



2022
Lleida

27 · 1
junio · juny
juliol · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales



Organiza

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

VENEGAS TRONCOSO, J.¹, CHAVES POSADILLO, J.¹, VALES BRAVO, J. J.¹, PINO SERRATO, I.¹, GRANADO RUIZ, L.¹, MÉNDEZ CABALLERO, E. M.¹, PRIETO MOLINA, R.¹, GUZMÁN ÁLVAREZ, J. R.², JIMÉNEZ CARMONA, E.²

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

² Dirección General del Medio Natural, Biodiversidad y Espacios Protegidos. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía.

Resumen

El 8 de septiembre de 2021 dio comienzo un incendio forestal en Sierra Bermeja, en el sector occidental de la provincia de Málaga. Las primeras estimaciones de superficie afectada (correspondiente principalmente a pinar de pino resinero – *Pinus pinaster* Ait. – de gran singularidad por crecer sobre sustrato de rocas de tipo peridotita) oscilaron entre 8.500 ha y 9.500 ha, cifras que evidencian la dificultad de perimetrar un incendio que se manifestó con distinto grado de virulencia a lo largo y ancho del área recorrida por el fuego. Como primera etapa de la evaluación se llevó a cabo un estudio de severidad a partir de imágenes satélite (imágenes pre y post incendio Sentinel 2 con resolución 10 m, bandas 8 y 12), que fueron validadas y ajustadas con información de campo obtenida con vuelos de dron dotado con cámara óptica (RGB) de 20 megapixel. En esta comunicación se expone y discute la metodología empleada y los resultados derivados de la clasificación, así como la utilización de estos resultados como apoyo al diseño de la restauración post-incendio.

Palabras clave

teledetección, incendios forestales, imagen satélite, dron, severidad.

1. Introducción

La restauración de las áreas quemadas debe planificarse atendiendo al impacto del incendio y a la capacidad de respuesta del ecosistema afectado, según viene recogido en la Guía Técnica de Gestión de Montes Quemados del Ministerio de Medio Ambiente (ALLOZA *et al.*, 2013). Tomando de referencia esta guía, para la planificación de las actuaciones de emergencia requeridas tras el incendio es preciso realizar una 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. Por ello, constituye un indicador de gran ayuda para establecer la prioridad en las medidas que pueden ser aplicadas para reducir los efectos del fuego sobre el territorio. Debido a la dificultad en incendios de gran magnitud para abarcar amplias superficies afectadas a partir de observaciones de campo, se ha demostrado la alta versatilidad del uso de imágenes remotas para el estudio del grado de afección de la vegetación debida al incendio forestal.

El incendio forestal de Sierra Bermeja se inició el 8 de septiembre de 2021 en el municipio de Genalguacil (Figura 1). Debido a las circunstancias meteorológicas reinantes (viento cambiante con predominancia del característico viento de terral, un viento procedente del norte que trae consigo altas temperaturas y baja humedad relativa) y las propias del terreno, la escarpada orografía y abundante vegetación, este incendio adquirió una virulencia inédita entre los registrados en Andalucía. Tras varias jornadas de extinción, el incendio se dió oficialmente por controlado por la Dirección del Plan INFOCA el 14 de septiembre. No obstante, la extensión del incendio unido a la orografía y meteorología reinante esos días, imposibilitaron su extinción definitiva hasta el 24 de

octubre de 2021. La superficie afectada asciende a 9.581 ha, comprendiendo a los términos municipales de Estepona, Genagualcil, Casares, Jubrique, Júzcar, Faraján y Benahavís.



Figura 1. Localización del incendio forestal de Sierra Bermeja.

El incendio forestal ha afectado principalmente a superficie de pinares de pino negral o resinero (*Pinus pinaster*) con distinto grado de cobertura. Son formaciones ecológicas de gran singularidad que se desarrollan sobre sustrato litológico de peridotitas y serpentinas sobre los pisos termo y mesomediterráneo subhúmedo y húmedo.

