

Accésit SECF 2017 en el apartado Trabajo Fin de Máster Oficial

Evaluación y cartografiado de la severidad de los grandes incendios ocurridos en el distrito forestal XIV (Verín-Viana) entre 2006-2016

**Evaluation and mapping of the severity of the maior fires that occurred
in forest district XIV (Verin-Viana) between 2006-2016**

Alonso Rego, C.^{*1}, Ruíz González, A.D.¹, Arellano Pérez, S.¹

¹*Departamento de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Santiago de Compostela.
Campus Universitario s/n 27002, Lugo, España.*

*Autor para correspondencia: c.alonso.rego@usc.es

Resumen

La evaluación y el cartografiado de la severidad del fuego y del nivel de afectación de las copas en áreas arboladas resulta esencial para proponer y priorizar acciones de rehabilitación urgentes posteriores a los incendios. El principal objetivo de este estudio es el cartografiado y la obtención de mapas de niveles de severidad en los incendios ocurridos en el distrito forestal XIV (Verín-Viana) durante el período 2006-2016. También se ha realizado una primera aproximación hacia la búsqueda de relaciones entre las clases más altas de severidad del fuego y de daño a las copas y determinadas variables topográficas, meteorológicas y de combustibles. El estudio, basado en el cálculo de los índices dNBR (differenced Normalized Burn Ratio) y RdNBR (Relative difference Normalized Burn Ratio) a partir de imágenes Landsat, discrimina cuatro clases de severidad de fuego y cuatro niveles de daño a las copas. Las variables que más explican el porcentaje de superficie quemada de la clase de severidad más elevada y el nivel más alto de daño a las copas fueron la velocidad del viento y el porcentaje del área quemada con pendiente entre el 30 y el 45%. Se observó que el dNBR estima una mayor superficie quemada en severidad moderada y baja en comparación con el RdNBR que estima una mayor superficie quemada con alta severidad.

Palabras clave: Landsat, dNBR, RdNBR, fuego de copas, cartografía de perímetros.

Summary

The evaluation and mapping of the severity of the fire and the level of affectation of the canopies in forested areas is essential to propose and prioritize urgent rehabilitation actions after the fires. The main objective of this study is to map and obtain maps of levels of severity in the fires that occurred in forest district XIV (Verín-Viana) during the period 2006-2016. A first approximation has also been made towards the search for relationships between the highest classes of fire severity and canopy damage and certain topographical, meteorological and fuel variables. The study, based on the calculation of the dNBR indices (differenced Normalized Burn Ratio) and RdNBR (Relative difference Normalized Burn Ratio) from Landsat images, discriminates four classes of fire severity and four levels of canopy damage. The variables that most explain the percentage of burned area of the highest severity class and the highest level of damage to the canopies were the wind speed and the percentage of the area burned with slope between 30 and 45%. that the dNBR estimates a greater area burned in moderate and low severity in comparison with the RdNBR that estimates a greater area burned with high severity.

Keywords: Landsat, dNBR, RdNBR, crown fire, perimeter mapping.

1. Introducción

Galicia encabeza la lista en cuanto a número de incendios forestales, grandes incendios (superficie mayor de 500 ha) y áreas quemadas en España, con porcentajes respectivamente del 42%, 24% y 25% del total de España (MAPAMA 2012). Las actuales previsiones sobre el régimen de fuego indican un agravamiento del problema favorecido por el cambio climático (Moreno, 2005; Arellano, 2008; Vega *et al.*, 2009) con un aumento de la frecuencia, extensión, intensidad y severidad de los incendios. Teniendo en cuenta los elevados costes de las medidas de rehabilitación post incendio (Parsons *et al.*, 2010), así como de las actividades preventivas llevadas a cabo para alterar el comportamiento del fuego y reducir su severidad (Hudak *et al.*, 2007), es de gran importancia incrementar nuestro conocimiento en las formas de evaluar la severidad de los incendios para así priorizar la aplicación de tratamientos y medidas que busquen minimizar los efectos del fuego y acortar el tiempo de recuperación de ecosistemas afectados (Robichaud *et al.*, 2000; Miller y Yool, 2002; Chuvieco *et al.*, 2006).

