



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1882

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

Organiza





Una metodología para priorizar las actuaciones de emergencia tras un gran incendio forestal

VENEGAS TRONCOSO, JAVIER¹, GUZMÁN ÁLVAREZ, J.R.²,

¹Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía, Sevilla.

²Dirección General de Política Forestal y Biodiversidad, Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente. Junta de Andalucía

Restauración forestal, riesgos, erosión, impacto

Resumen

Tras un incendio forestal se genera una situación de crisis, cuya intensidad y repercusión social depende de factores como el tipo de área afectada (especialmente, si ha tenido incidencia sobre áreas urbanas o residenciales), la superficie recorrida por el fuego y los valores naturales sobre los que ha incidido. En paralelo a la manifestación de demandas sociales de actuación inmediata para reducir el impacto de la catástrofe, se precisa de un estudio técnico que evalúe los efectos y que identifique posibles riesgos derivados de la alteración de la cubierta vegetal y del suelo.

Esta fase inicial de evaluación se identifica en ocasiones como la primera etapa de la restauración, aunque supone un análisis y una toma de decisiones sobre factores propios, en ocasiones coincidentes con los utilizados para evaluar el potencial de restauración. Ello es debido a que el objeto que determina el alcance y enfoque de esta evaluación preliminar es distinto, estando basado en el análisis de riesgos y en la identificación de intervenciones para su reducción.

En esta comunicación se presenta la metodología seguida para realizar este análisis de incidencia, la evaluación de riesgos y la priorización de áreas de actuación de emergencia en función de las opciones técnicas disponibles.

1.- Introducción

1.1.- El incendio de Sierra Bermeja 2021 como caso práctico para aplicar la metodología para la priorización de actuaciones.

El incendio forestal de Sierra Bermeja se inició el 8 de septiembre de 2021 en el municipio de Genalguacil afectando a los términos municipales de Estepona, Casares, Benahavís, Jubrique, Genalguacil, Júzcar y Faraján, en el macizo de Sierra Bermeja, en el sudoeste de la provincia de Málaga. Debido a las circunstancias meteorológicas reinantes (viento cambiante con predominancia del característico viento de terral) y a las propias del terreno (la escarpada orografía y abundante vegetación), el incendio adquirió gran virulencia.

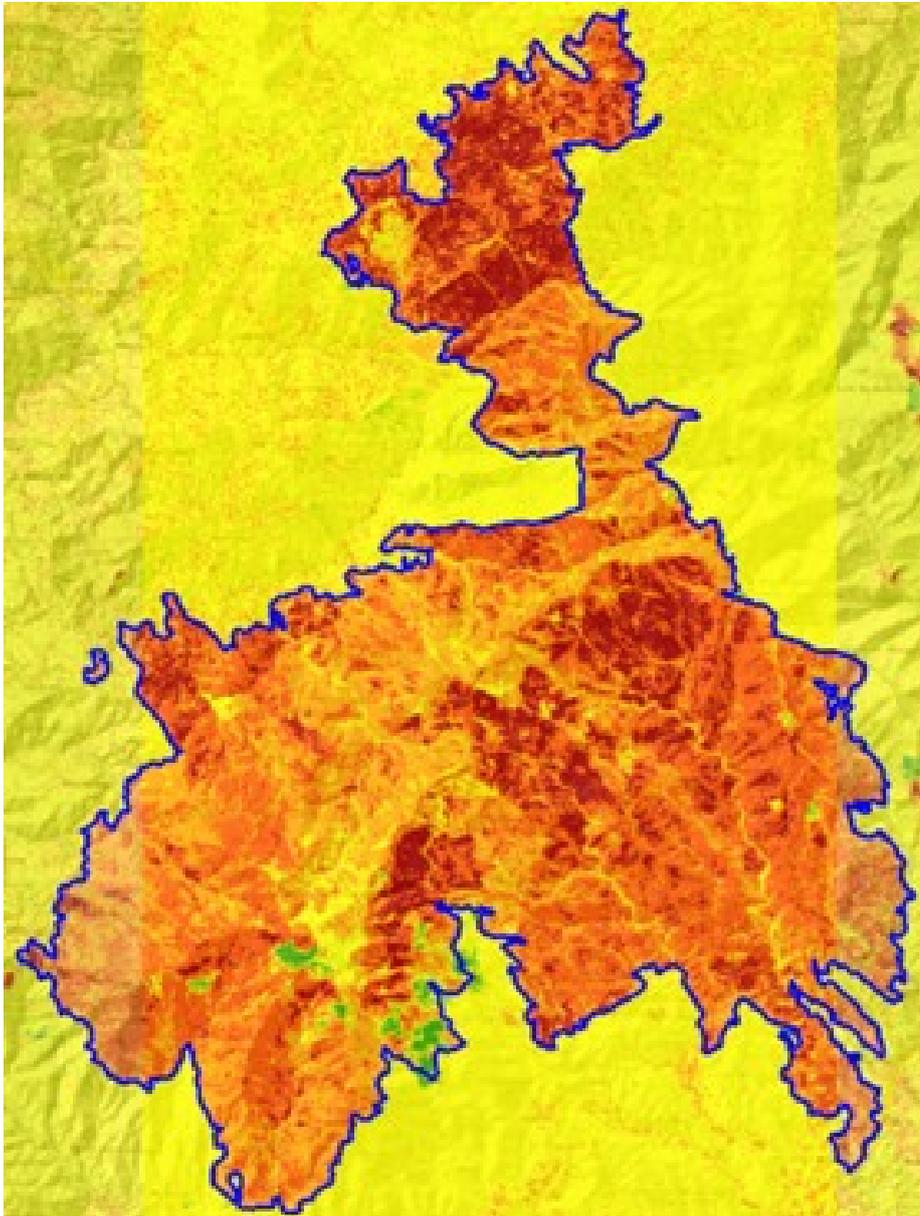
El incendio se dio por controlado el 14 de septiembre, aunque no pudo declararse como extinguido definitivamente hasta el día 24 de octubre de 2021.

Es de destacar que la parte oriental de la zona incendiada había sido afectada en las últimas décadas por sucesivos incendios forestales. Entre estos incendios destacan el del septiembre de 2009 que afectó a la vertiente meridional de Sierra

Bermeja, extendiéndose por 532 ha del término municipal de Casares (Monte del Duque); el de julio de 1999, que quemó 523 ha de los términos municipales de Estepona y Casares, en la cara sur de Sierra Bermeja, siendo extinguido en el límite del pinsapar de Los Reales; los dos grandes incendios de 1995, el que comenzó el 16 de julio y afectó a 1.450 ha de la vertiente occidental, en los términos municipales de Genalguacil y Casares, quemando una importante superficie de pinar y de alcornoques y otras frondosas (en el Monte del Duque); el del 4 de septiembre, que incidió sobre 1.078 ha en la vertiente oriental de la sierra en Estepona, principalmente pinar; el de 1992 que afectó a 544 ha de la parte oriental del término de Casares; y el de mayo de 1991, que quemó 921 ha en los términos de Estepona, Genalguacil y Jubrique.

El área afectada por el incendio fue de 9.581,37 ha, repartidas entre los términos municipales de Benahavís, Casares, Estepona, Faraján, Genalguacil, Jubrique y Júzcar (VENEGAS et al., 2022).

Figura 1. Perímetro del incendio de Sierra Bermeja ajustado al dNBR clasificado (Sentinel-2)





La zona incendiada tiene un gran valor ecológico, paisajístico y botánico, al ser parte del macizo de rocas ultramáficas de Sierra Bermeja constituido por rocas como las peridotitas y serpentinas. El incendio también afectó al Valle del Genal, una subcomarca de gran personalidad geográfica e histórica, dominada por el roquedo silíceo (areniscas, esquistos, gneises) y enclaves margosos y sedimentarios que, junto con la especiales características microclimáticas, originan un paisaje vegetal propio de gran singularidad con la presencia de castañares, alcornocales o quejigales, entre otras formaciones forestales.

El roquedo de peridotitas y serpentinas condiciona el desarrollo de la vegetación debido a la presencia de metales pesados, por lo que está presente una flora singular con gran número de endemismos. Están registradas más de una veintena de Hábitats de Interés Comunitario (pinares, espinares y orlas húmedas, prados húmedos, arbustedos, coscojares, adelfares y tarajales, brezales, pastizales, alcornocales, saucedas, melojares y pinsapares, entre otros), tres de ellos considerados prioritarios. Cabe destacar la afección a ejemplares de pinsapo, *Abies pinsapo*, principalmente a ejemplares jóvenes procedentes de regeneración natural en los bordes del núcleo principal del pinsapar de Los Reales, especie endémica y catalogada en peligro de extinción según el Catálogo Andaluz de Especies Amenazadas. Es una zona caracterizada por la presencia de pinares naturales autóctonos de pino negral (*Pinus pinaster* Arnold), que están adaptados a las condiciones litológicas limitantes.

Esta vegetación predominante (pinares de pino negral naturales y endémicos de Sierra Bermeja) hace presagiar, en principio, un alto potencial de regeneración natural tras el incendio, circunstancia que habrá de ser evaluada en el tiempo venidero. El potencial de recuperación de otras formaciones como los alcornocales y quejigales afectados dependerá de la severidad con la que se ha manifestado el incendio en las localidades en donde se desarrollan estas especies rebrotadoras. Otras especies de interés que hayan podido ser afectadas (en particular las especies de flora amenazada, entre las que destaca el pinsapo) requerirán de evaluaciones de detalle que ofrezcan información para facilitar la recuperación futura del conjunto del área afectada por el incendio.

Los efectos del incendio no concluyen con sus consecuencias directas sobre los sistemas antrópicos y naturales. La pérdida súbita de cubierta vegetal originó un nuevo escenario en lo que se refiere a la incidencia de posibles impactos cuya incidencia había estado antes del incendio modulada por el papel protector de la vegetación. Las posibles lluvias otoñales e invernales se convertían en una amenaza, puesto que el terreno no contaría aún con vegetación herbácea, pudiendo generar graves efectos erosivos y avenidas aguas abajo, en la llanura litoral de Estepona, además de llevar aparejado evidentes riesgos de caída accidental de árboles que podrían generar un daño a las personas (habitantes, trabajadores o visitantes y paseantes ocasionales), e infraestructuras existentes.

Por todo ello, resulta necesario establecer una priorización de las actuaciones para que, en base a los riesgos asociados, se acometan en primer lugar aquellas que requieran de una respuestas más inmediata o perentoria.

1.2.- La necesidad de priorizar actuaciones de emergencia de restauración



post-incendio.

Un incendio forestal supone una modificación drástica de las condiciones iniciales del terreno forestal, teniendo incidencia sobre los diferentes componentes bióticos y abióticos. El sistema en su conjunto se desequilibra, lo que se manifiesta en evidentes efectos sobre la biodiversidad (pérdida de poblaciones e individuos de flora y fauna), sobre los recursos forestales, sobre el suelo o sobre los valores paisajísticos del entorno.

Los efectos sobre el suelo resultan especialmente graves, sobre todo cuando la cubierta forestal tenía un carácter protector frente a la erosión potencial. Este es el caso de gran parte de las repoblaciones forestales realizadas en España durante el siglo XX, en cuyo origen están las preocupaciones por contener los efectos erosivos que pudieran afectar a poblaciones, terrenos agrícolas, cuencas de embalses u otras infraestructuras. El fuego, al incidir sobre la cobertura vegetal, destruye su carácter protector, pasando el sistema a un nuevo estado en el cual el riesgo frente a la posible aparición de fenómenos que desencadenen procesos erosivos aumenta. Este cambio comparativo de condiciones es el que supone un gran motivo de preocupación ante la posibilidad de la aparición tras el incendio de eventos desencadenantes de avenidas y erosión, por lo que se hace recomendable llevar a cabo actuaciones restauradoras. Su finalidad será amortiguar el potencial efecto erosivo de las precipitaciones, creando condiciones que reduzcan la energía de arrastre y que laminen los caudales evacuados.