La superficie clasificada como formaciones arboladas densas o muy densas asciende a 3.025 ha, el 31,5% de la superficie recorrida por el fuego. En la zona afectada por el incendio existe presencia de más de una veintena de Hábitats de Interés Comunitario (espinares y orlas húmedas, prados húmedos, arbustedos, coscojares, adelfares y tarajales, brezales, pastizales, alcornocales, saucedas, melojares y pinsapares, entre otros).

El presente estudio se centra en el análisis de la severidad del fuego, utilizándolo como indicador del grado de consumo de materia orgánica (viva o muerta) causado por el fuego. Se ha procedido al uso de imágenes de satélite con un doble objetivo: por un lado, evaluar preliminarmente la severidad del incendio para la priorización de los trabajos de emergencia; y, por otro, obtener una cartografía detallada del grado de afección de la zona incendiada (DE SANTIS y CHUVIECO, 2007; DÍAZ DELGADO et al, 2003).

La severidad de un área quemada se puede definir como el grado de cambio ambiental debido al fuego. Ésta puede ser evaluada a partir de la observación directa de los niveles de daño y a partir de técnicas de teledetección basadas en los cambios en la reflectividad de las áreas quemadas. Esta observación remota proporciona información con una gran cobertura espacial, de forma rápida y continuada. La aplicación de índices de severidad calculados a partir de imágenes de satélite permite realizar una evaluación rápida sobre extensas superficies, tener acceso a información de zonas poco accesibles y repetir la evaluación para comparar otras zonas o épocas, todo ello con unos costes asumibles (KEY y BENSON, 2006). Cabe destacar que la evaluación del grado de afección de los incendios al suelo se fundamenta principalmente en inventarios de campo, ya que hasta la actualidad son escasos los estudios que han conseguido obtener relaciones altamente significativas entre índices espectrales y niveles de severidad del fuego en el suelo (SOBRINO et al., 2019). Es por ello

que en este trabajo, cuando se habla de severidad, nos estamos refiriendo fundamentalmente al grado de afectación a la vegetación.

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 convirtiéndose, pues, en 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 de baja severidad. En consecuencia, desde el punto de vista de la gestión forestal, la evaluación y cartografía de esta variable proporciona información fundamental para priorizar la aplicación de tratamientos y medidas dirigidas a minimizar los efectos del fuego y acortar el tiempo de recuperación del ecosistema afectado.

El índice de severidad NBR (*Normalized Burn Ratio*) es un índice normalizado que remarca la respuesta espectral del territorio afectado por el fuego a partir del infrarrojo cercano (RNIR) y medio (RIR) de onda corta, que corresponden a las bandas 8 (865 nm) y 12 (2.190 nm) en las imágenes del satélite SENTINEL-2 (GUERRERO *et al.*, 2017).

$$NBR = (RNIR - RIR) / (RNIR + RIR)$$

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

- El infrarrojo cercano (NIR), cuya reflectividad (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 (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 (MONTORIO *et al.*, 2014).

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 ocasionado en la vegetación por el fuego:

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

2. Objetivos

Los objetivos del trabajo presentado en esta comunicación son los siguientes:

- Determinar la severidad (grado de afectación a la vegetación) del incendio de Sierra Bermeja a partir de la aplicación del índice dNBR.
- Validar y ajustar la clasificación de la severidad a partir de la verdad terreno por medio de imágenes adquiridas con dron.

3. Metodología

3.1.- Clasificación preliminar de la severidad del incendio.

Para la evaluación de los niveles de severidad se ha utilizado el índice NBR (*Normalized Burn Ratio*) determinado para dos imágenes satélite SENTINEL-2 de 10 m de resolución y 13 bandas espectrales del programa Copernicus de la Unión Europea; una tomada el 5/9/2021 (antes del incendio) y otra del 18/9/2021 (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 nubosidad existente en zonas concretas del área afectada por el incendio en la imagen satélite del día 18/09/2021 fue corregido con la imagen satélite correspondiente al día 28/09/2021, la cual presentaba dichas zonas libres de nubosidad.