Una técnica adecuada para el estudio de la severidad del fuego es la teledetección que se basa en el espectro óptico. Los índices espectrales satelitales constituyen una herramienta útil para obtener información sobre severidad del fuego a escala de paisaje (Hudak *et al.*, 2007; Parsons *et al.*, 2010). Estos índices también permiten analizar patrones espaciales de los diferentes niveles de daño causados por el fuego y determinar los factores que más influyen en esos patrones de severidad. Alguna de las ventajas del uso de los índices de teledetección dNBR (differenced Normalized Burn Ratio) y RdNBR (Relative differenced Normalized Burn Ratio) son estimar la severidad del fuego en lugares que no son accesibles o donde el trabajo de campo es muy costoso. Algunas limitaciones son la posible presencia de nubosidad, su resolución espacial y la menor fiabilidad para representar los estratos inferiores del dosel arbóreo y el suelo (Hudak *et al.*, 2007, Meng y Meentemeyer, 2011). El cálculo de estos índices es el primer paso en un flujo de actividades de emergencia dirigidas a reducir los riesgos hidrológicos y erosivos de los incendios forestales (Vega *et al.*, 2013) que están incluidas en el Plan de Prevención y Defensa contra Incendios Forestales de Galicia (PLADIGA; Xunta de Galicia, 2017).

En el presente estudio se han utilizado los intervalos de las clases de severidad del fuego y niveles de daño del dosel obtenidos por Arellano (2014) para los índices espectrales dNBR y RdNBR. De acuerdo con estos umbrales se clasificaron los 36 incendios forestales de superficie mayor a 200 has que se quemaron durante el periodo 2006-2016 en una de las zonas más afectadas por los incendios forestales en Galicia.

2. Material y métodos

2.1. Área de estudio

La zona de estudio es el distrito forestal XIV (Verín-Viana), situado al sur de

la provincia de Orense. El distrito abarca una superficie de 175.296 ha, limitando al norte y al oeste con los distritos XIII (Valdeorras-Trives) y XV (A Limia) respectivamente, al este con la provincia de Zamora y al Sur con la región de Tras-Os-Montes e Alto Douro (Portugal). En cuanto a la vegetación, según el Mapa Forestal de España (MARM, 2011) destacan las formaciones de matorral desarbolado, con brezales de *Erica australis* y retamares de *Cytisus* sp ocupando el 53% de la superficie del distrito, las masas arboladas de *Pinus pinaster*, *Quercus pirenaica*, *Castanea sativa* y *P. sylvestris* (ocupando el 30%) y el uso agrícola (13% de la superficie).

2.2. Información de la base de datos EGIF (Estadística General de Incendios Forestales)

El Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPA-MA) proporcionó la base de datos de los siniestros ocurridos en Galicia. A partir de dicha base de datos se filtraron los 36 incendios que, con una superficie quemada mayor de 200 hectáreas, tuvieron lugar en el distrito XIV durante el período de 11 años comprendido entre 2006 y 2016.

2.3. Localización y cartografía de zonas quemadas

Para llevar a cabo la localización y digitalización de las zonas quemadas, así como para el cálculo de los índices de teledetección se han utilizado imágenes Landsat previas y posteriores a los incendios (Columna 204 y Fila 31). Debido a la amplitud del período de estudio fue necesario utilizar imágenes Landsat 5 TM, 7 ETM y 8 OLI. Parte de estas imágenes se descargaron directamente de la página web de la Agencia Espacial Europea (ESA, <https://earth.esa.int/web/guest/eoli>), mientras que otra parte fue proporcionada por el Instituto Gallego de Estudios del Territorio (IET). Las imágenes fueron corregidas radiométricamente de acuerdo con Chander et al (2009) convirtiendo los niveles digitales (ND) en reflectancias en la parte superior de la atmósfera (TOA). La corrección topográfica también se aplicó de acuerdo con el método de corrección de Minnaert con pendiente (Riaño et al., 2003).

La clase de severidad de cada píxel se asignó mediante el cálculo de los índices dNBR (Key y Benson, 2006) y RdNBR (Miller y Thode, 2007) y la aplicación de los umbrales de clasificación previamente establecidos por Arellano (2014) e indicados en la *Tabla 1*. Estos umbrales se basan en la relación existente entre el Composite Burn Index (CBI, Key y Benson, 2006) y los índices dNBR y RdNBR para varios de los incendios forestales ocurridos en Galicia en 2013. Igualmente se asignó, a cada píxel cubierto por arbolado, un nivel de daño a copa según los umbrales de Arellano (2014) y Arellano et al (2017) que se muestran en la *Tabla 2*.