Es importante destacar que este planteamiento está orientado a la etapa justamente posterior al incendio forestal. De hecho, su sentido de acciones paliativas ante la posibilidad de riesgos ciertos lo sitúan dentro del campo de la normativa que posibilita actuaciones de emergencia en la contratación del sector público (artículo 120 de Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público). Este mismo enfoque de actuaciones de emergencia es el seguido en Estados Unidos, encuadradas en un programa específico denominado *Burned Area Emergency Response* (BAE) (<https://www.nifc.gov/programs/post-fire-recovery>; MEYER et l., 2021).

La evaluación de los efectos del incendio y su repercusión sobre el aumento de determinados riesgos ha de situarse en el contexto socioeconómico que determina las posibilidades reales de actuación. El caso más frecuente será que resulte imposible abarcar presupuestariamente las amplias superficies afectadas por los incendios de gran magnitud, por lo que es preciso realizar una priorización en base al análisis de riesgo para realizar un mejor aprovechamiento de la financiación disponible. Esta priorización ha de fundamentarse en un procedimiento que sea capaz de identificar aquellas áreas o elementos en donde las intervenciones produzcan un mayor beneficio en cuanto a la reducción de los riesgos asociados al incendio.

Si bien esta fase de emergencia ha de ser considerada como una fase de la restauración post-incendio, presenta un carácter específico, dado que su foco se sitúa en la protección frente a procesos erosivos, llevándose a cabo previamente a etapas posteriores que tengan como finalidad principal la recuperación de la vegetación. En cualquier caso, esta etapa ha de formar parte y estar integrada de manera estratégica con las posteriores.

En cuanto al tipo de actuaciones, éstas pertenecen al ámbito de la restauración de ecosistemas (SER 2004), con un enfoque estrechamente vinculado a las medidas



propias de la restauración hidrológico-forestal (ALBERT-BELDA et al., 2019; LUCAS-BORJA et al., 2019; GÓMEZ-SÁNCHEZ et al., 2019; GIRONA-GARCÍA, 2021; GONZÁLEZ-ROMERO et al., 2022).

2.- Objetivo

- Exponer la metodología de evaluación del aumento de los riesgos derivados de la pérdida de cubierta vegetal y de los daños al suelo como consecuencia de los incendios con la finalidad última de establecer prioridades para las actuaciones a llevar a cabo inmediatamente después del siniestro.

3.- Metodología

Esta propuesta toma como principal modelo orientador la Guía Técnica de Gestión de Montes Quemados del Ministerio de Medio Ambiente (ALLOZA et al., 2013), habiéndose consultado también otras metodologías propuestas (KEELEY, 2009; ALLOZA et al., 2013; VEGA et al., 2013; GÓMEZ-SÁNCHEZ et al., 2017; FERNÁNDEZ et al., 2021; LLORENS et al., 2021; MEYER et al., 2021). Los aspectos específicos de la utilización de la teledetección como herramienta de apoyo para las diferentes variables utilizadas se pueden encontrar en PINO et al. (2022) y VENEGAS et al. (2022).

El análisis se centra en el concepto de valoración de la severidad, entendida como el impacto o magnitud del cambio ecológico causado por el fuego en los ecosistemas afectados, siendo un indicador del potencial de recuperación de la vegetación y de la dinámica hidrogeomorfológica post-incendio.

En las actuaciones de emergencia, la severidad constituye un indicador de gran ayuda no solo para realizar una evaluación general del área incendiada, sino para establecer prioridades de actuación. Este aspecto es de enorme trascendencia a la hora de abordar este tipo de acciones, puesto que resulta imposible abarcar presupuestariamente las amplias superficies afectadas por los incendios de gran magnitud, por lo que es preciso realizar un análisis de riesgo para realizar un mejor aprovechamiento de la financiación disponible.

4.- Resultados

4.1.- Planteamiento general del procedimiento

El procedimiento identifica entre dos tipos de actuaciones: (1) puntuales y lineales, y (2) superficiales. Las lineales tienen que ver con la identificación concreta de árboles, grupos de árboles u otros elementos cuya caída o desplazamiento suponga un riesgo para las personas o bienes. La segunda hace referencia a la prevención de riesgos de carácter acumulativo (aumento del caudal de avenida, aumento de la erosión laminar, por regueros o cárcavas, etc.) al incidir sobre una superficie específica; en este segundo caso es preciso establecer una metodología para la estimación del aumento del riesgo derivado de la pérdida de cobertura vegetal que permita hacer comparaciones.

4.2.- Determinación de las zonas prioritarias de actuación de carácter lineal y puntual.

Estas responden a la necesidad de responder a los riesgos puntuales derivados de



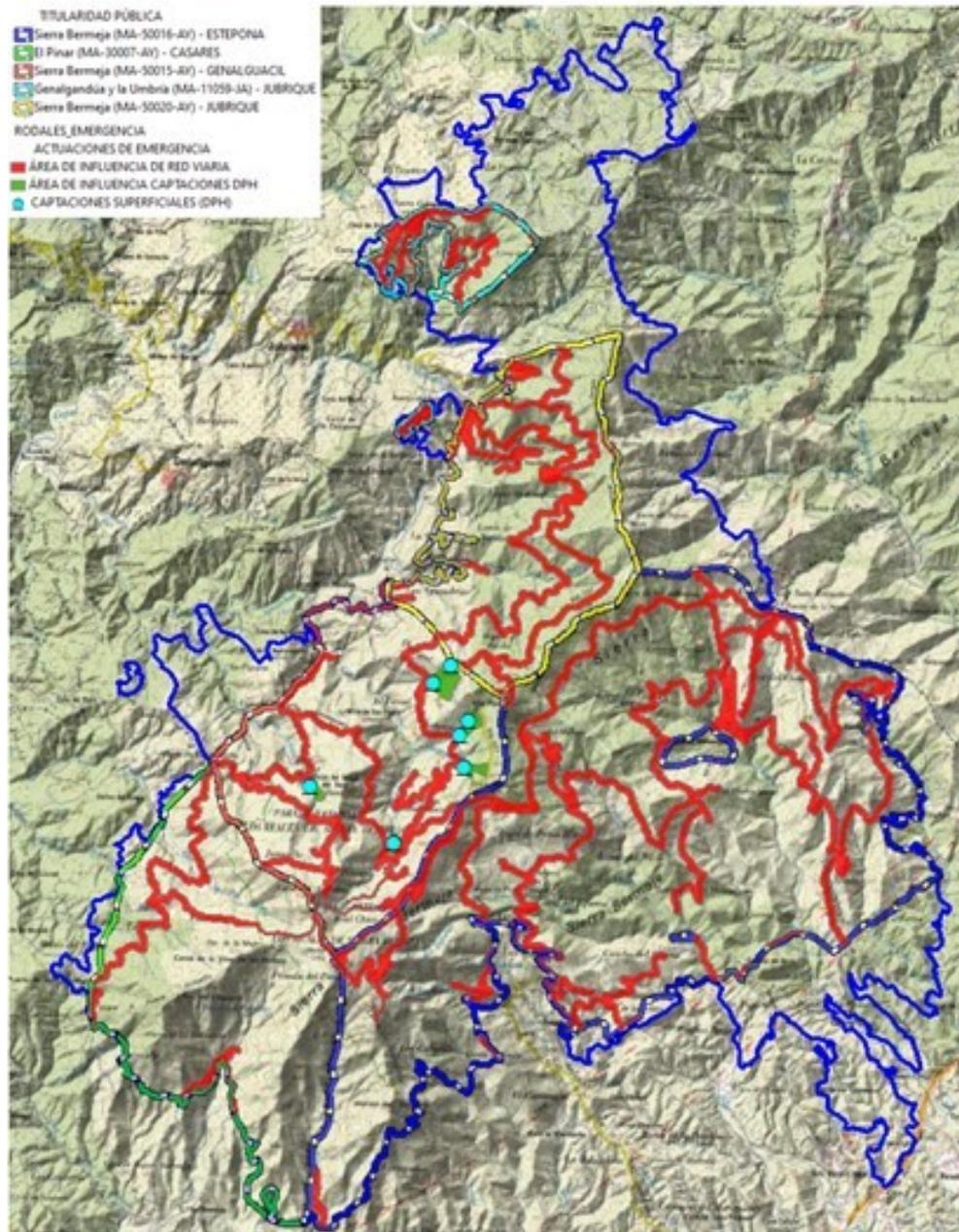
la caída accidental de los árboles quemados. Esta caída se produce de forma episódica y acumulativa: por efecto del debilitamiento de los tejidos o de las podredumbres que pueden sufrir los pies muertos o debilitados, se producen desgarros que rompen la continuidad de las fibras hasta llegar a vencer la estabilidad del árbol. Al ser un evento con alto grado de impredecibilidad, la caída puede afectar a personas o bienes, pudiendo tener graves consecuencias.

Por ello, resulta fundamental después de un incendio identificar las localizaciones que pueden estar expuestas en mayor medida a este riesgo. En este análisis cobran gran importancia las variables de tipo social: es decir, las ligadas a la estancia o tránsito de personas y las que se refieren a la presencia de infraestructuras o equipamientos, pues aparte del valor material que puede verse comprometido en caso de caída accidental, están más expuestas al uso humano.

Con carácter prioritario se acometerán las actuaciones lineales u otros trabajos destinados a garantizar el tránsito de vehículos y personas en adecuadas condiciones de seguridad, por las carreteras y los caminos que discurren por la superficie forestal afectada. Por esta razón, dentro del perímetro incendiado se considerarán prioritarias las carreteras, caminos, pistas, sendas y senderos de uso público, así como viviendas, refugios y otras estructuras habitacionales o que tengan algún tipo de uso.

Sobre estos elementos de infraestructura, se trazarán áreas de influencia (utilizando herramientas que permitan delimitar *buffers* espaciales). En el caso del incendio de Sierra Bermeja 2021, el área de influencia se fijó en una franja de 50 m a ambos lados de carreteras, caminos, pistas y sendas, así como 20 m sobre los senderos peatonales de uso público existentes (**Figura 2**).

Figura 2. Elementos de infraestructura lineal tenidos en cuenta para las actuaciones de reducción del aumento del riesgo de caídas accidentales. Incendio de Sierra Bermeja, 2001.



4.3.- Determinación de las zonas prioritarias de actuación de carácter superficial.

Debido al incendio, la pérdida de cobertura vegetal en la superficie afectada conlleva un cambio de estado en las condiciones de protección del suelo existentes con carácter previo. Esto se traduce en un aumento de los riesgos derivados de la potencial incidencia de eventos de lluvia intensos, como avenidas aguas abajo debido al aumento del caudal punta, y el incremento de la erosión y, con ello, pérdida de suelo y deposición de sedimentos sobre infraestructuras. Las actuaciones inmediatas después del incendio tendrán por finalidad, por consiguiente, reducir los potenciales efectos dañinos, a través de medidas que reduzcan la energía de la lluvia, que laminen los caudales o que obstaculicen el movimiento de las partículas del suelo. Esto se puede conseguir con una adecuada



gestión de la madera quemada (instalando hidrotecnias como fajinas en las laderas o acordonando fustes y ramaje), el uso complementario de otros materiales locales (para construir albarradas en cárcavas y cauces menores) o realizando obras de fábrica (como diques).

Debido a la gran extensión que puede haber sido afectada por el incendio, no será en general posible acometer actuaciones de reducción de riesgos en toda la superficie. Por eso, y en base al presupuesto disponible, será preciso establecer una priorización en base a criterios que sean buenos indicadores del objetivo marcado de reducir el aumento de los riesgos derivados de la pérdida de cobertura vegetal.

Para realizar esta priorización, en primer lugar será necesario realizar una zonificación del territorio afectado para, a continuación, aplicar un modelo que establezca niveles de riesgo comparativos entre las diferentes zonas para así poder tomar decisiones más eficientes.