Como paso previo necesario en el procesado de los datos se hizo una corrección atmosférica de las subescenas, procedimiento que tiene como objetivo corregir el efecto de dispersión de energía electromagnética en las partículas de agua suspendidas en la atmósfera, permitiendo de esta manera restar de la imagen satélite los valores que éstas agregan a los datos de la imagen. El procedimiento usado fue el *DOS-Dark Object Subtraction* o SPO, Método de Substracción de Píxeles Oscuros, también conocido como el Método de Chávez-Haz (CHÁVEZ, 1996), habiéndose materializado banda a banda con el módulo DOS1 en el sistema de información geográfica Open Source QGIS.

Los valores continuos resultantes de *dNBR* fueron clasificados mediante método no supervisado, agrupando en intervalos de severidad siguiendo referencias de las experiencias previas sobre otros grandes incendios sucedidos recientemente en áreas próximas como el de Huesa-Quesada (Jaén) en 2015 (CARPINTERO *et al.*, 2017), Las Peñuelas (Parque Natural de Doñana y Moguer, Huelva) en 2017 (VALES *et al.*, 2020) o Almonaster la Real (Huelva) de 2020.

3.2.- Clasificación de la severidad del incendio ajustada.

Tras la obtención del *dNBR*, y una vez obtenida una clasificación preliminar, se llevó a cabo una validación para contrastar esta clasificación obtenida por medios satelitales con la realidad sobre el terreno. Para ello, se realizó un trabajo de campo para analizar la correspondencia entre los resultados obtenidos y la verdad-terreno. La campaña de prospección en campo consistió en la asignación de los grados de afección del incendio a parcelas de campo mediante interpretación sobre ortofotografías obtenidas a partir de vuelos de dron equipado con cámara óptica (RGB) de 20 megapíxeles (**Figura 2**).

El vuelo se realizó mediante una plataforma multirrotor hexacóptero (6H), monocasco fabricado en fibra de carbono composite. El sistema dispone de sensores inerciales y de posicionamiento (triple GNSS redundante) que permiten posicionar y orientar las imágenes capturadas con la cámara RGB de 20 MP embarcada. Esta cámara cuenta con una óptica de 24 mm (equivalente a 35 mm) que durante la operación recogió fotografías con orientación cenital del terreno.

La operación se llevó a cabo el 27/9/2021. Se planificaron áreas de en torno a 10-15 has cada una que se volaron a una altura de 80 metros sobre el suelo, y a una velocidad inferior a los 6 m/s para garantizar una óptima nitidez de las imágenes.

Una vez ejecutados los vuelos, las fotografías fueron procesadas mediante software fotogramétrico que permitieron producir las ortofotos con GSD (Ground Sample Distance) inferior a 4 cm/píxel, que se han analizado en el presente estudio.

Para que el muestreo de campo recogiese la mayor variabilidad posible, se seleccionaron zonas representativas desde el punto de vista de la vegetación de la zona afectada, con presencia variable de los grados de afección y según criterios de accesibilidad, seleccionando un total de 9 áreas de prospección para la validación (*plots*).

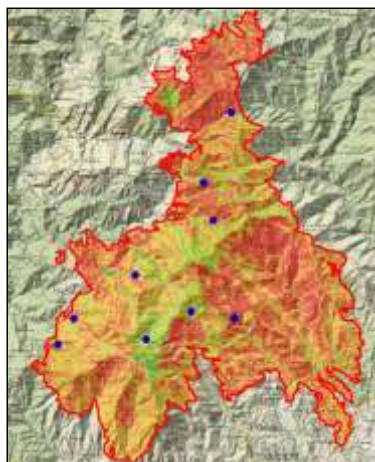


Figura 2. Localización de las áreas de prospección para el ajuste de la clasificación (plots).

