



2022
Lleida

27 · 1
junio · juny
julio · 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

La teledetección como herramienta de apoyo en la restauración de grandes incendios forestales

MARTÍN-ALCÓN, S.¹, BUESO ACEVEDO, J.¹, YÁÑEZ-RAUSELL, L.¹, CANTÓN MEGÍA, J.¹, MUÑOZ PÉREZ, G.¹, MARINO DEL AMO, E.¹

¹ Agresta Sociedad Cooperativa.

Resumen

Habitualmente, cuando nos enfrentamos a proyectos de restauración de las superficies afectadas por grandes incendios forestales, nos encontramos con cartografía de vegetación desactualizada (como consecuencia de los cambios ocasionados por el incendio), o bien de escasa precisión (por ser masas muy jóvenes todavía en etapas iniciales de regeneración posincendio), sin el nivel de detalle suficiente como para ser utilizada en la zonificación y la propuesta de las actuaciones de restauración. En este trabajo presentamos un conjunto de metodologías consistentes en el análisis de series temporales de imágenes satélite (Landsat y Sentinel-2), junto a la información de los vuelos LiDAR del PNOA, para desarrollar una cartografía actual y de gran nivel de detalle de la superficie incendiada: (1) análisis de la severidad del incendio, (2) análisis de la intensidad de recuperación de la vegetación, y (3) rodalización semiautomática y clasificación en tipos de cobertura (o tipos de vegetación, que tienen implicaciones directas en cuanto al tipo de actuación a proponer). Se presenta el desarrollo de estas herramientas en el contexto de los grandes incendios de 2012 en la Comunidad Valenciana, y se demuestra su validez para el diseño de las actuaciones de restauración.

Palabras clave

Teledetección satelital, LiDAR, OBIA, rodalización automática.

1. Introducción

Los incendios forestales son una de las perturbaciones con mayor capacidad transformadora del medio natural. A gran escala contribuyen a producir una gran cantidad de emisiones de carbono en un intervalo muy corto de tiempo, además de la pérdida de función reguladora del clima como consecuencia de la eliminación temporal de las masas forestales. Por otra parte, y a escala más local, se producen alteraciones principalmente en las coberturas vegetales y en el suelo, provocando elevados daños ecológicos y económicos e incluso pérdida de vidas humanas. Esta situación se agrava con los grandes incendios forestales (San-Miguel-Ayán et al., 2013). Su ocurrencia se ha atribuido a una combinación de factores relacionados, entre otros, con el abandono de las actividades agrarias tradicionales y los cambios que esto ha provocado en el paisaje (especialmente en la carga y continuidad de los combustibles) y el incremento de la ocurrencia y duración de eventos climáticos de riesgo extremo (Loepfe et al., 2010). En la Península Ibérica, los grandes incendios forestales (>500 ha) han afectado a casi todos los tipos de ecosistemas forestales en las últimas décadas, representando casi la mitad de la superficie total quemada durante este periodo (Cubo María et al., 2012; López Santalla et al., 2017).

Es sabido que las actuaciones de restauración ambiental posincendio son clave para que la afección ambiental de los incendios sea la menor posible. La rapidez en la intervención minimiza efectos negativos como erosión, escorrentía, plagas, pérdida de valor paisajístico y otros. Y las actuaciones a medio y largo plazo consolidan los trabajos iniciales y aseguran el retorno de los terrenos forestales al estado inicial previo al incendio (Vallejo, 2005).

Varios factores inherentes a los bosques de la cuenca mediterránea, como el reducido tamaño de la propiedad forestal, la lenta tasa de crecimiento debido a la limitada disponibilidad de agua o el predominio del terreno montañoso, elevan el coste de las operaciones forestales y dificultan el desarrollo de las acciones de gestión, incluidas las medidas de restauración tras los incendios (Espelta et al., 2003). Estos impedimentos pueden atenuarse, en parte, si se dispone de evaluaciones detalladas y espacialmente continuas dirigidas a clasificar la zona quemada según el éxito de la regeneración, los tipos de vegetación y/o de gestión propuesta (Vallejo et al. 2012). Sin embargo, la extensión de estos grandes incendios hace que estas evaluaciones detalladas y espacialmente continuas sean a menudo inalcanzables mediante la recopilación de datos de campo. Las cartografías de vegetación existentes se encuentran desactualizadas (como consecuencia de los cambios ocasionados por el incendio), o bien son de escasa precisión (por ser masas muy jóvenes todavía en etapas iniciales de regeneración posincendio), sin el nivel de detalle suficiente como para ser utilizada en la zonificación y la propuesta de las actuaciones de restauración.