4.3.1.- Zonificación de las actuaciones superficiales

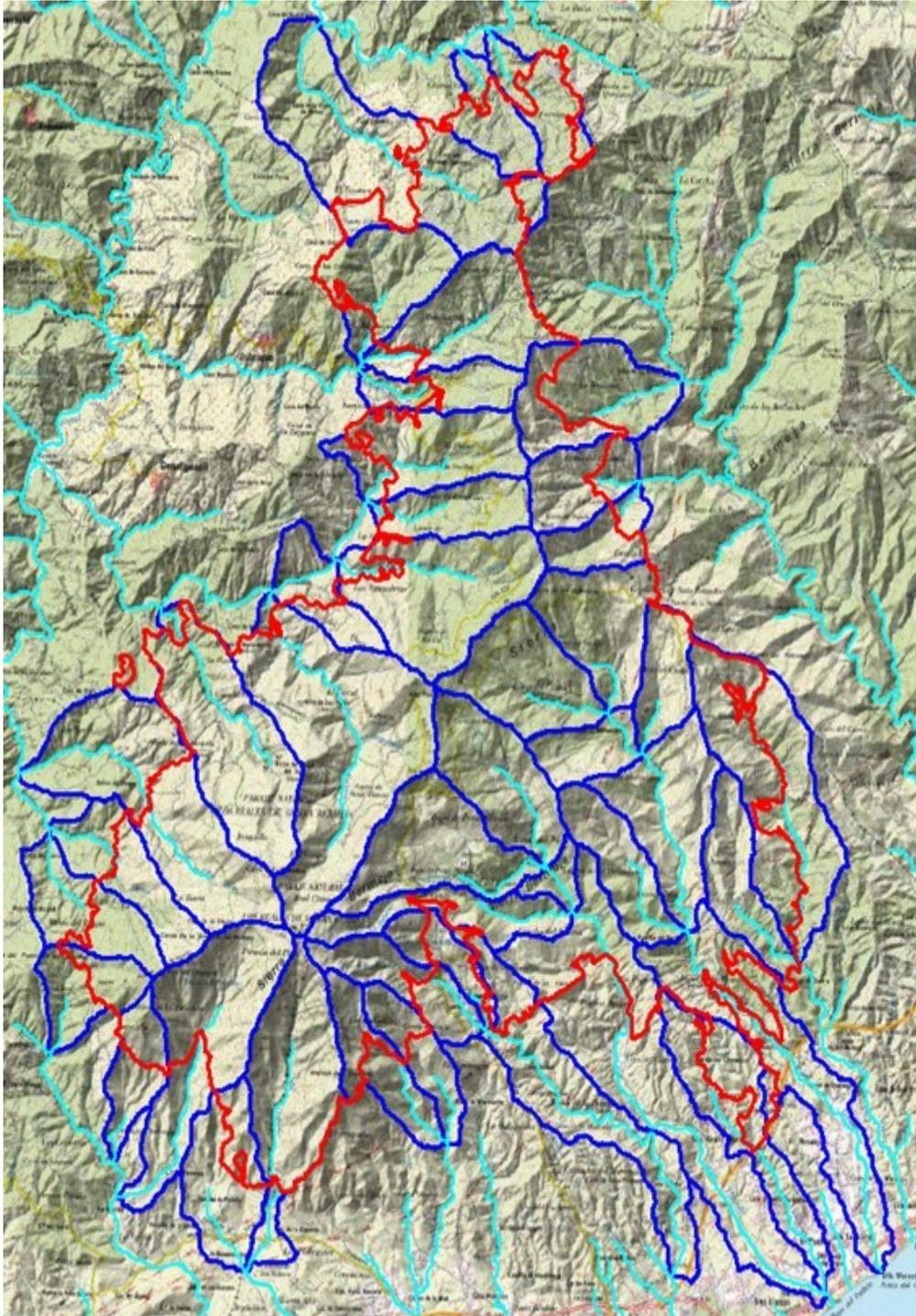
La unidad de análisis y evaluación para priorizar las necesidades de actuación es la definida por las **subcuencas hidrográficas** tributarias existentes en el área afectada por el incendio, que se corresponderán con **zonas de actuación** homogéneas. Responden a una realidad espacial coherente y concorde respecto al problema abordado: el control de la erosión y la corrección hidrológico-forestal. Esta elección facilita además la definición de lotes homogéneos para la intervención y el replanteo de las obras.

Para la determinación de las subcuencas tributarias se ha partido de la cartografía de subcuencas definidas en la Cartografía de las Bases de Referencia Hidrológica de Andalucía (REDIAM), quedando definida la zona de afectada por el incendio por un total de 43 **unidades de diagnóstico**, con los siguientes estadísticos representativos (**Figura 3**).

La superficie media de las subcuencas en el área incendiada de Sierra Bermeja ha sido de 333,16 ha (desviación estándar de 200,80 ha y mediana de 285,49 ha).

Sobre estas 43 unidades de diagnóstico se aplica la metodología para la priorización de las actuaciones de manera que, en base al presupuesto disponible, se localicen las actuaciones de emergencia puesto que se da lugar a un uso más eficiente de los recursos maximizando la reducción del riesgo.

Figura 3. Unidades de diagnóstico del incendio. Subcuencas tributarias (incendio de Sierra Bermeja, 2001).



4.3.2.- Metodología para la priorización de necesidades de actuación según el aumento de los riesgos derivados de la pérdida de la cobertura vegetal en las unidades de diagnóstico (subcuencas hidrológicas)

4.3.2.1.- Explicación de la metodología

La metodología de priorización está basada en una evaluación del aumento de los riesgos derivados de la pérdida de la cobertura vegetal como consecuencia del incendio. Estos riesgos son debidos, en última instancia, a los efectos de las lluvias

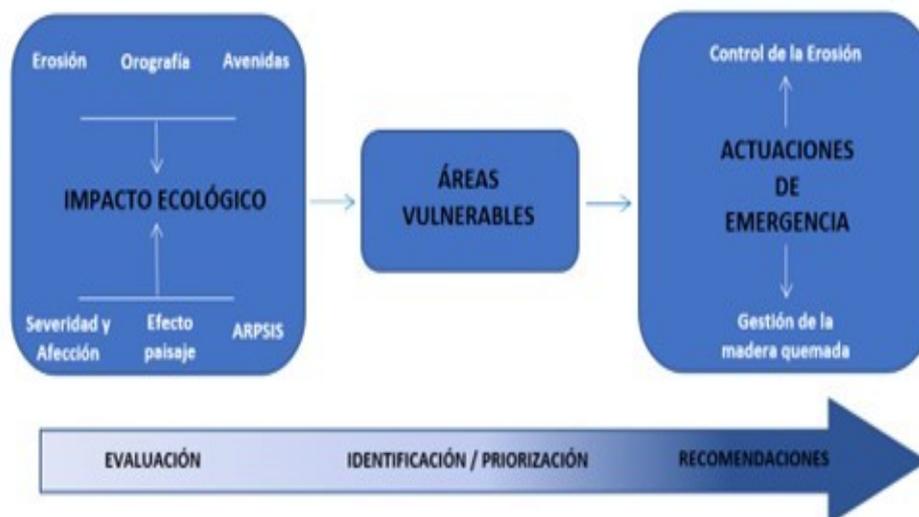


sobre un territorio menos protegido que, por consiguiente, ha reducido su capacidad de amortiguar el impacto ecológico.

La evaluación de este impacto ecológico permite realizar una priorización en función de la vulnerabilidad del territorio para, a partir de ahí, definir las actuaciones que se acometerán inmediatamente después del incendio para reducir los riesgos (control de los potenciales efectos de los eventos de lluvia sobre la erosión, de avenidas, etc.), incorporando en la toma de decisión los criterios para gestionar la madera quemada (**Figura 4**).

Figura 4. Proceso para la definición de actuaciones de emergencia





Para ello, se aplicó un modelo aditivo a cada subcuenca (unidad de diagnóstico) que aportó un valor numérico único con carácter sintético que engloba el efecto conjunto de **siete variables** asociadas a la susceptibilidad y severidad del incendio:

- 1.- Susceptibilidad del suelo: topografía del terreno.
- 2.- Susceptibilidad del suelo: erosión potencial.
- 3.- Severidad del incendio.
- 4.- Superficie afectada en la subcuenca.
- 5.- Incremento de los caudales punta en la subcuenca.
- 6.- Áreas de riesgo potencial significativo de inundaciones.
- 7.- Efecto paisajístico.

El método parte de los conceptos y el enfoque de ALLOZA et al. (2014), que evalúan el impacto ecológico del incendio, un concepto que integra la vulnerabilidad ecológica a corto plazo y la severidad del fuego. Estos autores consideran como estimadores de la vulnerabilidad ecológica de la zona quemada la susceptibilidad del suelo y la capacidad de respuesta de la vegetación tras el incendio. En el modelo aditivo utilizado no se ha tenido en consideración a este último puesto que las labores de emergencia se centrarán en el control de la erosión y la corrección hidrológico-forestal, entendiendo que la capacidad de respuesta de la vegetación tras el incendio será un estimador de gran importancia para una fase de evaluación posterior (en la fase de elaboración del Plan de Restauración).

Además de la susceptibilidad (medida bajo dos aproximaciones: en base a la topografía del terreno y a la erosión potencial) y de la severidad, el modelo contempla otras variables que aportan información relevante para la toma de decisión y que son indicadores de la intensidad local del incendio (superficie afectada en la subcuenca), del aumento del riesgo de erosión (variación de caudales punta y áreas de riesgo potencial de inundaciones) y del impacto paisajístico.

El modelo es de tipo aditivo y parte del cálculo del valor que alcanza cada una de



las variables en cada subcuenca por separado. Para cada subcuenca se determinó el porcentaje de superficie de cada una de las clases definidas para cada una de las siete variables seleccionadas en el análisis y se pondera por el valor de cada una de las clases. De esta manera, se obtiene un valor único estandarizado (entre 0 y 1) para cada unidad de diagnóstico y para cada una de las variables:

$$Vi = (V1i + 2*V2i + 3*V3i + 4*V4i \dots) / \text{Max } Vi$$

siendo Vi el valor sintético o índice calculado para cada subcuenca o unidad de análisis para cada una de las siete variables que conforman el impacto analizado, y

V1i = fracción de superficie de la clase 1 de una variable dada que está presente en el rodal "i"

...

Vni = fracción de superficie de la clase n de una variable dada que está presente en el rodal "i"

La determinación final del impacto del incendio para cada unidad de diagnóstico se obtuvo como la suma de los índices globales sintetizados para cada una de las siete componentes o variables analizadas, siendo normalizado el resultado para cada subcuenca al rango 0-1 (dividiendo entre el valor máximo obtenido en el conjunto de todas las subcuencas).