Con las ortofotografías RGB obtenidas en los vuelos dron se llevó a cabo en gabinete el levantamiento de 154 parcelas con un tamaño de 2 x 2 píxeles (20 x 20 m), procediendo a la asignación visual mediante fotointerpretación de los grados de severidad en la imagen capturada por el dron, utilizando para ello la recomendaciones indicadas por MONTORIO *et al.* (2014) (**Figuras 3 y 4**).

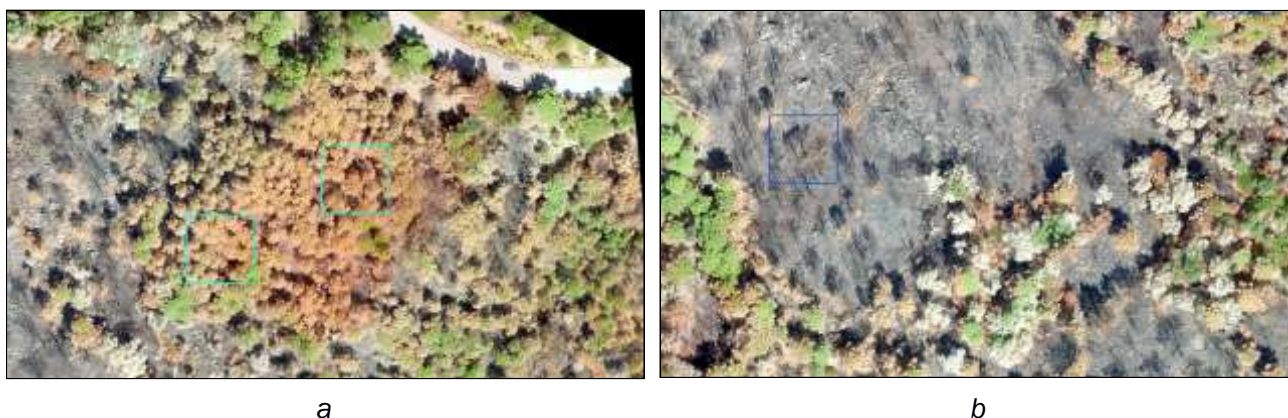


Figura 3. Niveles de severidad del fuego registrados en el incendio forestal de Sierra Bermeja 2020: a) moderada, b) alta.

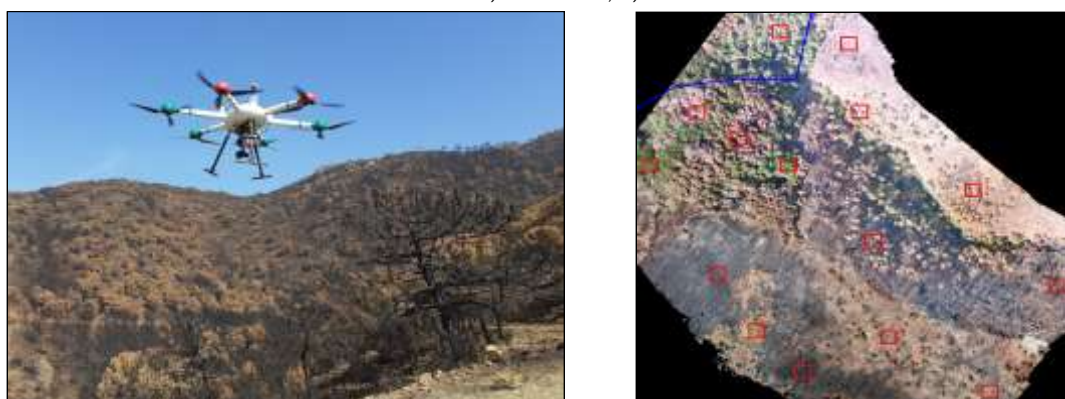


Figura 4. Imagen del dron empleado en la campaña de prospección y del levantamiento de parcelas en gabinete sobre la ortofotografía obtenida en el vuelo y sobre el raster de severidad generado.