El uso de datos de teledetección ha surgido recientemente como una alternativa eficiente para proporcionar evaluaciones adecuadas de la regeneración en grandes áreas que se ven afectadas por las perturbaciones forestales, y en particular por grandes incendios forestales (Fernández-Guisuraga et al., 2019). En esta línea, son varios los estudios recientes que han utilizado indicadores espectrales, extraídos de imágenes de satélite, información LiDAR, o una combinación de ambas fuentes de datos remotos, para evaluar el éxito de la regeneración a corto plazo y las tasas de recuperación en términos de la cobertura vegetal total (Christopoulou et al., 2019; Gouveia et al., 2010; Vila and Barbosa, 2010), distinguiendo incluso las coberturas de regeneración en tipos estructurales y composicionales de arbustos leñosos o especies arbóreas (Bolton et al., 2017; Martín-Alcón et al., 2015; Vicente-Serrano et al., 2011).

En el verano del 2012 la Comunidad Valenciana sufrió un total de 481 incendios forestales, los cuales afectaron a un total de 57.348 hectáreas, de las cuales el 46% correspondía a superficie arbolada. Del total de superficie afectada, 53.345 ha se quemaron en tan solo tres incendios forestales: Cortes de Pallás (27.940 ha), Andilla (19.691 ha), y Chulilla (5.714 ha). Agresta S Coop fue la empresa adjudicataria de los Proyectos de Restauración Ambiental de esas superficies incendiadas, siendo en el marco de estos proyectos en el que se enmarca este trabajo.

2. Objetivos

En este trabajo presentamos un conjunto de metodologías consistentes en el análisis de series temporales de imágenes satélite (Landsat y Sentinel-2), junto a la información de los vuelos LiDAR del PNOA, para desarrollar una cartografía actual y de gran nivel de detalle de la superficie incendiada:

- (1) análisis de la severidad del incendio,
- (2) análisis de la intensidad de recuperación de la vegetación, y
- (3) rodalización semiautomática y clasificación en tipos de cobertura (o tipos de vegetación, que tienen implicaciones directas en cuanto al tipo de actuación a proponer).

Se presenta el desarrollo de estas herramientas en el contexto de los Proyectos de Restauración Ambiental de los grandes incendios de 2012 en la Comunidad Valenciana, realizando el diagnóstico transcurridos 6 años desde la fecha de ocurrencia de los mismos, y se demuestra su validez para el diseño de las actuaciones de restauración.

3. Metodología

- a. Evaluación de la severidad del incendio y análisis de la intensidad de la recuperación mediante datos de campo y teledetección

Ante la carencia de información relativa a la severidad del incendio a lo largo de la superficie afectada, así como de la intensidad de la recuperación de la cobertura vegetal, se ha desarrollado una cartografía sobre estos parámetros a partir del análisis de la serie histórica 2012-2018 del satélite Landsat. Esto se realiza con un doble objetivo:

- Analizar la tendencia de cambio de la vegetación posincendio durante el periodo 2013-2018, utilizando algoritmos de detección de cambios de tendencia (Forkel et al., 2013). La tendencia de cambio en la respuesta espectral de la vegetación permite diferenciar entre tipos de vegetación basándonos en las diferencias en el patrón de crecimiento o intensidad de recuperación posincendio de las diferentes comunidades vegetales (por ejemplo, si una zona de matorral llega al máximo crecimiento posincendio la tendencia de cambio a partir de ese punto en el tiempo se estabiliza mientras que una zona de bosque seguiría mostrando cambios significativos a partir de ese punto de la serie temporal).
- Analizar la severidad de los incendios de 2012, en la modalidad de evaluación inicial, a través de la clasificación de las imágenes de 2012. Esta clasificación se hace a partir de los rangos de severidad establecidos para tres índices de vegetación dNBR, RdNBR y RBR (Botella-Martínez and Fernández-Manso, 2017). Estos índices, ampliamente utilizados para el análisis de severidad de incendios, se calculan a partir de series de imágenes Landsat de 2012 adquiridas en fechas inmediatamente anteriores e inmediatamente posteriores a cada incendio objeto de estudio.

El trabajo comienza con la descarga y el procesado de la serie histórica 2012-2018 de las imágenes de Landsat para el ámbito de actuación, y continúa conforme al esquema metodológico descrito en las Figuras 1 y 2.

