IPD presenta una disposición perpendicular a la alineación viento ($40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) – pendiente (20%) y en ella se espera una propagación por superficie bajo el arbolado tanto a barlovento como a sotavento, excepto en el primer tramo donde se espera a sotavento un comportamiento pasivo por copas.

Donde la propagación se espera por superficie bajo el arbolado se considera suficiente a la anchura previa de la LC, pero de cara a evitar la subida pasiva a copas a sotavento del primer tramo en las cercanías de la IPD se propone realizar un cambio de modelo de combustible en esta zona mediante una descarga del combustible superficial y un realce de copas en una anchura variable y mayor en todo momento a 50 metros. En dicha zona se creará una LC secundaria de anchura igual o superior a 7 metros que tratará de apoyarse, siempre que sea posible, en infraestructuras previas o en singularidades del terreno.

un realce de las copas de 30 metros (distancia de llamas del árbol antorchado) hacia el interior de la masa, dejando el borde de la masa sin realzar para evitar la disminución de la fricción del aire.

16. 10056LC03 Ficha 16

IPD en umbría de orientación sur-norte con masas de *Pinus pinaster* y *Pinus nigra*. Se distingue un primer tramo (2/3 del total) con modelo de combustible HR5 a ambos lados de la LC y un segundo tramo con un modelo de combustible PM3 a barlovento y HR5 a sotavento. La propagación esperada en el modelo arbolado es por superficie, con unos focos secundarios incapaces de recorrer largas distancias y cayendo por tanto sobre el colchón de modelo HR5.

En el caso del modelo PM3 se recomienda la construcción de una BCS que amplíe en 15 metros a la LC y el mantenimiento de la masa HR5 ante la caída de focos secundarios.

17. 30032LC01 Ficha 17

Se trata de una IPD que atraviesa una zona con variabilidad de modelos de combustible, aunque en su mayoría separa sistemas de arbolado en modelo HR5.

El primer quinto de la IPD separa primero un modelo PM1 y después un modelo HPM4. La presencia de manchas de modelo PM1 es frecuente a lo largo de la IPD.

En los modelos de Pasto y Matorral (PM) se considera suficiente a la LC actualmente presente, pero en los HPM4, ante la posibilidad de una subida del fuego a copas de modo pasivo se propone la creación de una APD de 30 metros a cada lado, para asegurar la llegada por superficie a la LC y para poder atajar los focos secundarios más cercanos.

Los modelos HR5 no presentan problemas por la previsible evolución del fuego por superficie, por lo que se considera suficiente la anchura de la actual LC.

18. 10046LC06 Ficha 18

Se presenta un sistema HPM1-HPM1 y otro HR5-HR5 con una propagación esperada pasiva por copas y por superficie respectivamente.

En el primer sistema se propone una modificación del modelo de combustible que impida la subida y la propagación por copas. Dichos tratamientos se separarán de la zona sin

tratar mediante la construcción de una LC de anchura igual a 7 metros que siga las vías de saca presentes.

El sistema HR5 no presenta ningún tipo de problemática dado el tipo de propagación esperada, siendo suficiente con la LC presente.

19. 10021LC07

Ficha 19

Esta IPD presenta a sus lados una masa arbolada de *Pinus sylvestris* en modelo HPM5, excepto al norte de la primera mitad donde el modelo es HR5.

No se considera necesario ampliar la LC, siempre y cuando se lleve a cabo la modificación del modelo HPM5 para impedir la subida pasiva a las copas, disminuyendo la carga de combustible superficial. Este cambio de modelo se realizará para anchura variable, hasta llegar a discontinuidades como pistas que hagan la función de LC para impedir que una carrera previa por copas pueda continuar en la zona tratada. En caso de no existir dichas infraestructuras sobre las que apoyar una LC secundaria, esta se trazará con una anchura de 10 metros entre zonas tratadas.

20. 10126LC01

Ficha 20

Ubicada en la solana, esta IPD presenta una dirección S-N, atravesando zonas de matorral y zonas arboladas con pies de porte característico de la solana de esta sierra. Se presentan tres sistemas:

Un primer sistema HPM2-M7 donde se espera la subida a copas en barlovento de los pies aislados, por lo que se propone la construcción de una APD de 40 metros que complemente a la LC. Asimismo, se propone una ampliación general de la LC en 5 metros.

Un segundo sistema PM3-M7 donde se recomienda la continuación de la APD del tramo anterior por el lado del modelo M7, que presenta arbolado disperso.

Un último sistema PM3-PM3 donde se mantenga una BCS de 10 metros a cada lado de la LC.

21. 10065LC07

Ficha 21

Esta IPD es complementaria a las IPD 10065LC08 y 10065LC09. En su recorrido atraviesa diversos modelos de combustible, la mayoría de ellos arbolados con medianas FCC. En su recorrido se distinguen los sistemas HPM3-HPM3, HPM2-HPM2, HPM5-HPM5, PM3-HPM3 y PM4 (arbolado)-PM3, esperándose fuego activo de copas en todos los modelos arbolados.

En los tres primeros sistemas (HPM) se propone ampliar en 10 metros la LC y construir a ambos lados una APD de 40 metros.

En el sistema PM3-HPM3 se propone la creación de una BCS de 10 metros a barlovento y de un APD a sotavento. También en este tramo se propone la ampliación de la LC.

En el sistema PM4-PM3 se propone a sotavento la creación de una BCS, y a barlovento la modificación del modelo de combustible a uno que evite el paso a copas del frente de llamas mediante un realce de copas y la eliminación del combustible superficial en una anchura de 50 metros. En dicha zona arbolada tratada se propone la construcción de una LC secundaria que impida la continuación de la carrera por copas que pueda provenir de la zona sin tratar.

22. 10047LC10

Ficha 22

Este TD, de breve recorrido, se encuentra en la ladera sur y presenta un modelo de combustible HPM2 donde hay arbolado poco denso y tipo M2 en las zonas no arboladas. Se espera una subida del fuego a copas en modo activo en la medida que la baja densidad arbórea lo permita.

Las actuaciones van encaminadas en la zona arbolada a la construcción de un APD que impida la subida del frente de llamas a las copas, ya de por sí dispersas. La anchura propuesta para el APD es de 40 metros desde la LC hacia el norte, donde la densidad arbórea es mayor y de 30 metros hacia el sur, y se construirá siempre que haya presencia de arbolado. Cuando se presente el modelo M2, se propone la construcción de una BCS de 5 metros, para reducir la intensidad de la llama antes de golpear la LC.

23. 10056LC04

Ficha 23

Esta IPD divide solana y umbría en su recorrido E-W, dejando hacia el N una masa continua de pinar en la que se espera un fuego por superficie y hacia el S una masa también similar en estructura en una parte y de menor porte y mayor carga de matorrales en otra, esperándose en esta última un fuego activo de copas.

Se propone por ello el mantenimiento de la LC, suficiente en sí misma para contener los fuegos por superficie y el tratamiento de la masa susceptible de sufrir fuego de copas mediante una transformación del modelo de combustible superficial, reduciendo su carga e impidiendo de este modo la transición a copas.

De cara a evitar que una carrera por copas de inicio previo a la zona tratada entre en esta, se propone la creación de una LC secundaria de 15 metros de anchura entre el matorral y el inicio del arbolado al sur.

24. 10030LC03

Ficha 24

Esta IPD, posicionada en la umbría y perpendicular al avance de un frente de llamas propagadas bajo las condiciones de diseño, separa en dos una masa de modelo HR5 en la que se espera una propagación superficial del frente de llamas, la cual puede ser detenida por la LC actualmente presente.

La presencia ocasional de zonas descubiertas con modelos de pasto y matorral se puede atajar con la creación de una BCS de 10 metros de anchura.

25. 30032LC02 Ficha 25

Esta IPD, de corto recorrido, rompe en una franja estratégica la continuidad forestal. El comportamiento esperado es activo por copas en la zona arbolada (HPM4), por lo que se propone la ampliación hasta los 40 metros de la LC y la construcción de un APD de 40 metros a ambos lados.

En la zona con modelo PM1 se propone la construcción de una BCS de 10 metros a cada lado de la LC y una ampliación de dicha LC de 30 a 40 metros de anchura.

26. 10030LC01 Ficha 26

Esta IPD divide en su mayoría zonas arboladas por *Pinus nigra*, a excepción de un tramo desarbolado en modelo PM1 al norte.

La propagación esperada es por superficie, siendo la LC suficiente como para contenerla. Sí que se propone la creación de una BCS en la zona desarbolada.

27. 10046LC17 Ficha 27

Esta IPD presenta, excepto en el modelo HR5, una propagación esperada pasiva por copas en los modelos arbolados, por lo que en estos casos se ha propuesto el tratamiento del combustible superficial para impedir la subida a copas, modificando el modelo de combustible presente. Esta actuación se acompaña de la construcción de una LC secundaria de 10 metros de anchura que impida la continuidad horizontal en una carrera previa por copas o el contacto del matorral en las zonas límite que puedan suponer un combustible en escalera. Se ha propuesto una BCS en las zonas desarboladas, mientras que en el modelo HR5 se considera suficiente con la LC existente.

28. 10065LC08 Ficha 28

Esta IPD presenta un primer sistema en el cual existe arbolado muy disperso en la vertiente sur junto al borde, el cual se espera que pueda llegar a antorchar, y arbolado de características similares pero mayor densidad en la cara norte, en el cual se espera una propagación por superficie. Se propone aquí la construcción de una APD de 50 metros en la cara sur con el objetivo de hacer llegar a la LC un frente de llamas superficial, obteniendo de este modo una anchura suficiente como para evitar el paso del frente de llamas y crear un espacio seguro para el trabajo de los combatientes. No se proponen actuaciones en la cara norte salvo las orientadas a eliminar el matorral de la zona límite entre el arbolado y la LC que pueda aparecer derivado de la solarización del borde.

El segundo sistema está compuesto por un modelo de combustible HR3 a ambos lados de la LC, siendo suficiente con la LC presente.

El tercer sistema está compuesto por un modelo M5 con presencia de arbolado disperso y de bajo porte en la cara sur sobre el cual sería necesario actuar creando una APD, mientras que en el modelo HR5 se propone un realce de copas que impida la subida del frente.

CONCLUSIONES

- Este trabajo propone una metodología dinámica para el estudio del comportamiento potencial de los incendios forestales. Aunque la metodología ha sido aplicada al entorno de la Sierra de Los Filabres es fácilmente extrapolable a cualquier otro territorio o escala considerada.
- La identificación del comportamiento potencial del fuego permite el diseño eficiente de la infraestructura preventiva de defensa contra incendios forestales, de acuerdo a las condiciones de diseño impuestas por el Servicio de Extinción de Incendios de la provincia de Almería. No obstante, dada la limitación presupuestaria actual, resulta de interés la priorización de dichas infraestructuras de defensa.
- El viento resulta la variable meteorológica más importante para el diseño de infraestructura preventiva en masas arboladas, siendo necesario un estudio detallado del mismo a escala de paisaje. Aunque existen modelos de simulación de campos de viento, se requiere la profundización en esta línea de investigación a nivel de ecosistemas mediterráneos, son objeto de identificar la resistividad de las infraestructuras de diseño bajo unas condiciones de diseño.
- La ausencia de un inventario de la vegetación con información referente a parámetros esenciales en el estudio del comportamiento del fuego resulta la principal limitación de esta metodología. Las nuevas tecnologías o el empleo de ecuaciones alométricas se presenta como una solución para la mejora futura de la escala de trabajo de la cartografía generada.
- La suavización de la progresión energética del fuego en áreas circundantes a tratamientos preventivos, mediante áreas preventivas de defensa, resulta un parámetro clave para garantizar la seguridad de las operaciones de combate. En los casos que la inviabilidad económica del mantenimiento periódico impida la anchura necesaria para garantizar la seguridad de los combatientes, se acudirá a una reducción progresiva de la progresión energética y dinámica del fuego mediante una banda colindante de seguridad.
- La compatibilización de los aprovechamientos forestales y la defensa contra incendios forestales resulta una labor clave en los servicios forestales con objeto de incrementar la eficiencia de la infraestructura preventiva, construida bajo unos parámetros de diseño (modelo de combustible y condiciones meteorológicas).

BIBLIOGRAFÍA

- Abellanas Oar, B., Cuadros Tavira, S., Oliet Palá, J.A., 2013. Efecto de los tratamientos selvícolas sobre la estructura espacial de los rodales forestales. In: Forestales, S.E.d.C. (Ed.), 6º Congreso Forestal Nacional, Vitoria-Gasteiz.
- Allué Andrade, J.L., 1990. Atlas fitoclimático de España. Taxonomías. INIA.
- Andrews, P.L., 2012. Modeling Wind Adjustment Factor and Midflame Wind Speed for Rothermel's Surface Fire Spread Model. In. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, p. 39.
- Burgan, R.E., Rothermel, R.C., 1984. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system--FUEL subsystem.
- Butler, B.W., 2014. Wildland firefighter safety zones: a review of past science and summary of future needs. *International journal of wildland fire* 23, 295-308.
- Butler, B.W., Cohen, J.D., 1998. Firefighter safety zones: a theoretical model based on radiative heating. *International Journal of Wildland Fire* 8, 73-77.
- Byram, G., 1959. Combustion of forest fuels. In 'Forest fire: control and use'. (Ed. KP Davis) pp. 61-89. In. McGraw-Hill: New York.
- Cermak, J., Riguzzi, F., Ceulemans, R., 1998. Scaling up from the individual tree to the stand level in Scots pine. I. Needle distribution, overall crown and root geometry. *Annales Des Sciences Forestieres* 55, 63-88.
- Corringham, T.W., Westerling, A.L., Morehouse, B.J., 2008. Exploring use of climate information in wildland fire management: a decision calendar study. *Journal of Forestry* 106, 71-77.
- Donovan, G.H., Rideout, D.B., 2003. An integer programming model to optimize resource allocation for wildfire containment. *Forest Science* 49, 331-335.
- Finney, M., Brittain, S., Seli, R., 2004. FlamMap. Joint Fire Science Program. Rocky Mountain Research Station, US Bureau of Land Management.
- Forthofer, J., Shannon, K., Butler, B., 2010. Initialization of high resolution surface wind simulations using nws gridded data.
- Gorte, R., Economics, H., 2013. The rising cost of wildfire protection. *Headwaters Economics*.
- ICONA, E., 1993. Segundo Inventario Forestal Nacional 1986-1995. Cataluña. Lleida. MAPA. Madrid.
- Keane, R.E., Agee, J.K., Fulé, P., Keeley, J.E., Key, C., Kitchen, S.G., Miller, R., Schulte, L.A., 2008. Ecological effects of large fires on US landscapes: benefit or catastrophe? *International Journal of Wildland Fire* 17, 696-712.
- Keeley, J.E., Pausas, J.G., Rundel, P.W., Bond, W.J., Bradstock, R.A., 2011. Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in plant science* 16, 406-411.
- Lee, Y., Fried, J.S., Albers, H.J., Haight, R.G., 2012. Deploying initial attack resources for wildfire suppression: spatial coordination, budget constraints, and capacity constraints. *Canadian Journal of Forest Research* 43, 56-65.
- Martínez, J., Vega-García, C., Chuvieco, E., 2009. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of environmental management* 90, 1241-1252.
- Mendes, I., 2010. A theoretical economic model for choosing efficient wildfire suppression strategies. *Forest Policy and Economics* 12, 323-329.
- Mitsopoulos, I., Dimitrakopoulos, A., 2014. Estimation of canopy fuel characteristics of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) forests in Greece based on common stand parameters. *European journal of forest research* 133, 73-79.
- Molina Martínez, J.R., Muñoz Navarro, J.A., Rodríguez y Silva, F., 2017. Análisis integral de la apertura de masas arbóreas: densidad aparente de copas versus velocidad del viento a media llama. In: Forestales, S.E.d.C. (Ed.), 7º Congreso Nacional Forestal.
- Morton, D.C., Roessing, M.E., Camp, A.E., Tyrrell, M.L., 2003. Assessing the environmental, social, and economic impacts of wildfire. *GISF Research Paper* 1.
- Muñoz Navarro, J.A., 2017. Identificación de Puntos Estratégicos de Gestión y priorización de Tramos Dinámicos en el entorno de la Sierra de Los Filabres. In, Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba, Córdoba, p. 149.

- Muñoz-Navarro, J.A., 2015. Estudio de diagnóstico y caracterización de los incendios de copa en las masas arboladas de la comarca forestal de Villaviciosa de Córdoba. In. Universidad de Córdoba, Córdoba, p. 86.
- Oliet Palá, J.M., Agudo Romero, R., Muñoz Martínez, M., del Pino del Castillo, Ó., 2005. Primer inventario de sumideros de dióxido de carbono en Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Dirección General de Gestión del Medio Natural.
- Omi, P.N., Murphy, J.L., Wensel, L.C., 1981. A linear programming model for wildland fuel management planning. *Forest Science* 27, 81-94.
- Page, W.G., Butler, B.W., 2017. An empirically based approach to defining wildland firefighter safety and survival zone separation distances. *International Journal of Wildland Fire* 26, 655-667.
- Pausas, J.G., 2004. Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). *Climatic change* 63, 337-350.
- Pausas, J.G., 2010. Fuego y evolución en el Mediterráneo. *Investigación y Ciencia: Edición Española de Scientific American*, 56-63.
- Pretzsch, H., Biber, P., Dursky, J., 2002. The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. *Forest Ecology and Management* 162, 3-21.
- Quereda Rodríguez-Navarro, J.M., Sigüenza Amichis, F., 1997. Recursos de rocas ornamentales en la Sierra de Los Filabres. Incidencia en su explotación en el medio ambiente. In.
- Ramon Molina, J., Rodríguez y Silva, F., Merida, E., Angel Herrera, M., 2014. Modelling available crown fuel for *Pinus pinaster* Ait. stands in the "Cazorla, Segura and Las Villas Natural Park" (Spain). *Journal of Environmental Management* 144, 26-33.
- Rico Rico, F., Velez Muñoz, R., Villaescusa Sanz, R., Rodero Fernandez, F., Baz Salas, L., 1981. Técnicas para defensa contra incendios forestales. Ministerio de Agricultura, Madrid (España). Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza, Madrid (España).
- Rodríguez y Silva, F., 2014. Tema 27. In, *Fundamentos y Defensa contra Incendios Forestales; Grado en Ingeniería Forestal*. Universidad de Córdoba, Córdoba.
- Rodríguez y Silva, F., 2017. Visual-Fuego. In. LABIF, Córdoba.
- Rodríguez y Silva, F., González-Cabán, A., 2010. 'SINAMI': a tool for the economic evaluation of forest fire management programs in Mediterranean ecosystems. *International journal of wildland fire* 19, 927-936.
- Rodríguez y Silva, F., Martínez, J.R.M., Carmona, J.F.M., 2010a. Manual técnico de aplicaciones informáticas para la defensa contra incendios forestales. Manpai XXI.
- Rodríguez y Silva, F., Molina, J.R., 2012. Modeling Mediterranean forest fuels by 438 integrating field data and mapping tools. In. *Eur J For res.*
- Rodríguez y Silva, F., Molina, J.R., González-Cabán, A., Herrera Machuca, M.Á., 2012. Economic vulnerability of timber resources to forest fires. *Journal of environmental management* 100, 16-21.
- Rodríguez y Silva, F., Molina, J.R., Martínez, J.F., 2010b. Manual Técnico de Aplicaciones 441 Informáticas para la Defensa Contra Incendios Forestales. In. MANPAI XXI.
- Romero-Calcerrada, R., Perry, G.L., 2004. The role of land abandonment in landscape dynamics in the SPA 'Encinares del río Alberche y Cofio, Central Spain, 1984-1999. *Landscape and Urban Planning* 66, 217-232.
- Sánchez-Martos, F., Calaforra, J.M., Alonso-Blanco, J.M., 2001. Encuadre geológico de la provincia de Almería. In. Universidad de Almería.
- Thomas, P., 1963. The size of flames from natural fires. In, *Symposium (International) on Combustion*. Elsevier, pp. 844-859.
- Van Wagner, C.E., 1968. Fire behaviour mechanisms in a red pine plantation: field and laboratory evidence.
- Vignote, S., García, J.L., Gómez, F., 2007. Diseño de fajas y áreas cortafuegos. In, *4th International Wildland Fire Conference*. Sevilla (España).
- Vélez Muñoz, R., 2000. La defensa contra los incendios forestales: Fundamentos y experiencias. Madrid, ES: McGraw-Hill Interamericana.
- Wagner, C.V., 1964. History of a small crown fire. *The Forestry Chronicle* 40, 202-209.
- Wagner, C.V., 1977. Conditions for the start and spread of crown fire. *Canadian Journal of Forest Research* 7, 23-34.
- Widlowsky, J.-L., Verstraete, M., Pinty, B., Gobron, N., 2003. Allometric Relationships of Selected European Tree Species. In. *Institute for Environment and Sustainability*, p. 70.

ANEJOS

Propuesta de defensa frente a Incendios Forestales de la Sierra de Los Filabres en base a la gestión de Tramos Dinámicos

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Montes

AUTOR: D. Juan Antonio Muñoz Navarro

DIRECTOR: D. Juan Ramón Molina Martínez

TUTOR: D. Francisco Rodríguez y Silva

FECHA: diciembre 2017

ANEJO I

Glosario

- 2IFN** - Segundo Inventario Forestal Nacional
- 3IFN** - Tercer Inventario Forestal Nacional
- AB** - Área Basimétrica
- APD** - Área Preventiva de Defensa
- AWS** - Velocidad media del viento (*Average Wind Speed*)
- BCS** - Banda Colindante de Seguridad
- CBD** - Densidad aparente de copas (*Crown Bulk Density*)
- CBH** - Altura a la base de la copa viva (*Crown Base Height*)
- CD** - Diámetro de la Copa (*Crown Diameter*)
- CFL** - Carga de combustible aéreo (*crown Fuel Load*)
- CL** - Profundidad de la copa (*Crown Lenght*)
- CR** - Ratio de Copa (*Crown Ratio*)
- DEM** - Modelo Digital de Elevaciones (*Digital Elevation Model*)
- FCC** - Fracción de Cabida Cubierta
- INFOCA** - Plan de prevención y extinción de incendios forestales de Andalucía
- IPD** - Infraestructura Preventiva de Defensa contra Incendios Forestales
- ISO** - Intensidad Crítica Superficial necesaria para la subida del frente de llamas a las copas
- LC** - Línea Cortafuegos
- PEG** - Punto Estratégico de Gestión
- RAC** - Velocidad Crítica de Propagación necesaria para la ocurrencia del fuego activo de copas
- ROS** - Velocidad de propagación del frente de llamas (*Rate Of Spread*)
- SFI** - Intensidad Superficial desprendida por el frente de llamas (*Surface Fire Intensity*)
- SSD** - Distancia de seguridad (*Safe Separation Distance*)
- TD** - Tramo Dinámico
- UMMT** - Unidad Móvil de Meteorología y Transmisiones
- VOC** - Compuestos Orgánicos Volátiles
- WAF** - Coeficiente de Fricción (*Wind Adjustment Factor*)
- z** - Distancia entre la parte superior del sotobosque y la base de la copa

ANEJO II

Tablas – Caracterización del medio

Tabla 5. Mamíferos presentes en la zona de estudio.