4. Resultados

4.1.- Clasificación preliminar de la severidad del incendio.

Los resultados finales del análisis de severidad han sido:

- Ráster 10 x 10 m con valores continuos de *dNBR*.
- Ráster 10 x 10 m con la clasificación en 4 clases a partir del ráster anterior, aplicando unos intervalos (**Tabla 1**) cuyos rangos se han definido tras contrastar los resultados de esta clasificación con experiencias previas sobre los grandes incendios citadas en la metodología.

Severidad	Rango <i>dNBR</i>
Nula	-0,470 - 0,050
Baja	0,050 - 0,100
Moderada	0,100 - 0,150
Alta	0,150 - 1,000

Tabla 1. Intervalos de clasificación *dNBR*. Severidad preliminar.

En la **Tabla 2** se muestran los resultados cuantitativos de clasificación de severidad preliminar.

SEVERIDAD	SUPERFICIE (ha)	% SOBRE SUPERFICIE TOTAL AFECTADA
Nula	564,98	5,90
Baja	3.236,36	33,78
Moderada	4.143,72	43,25
Alta	1.636,31	17,07
TOTAL	9.581,37	100,00%

Tabla 2. Valores cuantitativos de clasificación de severidad preliminar.

4.2.- Clasificación de la severidad del incendio ajustada.

Tras el proceso de validación con las parcelas que reflejan la verdad del terreno a partir de las imágenes obtenidas con vuelo dron (RGB) se obtuvo el siguiente producto:

- Raster 10x10 m con la clasificación en 4 clases, aplicando los rangos de la calibración de índice *dNBR* a la validación obtenida de la campaña de prospección en campo realizada tras el incendio (**Figura 5** y **Tabla 3**).

Severidad	Rango <i>dNBR</i>
Nula	-0,470 - 0,048
Baja	0,048 - 0,080
Moderada	0,080 - 0,120
Alta	0,120 - 1,000

Tabla 3. Intervalos de clasificación *dNBR*. Severidad ajustada.