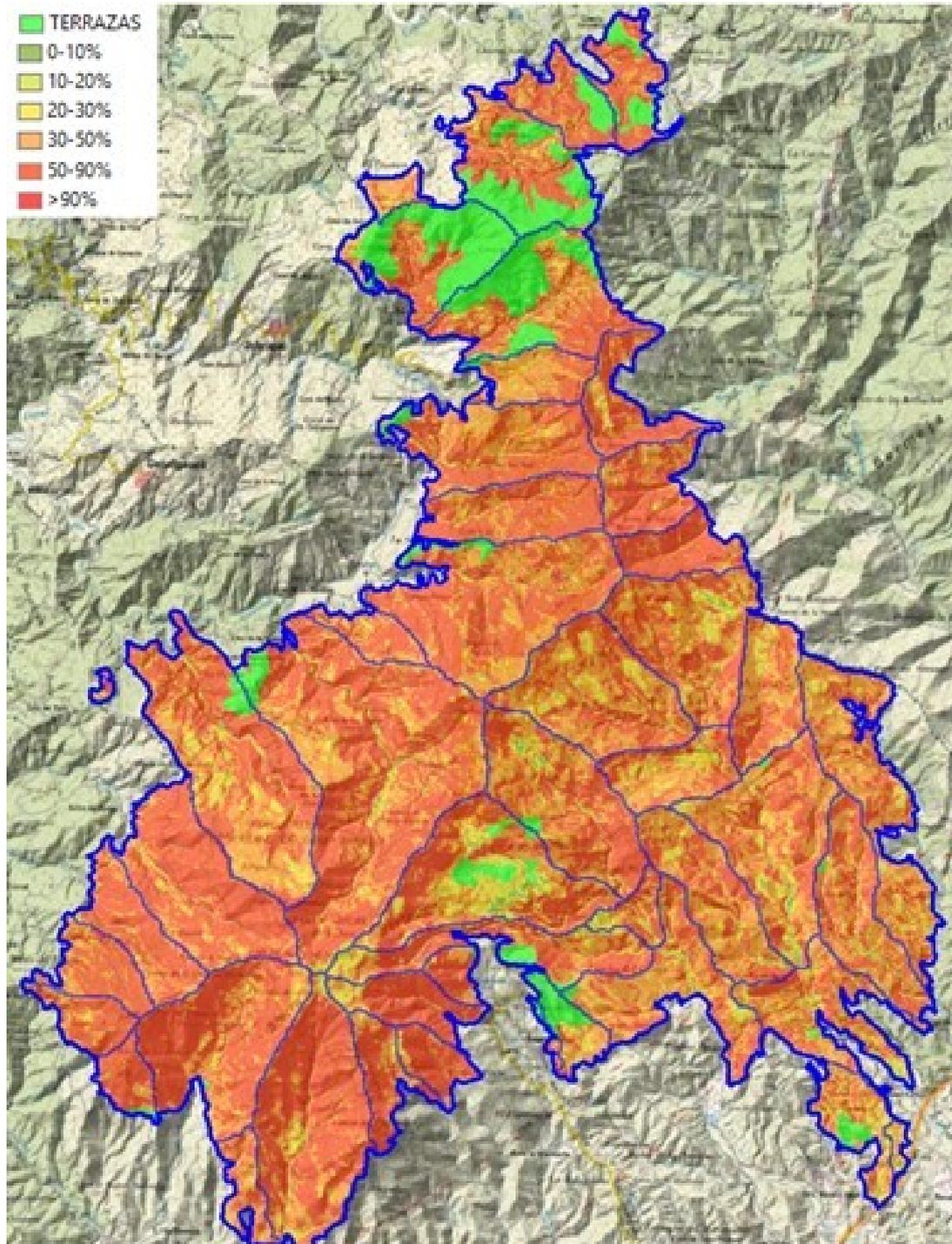
Esta integración de las variables asociadas al riesgo de degradación permite identificar las subcuencas más vulnerables (aquellas con un mayor riesgo de degradación de suelo).

4.3.2.2.- Descripción de las variables

1.- Susceptibilidad del suelo: *topografía del terreno*

Se ha obtenido a partir de los datos LIDAR del PNOA 2020, derivando un modelo digital de elevación de 2 x 2 m, calculando el mapa de pendiente del terreno (en %) que fue clasificado en 7 clases. Adicionalmente, se procedió a la identificación de zonas aterrazadas o abancaladas a partir del mapa de sombras obtenido con los datos LIDAR, área a la que se le asignó una clase específica (**Figura 5**).

Figura 5. Susceptibilidad del suelo según topografía. Aplicación al incendio de Sierra Bermeja 2021



2.- Susceptibilidad del suelo: erosión potencial

La erosión de los suelos representa uno de los riesgos ambientales más importantes en la región mediterránea. El arrastre de sedimentos conlleva consecuencias graves sobre bienes e infraestructuras y, actuando de forma difusa, empobrece los suelos, ya sea por su remoción parcial o total, o por la pérdida selectiva de las fracciones más finas y ricas. Los problemas asociados a la erosión de los suelos se intensifican cuando confluyen valores desfavorables de variables como las pendientes, la incidencia de lluvias torrenciales o la erodibilidad de los suelos, como en el caso que nos ocupa. La alteración debido al incendio de la



protección del suelo que aporta la cobertura vegetal, y, en particular, el dosel de las copas arbóreas, da lugar a condiciones más propensas para su degradación. En este sentido, la cuantificación de la diferencia del grado de protección entre el estado inicial (previo al incendio) y el estado posterior al incendio es un estimador de gran significación para la evaluación del cambio de condiciones de susceptibilidad a la erosión.

En el modelo de priorización se ha utilizado la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE), obteniendo un valor numérico de suelo removido por la erosión hídrica laminar y en regueros expresado en toneladas métricas por hectárea y año. Los valores obtenidos se han transformado en un indicador cualitativo de 12 niveles (según intervalos de pérdida de suelo) para facilitar su uso en la modelización, reflejando las zonas en donde los procesos erosivos actuarán potencialmente con mayor virulencia.

$$E = R * C * K * LS * P * OC$$

Las variables utilizadas en la ecuación se han calculado para cada unidad de pixel de raster de 10x10 m de resolución

Erosividad de la lluvia (R):

La erosividad de la lluvia expresa la cantidad de energía cinética desplegada por el conjunto de las gotas de agua de un aguacero que impactan contra el suelo, siendo ésta directamente proporcional a la intensidad del aguacero, la velocidad inercial de las gotas de lluvia y el tamaño de las mismas. Se ha calculado a partir de las estaciones automáticas disponibles en la región que capturan datos con una frecuencia de 10 minutos (datos del periodo 1992-2019). El factor R calculado a partir de estas estaciones es correlacionado para cada zona pluviométricamente homogénea de la región a partir de la red de estaciones diarias (unas 700 aproximadamente), lo que permite tener un número significativo de datos puntuales de erosividad para poder acometer su distribución espacial a través de un proceso de interpolación espacial.

Protección de la cubierta vegetal (C):

La protección de la cubierta vegetal expresa la capacidad que tiene ésta de interceptar las gotas de lluvia impidiendo que impacten directamente con el suelo y así evitar la movilización de este para que no pueda ser arrastrado por la escorrentía superficial. Dentro de los factores que componen la ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, “C” es el factor que manifiesta variación como consecuencia del incendio (las demás variables permanecen constantes), por lo que su estimación antes y después del incendio constituye el elemento clave en la evaluación de la erosión derivada del siniestro.

La protección de la cubierta vegetal se ha determinado tomando como base la cobertura de usos y cubiertas vegetales de la Red de Información Ambiental de Andalucía (SIOSE 2016). A cada clase de vegetación se le ha asignado un coeficiente protector derivado de las tablas de valores de C para pastizales, matorral, arbustos y bosques.

Para la situación post-incendio, se han reasignado los valores en función del mapa



de severidad derivado de imágenes SENTINEL, considerándose que en las zonas sin daños o moderados se mantiene el valor de C, mientras que en las zonas con daños altos y muy altos se ha perdido totalmente la capacidad protectora asignándose para estas áreas el valor correspondiente al suelo desnudo.

Resistencia del suelo a ser erosionado (K)

La erodibilidad del suelo está condicionada por factores intrínsecos e inherentes al propio suelo. Su cálculo se determina aplicando una ecuación que incluye variables sobre el porcentaje de arcilla, limo, arena muy fina y contenido en materia orgánica de la capa superficial del suelo, junto a información referente a estructura y permeabilidad del mismo. Las variables se han obtenido a partir de una base de datos de suelos regional (mapa geomorfoedáfico).

Inclinación de las laderas (LS)

Este índice se calcula en función de la pendiente y de la longitud de la ladera, tomadas de un MDT de 10 metros de resolución. En el proceso de cálculo empleado se ha utilizado un método especialmente diseñado para su empleo en laderas de pendiente complejas.

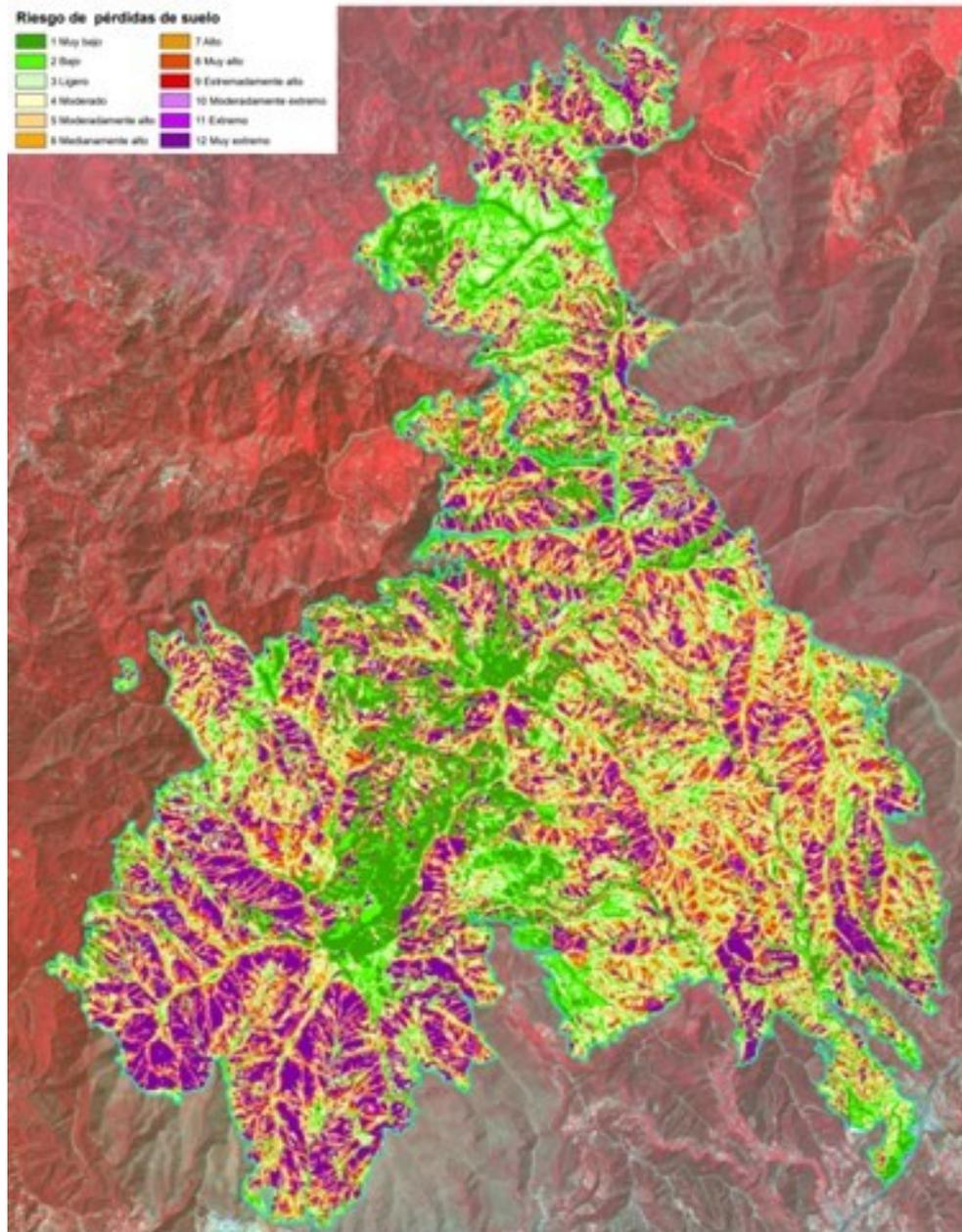
Medidas de protección del suelo (P)

Como medida de protección del suelo que pueda tener influencia en el área recorrida por el fuego se ha considerado el aterrazamiento de las laderas, práctica utilizada en décadas anteriores en los trabajos de repoblación forestal y en la puesta a disposición de terrenos agrícolas. Para la obtención de este factor se ha identificado la superficie aterrazada a partir de datos de elevaciones derivados del LIDAR 2020 con objeto de cartografiar las áreas que mostraban este tipo de configuración del terreno.

Otros coeficientes (OC)

Adicionalmente se han incorporado a la ecuación dos coeficientes reductores que valoran los valores de rocosidad y pedregosidad medios de la zona.