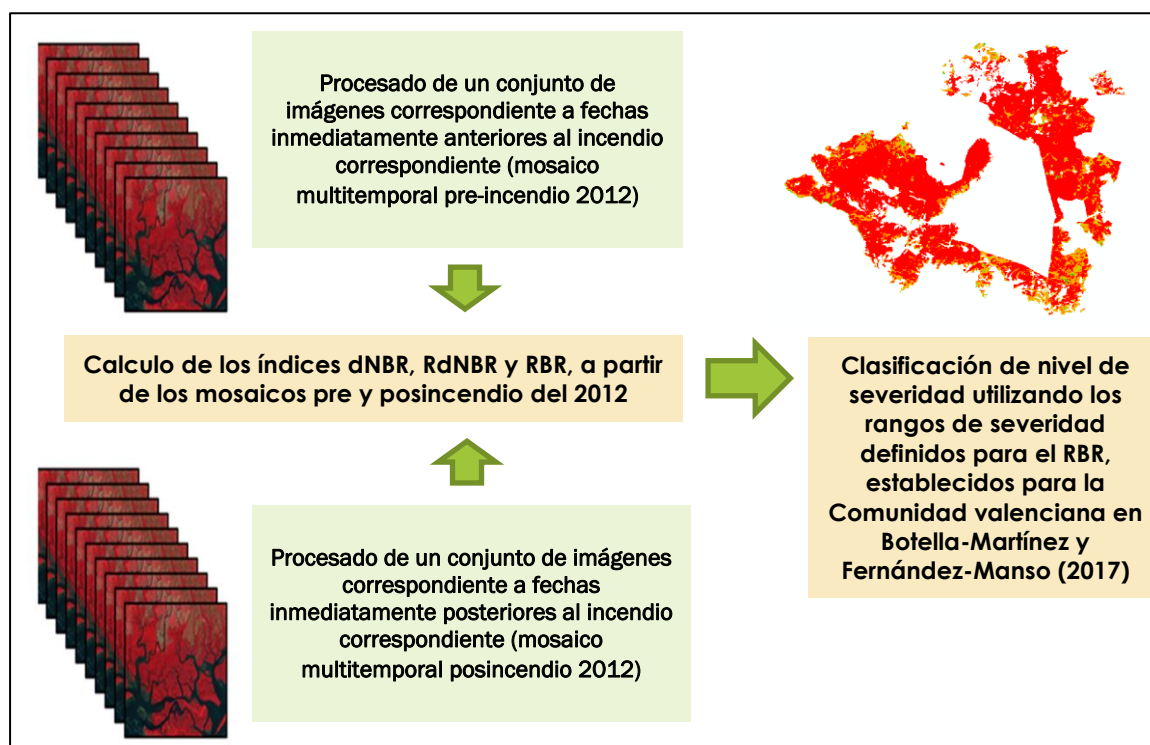


Figura 1. Esquema de la metodología seguida para la obtención de la cartografía de severidad

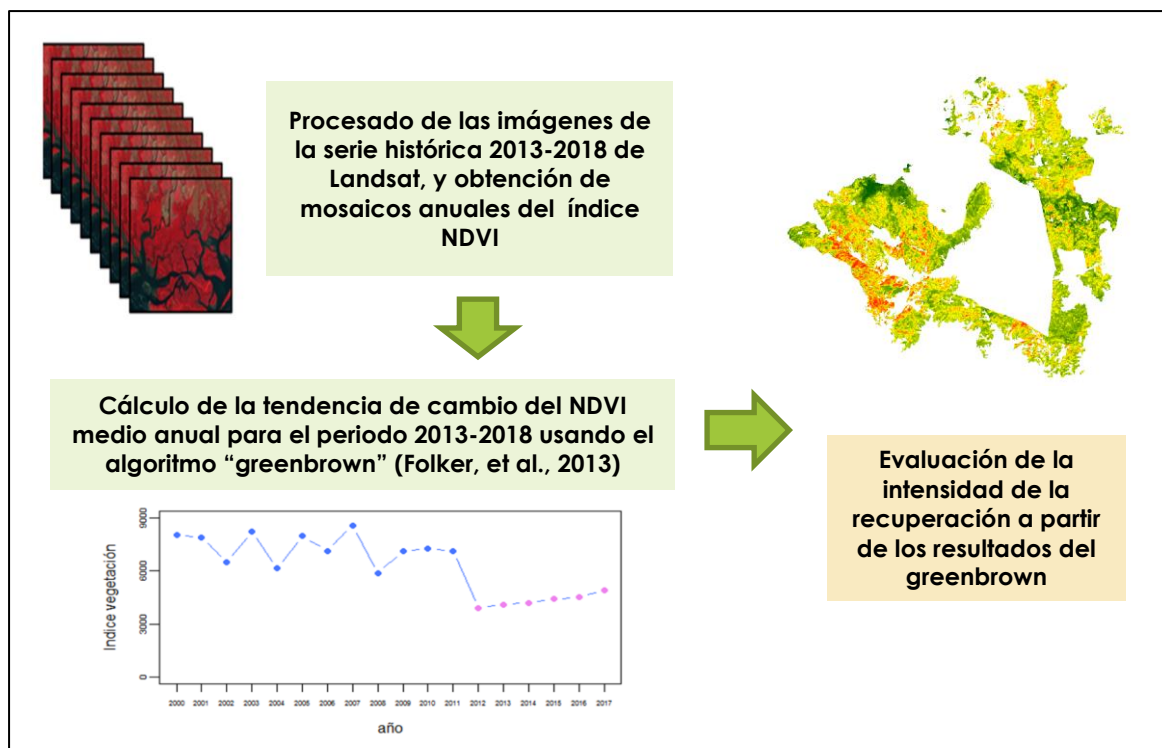


Figura 2. Esquema de la metodología seguida para la obtención de la cartografía de intensidad de la recuperación de la vegetación en el área incendiada.

b. Cartografía de coberturas actuales de vegetación mediante datos de campo y teledetección

Para paliar la carencia de información actualizada y detallada sobre la vegetación existente, se ha realizado una clasificación de la superficie del ámbito de actuación (superficie afectada por los incendios) en clases de cobertura, o tipos de vegetación, que tienen implicaciones directas en cuanto al tipo de actuación a proponer, o las soluciones técnicas a emplear. A continuación se resume la metodología utilizada para la obtención de esta cartografía.