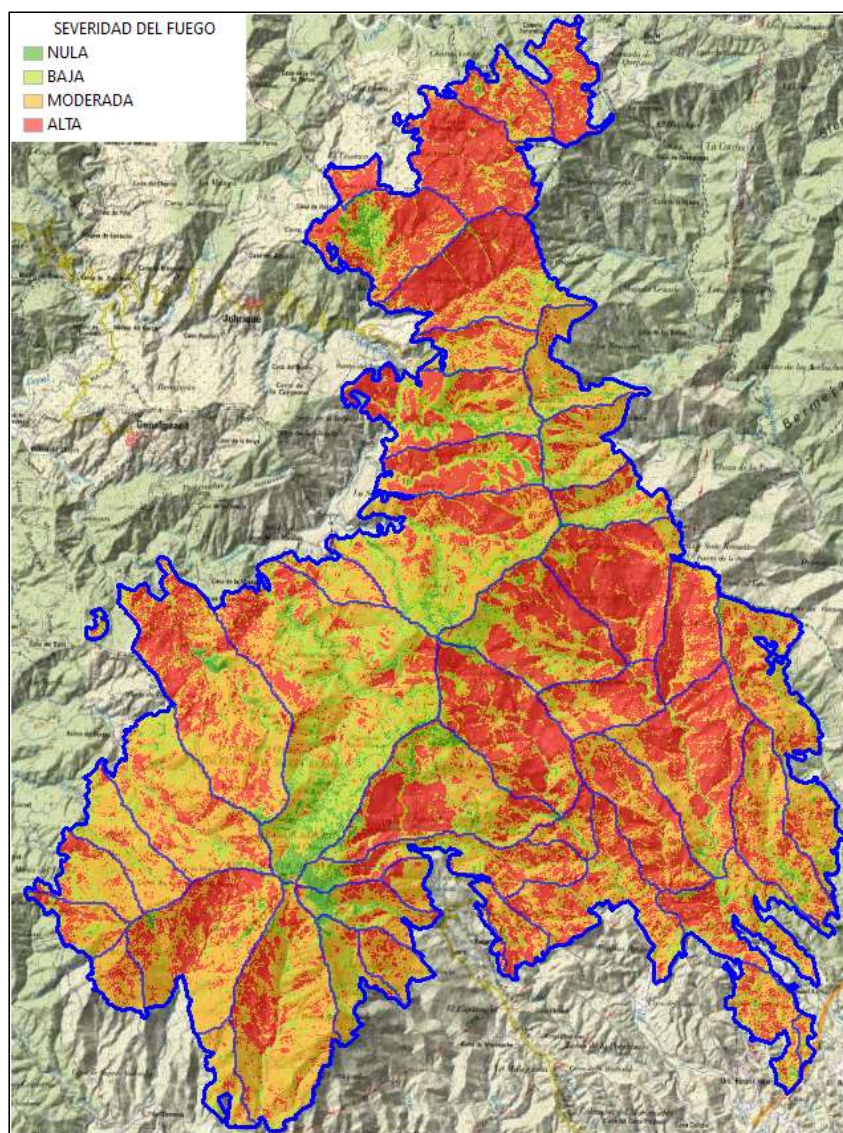


Figura 5. Ráster de severidad del incendio ajustada.

En la **Tabla 4** se muestran los resultados cuantitativos de clasificación de severidad ajustada.

SEVERIDAD	SUPERFICIE (ha)	% SOBRE SUPERFICIE TOTAL AFECTADA
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%

Tabla 4. Valores cuantitativos de clasificación de severidad ajustada.

Los resultados muestran que más del 80% de la superficie (80,25%) ha sido afectado con una severidad moderada o alta, mientras que solamente el 19,75% presenta severidad baja o está sin afectar por el fuego.

Para evaluar comparativamente las bondades de ambas clasificaciones, se obtuvo la matriz de confusión (CONGALTON y GREEN, 2019) para medir el grado de concordancia entre la clasificación previa (dNBR) y los datos medidos en los muestreos de campo a partir de los vuelos de dron (referencia verdad-terreno) (Tabla 5).

SEVERIDAD		Verdad - Terreno (Muestreos Dron)			
		Nula	Baja	Moderada	Alta
Clasificación preliminar dNBR	Nula	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Baja	0,00%	100,00%	3,92%	4,00%
	Moderada	0,00%	0,00%	96,08%	2,00%
	Alta	0,00%	0,00%	0,00%	94,00%

Tabla 5. Matriz de confusión.

Los elementos en azul de la diagonal indican los parcelas de 20x20 m correctamente clasificados. Todos los elementos fuera de la diagonal indican errores por omisión o por comisión.

Los valores resultantes de la matriz de confusión son del 100% para las clases “baja” y “nula”, alcanzando un valor de 96,08% para la clase “moderada” y 94,00% para la clase “alta”, con una exactitud general de 96,75% y un coeficiente Kappa de 0,95 (por encima de 0,60 se considera un buen resultado). Se aprecia un menor acierto en las clases de severidad moderada y alta, que como se observa en la tabla, se confunden con las clases anteriores.

5. Discusión

La medición de la severidad es una herramienta muy útil para abordar el diseño de actuaciones post-incendio por la relación de esta variable con la tasa de recuperación de la vegetación y la tasa de erosión, proporcionando información fundamental de cara al establecimiento de prioridades (CERDÀ y DOERR, 225; MILLER y YOOL, 2002; KEY y BENSON, 2006; LENTILLE *et al.*, 2006).

La gravedad y extensión del incendio de Sierra Bermeja aconsejó poner en marcha un proceso de análisis y diagnóstico inmediatamente después del incendio de modo que las decisiones que se adoptaran en lo relativo a las actuaciones de rehabilitación urgente y restauración posterior se basaran en la mejor información disponible. Para ello, se siguió la metodología propuesta por ALLOZA *et al.* (2013), incorporando un análisis de la evaluación de la severidad de primer orden (MONTORIO *et al.*, 2014).