Figura 6. Susceptibilidad del suelo según la erosión potencial. Aplicación al incendio de Sierra Bermeja 2021



3.- Severidad del fuego

La severidad es una medida del grado de eliminación o combustión de materia orgánica viva o muerta causada por el fuego. El nivel de severidad condiciona la respuesta del ecosistema a los efectos del fuego, siendo una variable predictiva de gran interés para la gestión de las áreas quemadas. De forma general, la alta severidad está vinculada a tasas de recuperación de la vegetación más bajas y tasas de erosión más elevadas que las áreas que han experimentado baja severidad.

La severidad del fuego puede ser evaluada a partir de la observación directa de los niveles de daño o a partir de técnicas de teledetección basadas en los cambios en la reflectividad de las áreas quemadas; en el último caso, la observación remota proporciona información de forma rápida y continuada con una gran cobertura espacial.

Para la evaluación de la severidad se establecieron niveles a partir de la diferencia



del índice NBR (*Normalized Burn Ratio*) determinado para dos imágenes satélite Sentinel 2 de 10 m del programa Copérnicus; la primera tomada el 5 de septiembre (antes del incendio) y la segunda el 18 de septiembre (después del mismo), fechas muy próximas entre sí, lo que minimiza posibles cambios en la fenología de la vegetación que pudieran repercutir en diferentes valores de este índice. El efecto de la nubosidad existente en zonas concretas en la imagen satélite del día 18/09/2021 fue corregido con la imagen correspondiente al día 28/09/2021.

El NBR (Normalized Burn Ratio) se basa en la combinación de las bandas infrarrojo cercano e infrarrojo medio utilizando la siguiente expresión:

$$NBR = (R_{NIR} - R_{IR}) / (R_{NIR} + R_{IR})$$

siendo R_{NIR} y R_{IR} los valores de reflectividad en las regiones del infrarrojo cercano e infrarrojo medio de onda corta.

Dado que el proceso de combustión implica cambios en la reflectividad superficial asociados a la eliminación de la vegetación, a la exposición del suelo y variaciones en el contenido de humedad, este índice es muy utilizado para evaluar la severidad de un incendio. Presenta valores comprendidos entre -1 y +1 y combina las bandas espectrales que presentan una respuesta al fuego más contrastada:

- El infrarrojo cercano (NIR) cuya reflectividad (R_{NIR} ; relacionada con el área foliar y la productividad de la vegetación) desciende debido a la desaparición de la vegetación activa.
- El infrarrojo medio (IR) cuya reflectividad (R_{IR} ; relacionada con el contenido hídrico y algunas características de la superficie sin vegetación) aumenta por la pérdida de humedad, mayor exposición del suelo y las menores sombras proyectadas por la vegetación.

El índice NBR se usa comúnmente a través de una aproximación bi-temporal con datos pre y post incendio, utilizando la siguiente expresión para cuantificar la magnitud del cambio:

$$dNBR = NBR_{pre-incendio} - NBR_{post-incendio}$$

Tras la obtención inicial de estos índices en gabinete obteniendo un modelo ráster 10 x 10 m, se realizó un contraste en campo (verdad terreno) levantando información de los grados de afección del incendio por medio de vuelos de dron equipado con cámara óptica de 20 megapíxeles y cámara multiespectral micasense (RGB, Near IR y Red Edge). Posteriormente, se procedió en gabinete al calibrado y ajuste de la clasificación del índice $dNBR$, obteniendo la cobertura ajustada de los grados de afección del incendio sobre la cobertura de vegetación afectada.

Los valores cuantitativos continuos resultantes fueron agrupados en intervalos acotados para establecer unas clases de severidad específicas para cada incendio.

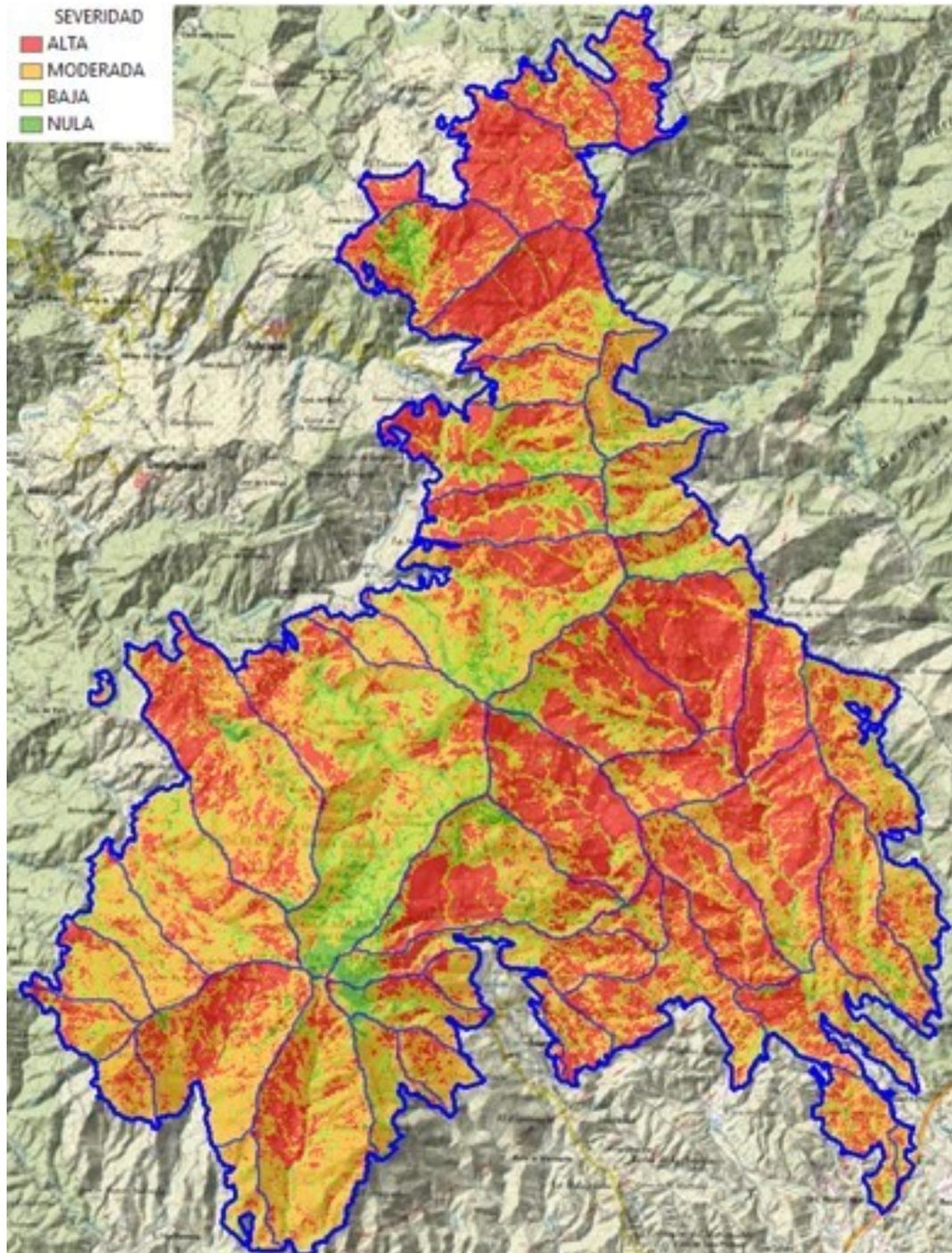
En consecuencia, los resultados finales del análisis de severidad han sido:

- Raster 10x10 m con valores continuos de $dNBR$ (normalizados al rango 0-1).
- Raster 10x10 m con la clasificación del anterior en 4 clases, tras la calibración derivada del trabajo de campo.



<i>NIVELES DE SEVERIDAD</i>	<i>SUPERFICIE (ha)</i>	<i>% SOBRE SUPERFICIE TOTAL AFECTADA</i>
Nula	374,01	3,90
Baja	1.518,36	15,85
Moderada	4.022,97	41,99
Alta	3.666,03	38,26
TOTAL	9.581,37	100,00%

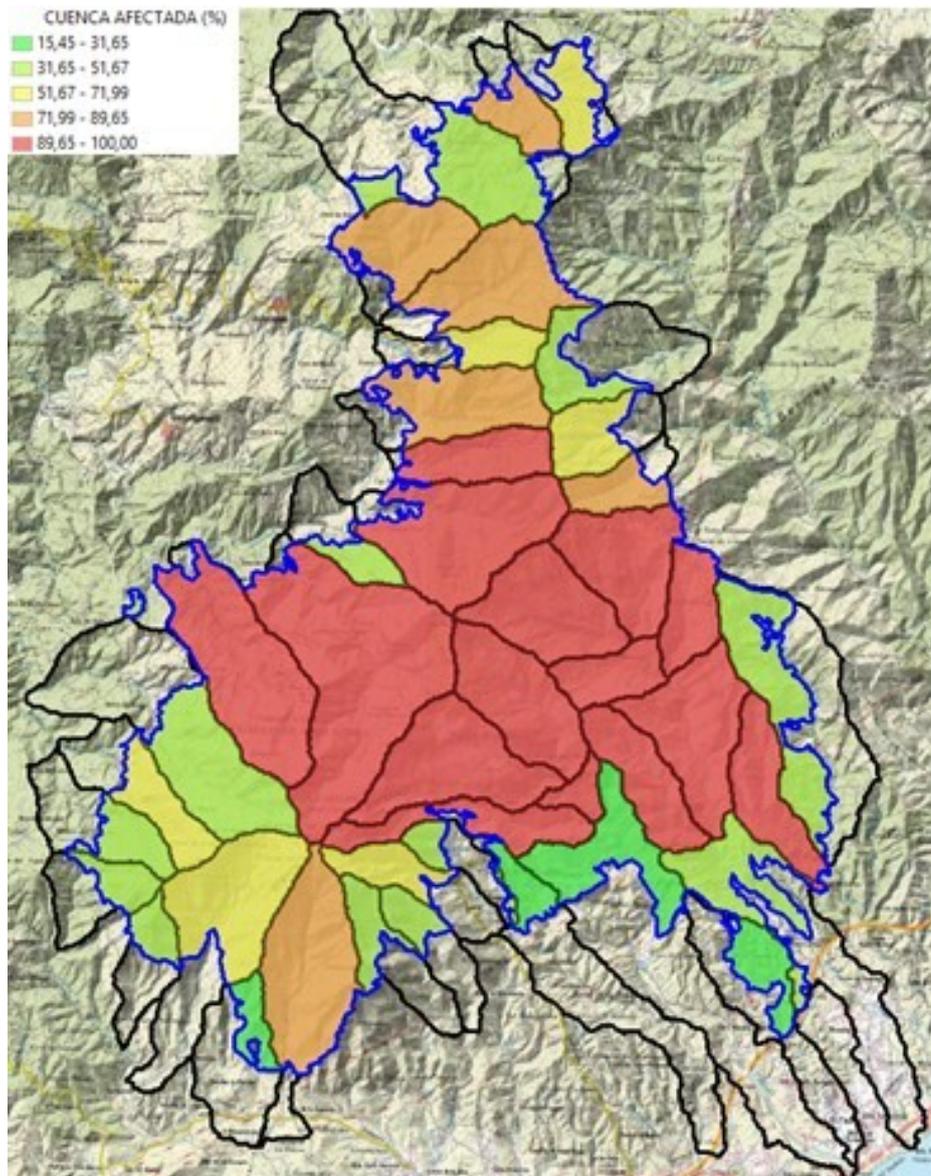
Figura 7. Severidad del fuego. Aplicación al incendio de Sierra Bermeja 2021



4.- Superficie afectada por el incendio en la subcuenca

Se calculó el porcentaje de superficie de cada subcuenca afectada por el incendio. Posteriormente se estandarizó el valor obtenido para cada una de las subcuencas a partir del valor máximo obtenido, de manera que se obtuviera un índice continuo y normalizado con valor de 0-1 para cada subcuenca. A efectos representativos, se establecieron clases según intervalos (Figura 8).

Figura 8. Superficie afectada por el incendio en la subcuenca. Aplicación al incendio de Sierra Bermeja 2021



5.- Incremento de los caudales punta en la subcuenca.