Nombre común		Nombre científico
Ardilla roja	-	<i>Sciurus vulgaris</i>
Cabra montes	-	<i>Capra pyrenaica</i>
Ciervo	-	<i>Cervus elaphus</i>
Comadreja	-	<i>Mustela nivalis</i>
Conejo	-	<i>Oryctolagus cuniculus</i>
Erizo común	-	<i>Erinaceus europaeus</i>
Garduña	-	<i>Martes foina</i>
Gato montes	-	<i>Felis silvestris</i>
Jabalí	-	<i>Sus scrofa</i>
Jineta	-	<i>Genetta genetta</i>
Liebre ibérica	-	<i>Lepus granatensis</i>
Lirón careto	-	<i>Elyomis quercineus</i>
Murciélago de borde claro	-	<i>Pipistrellus khuli</i>
Murciélago de cueva	-	<i>Miniopterus schreibersii</i>
Murciélago de patagio aserrado	-	<i>Myotis nattereri</i>
Murciélago enano	-	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>
Murciélago grande de herradura	-	<i>Rinolophus ferrumequinum</i>
Murciélago pequeño de herradura	-	<i>Rinolophus hipposideros</i>
Musaraña común	-	<i>Crocidura russula</i>
Musarañita	-	<i>Suncus etruscus</i>
Musgaño de Cabrera	-	<i>Neomys anomalus</i>
Orejudo gris	-	<i>Plecotus austriacus</i>
Rata de agua	-	<i>Arvicola sapidus</i>
Rata negra	-	<i>Rattus rattus</i>
Rata parda	-	<i>Rattus norvegicus</i>
Ratón casero	-	<i>Mus domesticus</i>
Ratón de campo	-	<i>Apodemus sylvaticus</i>
Ratón moruno	-	<i>Mus spretus</i>
Tejón	-	<i>Meles meles</i>
Topillo común	-	<i>Microtus duodecimcostatus</i>
Topillo de Cabrera	-	<i>Microtus cabrerae</i>
Topo ibérico	-	<i>Talpa occidentalis</i>
Turón	-	<i>Mustela putorius</i>
Zorro	-	<i>Vulpes vulpes</i>

Tabla 6. Invertebrados presentes en la zona de estudio.

GRUPO	ESPECIE
LEPIDÓPTEROS	<i>Colitis evagore</i> subs. <i>nouna</i>
	<i>Lycaena alciphron</i>
	<i>Plebejus idas</i> subsp. <i>nevadensis</i>
	<i>Polyommatus hispanus</i>
	<i>Iolana iolas</i>
	<i>Parnasiuss apollo</i> subsp. <i>filabricus</i>
	<i>Pseudochazara hippolyte</i> subsp. <i>Willamsi</i>
	<i>Polyommatus nivescens</i>
	<i>Polyommatus thersites</i>
	<i>Zygaena nevadensis</i>
COLEÓPTEROS	<i>Agrilus moriscus</i>
	<i>Iberodorcadion mucidum mucidum</i>
	<i>Iberocardion ferdinandi</i>
	<i>Sphenoptera pilosula pilosula</i>
	<i>Parmena breuningi</i>
	<i>Anthaxia espanoli</i>
	<i>Chasmatopterus cobosi</i> subsp. <i>Barrancoi</i>
	<i>Agrilus moriscus</i>
	<i>Sphenoptera barbarica</i>
	<i>Julodis onopordi</i> subsp. <i>sommeri</i>
	<i>Pseudolucanus barbarossa</i>
	<i>Mylabris platai</i>
	<i>Laemostenus barrancoi</i>
	ORTÓPTEROS
<i>Gryllus campestris</i>	
ARÁCNIDOS	<i>Zodarion diatretum</i>
	<i>Zodarion minutrum</i>
	<i>Dysdera presai</i>
MOLUSCOS	<i>Iberus gualterianus gualterianus</i>

Tabla 7. Muestra de aves presentes en la zona de estudio

Nombre común		Nombre científico
Águila calzada	-	<i>Hieraaetus pennatus</i>
Águila Culebrera	-	<i>Circaetus gallicus</i>
Águila Perdicera	-	<i>Hieraaetus fasciatus</i>
Águila Real	-	<i>Aquila chryaetos</i>
Aguilucho cenizo	-	<i>Circus pygargus</i>
Autillo	-	<i>Otus scops</i>
Azor	-	<i>Accipiter gentilis</i>
Búho chico	-	<i>Asio otus</i>
Búho real	-	<i>Bubo bubo</i>
Buitre leonado	-	<i>Gyps fulvus</i>
Cárabo	-	<i>Strix aluvo</i>
Chotacabras gris	-	<i>Caprimulgus europaeus</i>
Colirrojo real	-	<i>Phoenicurus phoenicurus</i>
Gavilán	-	<i>Accipiter nisus</i>
Halcón abejero	-	<i>Pernis apivorus</i>
Halcón peregrino	-	<i>Falco peregrinus</i>
Lugano	-	<i>Carduelis spinus</i>
Mirlo capiblanco	-	<i>Turdus torquatus</i>
Mochuelo	-	<i>Athene noctua</i>
Pico picapinos	-	<i>Dendrocopos major</i>
Pincón real	-	<i>Fringilla montifringilla</i>
Ratonero	-	<i>Buteo buteo</i>
Roquero rojo	-	<i>Monticola saxatilis</i>
Torcecuellos	-	<i>Jynx torquilla</i>

Tabla 8. Anfibios presentes en la zona de estudio.

Nombre común		Nombre científico
Rana común	-	<i>Rana perezi</i>
Sapillo moteado	-	<i>Pelodytes punctatus</i>
Sapillo pintojo meridional	-	<i>Discoglossus jeanneae</i>
Sapo común	-	<i>Bufo bufo</i>
Sapo corredor	-	<i>Bufo calamita</i>
Sapo partero bético	-	<i>Alytes dickhilleni</i>

Tabla 9. Reptiles presentes en la zona de estudio.

Nombre común		Nombre científico
Galápago Leproso	-	<i>Mauremys leprosa</i>
Salamanquesa común	-	<i>Tarentola mauritanica</i>
Salamanquesa costera	-	<i>Hemidactylus turcicus</i>
Eslizón ibérico	-	<i>Chalcides bedriagai</i>
Lagartija colirroja	-	<i>Acanthodactylus erithrurus</i>
Lagarto ocelado	-	<i>Lacerta lepida</i>
Lagartija ibérica	-	<i>Podarcis hispanica</i>
Lagartija colilarga	-	<i>Psammodromus algirus</i>
Lagartija cenicienta	-	<i>Psammodromus hispanicus</i>
Culebrilla ciega	-	<i>Blanus cinereus</i>
Culebra de herradura	-	<i>Coluber hippocrepis</i>
Culebra lisa meridional	-	<i>Coronella girondica</i>
Culebra de escalera	-	<i>Elaphe scalaris</i>
Culebra de cogulla	-	<i>Macropotodon cucullatus</i>
Culebra de collar	-	<i>Natrix natrix</i>
Culebra viperina	-	<i>Natrix maura</i>
Culebra bastarda	-	<i>Malpolon monspessulanus</i>
Víbora hocicuda	-	<i>Vipera latasti</i>

	GRUPO DE CAUSAS	
	CASOS	FRECUENCIA
ACCIDENTALES	8	4,82%
DESCONOCIDO	17	10,24%
INTENCIONADOS	50	30,12%
NATURALES	26	15,66%
NEGLIGENCIAS	65	39,16%
	166	100%

Tabla 11. (Izquierda) Casuística general de incendios forestales en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. (Abajo) Casuística detallada de incendios forestales en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

	TIPO DE CAUSA	
	CASOS	FRECUENCIA
CAUSA DESCONOCIDA	17	16,04%
FUMADORES	8	7,55%
HOGUERAS	1	0,94%
LÍNEAS ELÉCTRICAS	0	0,00%
MOTORES Y MÁQUINAS (ACCIDENTES DE VEHÍCULOS)	0	0,00%
MOTORES Y MÁQUINAS (MAQUINARIA FIJA)	0	0,00%
MOTORES Y MÁQUINAS (OTROS)	0	0,00%
MOTORES Y MÁQUINAS (VEHÍCULOS LIGEROS Y PESADOS)	0	0,00%
OTRAS MOTIVACIONES	23	21,70%
OTRAS NEGLIGENCIAS (ACTIVIDADES APÍCOLAS)	0	0,00%
OTRAS NEGLIGENCIAS (FUEGOS ARTIFICIALES)	1	0,94%
OTRAS NEGLIGENCIAS (JUEGOS DE NIÑOS)	0	0,00%
OTRAS NEGLIGENCIAS (OTRAS)	8	7,55%
OTRAS NEGLIGENCIAS (SIN ESPECIFICAR)	1	0,94%
PARA FAVORECER LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS EN EL MONTE	0	0,00%
PROVOCADOS CONTRA EL ACOTAMIENTO DE LA CAZA	1	0,94%
PROVOCADOS PARA AHUYENTAR ANIMALES (LOBOS, JABALÍES)	0	0,00%
PROVOCADOS POR CAMPESINOS PARA ELIMINAR MATORRAL Y RESIDUOS AGRÍCOLAS	0	0,00%
PROVOCADOS POR CAZADORES PARA CONTROLAR LA CAZA	2	1,89%
PROVOCADOS POR PASTORES Y GANADEROS PARA REGENERAR EL PASTO	1	0,94%
PROVOCADOS POR PIRĚMANOS	3	2,83%
PROVOCADOS POR VENGANZAS	5	4,72%
QUEMA AGRÍCOLA (OTRAS QUEMAS AGRÍCOLAS)	0	0,00%
QUEMA AGRÍCOLA (QUEMA DE BORDES DE ACEQUIAS)	0	0,00%
QUEMA AGRÍCOLA (QUEMA DE LINDES Y BORDES DE FINCAS)	0	0,00%
QUEMA AGRÍCOLA (QUEMA DE RASTROJOS)	0	0,00%
QUEMA AGRÍCOLA (QUEMA DE RESTOS DE PODA)	0	0,00%
QUEMA AGRÍCOLA (SIN ESPECIFICAR)	0	0,00%
QUEMA DE BASURA	3	2,83%
QUEMA DE MATORRAL (PARA LIMPIEZA DE CAMINOS O SENDAS)	0	0,00%
RAYO	26	24,53%
SIN DATOS	5	4,72%
	88	83,02%

Tabla 12. Frecuencia de incendios forestales en los términos municipales de la zona de estudio, ponderada en función de la superficie. Fuente: elaboración propia.

	TÉRMINOS MUNICIPALES						
	CASOS	FRECUENCIA	Supf. (ha)	Supf. pond.	Importancia	Casos pond.	Frec. pond.
Abla	6	3,61%	4563	2,47%	68,31%	4,10	2,47%
Abrucena	7	4,22%	8337	4,51%	106,97%	7,49	4,51%
Albanchez	6	3,61%	3521	1,90%	52,70%	3,16	1,90%
Alcontar	2	1,20%	9485	5,13%	425,92%	8,52	5,13%
Armuña de Almazora	2	1,20%	796	0,43%	35,76%	0,72	0,43%
Bacares	3	1,81%	9503	5,14%	284,49%	8,53	5,14%
Bayarque	4	2,41%	2634	1,42%	59,13%	2,37	1,42%
Benizalon	7	4,22%	3238	1,75%	41,55%	2,91	1,75%
Castro de Filabres	1	0,60%	2944	1,59%	264,36%	2,64	1,59%
Chercos	5	3,01%	1347	0,73%	24,20%	1,21	0,73%
Cobdar	1	0,60%	3198	1,73%	287,22%	2,87	1,73%
Fiñana	1	0,60%	13380	7,24%	1201,65%	12,02	7,24%
Gergal	4	2,41%	22795	12,33%	511,81%	20,47	12,33%
Laroya	3	1,81%	2164	1,17%	64,79%	1,94	1,17%
Las Tres Villas	5	3,01%	8506	4,60%	152,79%	7,64	4,60%
Lijar	1	0,60%	2801	1,52%	251,59%	2,52	1,52%
Lubrin	7	4,22%	13804	7,47%	177,11%	12,40	7,47%
Macael	7	4,22%	4329	2,34%	55,55%	3,89	2,34%
Nacimiento	8	4,82%	8173	4,42%	91,75%	7,34	4,42%
Olula de Castro	3	1,81%	3431	1,86%	102,72%	3,08	1,86%
Purchena	13	7,83%	3681	1,99%	25,43%	3,31	1,99%
Senes	6	3,61%	5042	2,73%	75,48%	4,53	2,73%
Seron	27	16,27%	16722	9,05%	55,63%	15,02	9,05%
Sierro	1	0,60%	2775	1,50%	249,21%	2,49	1,50%
Sufli	4	2,41%	982	0,53%	22,06%	0,88	0,53%
Tahal	13	7,83%	9500	5,14%	65,63%	8,53	5,14%
Tijola	7	4,22%	6750	3,65%	86,61%	6,06	3,65%
Uleila del Campo	8	4,82%	3867	2,09%	43,42%	3,47	2,09%
Veleftique	4	2,41%	6561	3,55%	147,32%	5,89	3,55%
	166	100,00%	184830	100,00%		166	100,00%

Figuras – Caracterización del medio

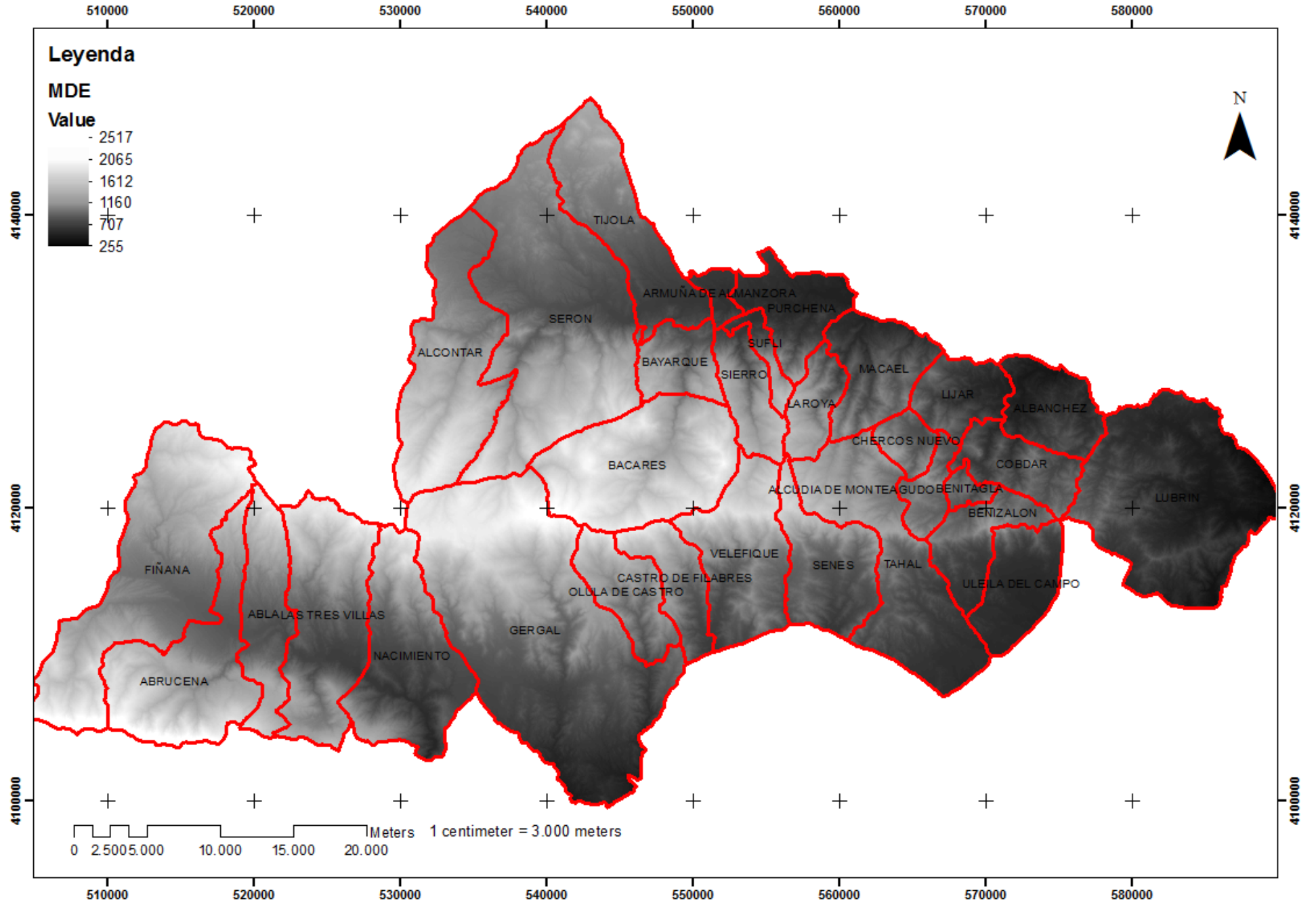


Figura 39. DEM de la zona de estudio expresada en metros. Fuente: REDIAM.

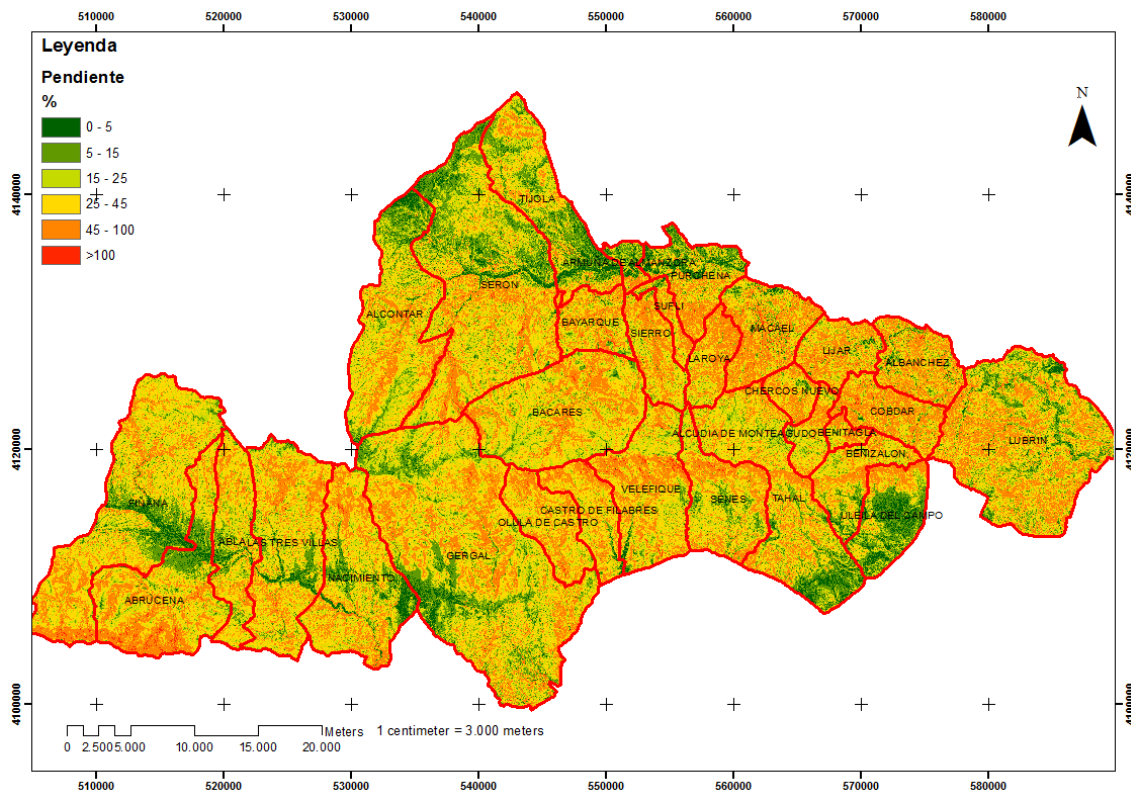


Figura 40. Pendiente de la zona de estudio en porcentaje (%). Fuente: elaboración propia.