El trabajo comienza con la definición de unos tipos de cobertura, en base a la documentación existente sobre la vegetación del lugar, y los datos recogidos en las primeras visitas a campo. En la Tabla 1 se muestran los tipos de cobertura en los que se clasificó toda la superficie de trabajo.

Tabla 1. Tipos de cobertura predefinidos para el ámbito de estudio.

Tipo de cobertura	
0	Improductivos y zonas muy pedregosas con suelo desnudo. Comprende fundamentalmente las superficies de carreteras, pistas forestales y carrileras, así como otras superficies no productivas tales como una cantera abandonada, y zonas con alta pedregosidad superficial, con muy baja cobertura de vegetación.
1	Regenerado de pino denso, principalmente de pino carrasco, con tangencia de copas.
2	Regenerado de pino más disperso principalmente de pino carrasco, sin tangencia de copas.
3	Matorral denso: matorral mediterráneo típico de la zona, con una estructura muy similar a la anterior al incendio con una mayor proporción de las especies pirófitas en la masa. La especie dominante varía en función de la altitud y la orientación.

Tipo de cobertura	
4	Matorral con calvas, matorral bajo y/o herbazal: como el anterior pero más abierto, con manchas de suelo desnudo o afloramientos, dominio de herbazal o con matorral de baja talla.
5	Dominancia del matorral, con rebrote de especies de mayor porte. Matorral característico con rebrote de otras especies de mayor porte como enebros, olivos, algarrobos, madroños, encinas, etc.
6	Dominancia del rebrote de encina: zonas donde ha prevalecido la encina, existiendo en la actualidad chirpiales con un fuerte rebrote. En algunas de estas zonas hay una importante presencia de enebro, como principal acompañante de la encina
7	Masa residual de pinar: masas de pinar adulto (fundamentalmente de pino carrasco) parcialmente afectado por el incendio.
8	Masa residual de encinar: masas de encinar adulto parcialmente afectado por el incendio.
9	Masa residual o rebrotada de vegetación de ribera: masas pobladas de especies frondosas más propias de riberas, parcialmente afectadas o rebrotadas después del incendio.
10	Tierras de cultivo

Una vez definidos estos tipos de cobertura en base al reconocimiento en campo y al estudio de la cartografía de vegetación existente, se ejecuta un muestreo de campo, y se genera un modelo predictivo para clasificar toda la superficie de trabajo en alguno de estos tipos de cobertura, según la metodología descrita en la Figura 3.