Para valorar la respuesta hidrológica de las subcuencas afectadas por el incendio de Sierra Bermeja se compara la situación antes y después del incendio para diferentes periodos de retorno de los caudales generados en las subcuencas. Para ello, en primer lugar, se obtienen las variables hidrológicas y, a continuación, se aplica el método racional para determinar la cuantía del incremento esperado de caudales punta a partir de la cobertura vegetal previa al incendio y la que resulta tras el incendio.

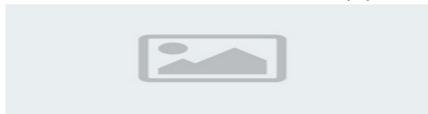
Para aplicar el método racional se ha atendido a las recomendaciones de FERRER POLO (2000).

El objetivo final de la aplicación del modelo es el cálculo del caudal máximo esperable o caudal punta (Q) para un aguacero correspondiente a un periodo de retorno determinado. De acuerdo con el método racional, el caudal punta se calcula con la siguiente fórmula:



Siendo: Q = Caudal punta (m^3/s); C = Coeficiente de escorrentía; I = Intensidad máxima horaria correspondiente al Tiempo de concentración de la subcuenca (T_c) y al periodo de retorno, expresada en mm/h ; A = Área de la subcuenca (km^2); K = coeficiente de uniformidad.

El Coeficiente de escorrentía (C) se define como la proporción de la Intensidad de lluvia (I) que genera escorrentía superficial. Está estrechamente ligado al concepto de lluvia neta y, por tanto, relacionado con el umbral de escorrentía (P_0) definido para el conjunto de la subcuenca objeto de estudio. El método racional obtiene el coeficiente de escorrentía (C) basándose en la siguiente formulación del S.C.S.:



Donde:

P_d = Precipitación máxima diaria en el periodo de retorno;

P_0 = Umbral de escorrentía definido para el total de la subcuenca. Se calcula aplicando el modelo S.C.S. (*Soil Conservation Service*), que establece un umbral de escorrentía P_0 por debajo del cual se considera que las precipitaciones no provocan escorrentía (indicador de la lluvia neta). Este umbral ha sido corregido con el coeficiente corrector correspondiente a calibraciones regionales de la Orden FOM/298/2016, por la que se aprueba la norma 5.2 – IC, drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras. El umbral de escorrentía es un indicador de la lluvia neta, o parte de precipitación que interviene directamente en la formación de escorrentía superficial

El valor de I, Intensidad máxima horaria, correspondiente a un tiempo de concentración (T_c) y a un periodo de retorno, se calcula a partir de un método empírico basado en un cociente, I_1/I_d , establecido para todo el territorio nacional, que relaciona la intensidad con la duración de los aguaceros; en el caso de la zona de estudio, este cociente toma el valor de 8.

siendo:

I = Intensidad media correspondiente al intervalo del tiempo de concentración de la subcuenca

I_d = Intensidad media diaria de precipitación correspondiente a un determinado periodo de retorno $P_d/24$

P_d = Precipitación en 24 horas correspondiente a un determinado periodo de retorno

I_1/I_d = Cociente entre la intensidad horaria y la diaria (8)

Los datos pluviométricos se han obtenido por consulta de la aplicación informática MAXPLUWIN, del CEDEX, que permite la obtención de las lluvias máximas diarias para distintos periodos de retorno. Esto se ha realizado para los centroides de cada una de las subcuencas.

El valor del Tiempo de concentración de la subcuenca, T_c , se establece a partir de las variables físicas de la cuenca; se define como el tiempo que necesita en llegar a

la sección de salida de la subcuenca una gota de lluvia caída en el extremo hidrológicamente más alejado de la misma. En su determinación, siguiendo la Instrucción 5.2-IC de Drenaje Superficial, se utiliza el método Témez:



Siendo L = longitud del cauce principal (km); J =Pendiente media del cauce en tanto por uno.

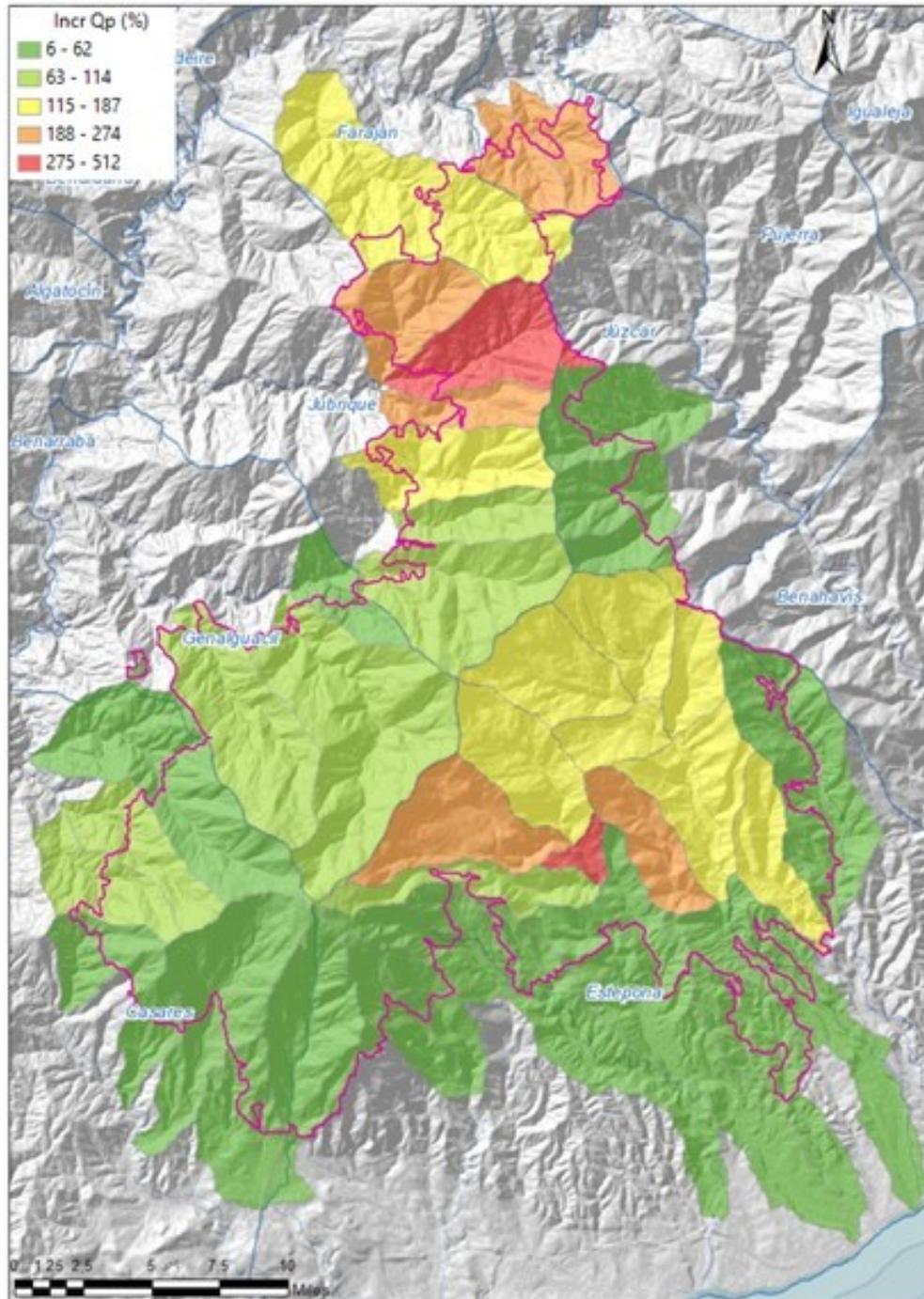
El coeficiente K se estima con la siguiente expresión:



Cuando la superficie de la subcuenca es superior a 1 km^2 e inferior a 3.000 km^2 , se introduce un factor corrector por área (K_a), aplicando el método racional modificado, que afecta a la Precipitación máxima diaria en el periodo de retorno (P_d) del cálculo del Coeficiente de escorrentía.

Se ha calculado el caudal punta (Q) para diferentes periodos de retorno en la situación antes y después del incendio para comparar el cambio en los caudales esperados, lo que refleja la variación en el coeficiente de escorrentía de las subcuencas. Para el modelo, se ha utilizado el periodo de retorno $T = 2$ años, estableciéndose, con fines de representación gráfica, 5 clases con un código de colores del verde al rojo. A igualdad de otros criterios, las subcuencas con mayores incrementos de caudal punta son las que presentan una mayor prioridad para acometer actuaciones de corrección hidrológica con el fin de compensar la desestabilización causada por el incendio.

Figura 9. Incremento de los caudales punta en la subcuenca. Aplicación al incendio de Sierra Bermeja 2021



6.- Áreas de riesgo potencial significativo de inundaciones.

El 23 de octubre de 2007, el Parlamento Europeo aprobó la Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, cuya transposición al ordenamiento jurídico español se produjo a través del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, siendo la legislación básica que regula el contenido y el procedimiento de elaboración y tramitación de los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación en todo el territorio español. A su vez, sus disposiciones fueron recogidas en la Ley 9/2010, de 30 de julio, de Aguas de Andalucía en su Capítulo I



del Título VII: Instrumentos de Prevención del riesgo por inundación, de aplicación a la subcuencas internas de gestión autonómica.

La Directiva 2007/60/CE relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación obliga a los Estados miembros a la elaboración de Planes de Gestión del Riesgo de Inundación. Una fase esencial en la elaboración de estos Planes es la evaluación preliminar del riesgo de inundación (EPRI), que incluye la identificación de las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPIS). Las ARPISs y su zona de influencia son zonas en donde existe un riesgo potencial de inundación significativo; por tanto, se deben favorecer actuaciones para evitar dicho riesgo, que se ha visto potenciado por el efecto del incendio aguas arriba. Por todo ello, se ha incorporado en el modelo aditivo de priorización la pertenencia o no de las unidades de diagnóstico a zonas de influencia de las ARPISI declaradas, asignando valor 1 a la pertenencia al área de influencia y 0 a la no pertenencia.

El área recorrida por el fuego ha afectado a las cuencas tributarias de las ARPIS de Jubrique, perteneciente a la zona del Guadiaro, y a las de Arroyo Vaquero, Enmedio, Guadalobón, Velerín, Río Padrón, Río Castor y Río Guadalmanza, todos ellos pertenecientes a la zona de Costa del Sol Occidental.