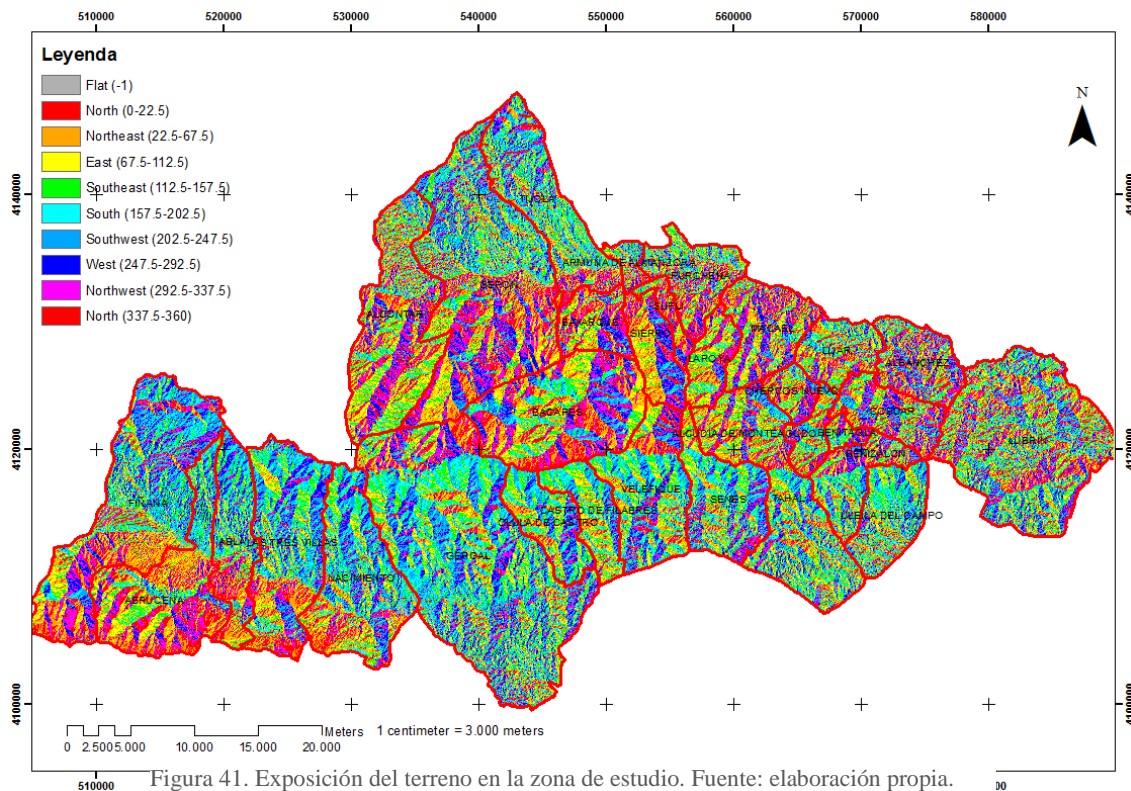


Figura 41. Exposición del terreno en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

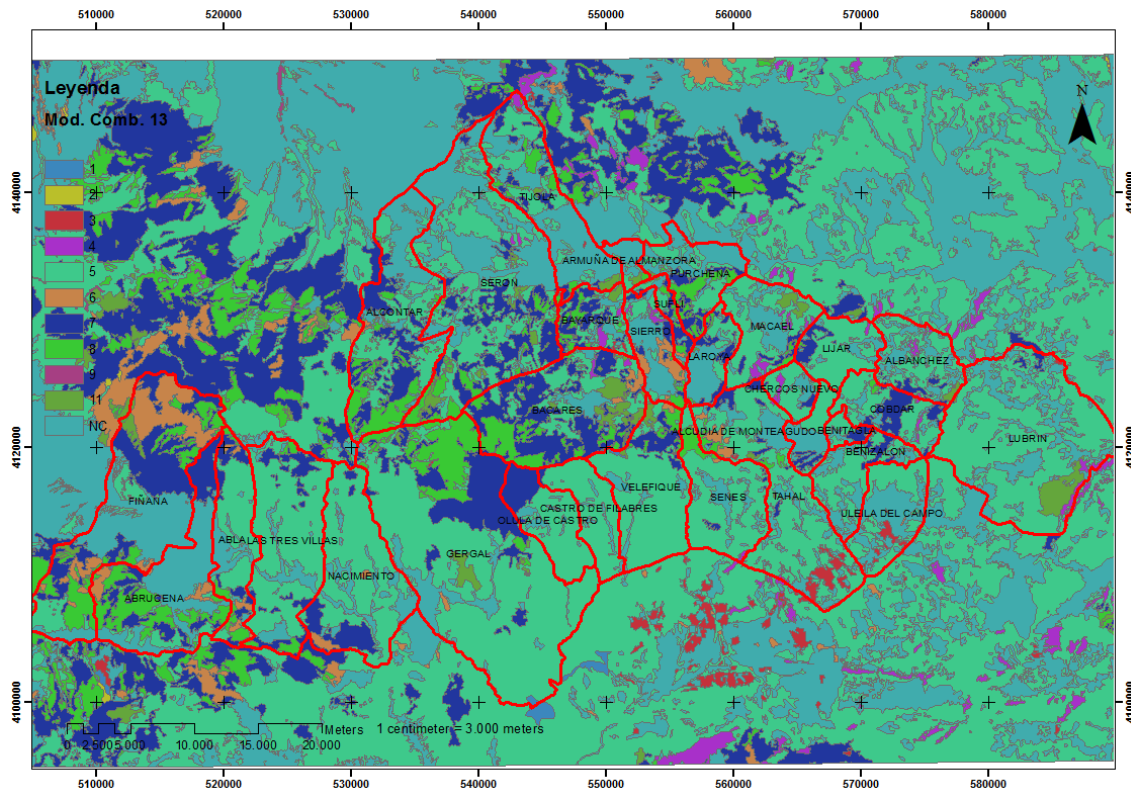


Figura 42. Modelos de combustible del sistema Behave. Fuente: REDIAM.

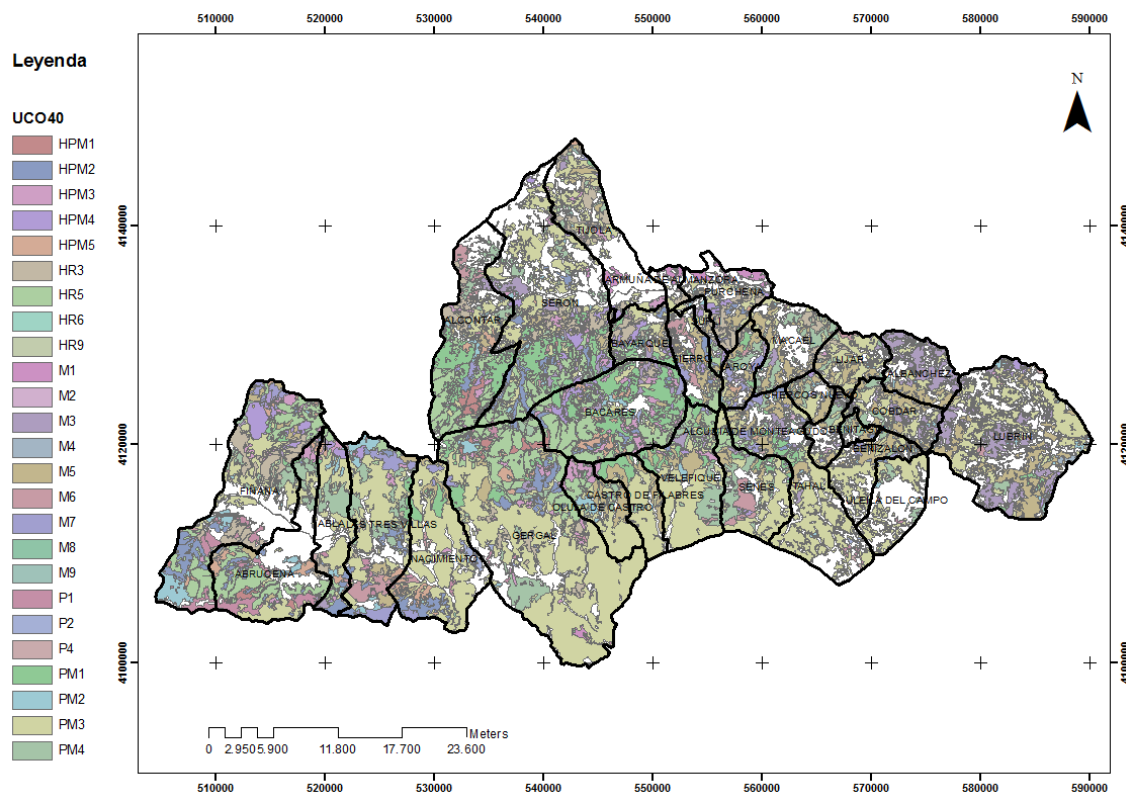


Figura 43. Modelos de combustible del sistema UCO-40. Fuente: LABIF.

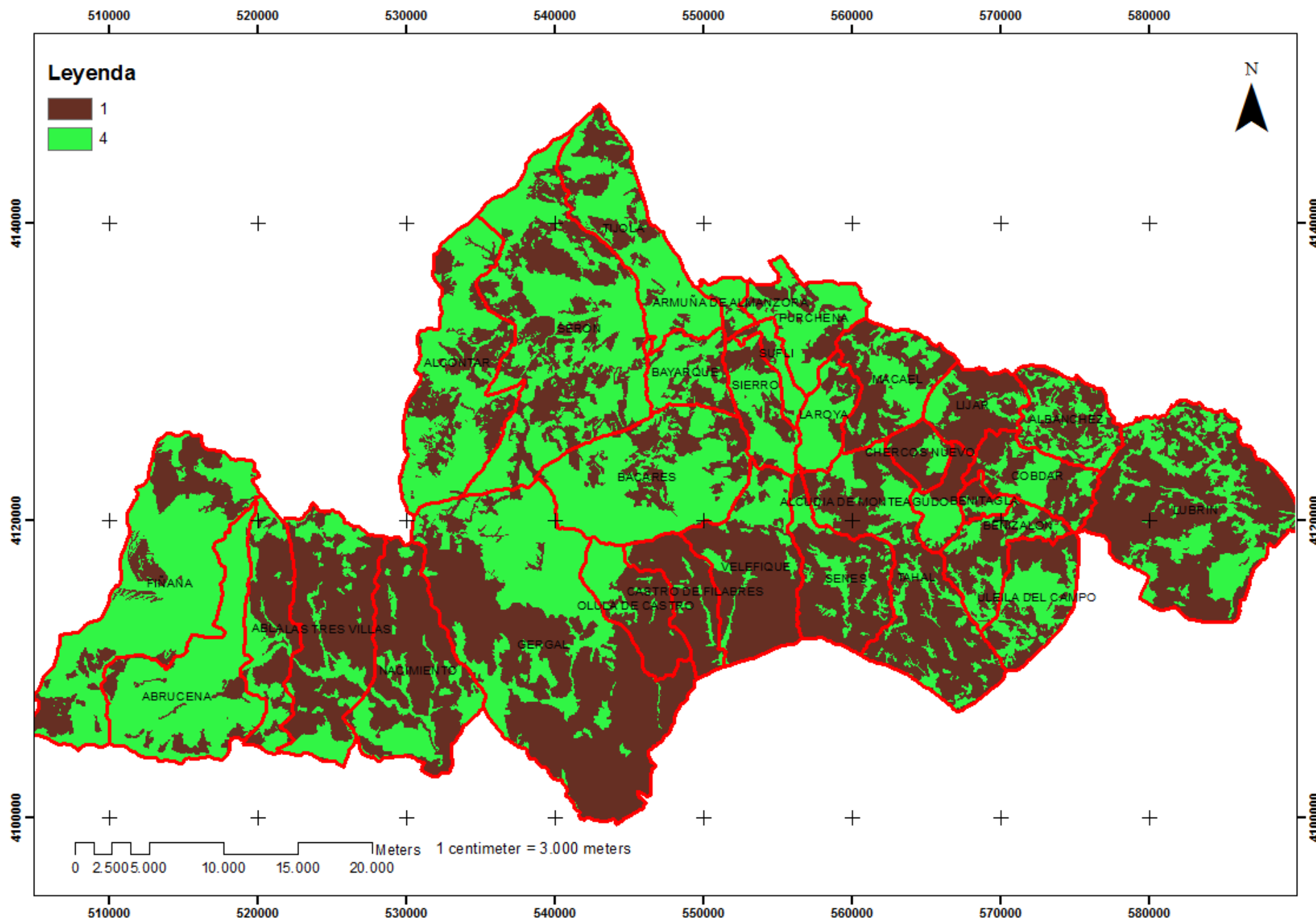


Figura 44. Cobertura arbórea de la zona de estudio para el simulador FlamMap. Fuente: elaboración propia.

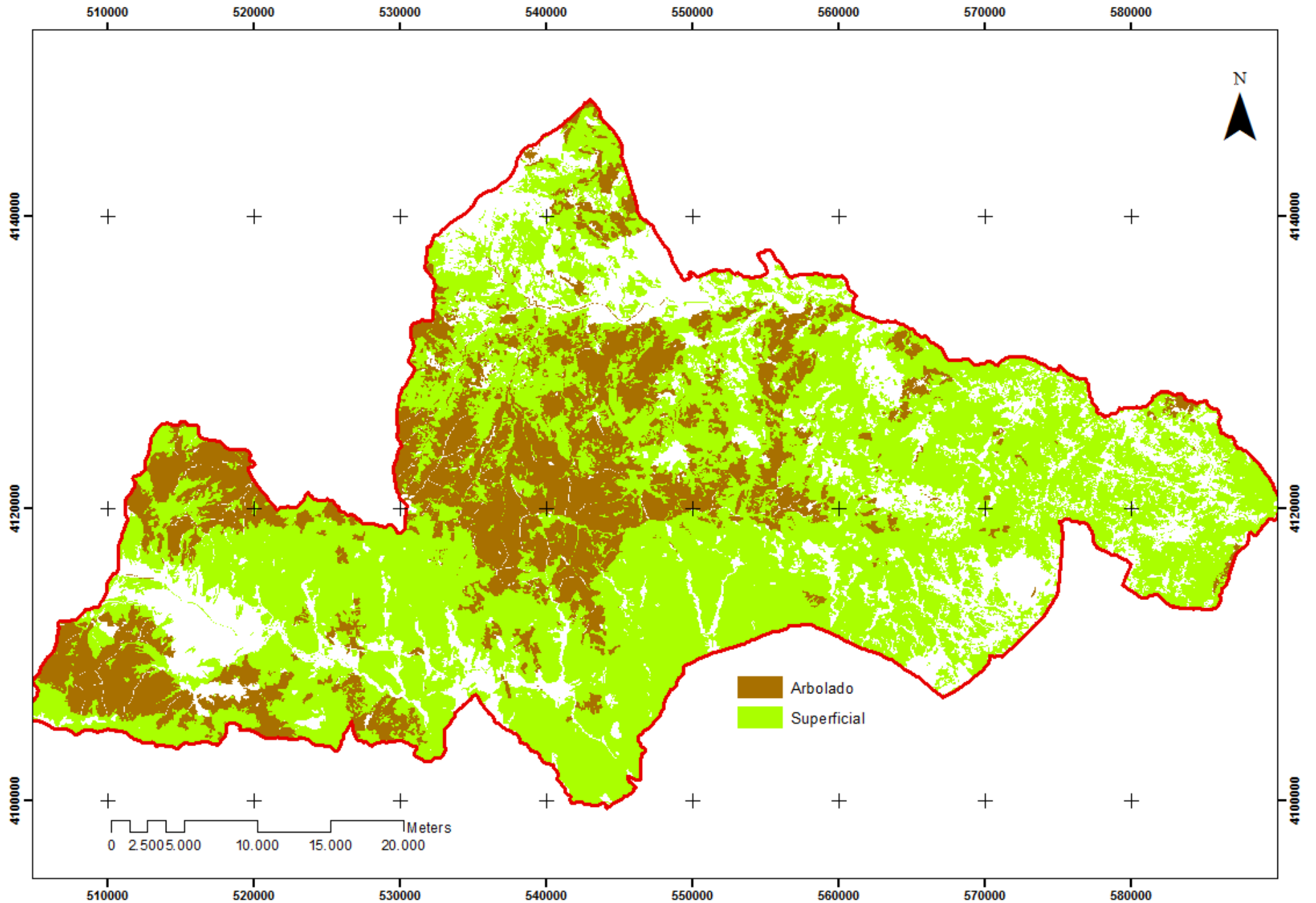


Figura 45. Naturaleza de la superficie de la zona de estudio. Transparente = no combustible; Verde = sin arbolado. Marrón = con arbolado. Fuente: elaboración propia.

ANEJO III

Figuras – Metodología



Figura 46. Posición de las parcelas donde se ha realizado el análisis del viento. Fuente: elaboración propia.

ANEJO IV

Tablas – Resultados

Tabla 13. Características de los pies arbóreos potencialmente influyentes en los registros de la estación meteorológica de la parcela nº 25 respecto a la propia estación. Fuente: elaboración propia.

ÁRBOL Nº	DIÁMETRO (cm)	X REAL	Y REAL	DIST X (m)	DIST Y (m)	DIST REAL (m)	CUADRANTE	ANGLE (º)
1	20,69	541842,03	4119607,19	-12,75	9,68	16,01	4	307
2	25,46	541840,48	4119614,84	-14,30	17,33	22,47	4	320
3	24,19	541841,00	4119605,75	-13,78	8,24	16,06	4	301
4	21,33	541841,78	4119603,44	-13,00	5,94	14,30	4	295
5	22,60	541837,09	4119607,62	-17,69	10,11	20,38	4	300
6	29,92	541830,36	4119613,61	-24,42	16,10	29,25	4	303
7	18,14	541832,61	4119609,24	-22,17	11,74	25,09	4	298
8	19,74	541830,96	4119611,43	-23,82	13,93	27,59	4	300
9	20,69	541828,71	4119611,25	-26,07	13,74	29,47	4	298
10	15,60	541837,76	4119604,07	-17,02	6,56	18,24	4	291
11	14,01	541835,72	4119605,09	-19,06	7,58	20,51	4	292
12	20,37	541833,60	4119605,61	-21,18	8,10	22,67	4	291
13	16,87	541827,40	4119606,32	-27,38	8,81	28,77	4	288
14	21,65	541826,68	4119607,37	-28,11	9,87	29,79	4	289
15	14,32	541823,92	4119608,47	-30,86	10,97	32,75	4	290
16	16,23	541822,71	4119606,58	-32,07	9,07	33,33	4	286
17	21,01	541837,37	4119602,51	-17,41	5,00	18,11	4	286
18	16,55	541835,37	4119601,38	-19,41	3,87	19,79	4	281
19	20,69	541832,51	4119601,15	-22,27	3,64	22,57	4	279
20	24,51	541828,53	4119600,71	-26,25	3,20	26,45	4	277
21	17,83	541824,87	4119600,13	-29,92	2,62	30,03	4	275
22	21,33	541819,18	4119600,08	-35,60	2,57	35,70	4	274
23	25,78	541814,44	4119597,96	-40,34	0,46	40,34	4	271
24	18,46	541827,15	4119603,00	-27,63	5,49	28,17	4	281

ÁRBOL Nº	DIÁMETRO (cm)	X REAL	Y REAL	DIST X (m)	DIST Y (m)	DIST REAL (m)	CUADRANTE	ANGLE (º)
25	25,15	541824,48	4119603,97	-30,31	6,46	30,99	4	282
26	19,42	541823,81	4119605,02	-30,98	7,51	31,87	4	284
27	21,96	541818,76	4119603,85	-36,02	6,34	36,57	4	280
28	21,01	541817,30	4119603,45	-37,48	5,94	37,95	4	279
29	19,42	541817,70	4119602,56	-37,08	5,05	37,42	4	278
30	21,33	541840,11	4119599,55	-14,67	2,05	14,82	4	278
31	25,46	541835,47	4119597,12	-19,31	-0,39	19,31	3	269
32	18,14	541831,67	4119597,72	-23,11	0,21	23,11	4	271
33	24,19	541827,82	4119597,77	-26,96	0,27	26,96	4	271
34	20,69	541825,76	4119596,72	-29,03	-0,78	29,04	3	268
35	20,69	541819,74	4119594,99	-35,04	-2,51	35,13	3	266
36	14,96	541819,93	4119594,60	-34,85	-2,90	34,97	3	265
37	26,42	541818,10	4119593,94	-36,68	-3,57	36,86	3	264
38	17,83	541823,22	4119592,48	-31,56	-5,02	31,96	3	261
39	22,28	541820,75	4119592,15	-34,03	-5,36	34,45	3	261
40	19,42	541818,91	4119591,25	-35,87	-6,25	36,41	3	260
41	23,24	541817,65	4119590,64	-37,13	-6,87	37,76	3	260
42	26,42	541825,77	4119593,45	-29,01	-4,06	29,29	3	262
43	19,10	541841,72	4119596,42	-13,06	-1,08	13,11	3	265
44	19,74	541841,41	4119594,80	-13,38	-2,70	13,65	3	259
45	20,37	541844,56	4119598,94	-10,22	1,43	10,32	4	278
46	27,69	541849,05	4119594,36	-5,73	-3,15	6,54	3	241
47	18,46	541847,73	4119594,47	-7,06	-3,03	7,68	3	247
48	19,42	541844,50	4119592,35	-10,29	-5,15	11,50	3	243
49	18,14	541843,17	4119593,20	-11,61	-4,30	12,38	3	250
50	23,87	541849,20	4119601,22	-5,58	3,72	6,71	4	304
51	28,01	541848,55	4119599,53	-6,23	2,02	6,55	4	288
52	19,10	541852,58	4119597,69	-2,20	0,19	2,21	4	275

ÁRBOL Nº	DIÁMETRO (cm)	X REAL	Y REAL	DIST X (m)	DIST Y (m)	DIST REAL (m)	CUADRANTE	ANGLE (º)
53	21,01	541853,88	4119597,70	-0,91	0,19	0,93	4	282
54	13,37	541851,84	4119602,69	-2,94	5,19	5,96	4	330
55	19,74	541845,30	4119603,12	-9,49	5,61	11,02	4	301
56	22,60	541844,85	4119604,20	-9,94	6,69	11,98	4	304
57	18,46	541850,65	4119606,09	-4,13	8,58	9,53	4	334
58	14,96	541844,63	4119606,49	-10,15	8,98	13,56	4	311
59	18,46	541844,42	4119608,31	-10,36	10,81	14,97	4	316
60	16,23	541845,29	4119614,78	-9,49	17,27	19,71	4	331
61	17,19	541846,34	4119616,39	-8,44	18,88	20,69	4	336
62	15,28	541848,29	4119625,90	-6,50	28,39	29,13	4	347
63	25,15	541848,10	4119622,03	-6,68	24,52	25,42	4	345
64	15,60	541842,61	4119625,20	-12,17	27,69	30,25	4	336
65	19,74	541848,12	4119619,74	-6,67	22,23	23,21	4	343
66	21,65	541849,02	4119616,52	-5,76	19,01	19,87	4	343
67	24,51	541848,26	4119612,89	-6,52	15,38	16,71	4	337
68	17,51	541844,21	4119614,49	-10,57	16,98	20,00	4	328
69	19,74	541850,12	4119610,37	-4,66	12,87	13,69	4	340
70	20,69	541848,98	4119608,01	-5,81	10,51	12,01	4	331
Centro	-	541843	4119603	-11,78	5,49	13,00	4	295

Figuras – Resultados



Figura 47. Masa en la parcela nº 25



Figura 48. Masa en la parcela nº 26



Figura 49. Masa en la parcela nº 27



Figura 50. Masa en la parcela nº 31



Figura 51. Detalle de estación inferior de LC



Figura 53. Medición de posición de los pies arbóreos.