Para mejorar la aplicación de este análisis, ya contrastado en otros sucesos de este tipo (ARRELLANO *et al.*, 2017; CARPINTERO *et al.*, 2017; GUERRERO *et al.*, 2017; NIETO *et al.*, 2017; VALES *et al.*, 2020), se ha procedido a realizar una validación a partir de imágenes representativas de diferentes intensidades del incendio obtenidas con dron equipado con cámara RGB (PLA *et al.*, 2017). La información recabada con el dron, analizada parcela a parcela y comparada con los valores de dNBR, ha sido utilizada para el ajuste del Mapa de Severidad, determinándose los umbrales (dNBR) que definen los 4 niveles de afección.

El muestreo de campo (basado en capturas de imagen con dron) ha estado limitado por las restricciones temporales del diseño de actuaciones de emergencia. Sin estas circunstancias se podría haber planteado una distribución de parcelas de muestreo del entorno afectado atendiendo a los criterios técnicos que se prescriben para dichos trabajos, contemplando una distribución geográfica más homogénea sobre el terreno, y cubriendo de forma más completa las diferentes especies y estratos afectadas. En cualquier caso, es importante remarcar que el relieve y la accesibilidad son factores limitantes en la distribución de las parcelas de muestreo. En este sentido, la captura de

imágenes mediante drones podría contribuir a la representación de zonas difícilmente accesibles mediante métodos clásicos.

Nuestros resultados muestran que mediante esta técnica se produce una mejora en la clasificación obtenida, principalmente en las clases de severidad moderada e intensa. Esta ganancia, si bien porcentualmente no es muy elevada (3,25%) puede suponer localmente cambios en la clasificación que repercutan en el diseño de necesidades de actuación. Se puede observar que la superficie con un nivel de afectación alto es más del doble (3.666 ha) tras el ajuste del Mapa de Severidad que antes del mismo (1.636 ha), deduciéndose un mayor efecto ecológico del incendio que el observado inicialmente pudiendo tener unas altas repercusiones en la intensidad de las actividades de rehabilitación post-incendio a llevar a cabo.

6. Conclusiones

El estudio muestra la versatilidad del empleo de imágenes satelitales y de índices espectrales para la discriminación de la severidad del fuego en vegetación con la finalidad de aportar información de calidad que apoye las decisiones de restauración.

Es de gran importancia la validación y ajuste de la calibración del modelo de severidad del fuego basado en imágenes de satélite con información obtenidas a partir de parcelas que muestren la verdad terreno para mejorar la caracterización de la afección del incendio.

Adicionalmente, se ha demostrado que para la validación de la información basada en imágenes de satélite, el establecimiento de parcelas verdad terreno y el uso de imágenes de dron con mayor resolución espacial es una alternativa adecuada a la obtención y medición de parcelas de campo por métodos clásicos.

7. Bibliografía

ALLOZA, J.A.; ROJO, L.; GARCÍA, S.; GIMENO, T.; BAEZA, M. J.; VALLEJO, V.R.; 2013. Guía técnica para la gestión de montes quemados. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.

ARELLANO, S.; VEGA, J. A.; RODRÍGUEZ Y SILVA, F.; FERNÁNDEZ, C.; VEGA-NIEVA, D.; 2017. Validación de los índices de teledetección dNBR y RdNBR para determinar la severidad del fuego en el incendio forestal de Oia-O Rosal (Pontevedra) en 2013. Revista de Teledetección, 49, Número especial: 49-61.