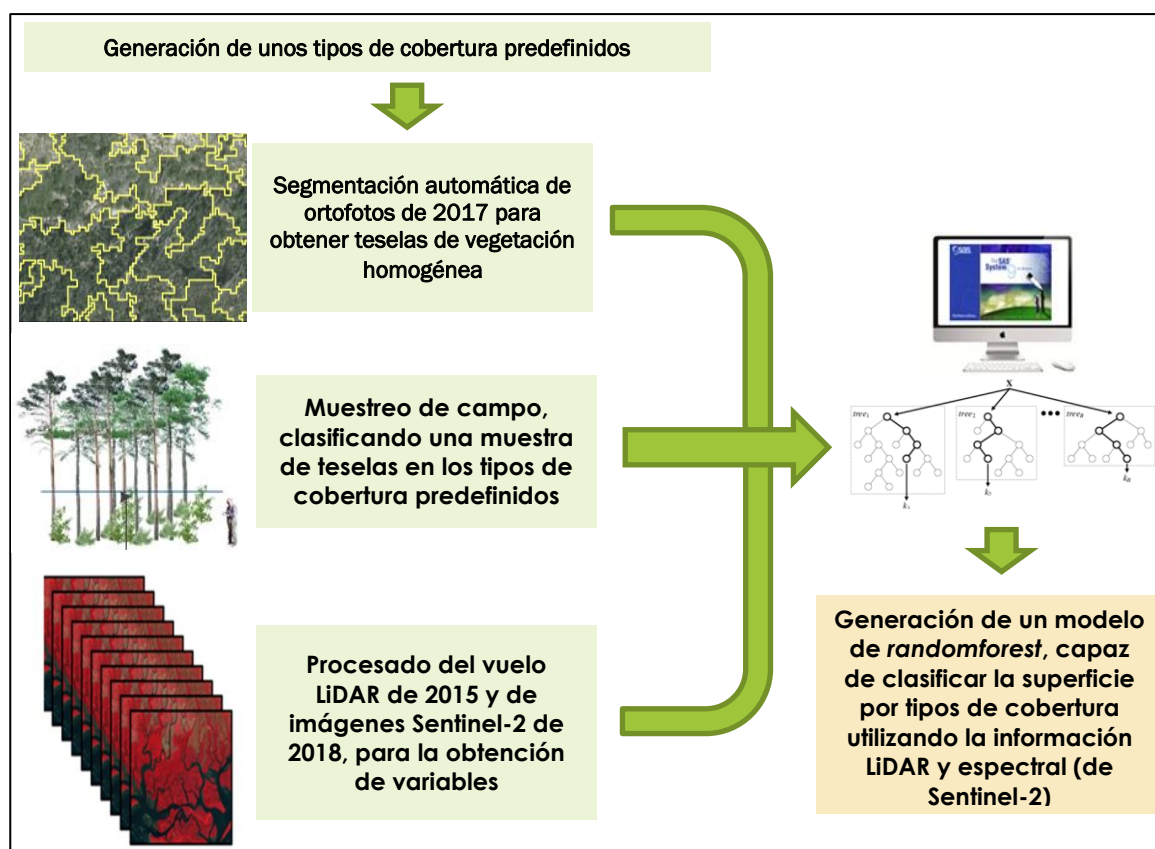


Figura 3. Esquema de la metodología seguida para la obtención de la cartografía de tipos de cobertura en el área afectada por los incendios.

4. Resultados

La vegetación actual de las superficies analizadas es fruto del deterioro de la calidad de estación como consecuencia del incendio, la falta de semilla derivada de la eliminación prácticamente total del estrato arbóreo y las condiciones climáticas más adversas derivadas de la eliminación de la cubierta arbórea. Esta circunstancia genera un escenario en el que las formaciones vegetales presentes están compuestas principalmente por estratos arbustivos y herbáceos, que representan estados de regresión evolutiva y se caracterizan por tener una gran capacidad adaptativa a condiciones más restrictivas.

Las coberturas que actualmente dominan en las áreas son matorrales de distinto tipo, pero en especial los matorrales bajos, discontinuos, propios de áreas degradadas con mayor pendiente y pedregosidad, y por otra parte los matorrales más continuos y con presencia de rebrotadoras (carrasca, algarrobo, olivo, madroño, enebro, etc.), estos sobre mejores estaciones. En muchos casos, estas formaciones de matorral aparecen salpicadas de regenerado de pino disperso (casi exclusivamente *Pinus halepensis*).

En la Tabla 2 se muestra el resultado del diagnóstico de tipos de regeneración, para el caso del incendio de Chulilla (5.714 ha). Los rodales de regenerado denso de *Pinus halepensis* superan ligeramente las 100 ha, y la superficie con regenerado disperso ronda las 300 ha. Dentro del área incendiada aparecen además algo más de 200 ha de masa residual de pinar adulto de *Pinus halepensis* con densidad variable y estructura de latizal alto-fustal, el cual presenta regeneración

dispersa bajo dosel, y más densa en los márgenes y zonas más abiertas. Aproximadamente la mitad de estas masas residuales presentan continuidad vertical de combustible.

Tabla 2. Superficie existente por tipo de cobertura en la situación actual del ámbito del proyecto de restauración del incendio de Chulilla en 2012.

Cobertura (tipo de vegetación)	Superficie en área incendiada (ha)
Cañares	13
Cultivos	21
Improductivo	130
Masa remanente de pinar	199
Matorral con rebrote de especies arboladas	134
Matorral continuo y denso	82
Matorral discontinuo y/o herbazal	2459
Rebrote de encina	1
Regenerado de pino denso	124
Regenerado de pino disperso con matorral	211

Los análisis realizados con la serie temporal de las imágenes del satélite Landsat nos muestran que la severidad del incendio de 2012 fue de moderada a alta en un 60% del área afectada, y también nos indican que la recuperación de la vegetación en el periodo 2012 – 2017 se ha producido de manera irregular en el área de actuación. Por ejemplo, en el caso del incendio de Chulilla, esta fue satisfactoria únicamente en laderas de umbría en la zona norte del incendio, y de intensidad media en el resto de la superficie.