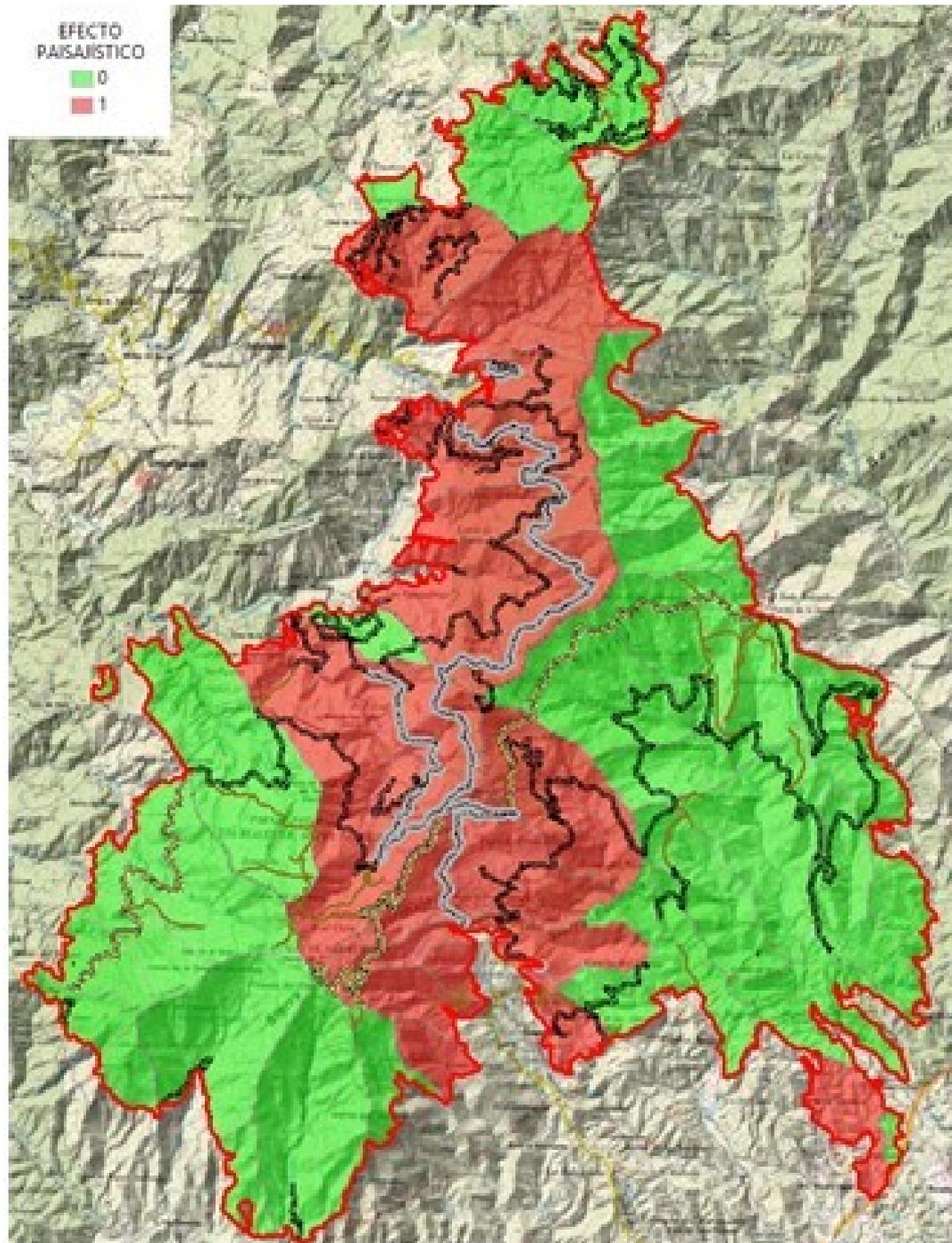
7.- Efecto paisajístico.

Por último, en el modelo de priorización se ha incorporado un estimador del impacto de pérdida de calidad paisajística, definido como la susceptibilidad de un paisaje al cambio ante la incidencia de una determinada actuación.

Para ello se llevó a cabo un análisis de visibilidad determinando las áreas visibles desde uno o más puntos de observación, utilizando un modelo digital de elevaciones como base. Este proceso se ha realizado mediante herramientas como *Viewshed* o *Viewshed 2* (en ArcGIS), que calculan la áreas de visión considerando factores como la altura del observador, el radio de visibilidad, y la curvatura terrestre. Los resultados se generan en formato *raster*, indicando para cada celda si existe visibilidad (1) o no visibilidad (0)

En base a esta información se determinan las subcuencas más expuestas desde el punto de vista paisajístico y de mayor uso público y turístico, asignándole a éstas valor 1 (rojo) y al resto valor 0 (verde).

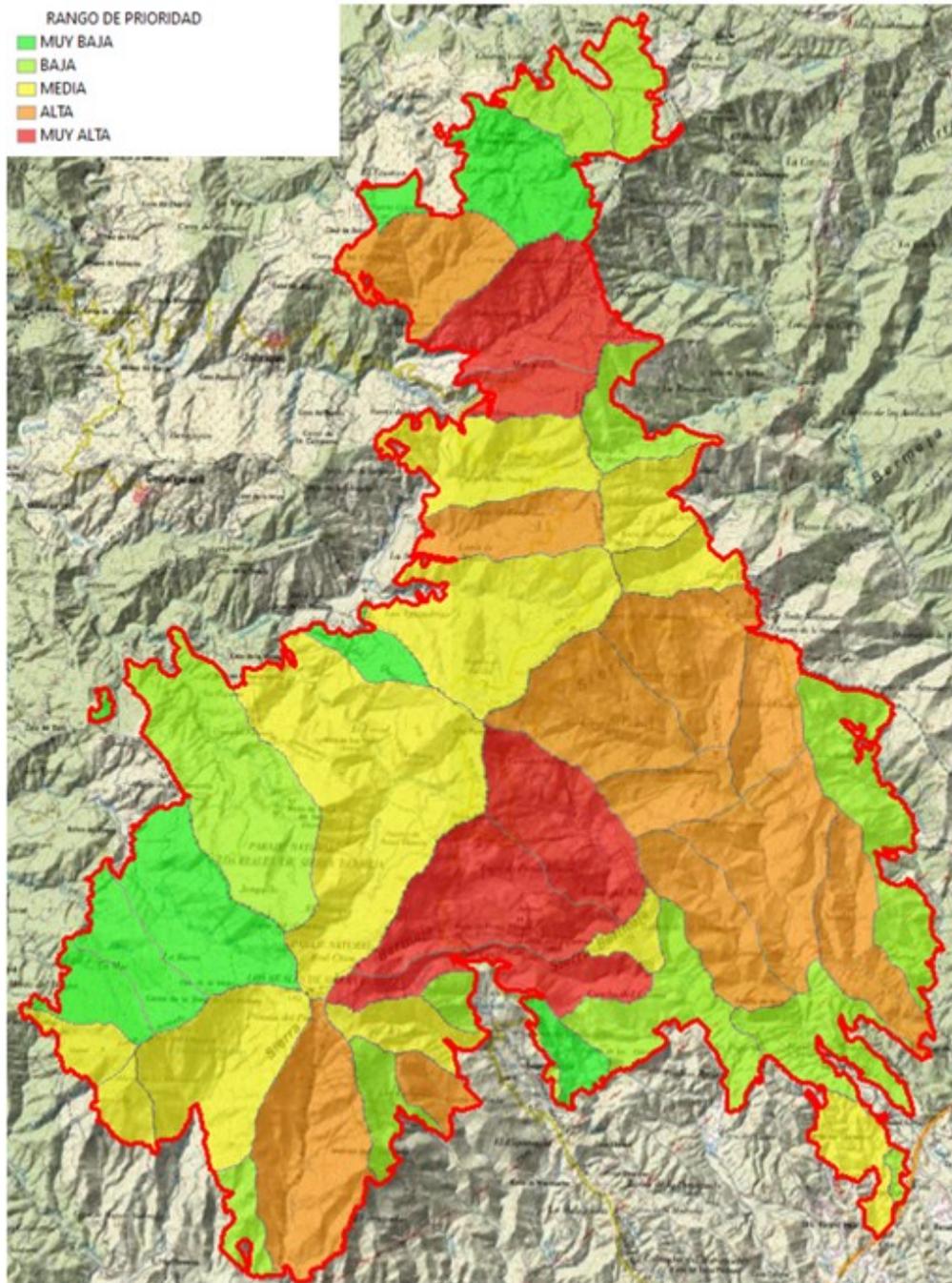
Figura 10. Efecto paisajístico. Aplicación al incendio de Sierra Bermeja 2021



4.3.2.3.- Determinación del resultado del aumento de los riesgos en las subcuencas como indicador para la priorización de actuaciones.

Como se ha explicado, con este modelo aditivo se obtiene un valor normalizado de aumento de los riesgos para cada cuenca. Para visualizar dicho resultado, el valor continuo obtenido se clasificó en cinco categorías, definiendo los rangos de clasificación por el método de clasificación de rupturas naturales de Jenks, ya que es el método de agrupación de datos diseñado para determinar la mejor disposición de valores en diferentes clases (**Figura 11**).

Figura 11. Clases de prioridad para las actuaciones de emergencia post-incendio en base a los valores de aumento de riesgos derivados de la pérdida de cobertura vegetal. Aplicación al incendio de Sierra Bermeja 2021

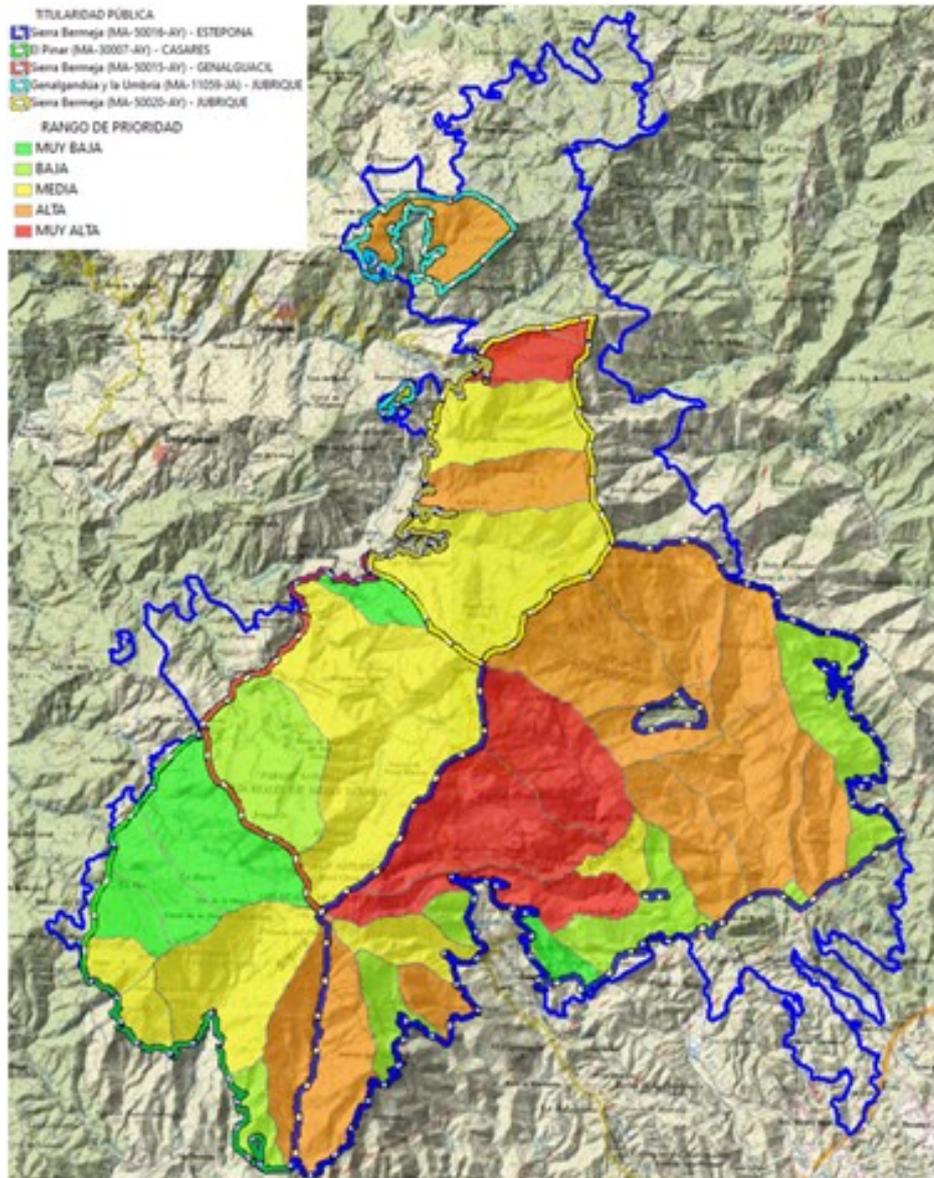




4.2.2.4.- Identificación de las áreas de actuación de emergencia prioritarias en los montes públicos afectados por el incendio

Finalmente, el modelo permite clasificar la superficie de montes públicos según criterios de prioridad de cara al planteamiento de actuaciones selvícolas en el periodo justamente posterior al incendio (actuaciones de emergencia), de cara a reducir los efectos de los potenciales riesgos derivados de la pérdida súbita de la cubierta vegetal (**Figura 12**).