CARPINTERO, I.; MONTOYA, G.; GRANADO, L.; MENDEZ, E.; PINO, I.; PRIETO, R.; VALES, J.J.; SALAS, F.J.; VENEGAS, J.; CÁCERES, F.; MOREIRA, J.M.; GIMÉNEZ DE AZCÁRATE, F.; 2017. Cartografía de la afección del incendio en Huesa, Quesada y Cabra de Santo Cristo (Jaén) con imágenes satelitales. XVII Congreso Nacional de la Asociación Española de Teledetección Murcia, 3-7 de Octubre 2017.

CHAVEZ, P. S.; 1996. Image-based atmospheric corrections revisited and revised. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62: 1025-1036.

CERDÀ, A.; DOERR, S. H.; 2005. Influence of vegetation recovery on soil hydrology and erodibility following fire. An 11-year investigation. International Journal of Wildland Fire, 14: 423-437.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K.; 2019. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. CRC press.

DE SANTIS, A.; CHUVIECO, E.; 2007. Burn severity estimation from remotely sensed data: Performance of simulation versus empirical models. *Remote Sensing of Environment*, 108: 422-435.

DÍAZ-DELGADO, R.; PONS, X.; 2003. Análisis comparativo de diferentes cartografías de incendios forestales. *Revista de Teledetección*, 20: 11-15.

GUERRERO, A.; PINEDA, L.; PALÀ, V.; CORBERA, J.; 2017. Estudio de severidad en el incendio de Albinyana (Catalunya) a partir de datos SENTINEL-2. *Revista de Teledetección*, 49, número especial: 115-121.

KEY, C. H.; BENSON, N.; 2006. Landscape assessment: ground measure of severity. The Composite Burn Index. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, CO.

HUDAK, A. T.; MORGAN, P.; BOBBIT, M. J.; SMITH, A. M. S.; LEWIS, S. A.; LENTILE, L. B.; ROBICHUAD, P. R.; CLARK, J. T.; McKINLEY, R. A.; 2007. The relationship of multispectral satellite imagery to immediate fire effects. *Fire Ecology Special Issue*, 3: 64-90.

LENTILE, L. B.; HOLDEN, Z. A.; SMITH, A. M. S.; FALKOWSKI, M. J.; HUDAK, A. T.; MORGAN, P.; LEWIS, S. A.; GESSLER, P. E.; BENSON, N. C.; 2006. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fire*, 15: 319-345.

MILLER, J. D.; YOOL, S. R.; 2002. Mapping forest post-fire canopy consumption in several overstory types using multi-temporal Landsat TM and ETM data. *Remote Sensing of Environment*, 82: 481-496.

MONTORIO, R. M.; CABELLO, F. P.; MARTÍN, A. G.; VLASSOVA, L.; DE LA RIVA FERNÁNDEZ, J. R.; 2014. La severidad del fuego: revisión de conceptos, métodos y efectos ambientales. En: ARNÁEZ, J.; GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, P.; LASANTA, T.; VALERO GARCÉS, B. L. (eds.): *Geoecología, cambio ambiental y paisaje: homenaje al profesor José María García Ruiz*. Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC) - Universidad de La Rioja. Logroño.

NIETO MASOT, A.; NVAZO ARENAS, G.; MORENO MARCOS, G.; 2017. Delimitación y análisis del incendio forestal de Sierra de Gata (Cáceres) mediante imágenes de los satélites Landsat 8 y Sentinel 2. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*. Universidad de Extremadura. Plasencia, Cáceres.

SOBRINO, J. A.; LLORENS, R.; FERNÁNDEZ, C.; FERNÁNDEZ-ALONSO, J. M.; VEGA, J.A.; 2019. Relationship between forest fires severity measured in situ and through remotely sensed spectral indices. *Forests*, 10: 457.

VALES, J.; PINO, I.; GRANADO, L.; PRIETO, R.; MÉNDEZ, E.; RODRÍGUEZ, M.; GIMÉNEZ DE AZCÁRATE, F.; 2020. Cartografía de la afección y recuperación vegetal del incendio de Las Peñuelas en Moguer (Huelva) con imágenes satelitales. Año 2017. *Revista de Teledetección*, 57: 79-94.