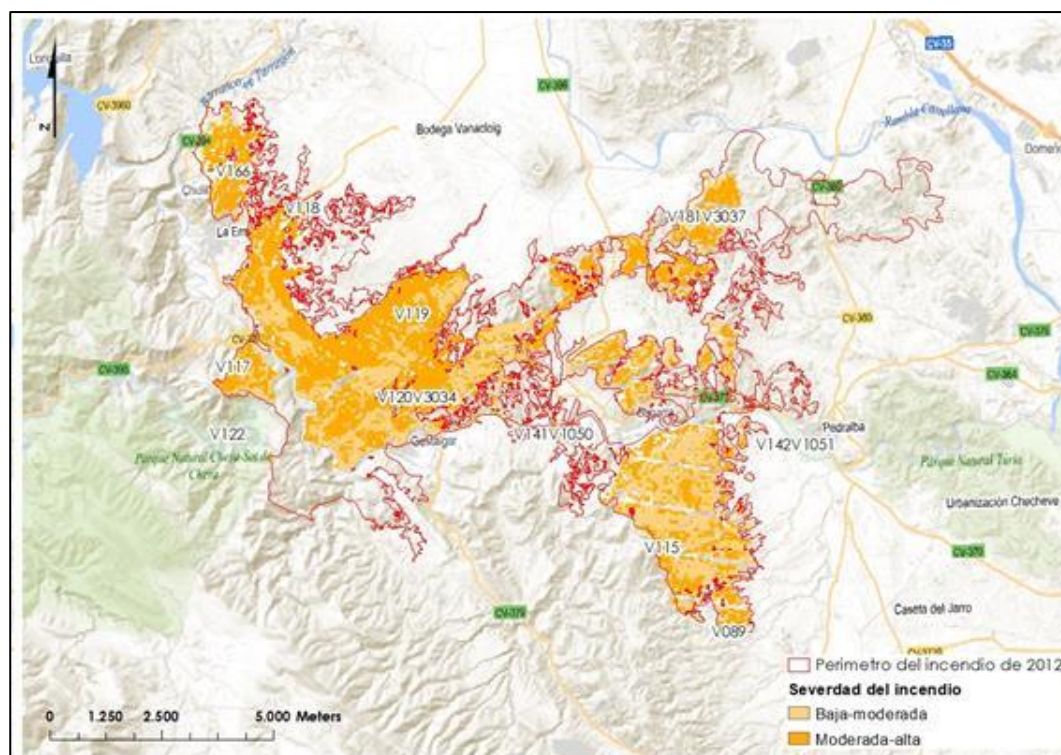


Figura 4. Niveles de severidad del incendio de Chulilla en 2012 de acuerdo al índice RBR calculado con imágenes Landsat.

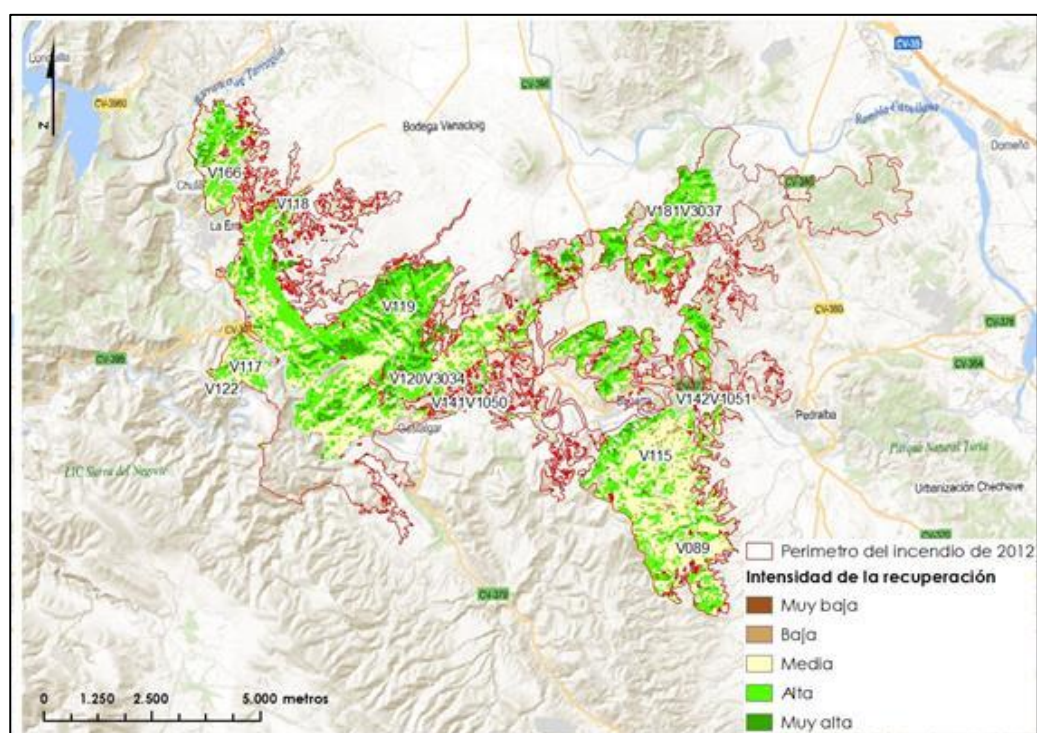


Figura 5. Intensidad de la recuperación posincendio del incendio de Chulilla (2012) evaluada a partir del análisis de la serie histórica de Landsat en el periodo 2012 - 2017.

5. Discusión

Este estudio presenta un enfoque metodológico que combina diversas fuentes de información de sensores remotos, aerotransportados (ortofotos y LiDAR) y satelitales (Landsat y Sentinel-2), para proporcionar información precisa, georreferenciada y espacialmente continua sobre las características de la regeneración posincendio en grandes superficies. Los productos generados no están concebidos para evaluaciones a corto plazo, sino para evaluaciones a medio y largo plazo, que son cruciales para diseñar y planificar adecuadamente los tratamientos silvícolas posteriores a la perturbación (Alloza and Vallejo, 2006; Stephens et al., 2010). Los resultados proporcionados mediante estos análisis, proporcionan información sobre la intensidad de recuperación de la masa forestal, su estructura y composición. Por tanto, pueden utilizarse para predecir sus posibles patrones de evolución, detectar áreas con problemas persistentes de regeneración y delimitar las masas forestales que cumplen determinadas características para planificar las operaciones de gestión. Esto permite, en última instancia, priorizar y asignar espacialmente, con un elevado nivel de detalle, las intervenciones de gestión.