Figura 52. Veletas en la LC para las parcelas superiores



Figura 54. Posición de los pies arbóreos con posible afección a los registros de viento de la estación en la parcela n° 25. A mayor tamaño de punto mayor diámetro del pie arbóreo a la altura del pecho. Fuente: elaboración propia.

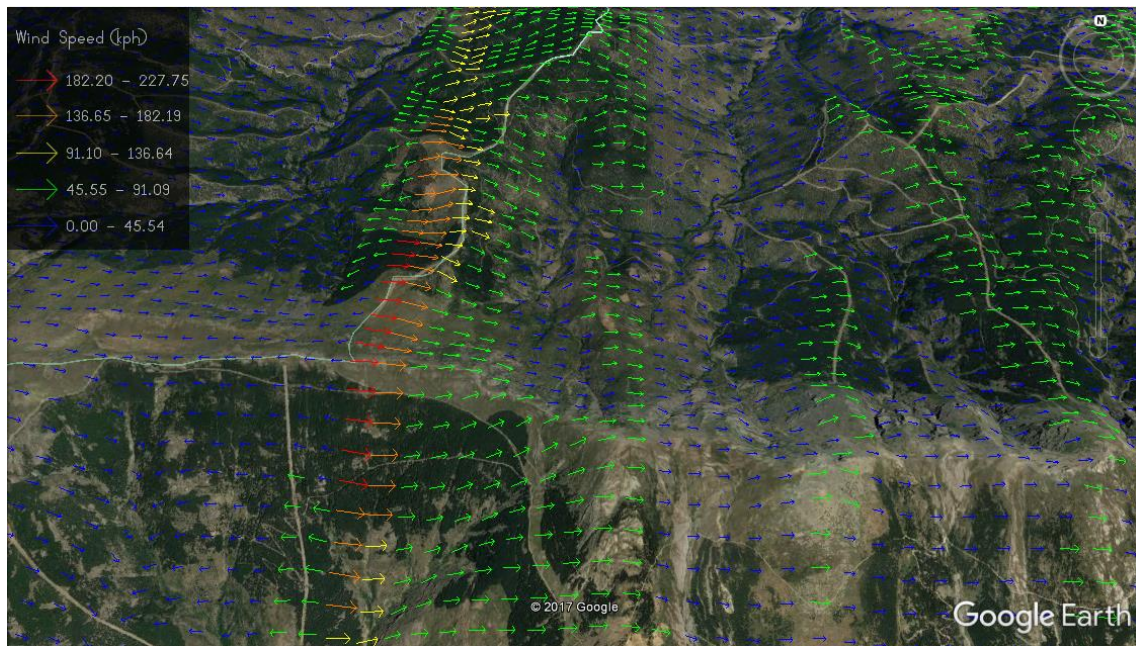


Figura 55. Muestra del fallo debido al efecto borde en la simulación de WindNinja para la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

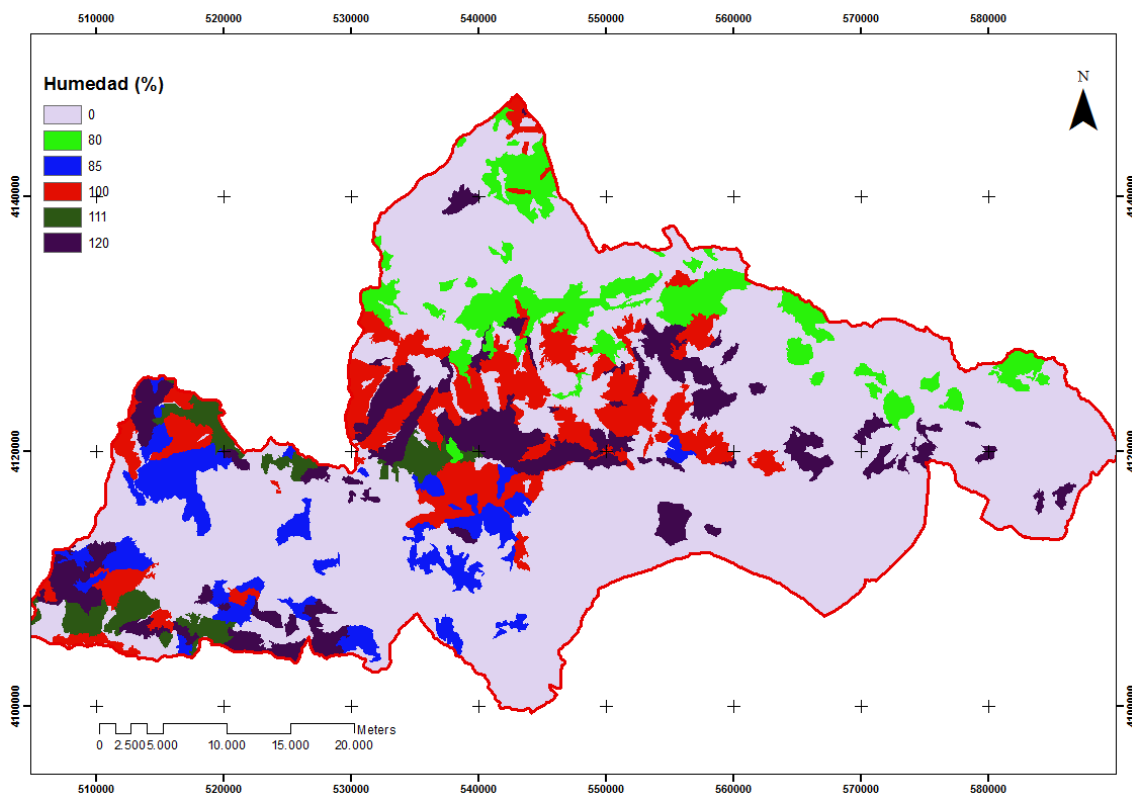


Figura 56. Humedad foliar de las especies arbóreas en base seca. Fuente: Servicio de Extinción de Incendios de la provincia de Almería.

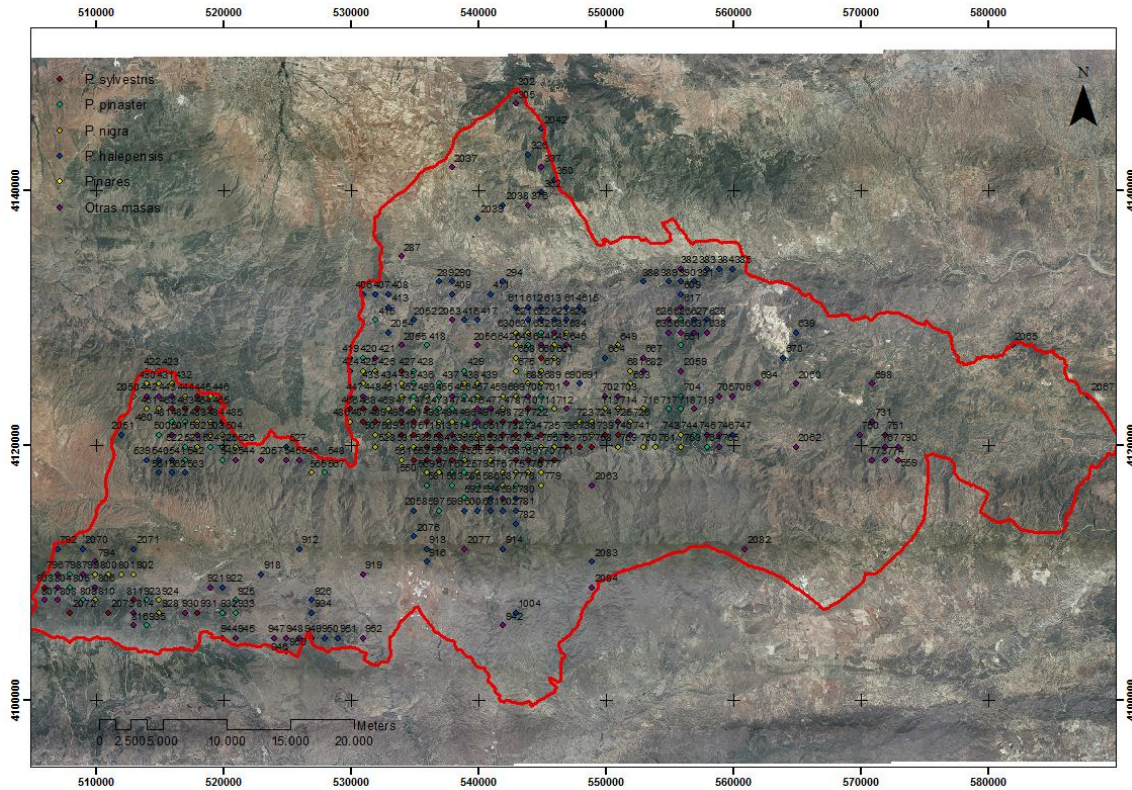


Figura 57. Parcelas de muestreo del Tercer Inventario Forestal Nacional en la zona de estudio. Fuente: MAPAMA.

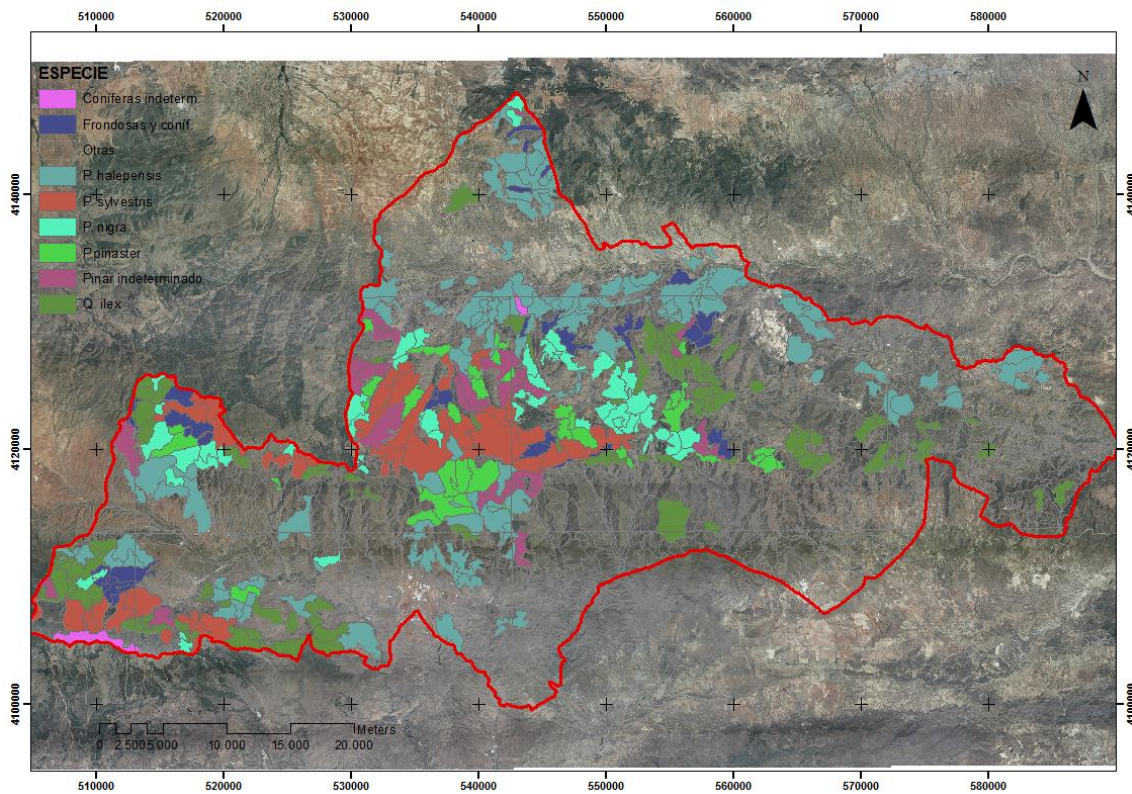


Figura 58. Superficie ocupada por distintas especies arbóreas en la zona de estudio. Fuente: REDIAM.

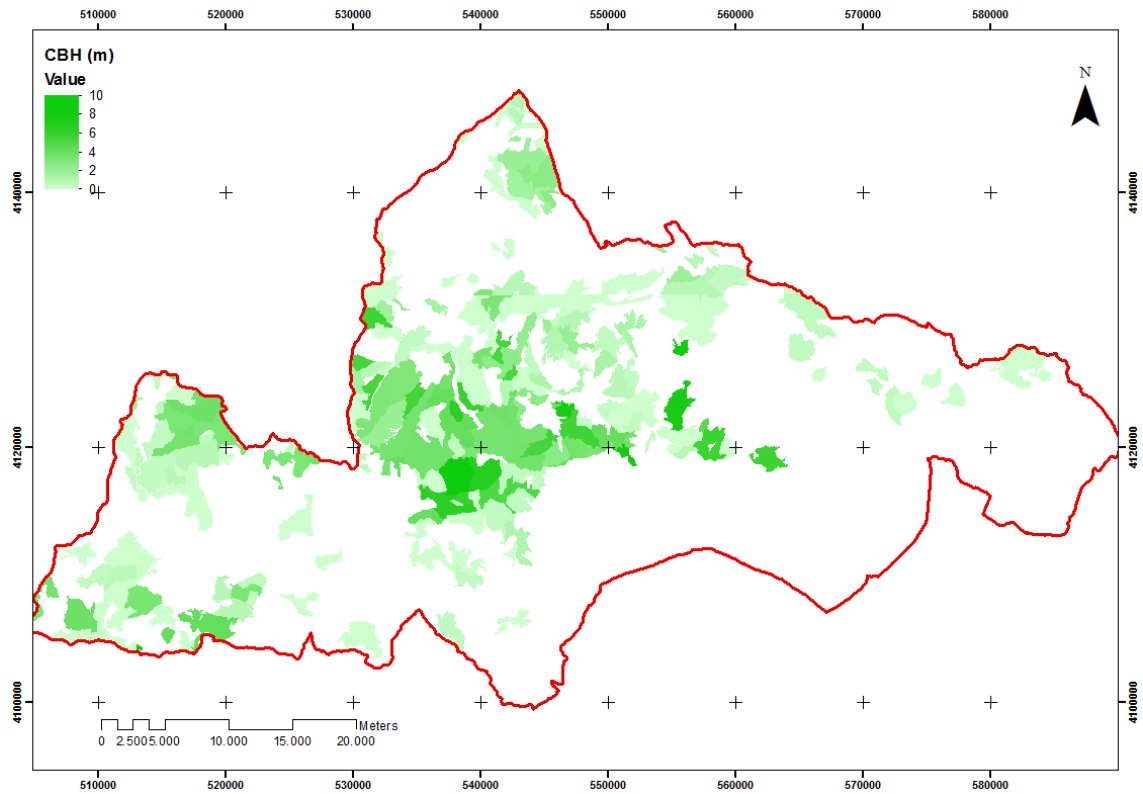


Figura 59. Distancia entre la parte superior del combustible superficial y la base de la copa viva. Fuente: elaboración propia.

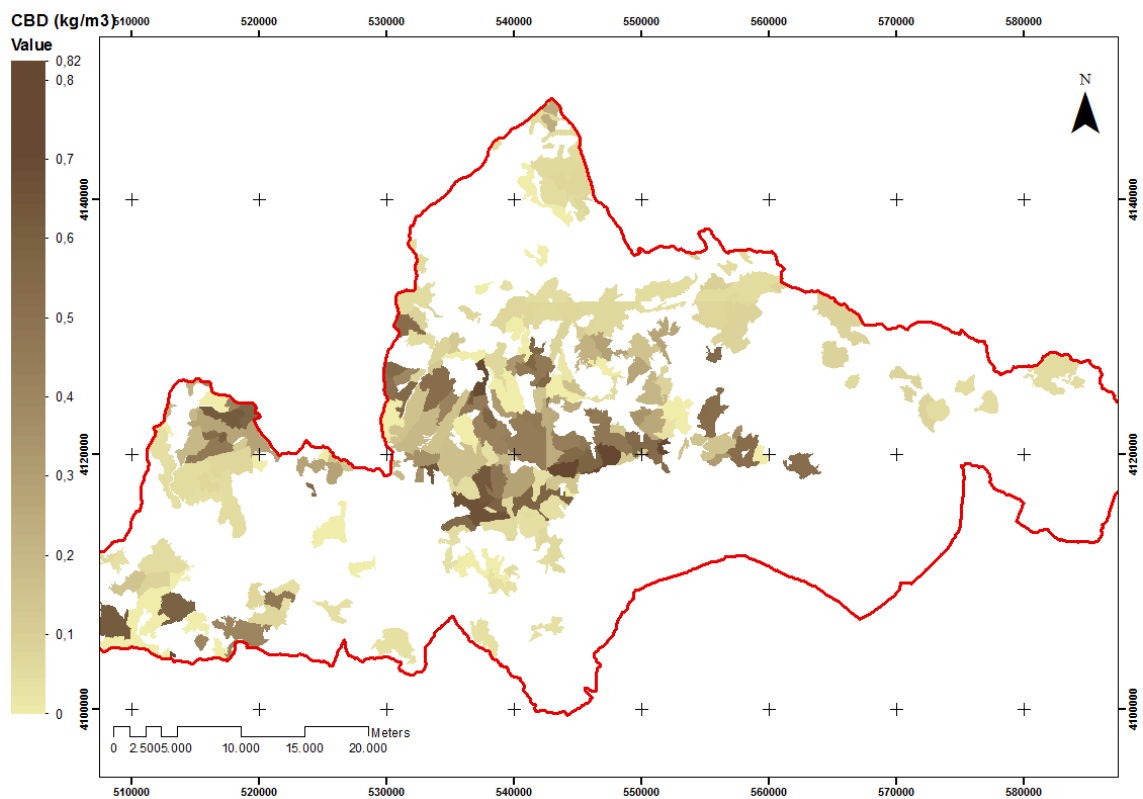


Figura 60. Densidad aparente de copas del dosel arbóreo en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

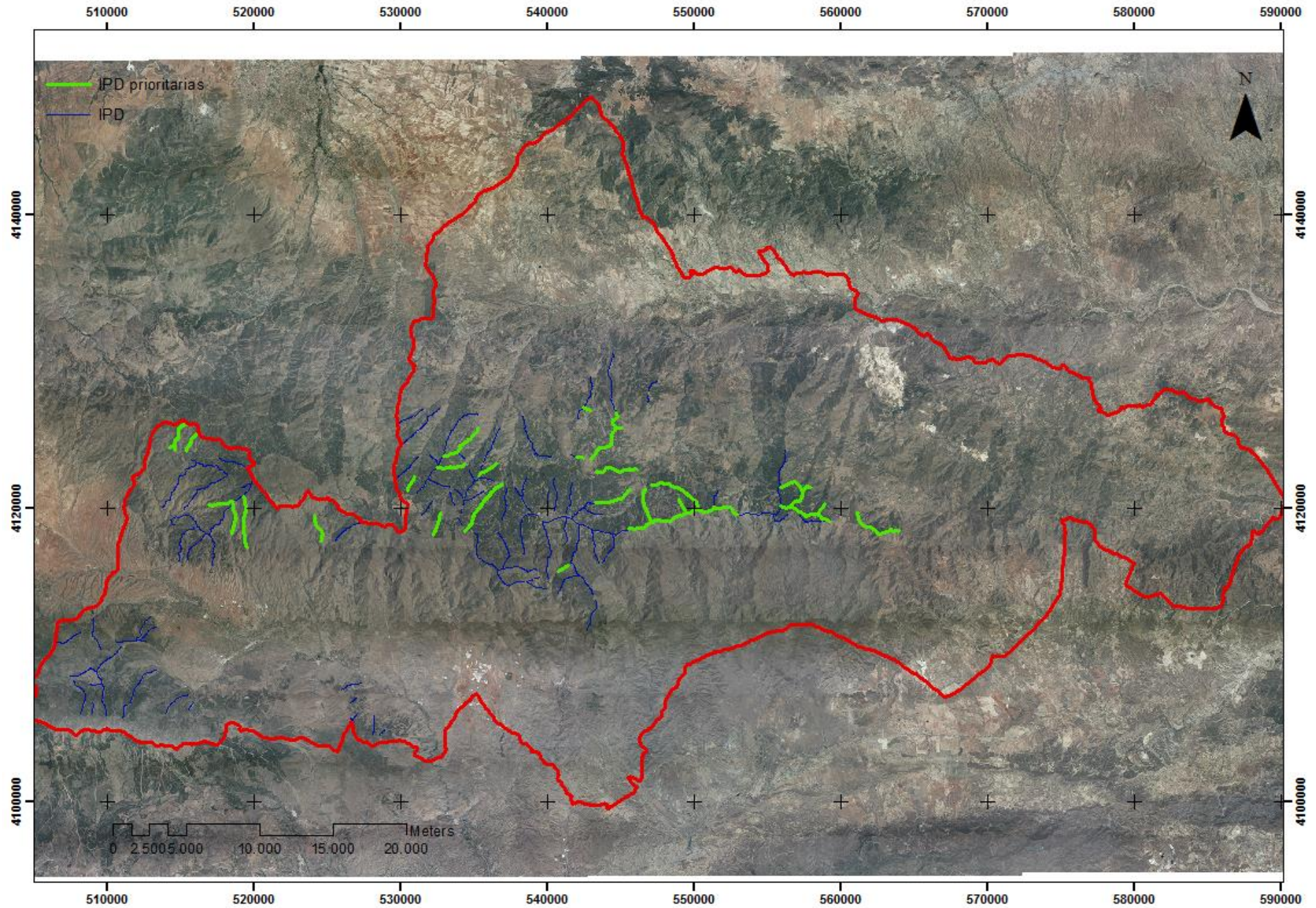


Figura 61. IPD presentes en la zona de estudio. Se hace distinción entre aquellas prioritadas (verde) y el resto (azul). Fuente: elaboración propia.