Figura 12. Superficie de los montes públicos afectados por el incendio clasificadas en función de los valores de aumento del riesgo como consecuencia de la pérdida de cobertura. Aplicación al incendio de Sierra Bermeja 2021



4.2.2.5.- Definición de los objetivos de las actuaciones inmediatas tras el incendio

A partir del análisis territorial realizado y de la evaluación de riesgos, se puede proceder a establecer los objetivos de la primera fase de la restauración (emergencia) y, a continuación, elaborar las intervenciones.

A modo ilustrativo, para las actuaciones de emergencia del incendio de Sierra Bermeja se establecieron los siguientes operativos:

— Conservar y mejorar el suelo que se ha visto desprotegido de cubierta vegetal como consecuencia del incendio, acrecentándose por ello los riesgos provocados por la erosión debida a eventos intensos de precipitación. Esta circunstancia es especialmente preocupante en el área incendiada debido a que constituye la cabecera de cuencas hidrográficas que desaguan en la superficie costera de términos municipales con una alta densidad de población y de ocupación del territorio. Las características iniciales, especialmente contenido y calidad en materia orgánica, textura estabilidad de agregados y velocidad de infiltración, se



han visto severamente afectadas por el incendio, lo que juega un papel relevante no sólo en los posibles procesos de avenidas y efectos de lluvias torrenciales proceso post-incendio, sino también en la posibilidad de exploración del sustrato por parte de las plantas y en las reservas de agua disponibles para ellas, factores críticos en la supervivencia del reclutamiento de nuevos ejemplares de árboles y arbustos derivados de la regeneración natural o de los nuevos individuos introducidos por siembra o plantación.

— Limitar la escorrentía y la pérdida de suelo por erosión laminar en laderas y reducir el arrastre de sedimentos a la red de cauces y, con ello, la consecuente colmatación de zonas de captación de agua, embalses, presas y otra infraestructura.

— Reducir el riesgo de avenidas e inundaciones tras el incendio, ya que el incremento de los caudales punta inducido por el incendio puede aumentar significativamente el riesgo de daños sobre personas, infraestructuras y otros bienes materiales.

— Reducir la contaminación de aguas superficiales y subterráneas por cenizas y aportes sólidos.

— Minimizar el riesgo de caída accidental de árboles que pueden generar un daño a las personas, lo que resulta especialmente crítico en la red de carreteras, caminos y senderos con gran transitabilidad o uso público.

— Garantizar el tránsito de vehículos y personas, en adecuadas condiciones de seguridad, por los caminos que discurren por los montes públicos afectados objeto de actuación.

Además de los objetivos anteriores, ligados específicamente a esta primera fase de la restauración, dado el carácter estratégico e integral que deben tener los trabajos de restauración post-incendio, también se tendrán en cuenta los siguientes:

— Prevenir la proliferación de plagas en la superficie forestal no afectadas por el incendio.

— Favorecer los procesos de restauración de los ecosistemas naturales del área incendiada, la regeneración de la vegetación natural y la recuperación de la flora amenazada, y mejorar las condiciones ecosistémicas para la fauna.

— Reducir el efecto paisajístico negativo del arbolado muerto.

— Eliminar los riesgos derivados en los equipamientos de uso público afectados por el incendio.

— Establecer un modelo de intervención que reutilice o incorpore in situ la mayor parte posible de madera quemada para reducir la exportación de nutrientes y la importación de materiales externos.

— Contemplar el manejo de la madera muerta como un criterio en el diseño de la intervención, reservando arbolado sin cortar, ya sea en forma de rodales o como árboles aislados.

— Promover un modelo de territorio forestal futuro con mayor capacidad preventiva y de resiliencia ante los incendios forestales.

5.- Conclusiones

La metodología presentada permite dar respuesta a las necesidades de actuación derivadas de la pérdida de la función protectora de la cubierta forestal como



consecuencia de un incendio. En los últimos años, esta metodología (adaptación en gran medida de la propuesta por ALLOZA *et al.*, 2013) ha sido aplicada para la priorización de actuaciones de emergencia en grandes incendios ocurridos en Andalucía como el de Las Peñuelas (Espacio Natural de Doñana, Huelva, 2017), Almonaster (Huelva, 2020), Sierra Bermeja (2021) o Los Güajares (Granada, 2023).

El procedimiento propuesto pone el foco en el análisis de los riesgos que se activan tras la pérdida de la cubierta vegetal. El momento temporal en el que se realiza la evaluación – los días inmediatamente posteriores al incendio – supone un punto de partida para el proceso más amplio y a más largo plazo de la restauración integral del área incendiada, que debe estar caracterizado por un enfoque estratégico que reúna las diferentes perspectivas de la recuperación del terreno incendiado, en especial los procesos y procedimientos (naturales y artificiales) ligados a la restauración de la vegetación. Por ello no se han incorporado de forma protagonistas factores de gran importancia para los procesos a medio y largo plazo vinculados con el suelo o la vegetación, que habrán de ser incluidos en un esquema de evaluación y seguimiento ampliado para abordar etapas posteriores de la restauración.

6.- BIBLIOGRAFÍA

ALBERT-BELDA, E.; BERMEJO-FERNÁNDEZ, A.; CERDÀ, A.; TAGUAS, E. V.; 2019. The use of Easy Barriers to control soil and water losses in fire-affected land in Quesada, Andalusia, Spain. *Science of the Total Environment*, 690, 480–491.

ALLOZA, J.A., GARCÍA, S., GIMENO, T. 2014. Guía técnica para la restauración de montes quemados. MAGRAMA, Madrid.

BODÍ, M. B., CERDÀ, A., MATAIX-SOLERA, J., DOERR, S. H. 2012. Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea: revisión bibliográfica. Boletín de la asociación de Geógrafos Españoles.

CONFERENCIA SECTORIAL DE MEDIO AMBIENTE. 2022. Orientaciones estratégicas para la gestión de incendios forestales en España. Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico.

FERNÁNDEZ, C.; FERNANDEZ-ALONSO, M.; KEIZER, J.; GIRONA-GARCÍA-A. 2021. Guía para la evaluación de campo de la severidad del fuego en el suelo. Centro de Investigación Forestal de Lourizá, Xunta de Galicia.

GIRONA-GARCÍA; A., VIEIRA, D. C. S.; SILVA, J.; FERNÁNDEZ, C.; ROBICHAUD, P. R.; KEIZER, J. J.; 2021. Effectiveness of post-fire soil erosion mitigation treatments: A systematic review and meta-analysis. *Earth-Science Reviews*, 217, 103611

GÓMEZ-SÁNCHEZ, M. E.; LUCAS-BORJA, M. E.; PLAZA-ÁLVAREZ, P. A.; GONZÁLEZ-ROMERO, J.; SAGRA, J.; MOYA, D.; HERAS, J.; 2019. Effects of postfire hillslope forest restoration techniques on soil functionality. *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 45 (1), 35–44.

GONZÁLEZ-PRIETO, S., MARTÍN, A., CARBALLAS, T., DÍAZ-RAVIÑA, M. 2018. Guía de actuaciones en una zona quemada. Andavira Editora, S.L. ISBN: 978-84-88967-50-3.

GONZÁLEZ-ROMERO J.; LUCAS-BORJA M.E., PLAZA-ÁLVAREZ P., GÓMEZ-SÁNCHEZ, E.; FAJARDO, A.; GONZÁLEZ-CAMUÑAS, H.; MOYA, D.; PEÑA-MOLINA, E.; FERRANDIS, P.; DE LAS HERAS, J. 2022. Estudio de la efectividad de tratamientos para el control de la erosión post-incendio en el SE de España. 8 Congreso Forestal



Español, Lleida.

KANE, V.R.; LUTZ, J.A, ROBERTS, S.L.; SMITH, D.F.; McGAUGHEY, R.J.; NOVAK, N.A.; BROOKS, M.L. 2013. Landscape scale effects of fire severity on mixed-conifer and red fir forest structure in Yosemite National Park. *Forest Ecology and Management*. 287: 17-31.

KEELEY J. E. 2009. Fire Intensity, Fire Severity and Burn Severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, 18: 116-126.

LLORENS, R.; SOBRINO, J. A.; FERNÁNDEZ, C.; FERNÁNDEZ-ALONSO, J. M.; VEGA, J. A. 2021. A methodology to estimate forest fires burned areas and burn severity degrees using Sentinel-2 data. Application to the October 2017 fires in the Iberian Peninsula. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 95.

LUCAS-BORJA, M. E.; GONZÁLEZ-ROMERO, J.; PLAZA-ÁLVAREZ, P. A.; SAGRA, J.; GÓMEZ, M. E.; MOYA, D.; DE LAS HERAS, J.; 2019. The impact of straw mulching and salvage logging on post-fire runoff and soil erosion generation under Mediterranean climate conditions. *Science of the Total Environment*, 654, 441-451

MARTOS, J., ZOTANO, J. 2021. Sierra Bermeja y los grandes incendios forestales: una reconstrucción geohistórica. En los bosques de la Serranía de Ronda: una perspectiva espacio-temporal, pp. 391-437. La Serranía. https://www.academia.edu/44929623/Sierra_Bermeja_y_los_grandes_incendios_forestales_una_reconstruccion_geohistorica_1950_2018_

MARTÍN FERNÁNDEZ, L.; MARTÍNEZ-NÚÑEZ, M. 2021. La restauración forestal en el proceso de gestión de los incendios. *Foresta*, 79, 12-15.

MATAIX, J.; CERDÀ, A. 2009. Los efectos de los incendios forestales en los suelos. Síntesis y conclusiones. Nuevos retos en la investigación y en la gestión. Càtedra de Divulgació de la Ciència. Universitat de Valencia, 493-529.

MEYER, M. D.; LONG, J. W.; SAFFORD, H. D. (eds.). 2021. Postfire Restoration Framework for National Forests in California. U. S. Department of Agriculture. Forest Service. Pacific Southwest Research Station. Albany, California.

PINO, I.; GRANADO, L.; VALES, J. J.; MÉNDEZ, E. M.; PRIETO, R.; PELLO, A. M.; VENEGAS, J.; CHAVES, J.; GUZMÁN, J. R. 2022. Evaluación del uso y aplicación de imágenes de satélite y dron para la valoración de daños en áreas quemadas mediante indicadores de severidad del fuego. *Topografía y Cartografía. Revista del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía*, 179: 189-202.

SER - SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION. 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. www.ser.org

SOBRINO, J. A.; LLORENS, R.; FERNÁNDEZ, C.; FERNÁNDEZ-ALONSO, J. M.; VEGA, J.A. 2024. Methodology for burned areas delimitation and fire severity assessment using Sentinel-2 data. A case study of forest fires occurred in Spain between 2018 and 2023. *Recent Advances in Remote Sensing*, 2 <https://doi.org/10.62880/ars24002>

USDA, Soil Conservation Service. 1991. Engineering field handbook: chapter 2--estimating runoff. En: National engineering handbook. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service: part650

VEGA, J. A.; FONTÚRBEL, M. T.; FERNÁNDEZ, C.; ARELLANO, A.; DIAZ-RAVIÑA, M.; CARBALLAS, T.; MARTÍN, A.; GONZÁLEZ-PRIETO, S.; MERINO, A.; BENITO E, 2013. Acciones urgentes contra la erosión en áreas forestales quemadas. Guía para su identificación en Galicia. CSIC - Instituto Nacional de Investigación y Tecnología



Agraria y Alimentaria (INIA). Santiago de Compostela.

VENEGAS TRONCOSO, J.; CHAVES POSADILLO, J.; VALES BRAVO, J. J.; PINO SERRATO, I.; GRANADO RUIZ, L.; MÉNDEZ CABALLERO, E. M.; PRIETO MOLINA, R.; GUZMÁN ÁLVAREZ, J. R.; JIMÉNEZ CARMONA. 2022. Evaluación de la severidad del incendio de Sierra Bermeja (septiembre 2021) a través de imágenes de satélite y ajuste de clasificación basada en imágenes obtenidas con vuelos de dron. 8 *Congreso Forestal Español*. Lleida.