En el contexto de Proyectos de Restauración Ambiental de las superficies afectadas por los grandes incendios ocurridos en 2012 en la Comunidad Valenciana, las metodologías descritas y los productos obtenidos nos han permitido:

- 1) Localizar y delimitar superficies con regeneración abundante de especies arbóreas, en particular de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.), o rebrote abundante de especies arbóreas rebrotadoras, en particular de la carrasca (*Quercus ilex* L.), para proyectar actuaciones de ayuda a la regeneración, compuestas de intervenciones clareo, resalveo y desbroces selectivos.
- 2) Localizar y delimitar superficies con masas adultas remanentes, supervivientes al fuego, y evaluar la continuidad vertical y horizontal de los combustibles en estas teselas, para proyectar actuaciones de prevención de incendios forestales, compuestas de intervenciones de clara, poda y desbroces selectivos.
- 3) Localizar y delimitar superficies con problemas manifiestos de regeneración de especies arbóreas, para proyectar actuaciones de restauración forestal a través de la implantación de núcleos de dispersión y reclamo (NDR). La ubicación de estos núcleos debe permitir la colonización progresiva de los espacios más degradados por el incendio (mediante la dispersión de la semilla), y por ello la delimitación de las superficies con problemas manifiestos de regeneración resulta fundamental.

Existen algunas diferencias entre este diagnóstico realizado con apoyo de datos capturados con sensores remotos y las evaluaciones realizadas tradicionalmente a partir de inventarios de campo. Por un lado, el nivel de detalle en la descripción de las comunidades de regeneración posincendio es, en general, mayor en los inventarios de campo donde las mediciones pueden realizarse a nivel de rodal o incluso de parcela de inventario. Sin embargo, esta tarea puede ser inabordable en el caso de grandes incendios forestales como los estudiados en este trabajo, afectando en su conjunto a más de 50.000 hectáreas forestales. Por su parte, las evaluaciones basadas en datos capturados con sensores remotos implican menos tiempo y menos restricciones espaciales que los inventarios de campo, y están menos expuestos a las incertidumbres asociadas con la inferencia y la estimación por muestreo estadístico en áreas que muestran una heterogeneidad notable a una escala muy detallada. Nuestro enfoque permite la delimitación de los tipos de regeneración, o de cubierta vegetal, mediante el uso de variables que reflejan la altura, densidad y estructura de la vegetación (nubes de puntos LiDAR), junto a otras que reflejan la respuesta espectral de la misma (valores espectrales o índices calculados desde ortofotos o imágenes satelitales), proporcionando así la mayor parte de la información necesaria para la planificación operativa de las actividades de restauración a medio plazo y sus operaciones silvícolas (Vallejo et al., 2012). No obstante, es evidente que una vez delimitados y caracterizados los rodales de actuación en base a la información remota, estos deben

diagnosticarse en el terreno para poder adaptar las intervenciones propuestas a las particularidades de cada rodal.

6. Conclusiones

Las metodologías presentadas son apropiadas para la evaluación de la regeneración posincendio a gran escala, para desarrollar una cartografía actual y de gran nivel de detalle de la superficie afectada por grandes incendios forestales. Su validez ha sido demostrada en el contexto de los Proyectos de Restauración Ambiental de las superficies afectadas por los grandes incendios de 2012 en la Comunidad Valenciana (más de 50.000 hectáreas afectadas), en donde las metodologías descritas y los productos obtenidos nos han permitido delimitar detalladamente las superficies forestales de acuerdo a sus características, y la prescripción del tratamiento selvícola recomendado en cada caso.

Este trabajo nos ofrece una buena idea del enorme potencial que posee el uso de este tipo de fuentes de información remota, y de metodologías de teledetección, como apoyo en trabajos de ingeniería forestal que afectan a grandes superficies, manteniendo un alto nivel de detalle, algo que resultaría difícilmente abordable desde el uso exclusivo de datos capturados sobre el terreno.

7. Agradecimientos

Este estudio se realizó en el marco del proyecto con Expediente CNMY17/0301/53: “Redacción de varios proyectos sobre restauración ambiental de zonas afectadas por los incendios forestales de 2012 en Montes de Utilidad Pública” bajo encargo de la Dirección General de Medio Natural y de Evaluación Ambiental (Generalitat Valenciana) y la supervisión del técnico responsable Pilar Ara Lázaro. Santiago Martín-Alcón y Lucía Yañez-Rausell disfrutaron de ayudas para contratos Torres Quevedo (PTQ-15-07975 y PT-15-08013, respectivamente) que permitieron a Agresta S Coop acometer desarrollos de I+D+i necesarios para llevar a cabo este trabajo.