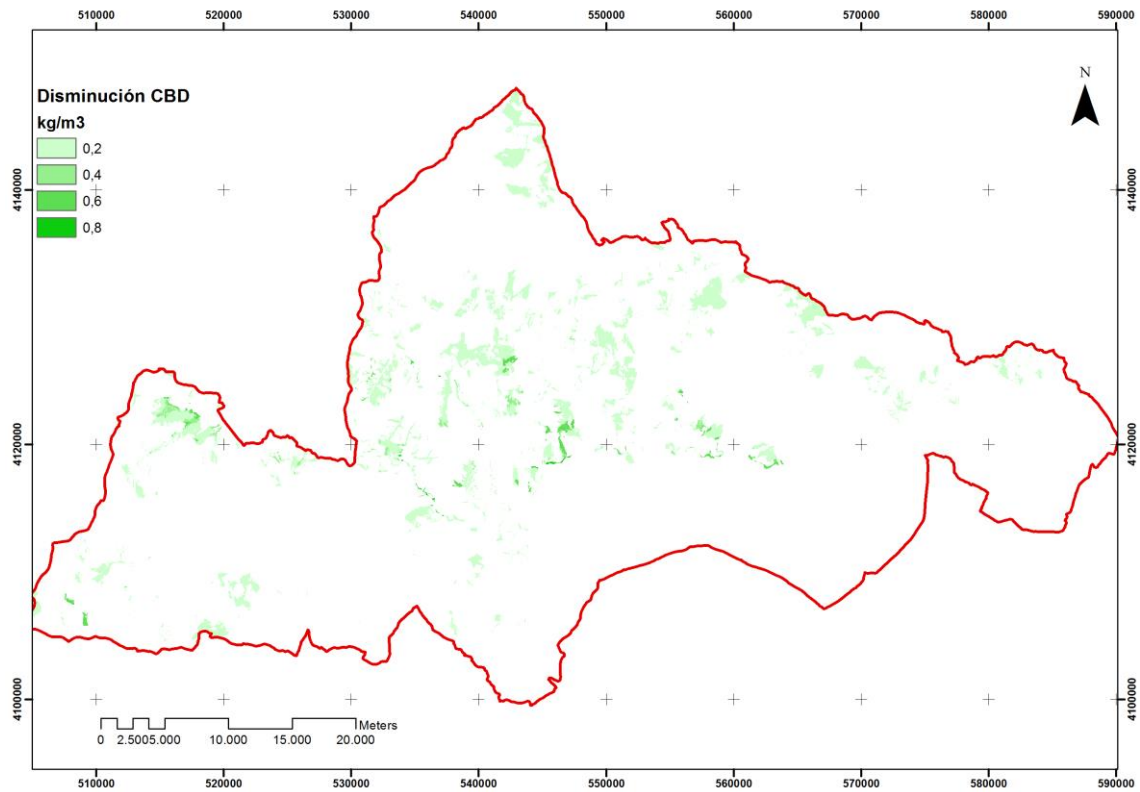


Figura 63. Disminución de la CBD para evitar la propagación activa por copas. Fuente: elaboración propia.

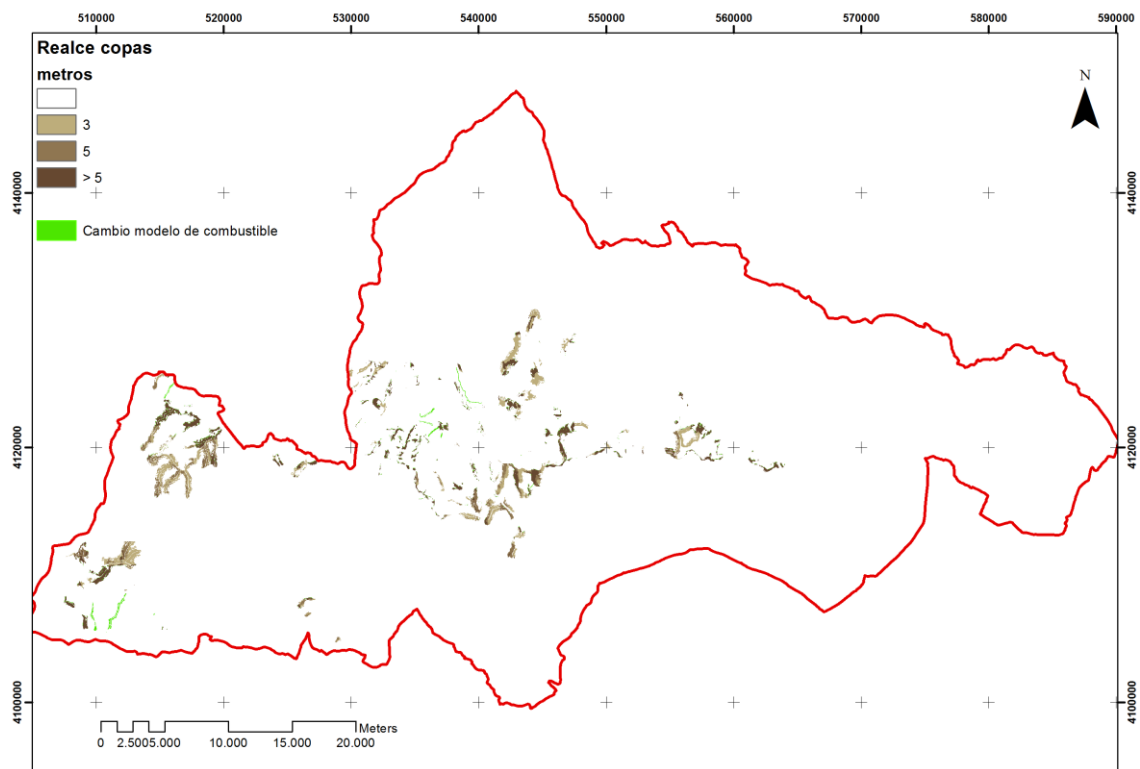


Figura 62. Disminución necesaria de la CBD para evitar la propagación activa por copas del frente de llamas. Fuente: elaboración propia.

ANEJO V

Fichas

PARÁMETROS

- A - Anchura de la IPD simulada (m)
- AP - Anchura actual de la IPD
- FS - Distancia de caída de Focos Secundarios (m)
- Ha - Altura del arbolado (m)
- Hm - Altura del matorral (m)
- LI - Longitud de llama (m)
- M.C. - Modelo de Combustible
- Orient. - Orientación (Solana/Umbría; Paralela/Perpendicular al vector viento)
- PTE - Pendiente (%)
- Tipo de f. - Tipo de propagación del frente de llamas (Superficial, pasivo por copas, activo por copas)
- Vv - Velocidad del viento a 10 metros ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)

DESCRIPTORES

- Descarga - Descarga de combustible superficial
 - dt - Dependiente del Tramo
- LC 2ª - LC secundaria para impedir la continuidad del combustible hacia las masas tratadas
- Mod. - Modificación del modelo de combustible
- M.C. - Modificación del modelo de combustible
- Paral. - Paralelo
- Perp. - Perpendicular
- Realce - Realce de la base de la copa
- Var. - Variable

Ejemplo: un valor de 30 en la columna APD de la fila de barlovento del tramo 2 indica que se propone la construcción (o mantenimiento, en caso de existir previamente dicha estructura) de un Área Preventiva de Defensa de 30 metros de anchura a barlovento del tramo 2, que habrá sido previamente descrito en el apartado “Casos detallados”.

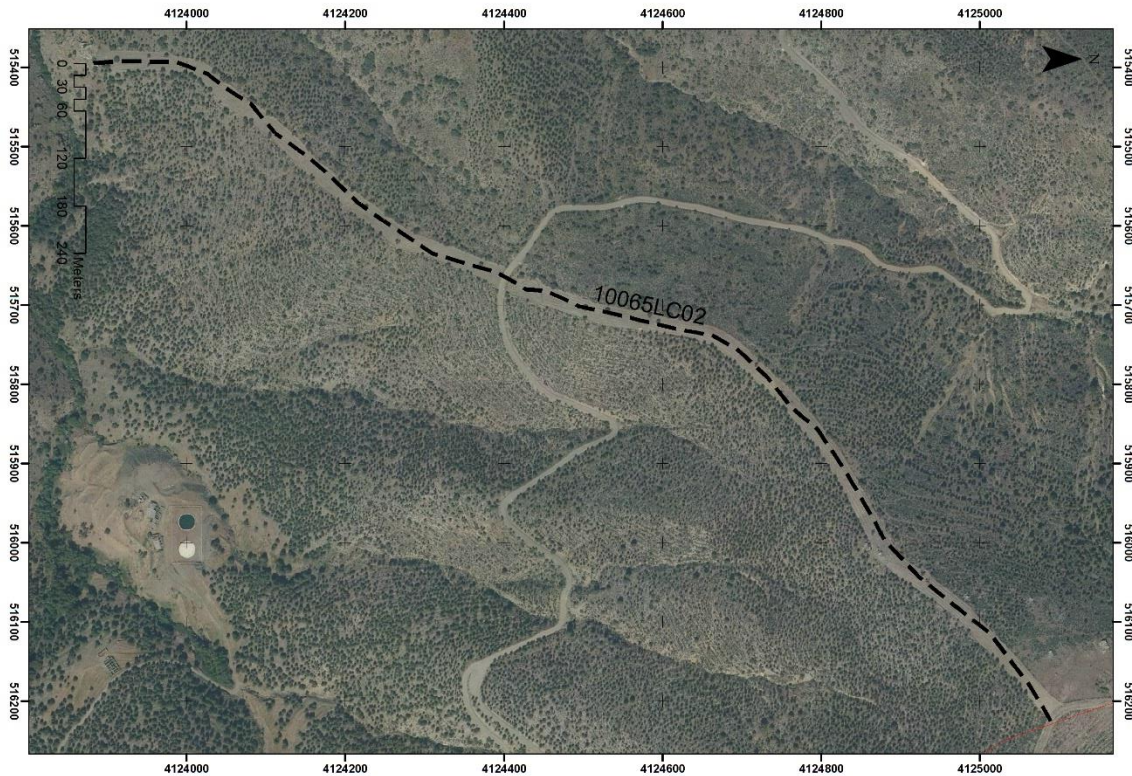
Ficha 1

CÓDIGO 10065LC02
NOMBRE Lechera
MONTE El Prado

1

TRAMO	ESTADO PREVIO								AP: 30	
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Barlovento Sotavento	M7	5,4	1,2			65	40	25	Perp.	<i>P. nigra</i>
2 Barlovento Sotavento	M7		1,2			20	40	25	Perp.	<i>P. nigra</i>

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Barlovento Sotavento	10	25	30		Superficie	17	50	400
2 Barlovento Sotavento	20		30		Superficie	17	50	400
	5							



Ficha 2

CÓDIGO 10021LC11
NOMBRE Prado Alto
MONTE Cortijo del Conde

2

TRAMO	ESTADO PREVIO									AP: 40
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Barlovento Sotavento	HPM3	8	0,2	5	0,47	Var.	36	20	Perp.	<i>P. nigra</i> <i>P. sylv.</i>

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Barlovento Sotavento			40		Superficie	7	30	350



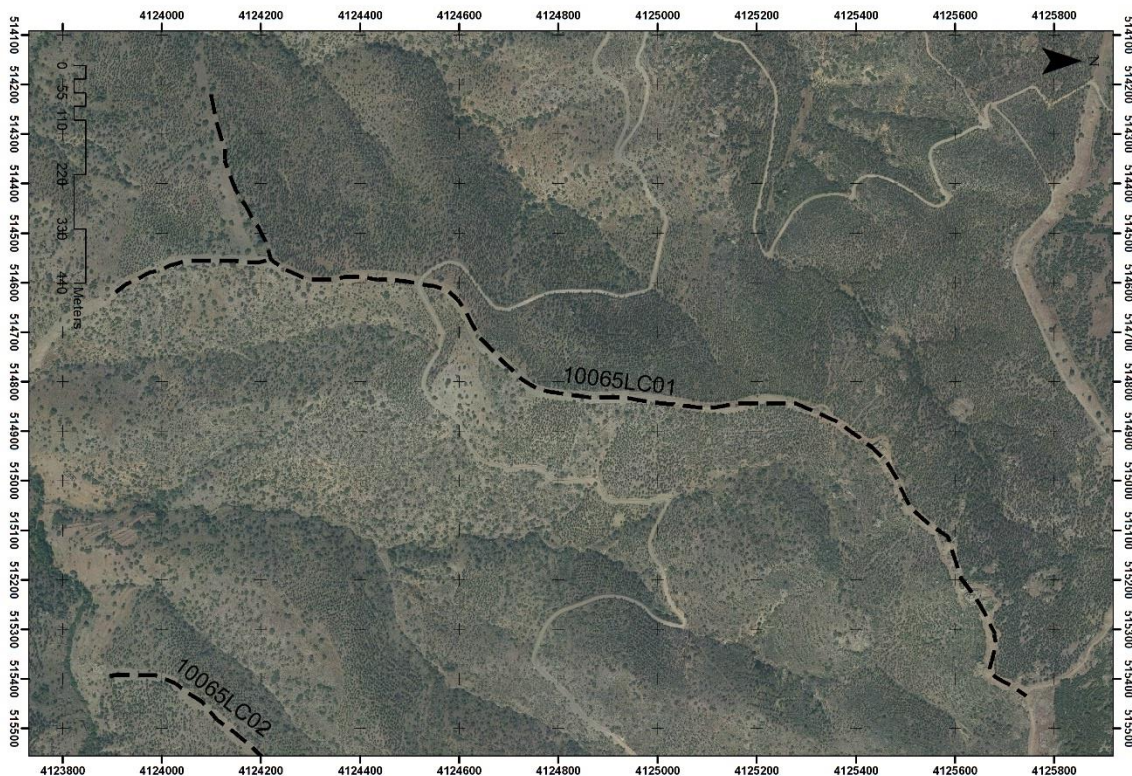
Ficha 3

CÓDIGO 10065LC01
NOMBRE Calvache
MONTE El Prado

3

	TRAMO	ESTADO PREVIO								AP: 20	
		M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1	Barlovento	HPM5	6	1,3	2	0,2	60	40	30	Perp.	<i>P. nigra</i>
	Sotavento	M7	3,3	0,8			20				
2	Barlovento	M7	3,3	0,8	2	0,2	20	50	20	Perp.	<i>P. nigra</i>
	Sotavento	HPM4	5	0,8			60				

	TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
		BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1	Barlovento	15	60	30		Activo	6-30	30	220
	Sotavento					Superficie	17	50	400
2	Barlovento	10		30		Superficie	20	50	500
	Sotavento					Activo	11-30	30	500



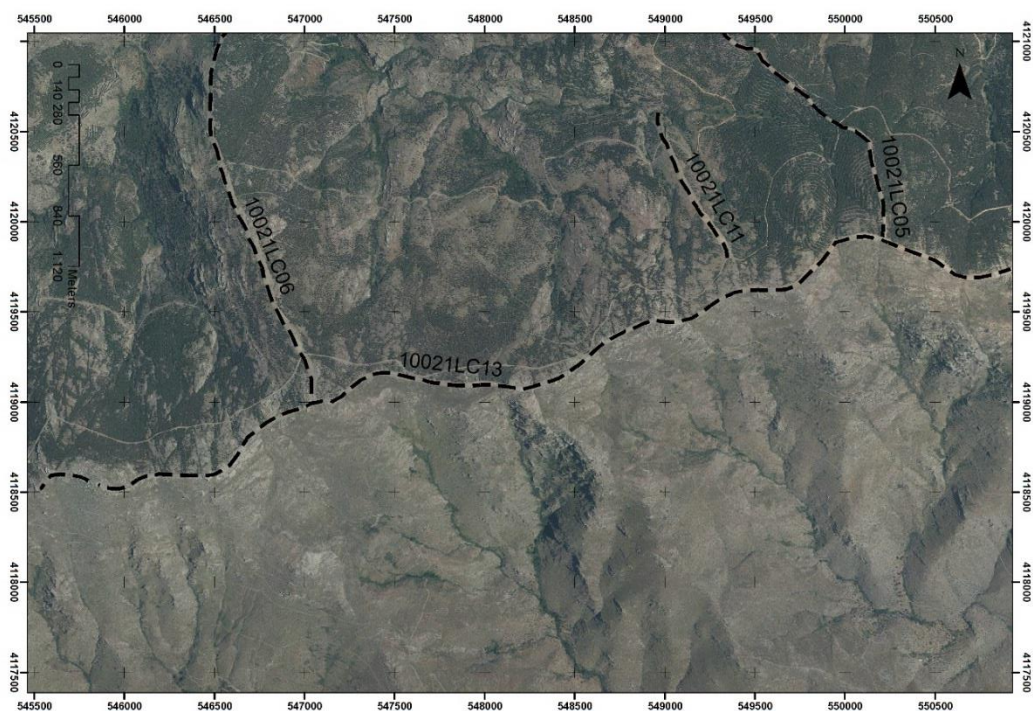
Ficha 4

CÓDIGO 10021LC13
NOMBRE Cumbre de Filabres
MONTE Cortijo del Conde

4

TRAMO	ESTADO PREVIO								AP: 50		
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie	
1	Sur	PM1						40	35	Paral.	<i>P. sylv.</i>
	Norte	HR5	8	0,3	4	0,43	80	50	20		
2	Sur	PM1						40	35	Paral.	<i>P. sylv.</i>
	Norte	HPM3	6	0,2	3,4	0,12	40	40	30		
3	Sur	PM1						40	35	Paral.	<i>P. sylv.</i>
	Norte	HPM5	6	0,2	3,4	0,12	40	40	30		

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1	Sur	10			Superficie	8	30	500
	Norte			30	Superficie	0,5	10	80
2	Sur	10			Superficie	8	30	500
	Norte	15	60	30	Pasivo	4-30	35	300
3	Sur	10			Superficie	8	30	500
	Norte	15	60	30	Activo	8-40	30	100



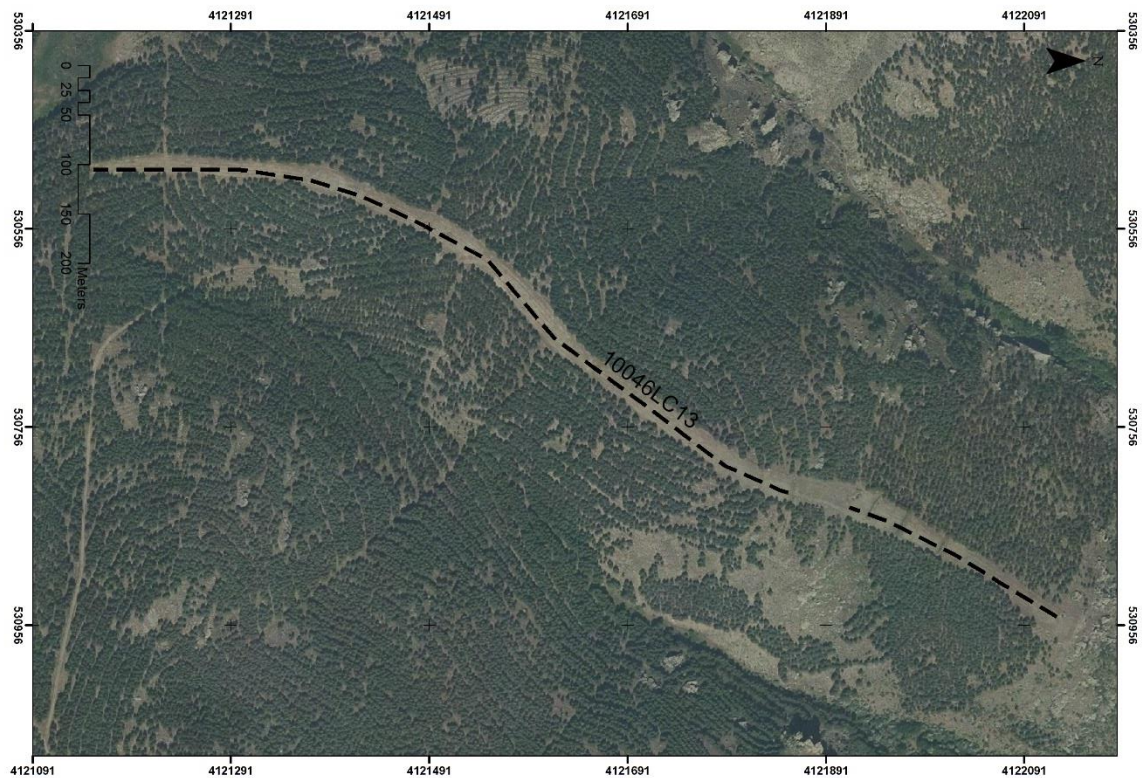
Ficha 5

CÓDIGO 10046LC13
NOMBRE Medianega
MONTE Parcelas del Luc

5

TRAMO	ESTADO PREVIO									AP: 25
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Barlovento Sotavento	HR5	6,5	0,2	3,7	0,33	70	40	20	Perp. Umbría	P. sylv.

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Barlovento Sotavento			25		Superficie	0,5	10	65



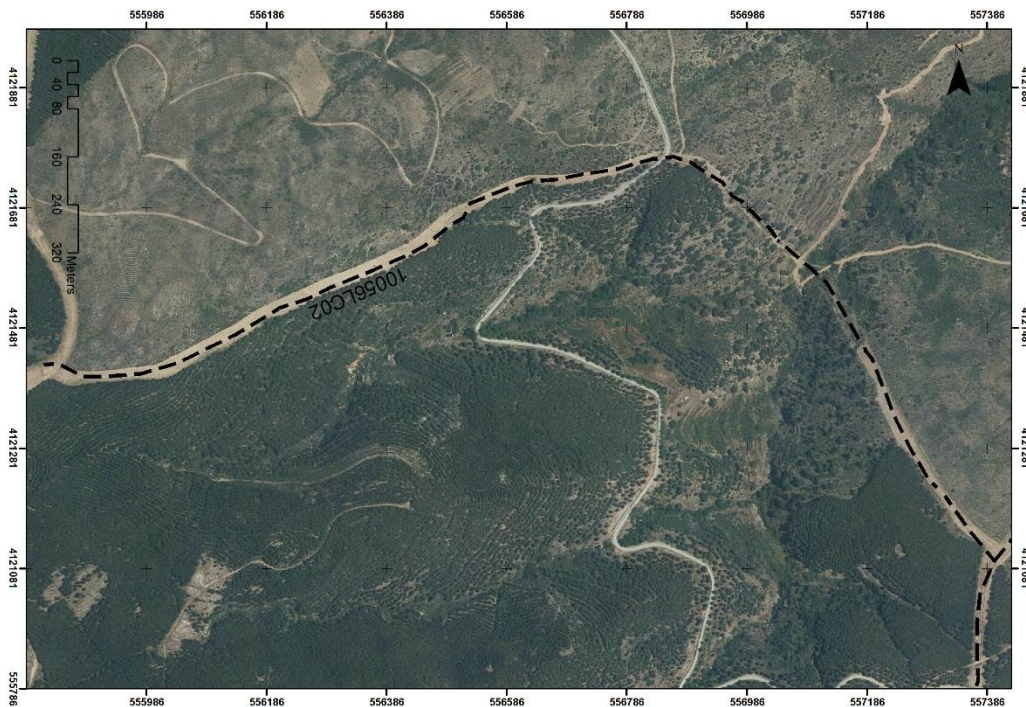
Ficha 6

CÓDIGO 10056LC02
NOMBRE Collado de Yuste
MONTE Parcelas de Vele

6

TRAMO	ESTADO PREVIO								AP: 40	
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Norte Sur	PM3								Paral.	
	HPM5	7	1	1	0,15	70	50	20	Sur	<i>P. sylv.</i>
2 Barlovento Sotavento	M3							35	Paral.	
	PM3							40	Sur	
3 Barlovento Sotavento	HPM5	8	1,4	1,4	0,1	90	40	10	Perp.	<i>P. sylv.</i>
	PM3								Sur	

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Norte Sur			30	LC 2ª (5) + Mod. M.C.		13	35	700
	Var.				Pasivo	3-30	20	150
2 Barlovento Sotavento	10		30			13	50	400
	20					13	35	700
3 Barlovento Sotavento	Var.		30	LC 2ª (5) + Mod. M.C.	Pasivo	3-40	20	150
						13	35	700



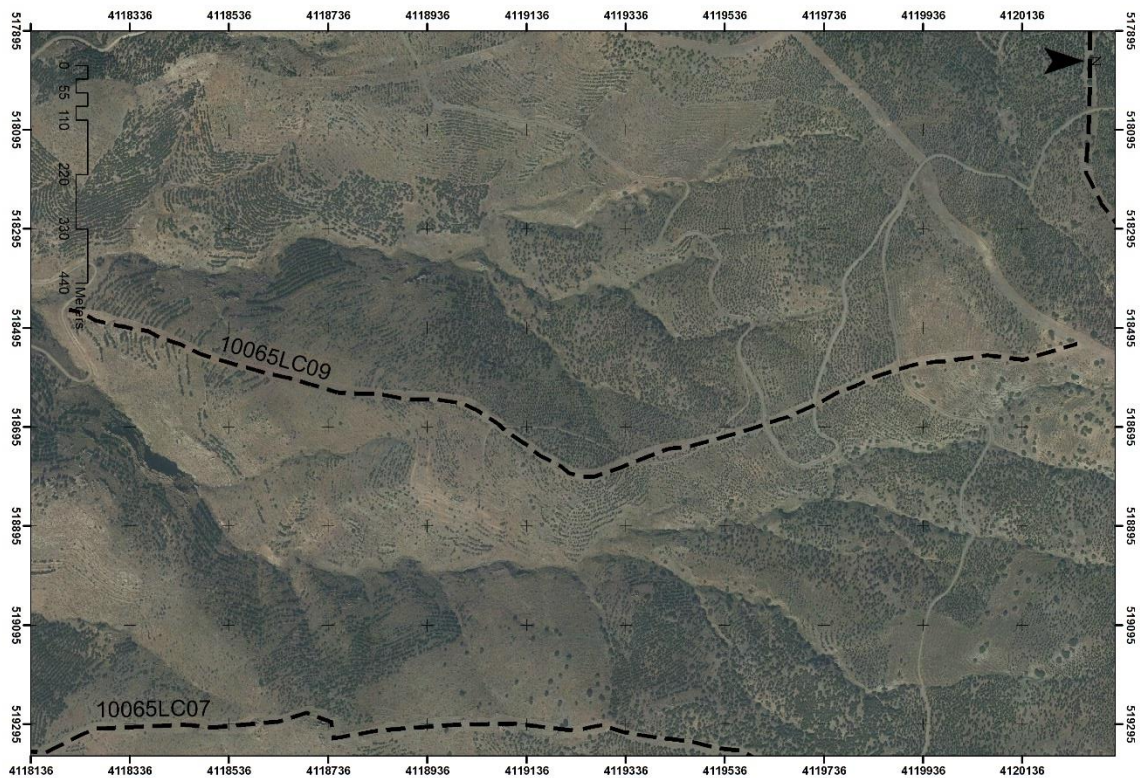
Ficha 7

CÓDIGO 10065LC09
NOMBRE Las Olivillas
MONTE El Prado

7

TRAMO	ESTADO PREVIO									AP: 30
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Barlovento Sotavento	HPM3	6	0,3	0,7	0,1	50	35	20	Perp. Sur	<i>P. pina.</i>

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Barlovento Sotavento	15(dt)	50(dt)	30	Realce	Activo	6-25	35	300



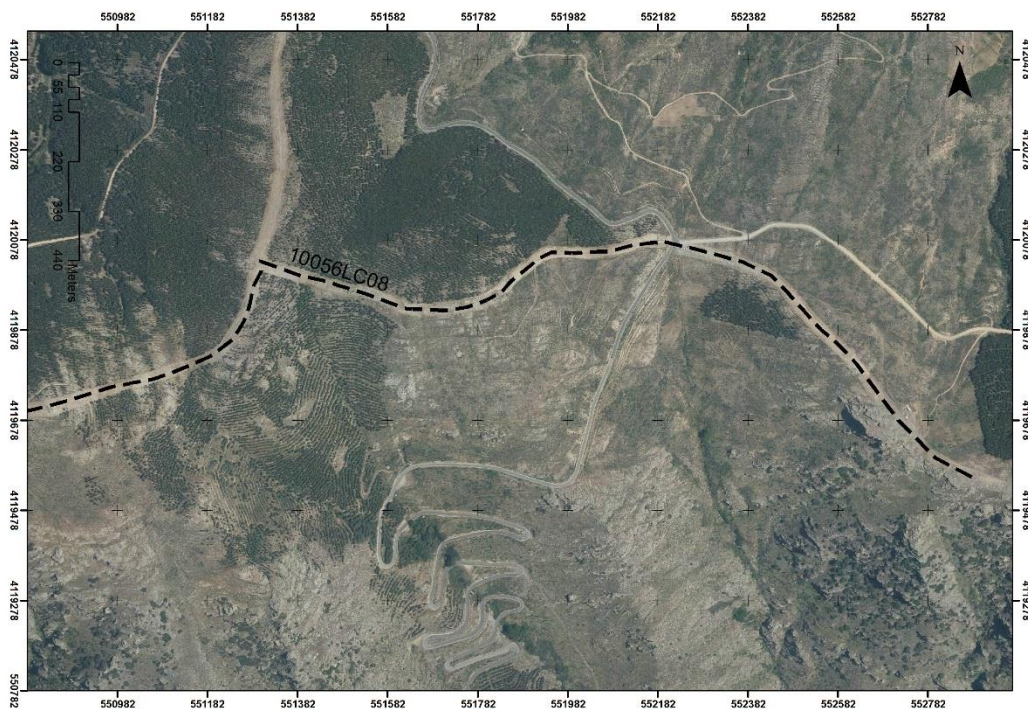
Ficha 8

CÓDIGO 10056LC08
NOMBRE Cumbre de Filabres
MONTE Parcelas de Velefique

8

TRAMO	ESTADO PREVIO								AP: 50	
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Sur Norte	HPM2	5	0,2	1	0,15	60	50	15	Paral.	P. nigra
	HR5	9	0,3	1	0,15	80			Divis.	P. nigra
1 Sur Norte	PM3	9	0,3	1	0,15	90	40	20	Paral.	P. nigra
	HR5								Divis.	
2 Barlovento Sotavento	PM1						40	15	Perp.	
	M3								Divis.	

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Sur Norte	15(dt)	50(dt)	35	LC 2 ^a + Mod. MC.(dt) (7)	Activo	4-27	30	120
					Superficie	1	10	80
2 Sur Norte	10		35		Superficie	10	35	500
						1	10	80
3 Barlovento Sotavento	10		35		Superficie	7	30	400
	5					10	45	350



Ficha 9

CÓDIGO 10043LC02
NOMBRE Saltador alto
MONTE Lomillas de Serón

9

TRAMO	ESTADO PREVIO									AP: 35
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Barlovento Sotavento	HR5	8	0,1	0,1	0,1- 0,5	40-70	40	20	Perp. Umbria	<i>P. nigra</i>

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Barlovento Sotavento	20		35	LC 2ª (5)	Superficie	0,5	30	80

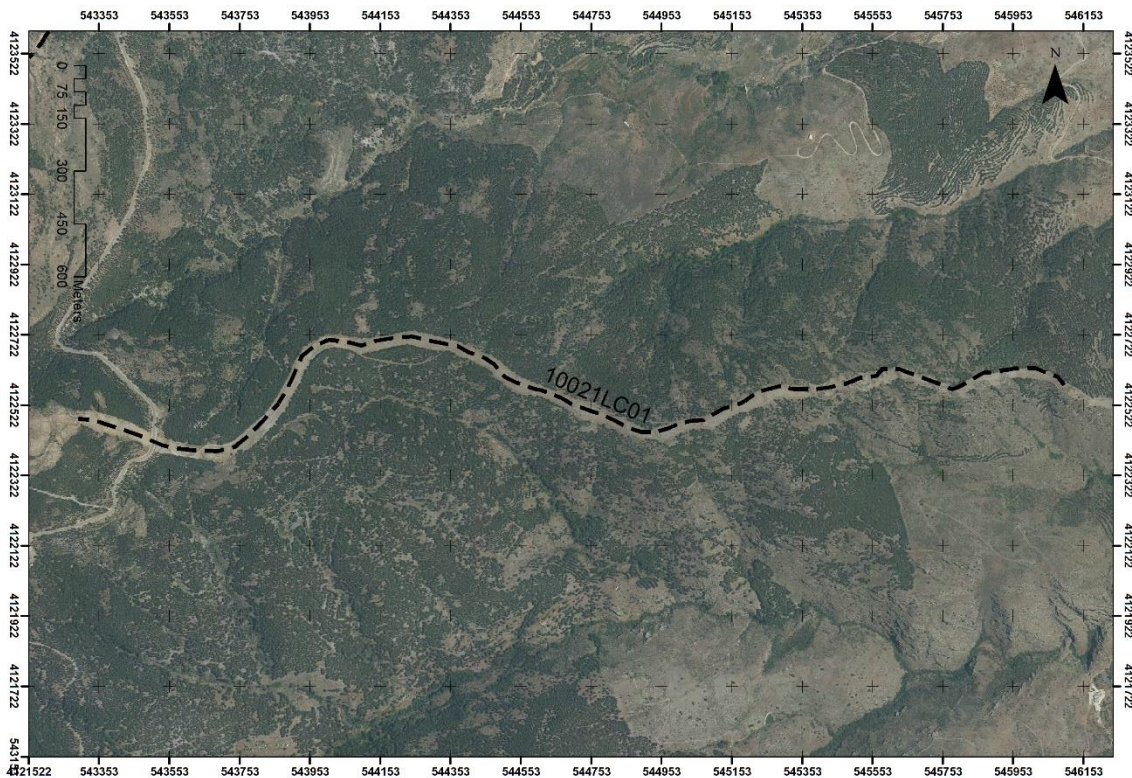


Ficha 10

CÓDIGO 10021LC01 10
NOMBRE MONTE Loma del Aire Cortijo del Conde

TRAMO	ESTADO PREVIO									AP: 35
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Sur Norte	HR5	7	0,5	4,5	0,5	60	40	15	Paral. Umbria	<i>P.nigra</i>
		7,5	0,3	3,5	0,5	70				
2 Sur Norte	PM1 HR5	7,5	0,3	3,5	0,5	70	40	30	Paral. Umbria	<i>P.nigra</i>

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Sur Norte	15		35		Superficie	0,5	30	80
2 Sur Norte			35					
					Superficie	0,5	30	80



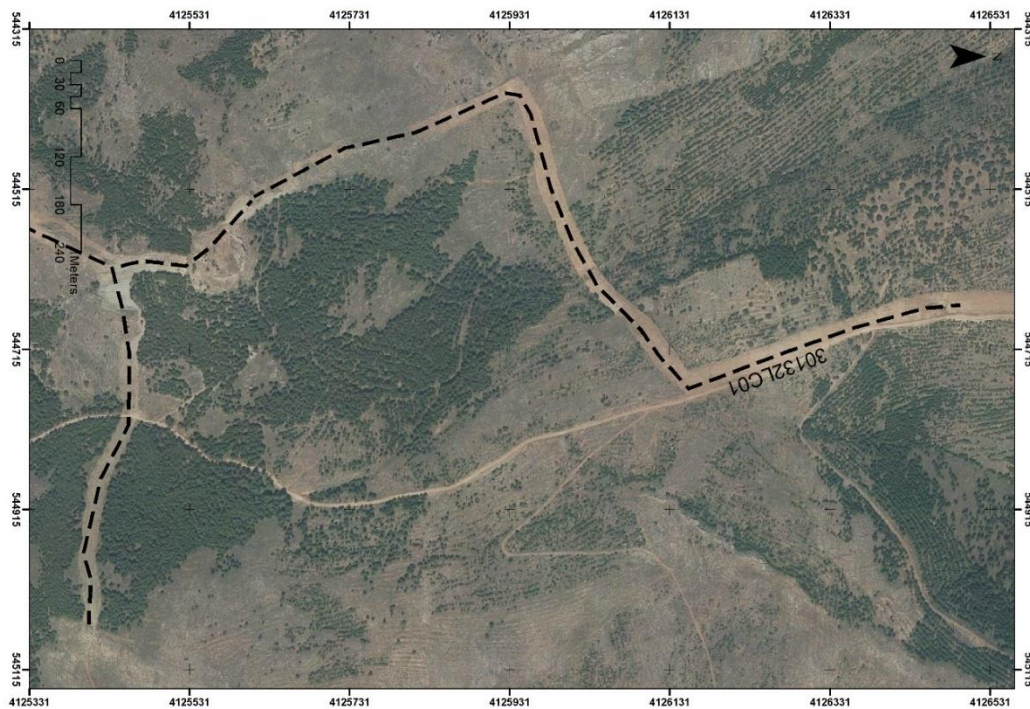
Ficha 11

CÓDIGO 30132LC01
NOMBRE Pozo de la Nieve
MONTE Los Calares

11

TRAMO	ESTADO PREVIO									AP: 30
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Barlovento Sotavento	PM1/4 PM1	5	0,2	1	0,1	50	40	30	Perp.	
2 Barlovento Sotavento	PM1 HPM4	7,5	0,4	1,5	0,2	70	50	20	Perp.	<i>P. nigra</i>
3 Barlovento Sotavento	HR5	7,5	0,4	1,5	0,3	90	45	15	Perp.	<i>P. nigra</i>

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Barlovento Sotavento	10 (dt) 10	40(dt)	30		Superficie	7-16	30-40	400
2 Barlovento Sotavento	10		30	LC 2ª (7) + Mod. M.C.	Superficie Activo	8 8	30 30	500 300
3 Barlovento Sotavento			30		Superficie	1	15	100



Ficha 12

CÓDIGO 10056LC05
 Collado
NOMBRE García
MONTE Parcelas de Velefique

12

TRAMO	ESTADO PREVIO								AP: 25	
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Barlovento Sotavento	M5									
	HR5	7	0,5	2	0,4	80	50	20	Perp.	<i>P. pina.</i>
2 Barlovento Sotavento	M5									
	PM1	3	0,5	0,7	0,1	50	40	30	Perp.	<i>P. pina.</i>
3 Barlovento Sotavento	PM3						50	40	Perp.	
	PM1									
4 Sur Norte	PM1									
	HR5	7	0,2	1,5	0,4	90	50	35	Paral.	<i>P. pina.</i>
5 Sur Norte	M5									
	HR5	7	0,2	1,5	0,4	70	50	35	Paral.	<i>P. pina.</i>

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Barlovento Sotavento	5		30	Realce+LC2 ^a (4)	Superficie	15	50	600
					Pasivo	1/20	25	70
2 Barlovento Sotavento	5	20	30	20	Superficie	15	50	600
					Pasivo	15	30	250
3 Barlovento Sotavento	5		40	100 ⁷	Superficie	10	40	700
						10	30	500
4 Sur Norte			30	Descarga	Superficie	10	30	500
					Pasivo	1/20	25	70
5 Sur Norte			30	Descarga	Superficie	15	50	600
					Pasivo	1/20	25	70

⁷ Cambio de modelo de combustible mediante fuego prescrito



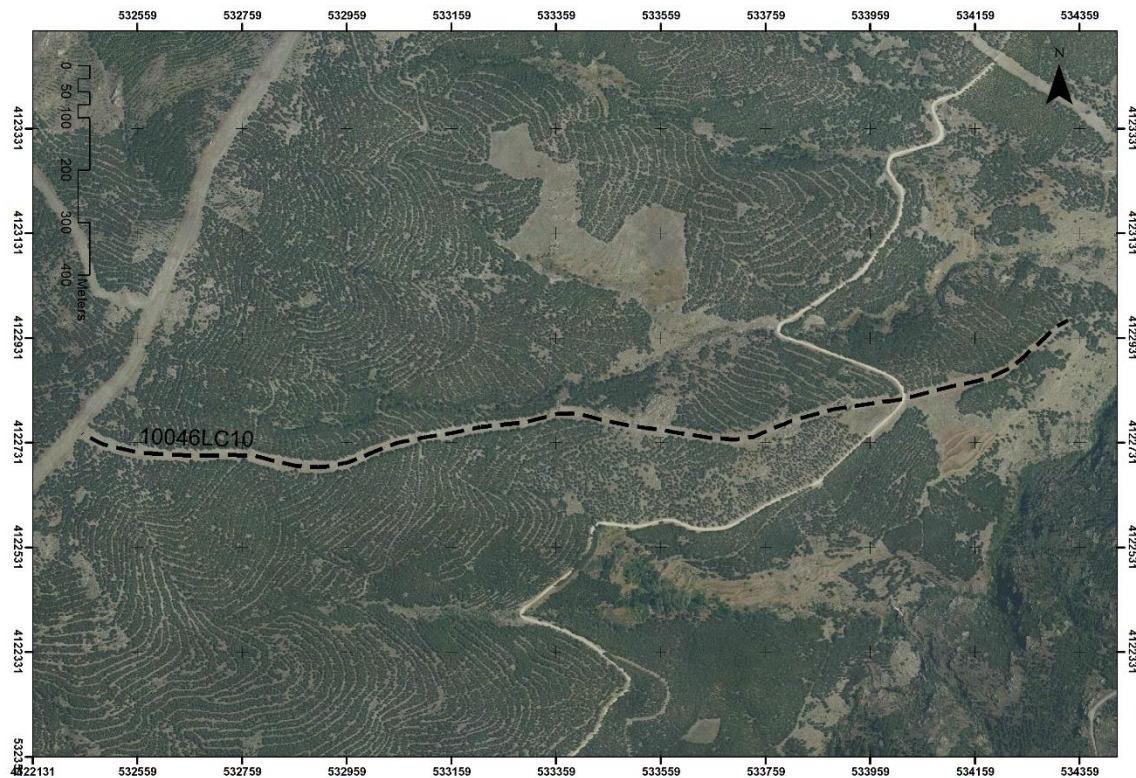
Ficha 13

CÓDIGO 10046LC10
NOMBRE Prado Cajas
MONTE Parcelas del Luc

13

TRAMO	ESTADO PREVIO									AP: 25
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Barlovento Sotavento	HR5	7,5	0,2	2	0,2	80	40	20	Paral. Umbria	<i>P. nigra</i>

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Barlovento Sotavento			25		Superficie	1	25	80



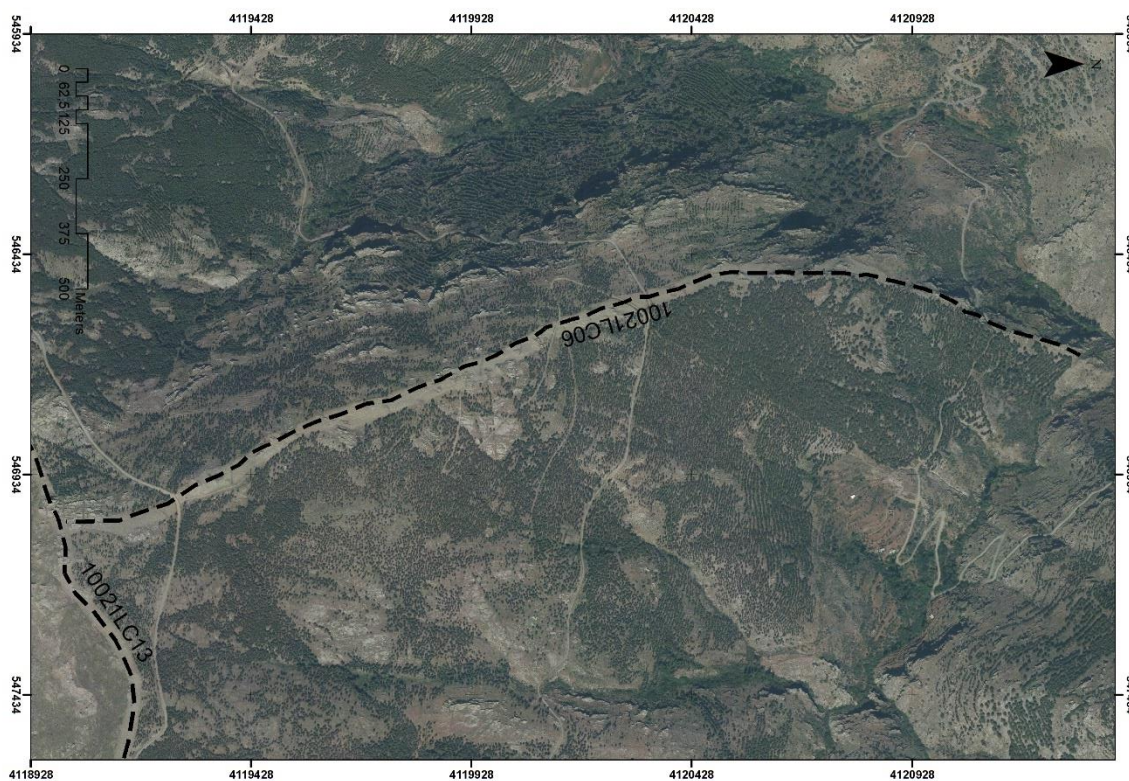
Ficha 14

CÓDIGO 10021LC06
NOMBRE Loma de Meneses
MONTE Cortijo del Conde

14

TRAMO	ESTADO PREVIO								AP: 30		
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie	
1	Barlovento	PM1							40	Perp.	<i>P. sylv.</i>
	Sotavento	HR5	7	0,3	4	0,8	80	40	20		
2	Barlovento	HPM5	7	0,3	4	0,8	50	40	20	Perp.	<i>P. sylv.</i>
	Sotavento	HR5	7	0,3	4	0,8	60				