8. Bibliografía

ALLOZA, J.A., VALLEJO, R.; 2006. Restoration of burned areas in forest management plans, En: KEPNER, W., RUBIO, J., MOUAT, D., PEDRAZZINI, F. (Eds.), Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue. Springer Netherlands, pp. 475–488.

BOLTON, D.K., COOPS, N.C., HERMOSILLA, T., WULDER, M.A., WHITE, J.C.; 2017. Assessing variability in post-fire forest structure along gradients of productivity in the Canadian boreal using multi-source remote sensing. *J. Biogeogr.* 44, 1294–1305.

BOTELLA-MARTÍNEZ, M.A., FERNÁNDEZ-MANSO, A.; 2017. Estudio de la severidad post-incendio en la Comunidad Valenciana comparando los índices dNBR, RdNBR y RBR a partir de imágenes Landsat 8. *Rev. Teledetección* 33–47.

CHRISTOPOULOU, A., MALLINIS, G., VASSILAKIS, E., FARANGITAKIS, G.-P., FYLLAS, N.M., KOKKORIS, G.D., ARIANOUTSO, M.; 2019. Assessing the impact of different landscape features on post-fire forest recovery with multitemporal remote sensing data: the case of Mount Taygetos (southern Greece). *Int. J. Wildl. Fire* 28, 521–532.

CUBO MARÍA, J.E., ENRÍQUEZ ALCALDE, E., GALLAR PÉREZ-PASTOR, J.J., JEMES DÍAZ, V., LÓPEZ GARCÍA, M., MATEO DÍEZ, M.L., MUÑOZ CORREAL, A., PARRA ORGAZ, P.J.; 2012. Los incendios forestales en España. Decenio 2001-2010. Ministerio de Agricultura, A. y M.A. Madrid.

ESPELTA, J.M., RETANA, J., HABROUK, A., 2003. An economic and ecological multi-criteria evaluation of reforestation methods to recover burned *Pinus nigra* forests in NE Spain. *For. Ecol. Manage.* 180, 185–198.

FERNÁNDEZ-GUISURAGA, J.M., CALVO, L., FERNÁNDEZ-GARCÍA, V., MARCOS-PORRAS, E., TABOADA, Á., SUÁREZ-SEOANE, S.; 2019. Efficiency of remote sensing tools for post-fire management along a climatic gradient. *For. Ecol. Manage.* 433, 553–562.

FORKEL, M., CARVALHAIS, N., VERBESSELT, J., MAHECHA, M., NEIGH, C., REICHSTEIN, M.; 2013. Trend Change Detection in NDVI Time Series: Effects of Inter-Annual Variability and Methodology. *Remote Sens.* 5, 2113–2144.

GOUVEIA, C., DACAMARA, C.C., TRIGO, R.M.; 2010. Post-fire vegetation recovery in Portugal based on spot/vegetation data. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 10, 673–684.

LOEPFE, L., MARTINEZ-VILALTA, J., OLIVERES, J., PIÑOL, J., LLORET, F.; 2010. Feedbacks between fuel reduction and landscape homogenisation determine fire regimes in three Mediterranean areas. *For. Ecol. Manage.* 259, 2366–2374.

LÓPEZ SANTALLA, A., JEMES DÍAZ, V., RODERO MERINO, C.; 2017. Evolución histórica y reciente de los grandes incendios forestales en España. Perspectivas de futuro, En: VII Congreso Forestal Español.

MARTÍN-ALCÓN, S., COLL, L., CÁCERES, M. DE, GUITART, L., CABRÉ, M., JUST, A.; 2015. Combining aerial LiDAR and multispectral imagery to assess postfire regeneration types in a Mediterranean forest. *Can. J. For. Res.* 866, 856–866.

SAN-MIGUEL-AYANZ, J., MORENO, J.M., CAMIA, A.; 2013. Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: Lessons learned and perspectives. *For. Ecol. Manage.* 294, 11–22.

STEPHENS, S.L., MILLAR, C.I., COLLINS, B.M.; 2010. Operational approaches to managing forests of the future in Mediterranean regions within a context of changing climates. *Environ. Res. Lett.* 5, 1–9.

VALLEJO, R.; 2005. Restoring Mediterranean Forests, En: Forest Restoration in Landscapes. Springer New York, pp. 313–319.

VALLEJO, V.R., ARIANOUTSOU, M., MOREIRA, F.; 2012. Fire Ecology and Post-Fire Restoration Approaches in Southern European Forest Types, En: MOREIRA, F., ARIANOUTSOU, M.,

CORONA, P., DE LAS HERAS, J. (Eds.), Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests. Springer Netherlands, pp. 93–119.

VICENTE-SERRANO, S.M., PÉREZ-CABELLO, F., LASANTA, T.; 2011. *Pinus halepensis* regeneration after a wildfire in a semiarid environment: assessment using multitemporal Landsat images. *Int. J. Wildl. Fire* 20, 195–208.

VILA, J.P.S., BARBOSA, P.; 2010. Post-fire vegetation regrowth detection in the Deiva Marina region (Liguria-Italy) using Landsat TM and ETM plus data. *Ecol. Modell.* 221, 75–84.