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1	Barlovento Sotavento		30	Realce en 1/3	Superficie	8	30	500
					Superficie	1	10	70
2	Barlovento Sotavento	15	Var.	30	Activo	8-50	30	300
					Superficie	1	10	70



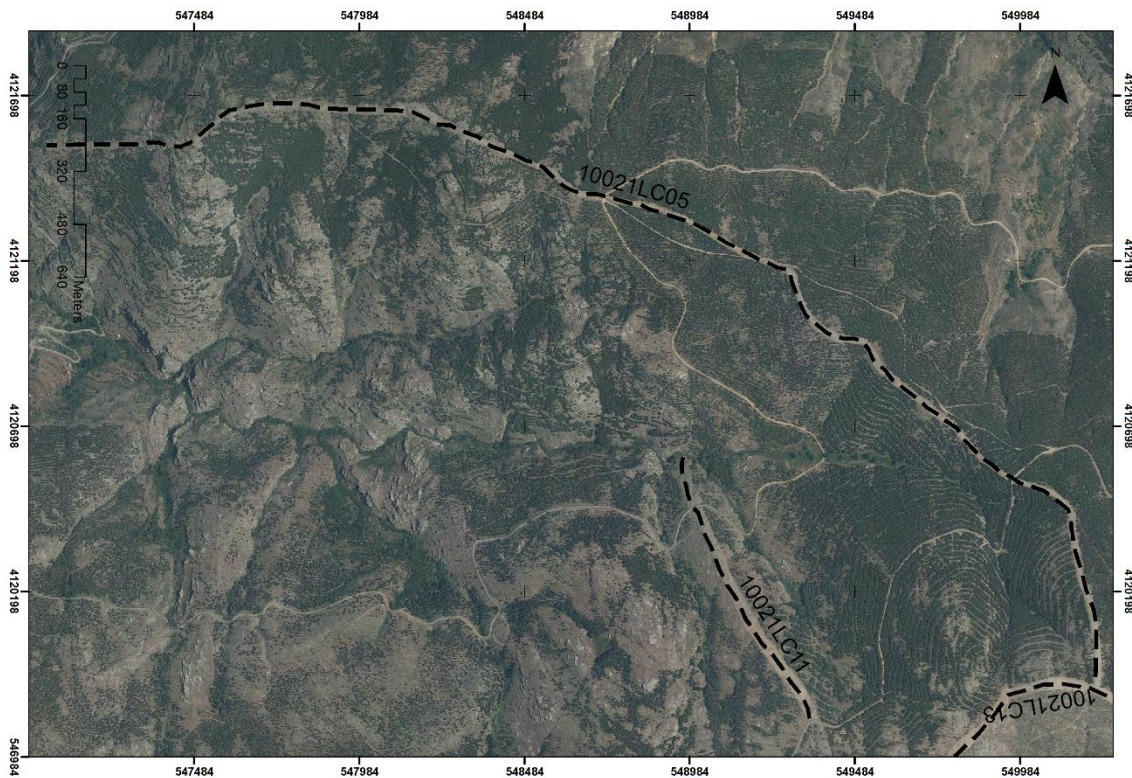
Ficha 15

CÓDIGO 10021LC05
NOMBRE Alto del Cerrón
MONTE Cortijo del Conde

15

TRAMO	ESTADO PREVIO									AP: 35
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Barlovento Sotavento	HR5	6	0,4	2	0,15	60	40	20	Paral. Umbria	<i>P. nigra</i>

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Barlovento Sotavento			35		Superficie	1	30	80



Ficha 16

CÓDIGO 10056LC03
NOMBRE Cerro Nacimiento
MONTE Parcelas de Velefique

16

TRAMO	ESTADO PREVIO								AP: 40	
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Barlovento Sotavento	HR5	8,5	0,5	4,5	0,35	90	40	20	Paral. Umbria	<i>P. nigra</i>
2 Barlovento Sotavento	PM3 HR5	8,5	0,5	4,5	0,35	90	40	20	Paral. Umbria	<i>P. nigra</i>

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Barlovento Sotavento			40		Superficie	1	10	50
2 Barlovento Sotavento	15		40		Superficie Superficie	2 1	30 10	200 50



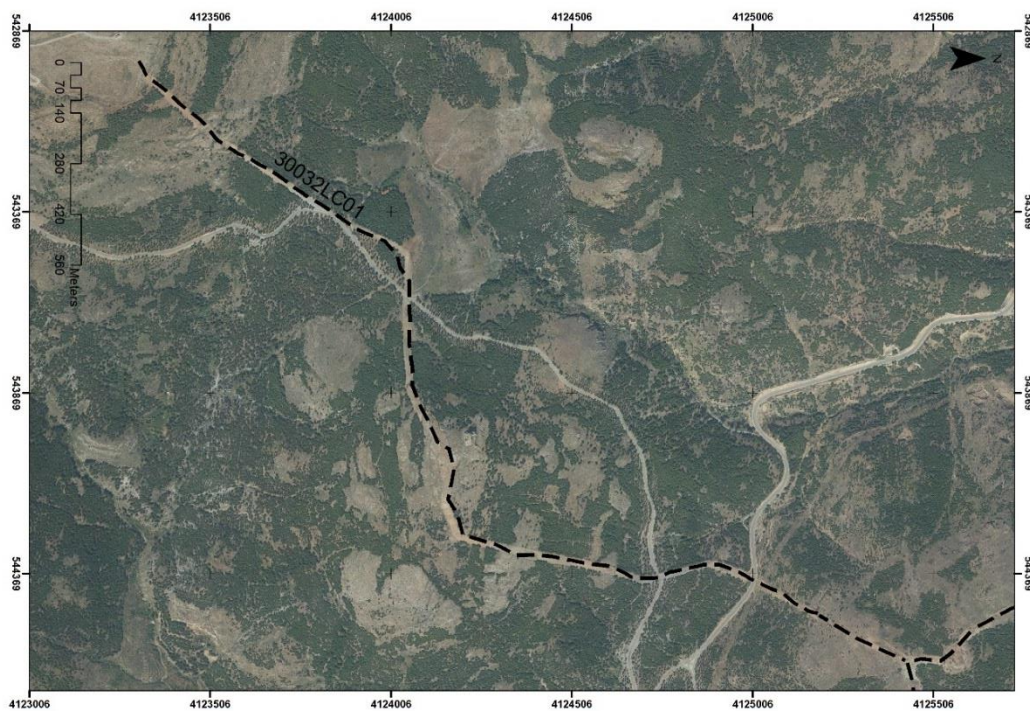
Ficha 17

CÓDIGO 30032LC01
NOMBRE Collado Ramal-Ca
MONTE Las Lomas

17

TRAMO	ESTADO PREVIO								AP: 35		
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie	
1 Barlovento Sotavento	PM1							50	20	Perp. Umbria	
2 Barlovento Sotavento	HPM4	7	0,4	2	0,16	60	50	20	Perp. Umbria	P. nigra	
3 Barlovento Sotavento	HR5	8	0,3	3	0,2	80	50	20	Perp. Umbria	P. nigra	

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Barlovento Sotavento			35		Superficie	2	20	120
2 Barlovento Sotavento	15	30	35		Pasivo	4-30	30	200
3 Barlovento Sotavento			35		Superficie	1	10	50



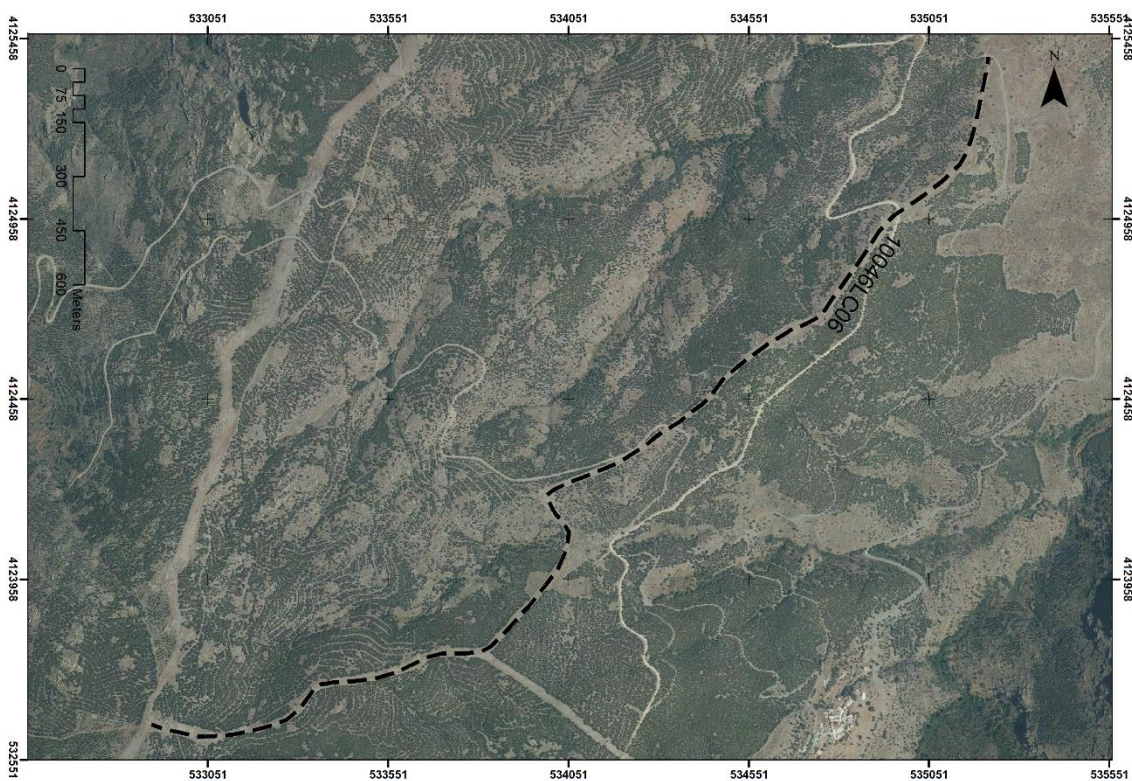
Ficha 18

CÓDIGO 10046LC06
NOMBRE Solana de los Ma
MONTE Parcelas del Luc

18

TRAMO	ESTADO PREVIO								AP: 25	
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Barlovento Sotavento	HPM1	7	0,5	1,5	0,3	80	40	20	Diag.	P. nigra
2 Barlovento Sotavento	HR5	6	0,2	4	0,5	75	40	20	Diag.	P. pina.

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Barlovento Sotavento			25	Mod. M.C. + LC 2ª (7)	Pasivo	1-25	20	100
2 Barlovento Sotavento			25		Superficie	1	10	80



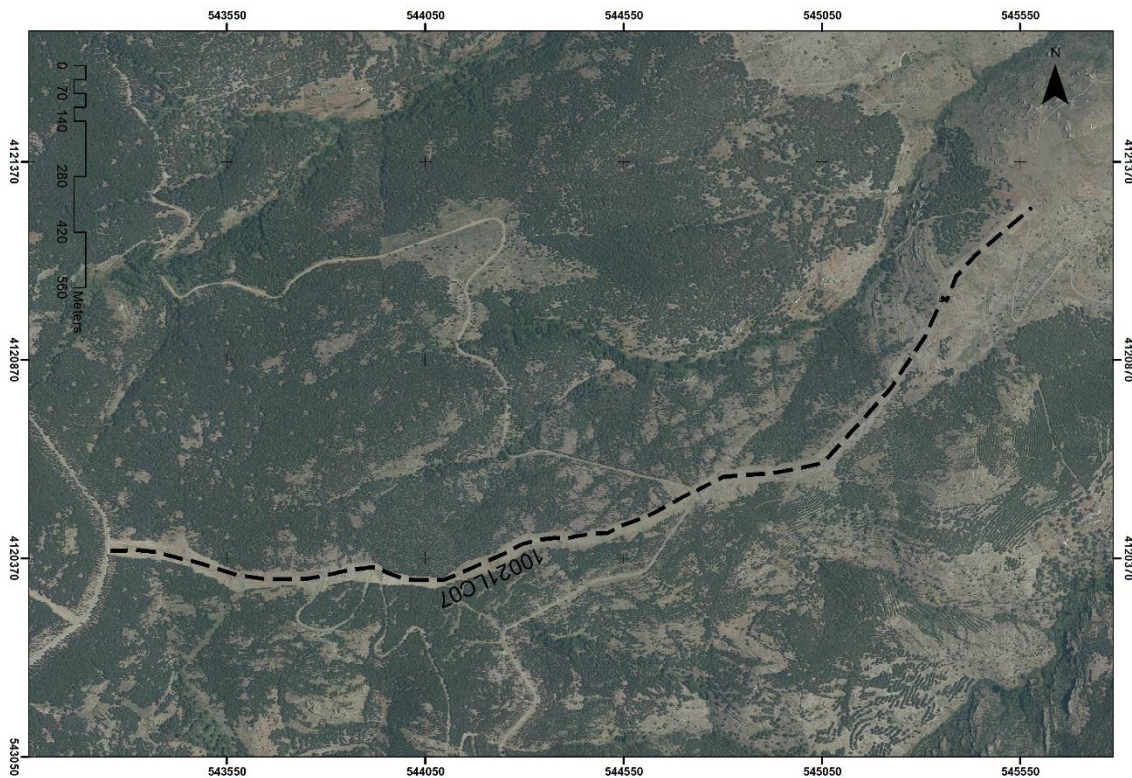
Ficha 19

CÓDIGO 10021LC07
NOMBRE Alto de la Cueva
MONTE Cortijo del Conde

19

TRAMO	ESTADO PREVIO									AP: 30	
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie	
1	Sur	HPM5	6	0,1	3	0,15	65	40	30	Perp. Umbria	P. sylv.
	Norte	HR5	7	0,1	0,5	0,4	70				
2	Sur	HPM5	6	0,1	3	0,15	65	40	20	Perp. Umbria	P. sylv.
	Norte										

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1	Sur Norte		30	Mod.M.C. + LC 2ª	Pasivo	2-25	30	200
					Superficie	1	10	80
2	Sur Norte		30	Mod.M.C. + LC 2ª	Pasivo	2-25	30	200



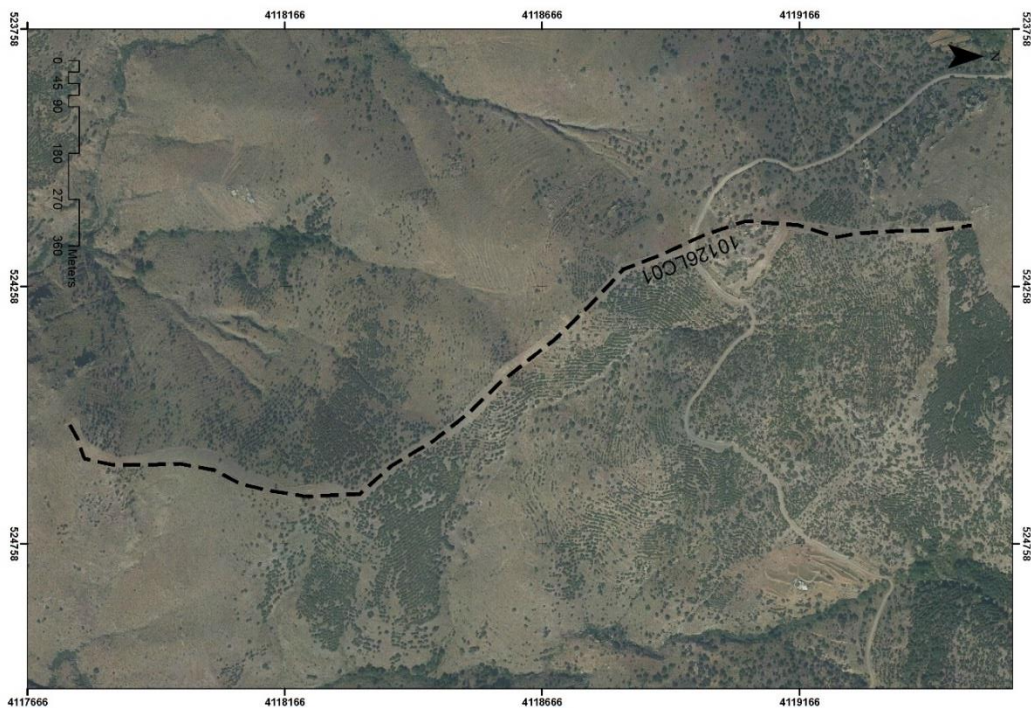
Ficha 20

CÓDIGO 10126LC01
NOMBRE La Membrilla
MONTE Loma de Enmedio

20

TRAMO	ESTADO PREVIO								AP: 25	
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Barlovento Sotavento	HPM2 M7	5	0,3	1	0,1	50	40	20	Perp. Solana	<i>P. nigra</i>
2 Barlovento Sotavento	PM3 M7						40	20	Perp. Solana	
3 Barlovento Sotavento	PM3						40	20	Perp. Solana	

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Barlovento Sotavento	10	40	30		Pasivo Superficie	2-20 7	30 50	80 200
2 Barlovento Sotavento		40	30		Superficie	2 7	30 50	200 200
3 Barlovento Sotavento	10 10		30		Superficie	2	30	200



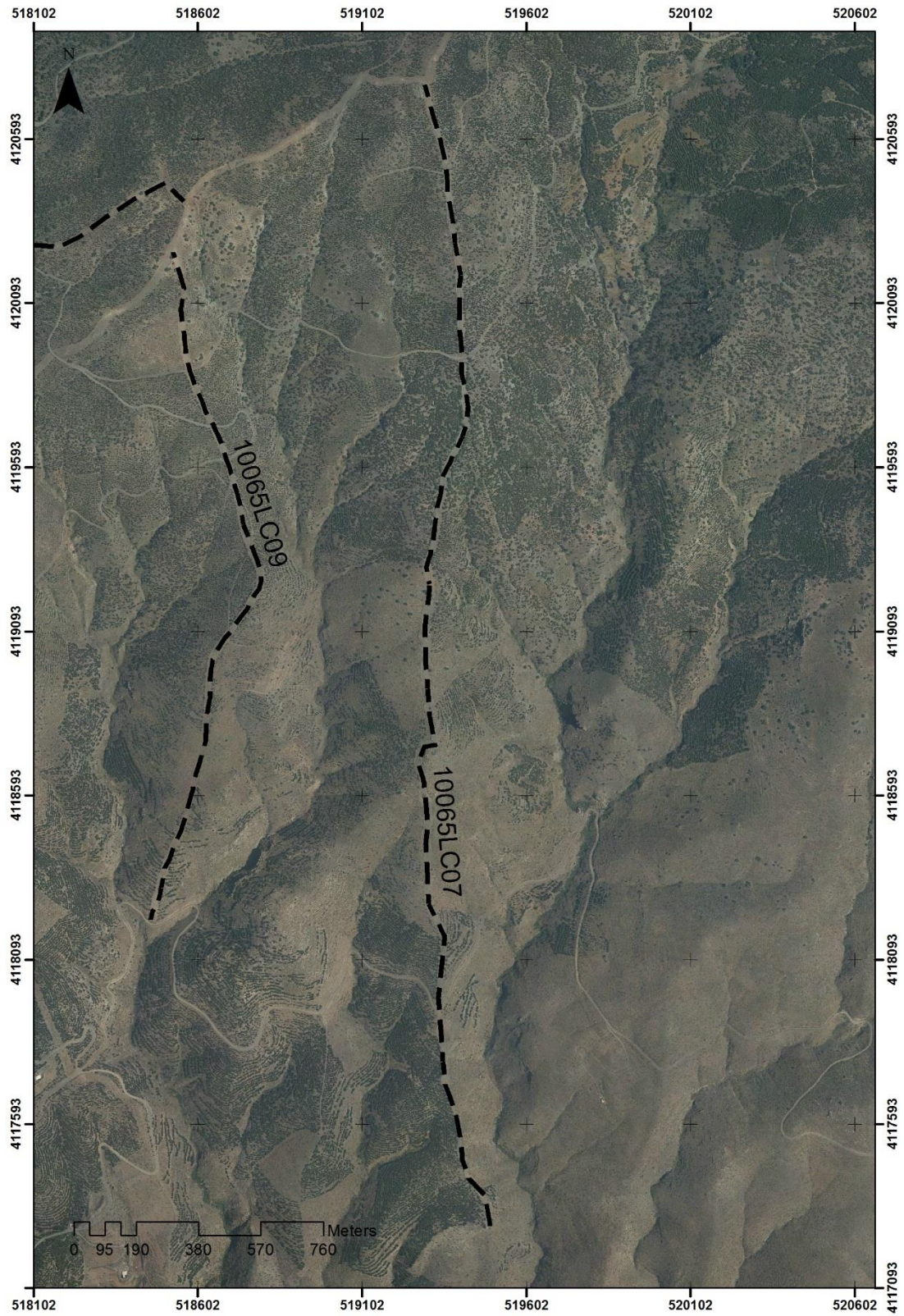
Ficha 21

CÓDIGO 10065LC07
NOMBRE La Cuevecilla
MONTE El Prado

21

TRAMO	ESTADO PREVIO								AP: 30	
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Barlovento Sotavento	HPM3	6	0,3	2	0,13	60	50	40	Perp. solana	P. sylv.
2 Barlovento Sotavento	HPM2	6	0,3	2	0,1	30	50	30	Perp. solana	P. nigra
3 Barlovento Sotavento	HPM5	5	0,6	3	0,3	70	45	30	Perp. solana	P. pinas
4 Barlovento Sotavento	PM3 HPM3	5	0,6	3	0,1	30	40	30	Perp. solana	P. pina.
5 Barlovento Sotavento	PM4 PM3	5	0,6	2	0,3	70	30	20	Perp. solana	P. hale.

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Barlovento Sotavento	15	40	40		Activo	6-30	40	350
2 Barlovento Sotavento	15	40	40		Activo	4-25	30	150
3 Barlovento Sotavento	10	40	40		Activo	10-40	35	350
4 Barlovento Sotavento	10		40		Superficie	6	40	350
	10	40			Activo	6-50	35	350
5 Barlovento Sotavento			30	LC 2ª (10) + Mod. M.C.	Activo	6-15	50	100
	10				Superficie	6	40	350



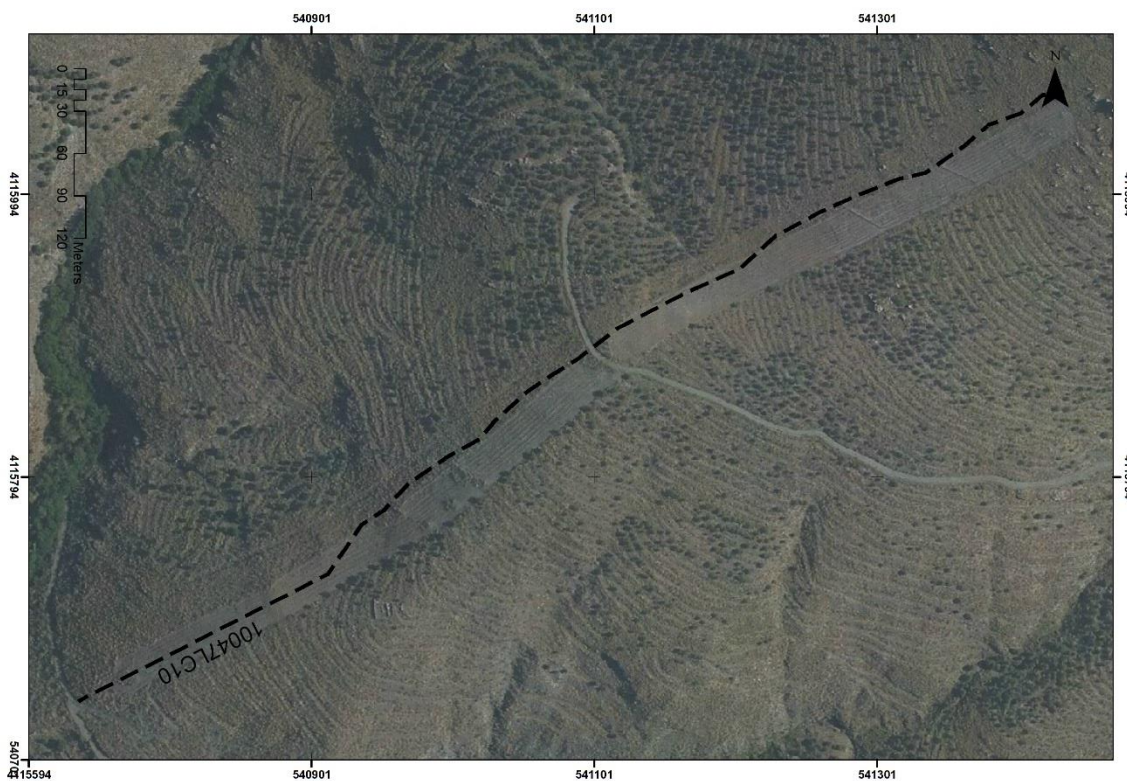
Ficha 22

CÓDIGO 10047LC10
NOMBRE La Fuenseca
MONTE El Chortal

22

TRAMO	ESTADO PREVIO									AP: 40
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Barlovento Sotavento	HPM2	5	0,5	1	0,04	30	40	40	Perp. Solan.	<i>P. hale.</i>
2 Barlovento Sotavento	HPM2 M2	5	0,5	1	0,04	30	40	40	Perp. Solan.	<i>P. hale.</i>

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Barlovento Sotavento	10	40	30		Activo	5-15	30	150
2 Barlovento Sotavento	10	30	30		Activo	5-15	30	150
	5				Superficie	5	30	1



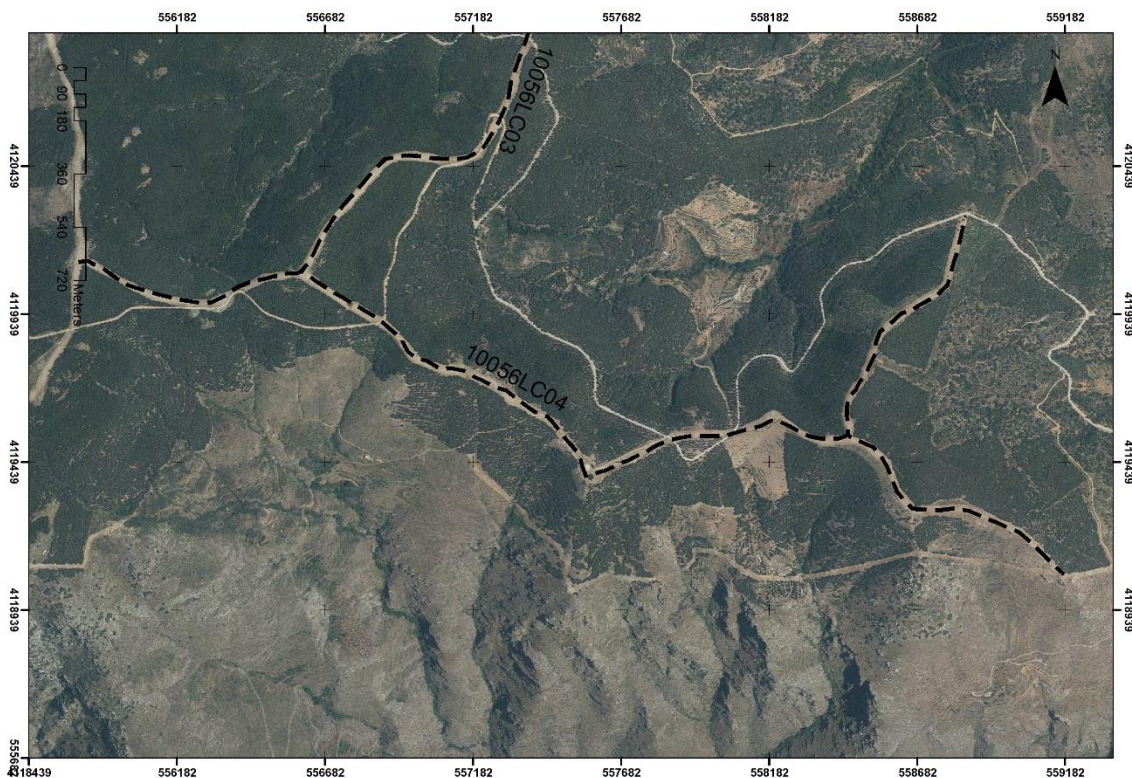
Ficha 23

CÓDIGO 10056LC04
NOMBRE Collado de la Ma
MONTE Parcelas de Velefique

23

TRAMO	ESTADO PREVIO									AP: 40
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Sur Norte	HR5	8	0,5	5	0,35	90	40	40	Paral.	<i>P. pina.</i>
									Div.	<i>P. nigra</i>
2 Sur Norte	HPM4	5	0,5	2	0,3	80	40	40	Paral.	<i>P. pina.</i>
									Div.	<i>P. nigra</i>

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Sur Norte			40		Superficie	1	15	80
2 Sur Norte			40	LC 2ª (15) + Mod. M.C.	Activo	10-30	30	350
					Superficie	1	15	80



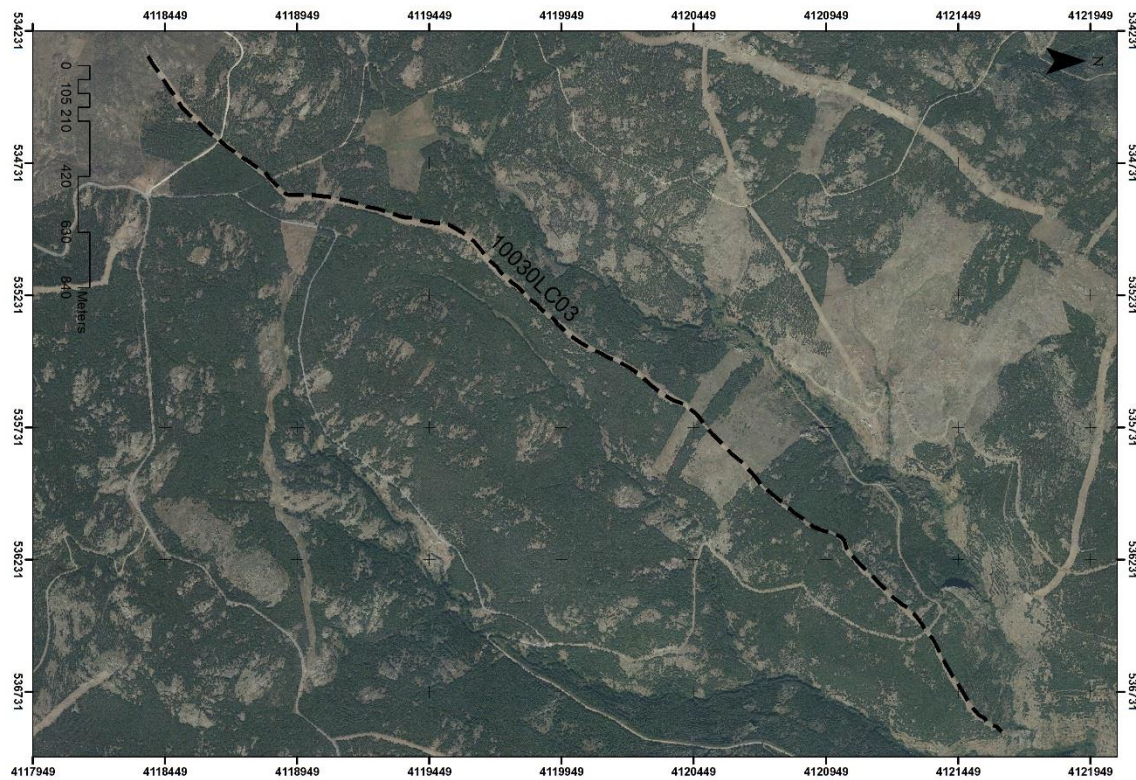
Ficha 24

CÓDIGO 10030LC03
NOMBRE Piedra del Sombr
MONTE Arroyo Berruga y

24

TRAMO	ESTADO PREVIO									AP: 30 m
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Barlovento Sotavento	HR5	9	0,1	4	0,6	90	40	15	Perp. Umbria	<i>P. sylv.</i>

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Barlovento Sotavento	10 (dt)		30		Superficie	1	15	80



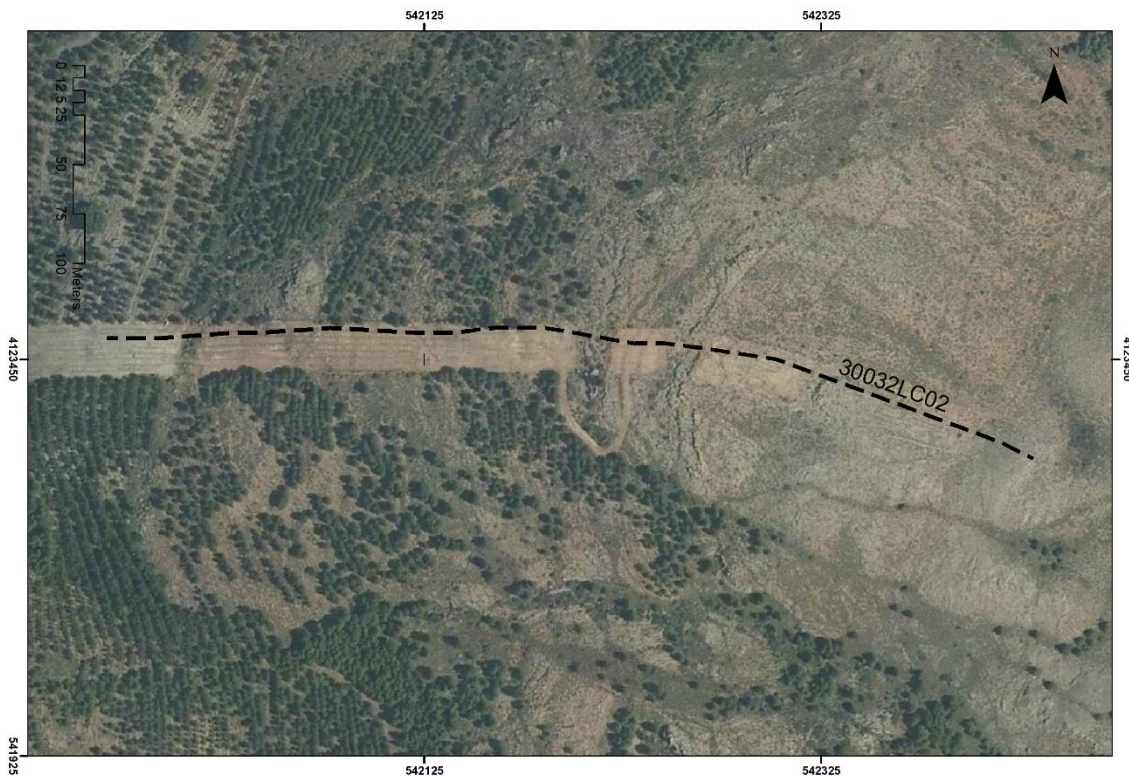
Ficha 25

CÓDIGO 30032LC02
NOMBRE Cueva del Collado
MONTE Las Lomas

25

TRAMO	ESTADO PREVIO									AP: 30	
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie	
1 Sur Norte	HPM4	9	0,8	2	0,15	50	40	40	40	Paral.	<i>P. nigra</i>
2 Sur Norte											

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Sur Norte	20	40	40		Activo	10-35	30	400
2 Sur Norte	10		40					
	20				Superficie	12	40	150



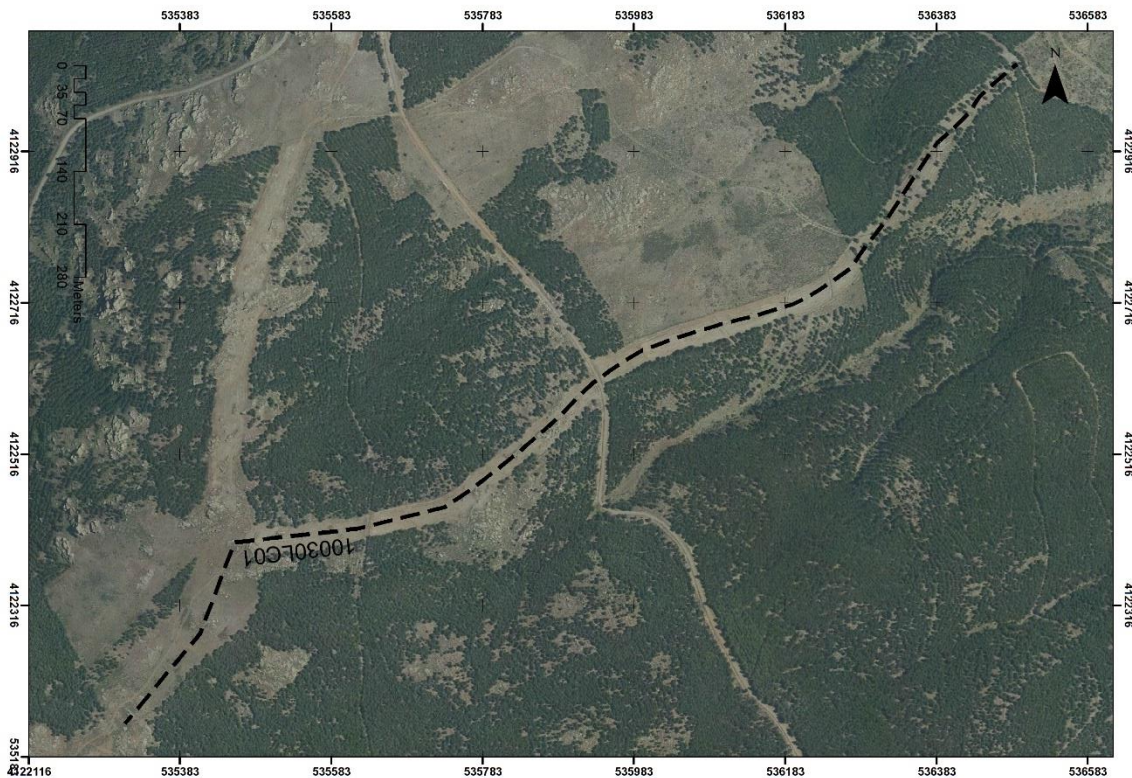
Ficha 26

CÓDIGO 10030LC01
NOMBRE Cocón de Joraiqu
MONTE Arroyo Berruga y

26

TRAMO	ESTADO PREVIO									AP: 30
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Sur Norte	HR5	7	0,2	3,5	0,7	75	40	20	Diag.	<i>P. nigra</i>
2 Sur Norte	HR5 PM1	7	0,2	3,5	0,7	75	40	20	Diag.	<i>P. nigra</i>

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Sur Norte			30		Superficie	1	15	80
2 Sur Norte			30		Superficie	1	15	80
	10				Superficie	4	30	250



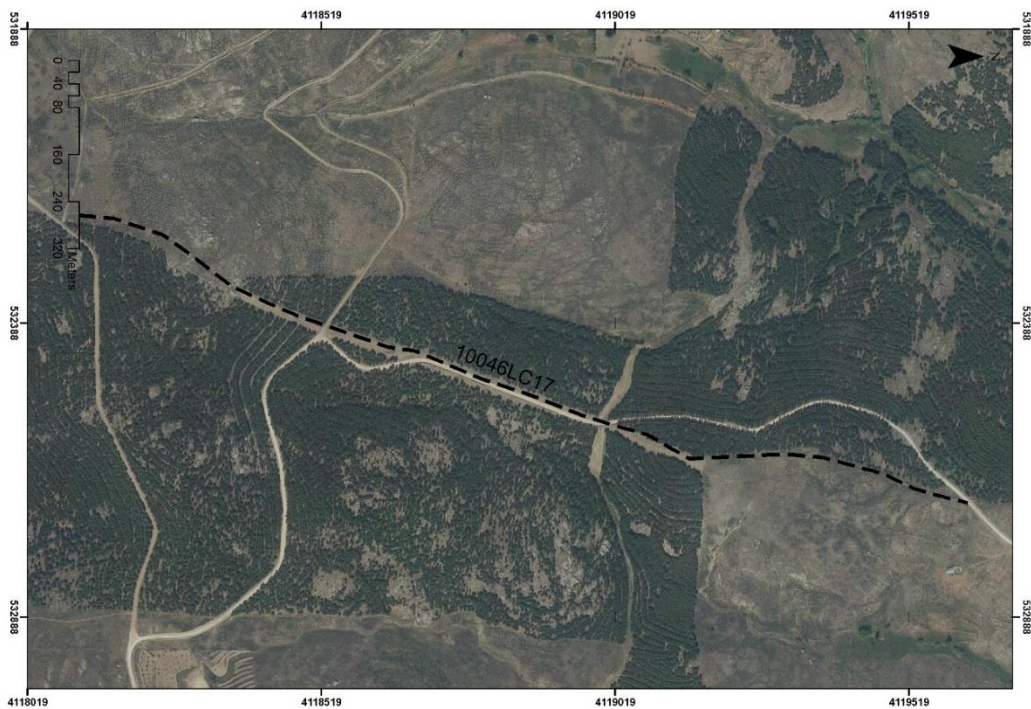
Ficha 27

CÓDIGO 10046LC17
NOMBRE La Pingarra
MONTE Parcelas del Luc

27

TRAMO	ESTADO PREVIO									AP: 30
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie
1 Barlovento Sotavento	HPM1 PM2	7,5	0,2	2	0,2	90	40	15	Perp. Umbria	<i>P. sylv.</i>
2 Barlovento Sotavento	HPM1 HPM3	7,5	0,2	2	0,2	90	40	15	Perp. Umbria	<i>P. sylv.</i>
3 Barlovento Sotavento	PM3 HR5	7,5	0,2	2	0,2	90	40	15	Perp. Umbria	<i>P. sylv.</i>

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1 Barlovento Sotavento	10		30	LC 2ª (10) + Mod.M.C.	Pasivo	3-30	30	200
					Superficie	6	40	350
2 Barlovento Sotavento	10		30	LC 2ª (10) + Mod.M.C.	Pasivo	3-30	30	200
					Pasivo	3-30	30	200
3 Barlovento Sotavento	10		30		Superficie	6	40	350
					Superficie	1	15	80



Ficha 28

CÓDIGO 10065LC08
NOMBRE Cerro del Gallo
MONTE El Prado

28

TRAMO	ESTADO PREVIO									AP: 30	
	M.C.	Ha	Hm	CBH	CBD	FCC	Vv	PTE	Orient.	Especie	
1	Sur	HPM4	6	0,3	2	0,1	10	40	20	Paral.	<i>P. pina.</i>
	Norte	HR3	6	0,3	2	0,1	50				<i>P. pina.</i>
2	Sur	HR3	6	0,3	2	0,1	50	40	20	Paral.	<i>P. pina.</i>
	Norte										
3	Sur	M5	6	0,3	2	0,1	50	40	20	Paral.	<i>P. pina.</i>
	Norte										

TRAMO	ACTUACIÓN				SIMULACIÓN			
	BCS	APD	LC	Otros	Tipo de f.	LI	A	FS
1	15	50	30		Pasivo	10-30	35	350
					Superficie	1	10	50
2			30		Superficie	1	10	50
3	15	20	30	Realce	Superficie	15	50	500
					Superficie	1	10	50