Tabla 1. Clases de severidad para los índices dNBR y RdNBR utilizadas.

Clase de severidad	dNBR	RdNBR
Sin quemar	<12.3	<16.4
Baja	12.3 – 262.4	16.4 – 316.7
Moderada	262.4 – 577.2	316.7 – 734.7
Alta	>577.2	> 734.7

Tabla 2. Niveles de daño a la copas para el índice dNBR utilizados.

Nivel de daño a copas	Descripción	dNBR
Verde	Más del 50% de la superficie con arbolado con copas verdes	< 282.95
Verde-chamuscado	Entre el 50-90% de la superficie con arbolado con copas soflamadas, el resto con copas verdes	282.95–443.2
Chamuscado-consumido	Entre el 50-100% de la superficie con las copas soflamadas, con el resto hasta el 100% ocupado por arbolado con copas consumidas por el fuego	443.2–626.6
Consumido	Más del 50% de la superficie con arbolado con copas consumidas por el fuego	> 626.6

Para cada incendio se calcularon los estadísticos descriptivos (media, desviación estándar, mínimo, mediana y máximo) de los índices dNBR y RdNBR así como los porcentajes de área quemada de cada clase de severidad. También se determinó el porcentaje del área quemada de cada nivel de daño a las copas en cada incendio.

2.4. Variables del medio del desarrollo de los incendios

Para cada incendio se recopiló información topográfica, meteorológica y de los combustibles. En cuanto a las variables topográficas, se descargó del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) el correspondiente modelo digital de terreno (MDT), del cual se generó la cartografía de clasificación del territorio según 5 intervalos de pendiente (<10%, 10-20%, 20-30%, 30-45% y > 45%) y las cuatro orientaciones básicas. Con respecto a la información meteorológica se trabajó con las siguientes variables tomadas el día de cada incendio: temperatura (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (km/h), dirección del viento (°), velocidad de la ráfaga de viento (km/h) y dirección de la ráfaga de viento (°). La información se descargó de la página web de Meteogalicia (<http://www.meteogalicia.gal>), utilizando los datos históricos de las siete estaciones meteorológicas más próximas a la zona de estudio. Finalmente, se utilizó el Mapa Forestal de España (MARM 2011) para clasificar las áreas quemadas en cuatro clases diferentes según el tipo de combustible (matorral desarbolado, arbolado, terrenos agrícolas y bos-

ques de ribera) y para estimar el porcentaje de cada clase en cada incendio forestal.

2.5. Análisis estadístico

El método no paramétrico de RandomForests se utilizó para relacionar el porcentaje de la superficie total quemada afectada por la clase de severidad alta y el peor nivel de daño a las copas, con sus respectivas variables topográficas, meteorológicas y de combustible. El estudio se ha llevado a cabo solo con los niveles más altos de severidad y de daño a las copas, ya que son los que tienen más interés para tomar decisiones sobre las áreas en las que hay que llevar a cabo las actividades de recuperación.

En este trabajo se utilizó el paquete randomForest desarrollado para R (R Core Team 2013) por Liaw y Wiener (2002). Se ajustaron 500 árboles de regresión para cada variable analizada. Para el ajuste de cada árbol se realiza una selección aleatoria de 2/3 de los incendios totales y se utilizan 8 variables del total de variables descriptoras (23), seleccionadas de forma aleatoria. Finalmente, se estimó la importancia relativa de cada variable descriptiva en función de las veces que dicha variable se emplea para clasificar en el total de los árboles y en el peso que dicha clasificación tiene sobre el total de datos ajustados. Para ello se emplea el estadístico denominado *IncNodePurity*, que va acumulando los valores de reducción de la suma de cuadrados del error que supone cada nueva división debida a la variable de interés con respecto a no realizar dicha división. Valores más altos de dicho estadístico indican mayor importancia de la variable en el proceso de clasificación.

Por último, dado que los índices dNBR y RdNBR se emplean de forma independiente para clasificar la severidad del incendio, se llevó a cabo una comparación de los valores asignados de dichos índices a cada pixel.

3. Resultados

En la Figura 1 se muestra la localización y los perímetros de los 36 incendios forestales que tuvieron lugar en el distrito XIV, durante los años 2006-2016.

Los valores promedio de elevación, pendiente, temperatura, humedad relativa, viento y velocidad de ráfagas de los 36 incendios forestales fueron, respectivamente: 957m, 22%, 23°C, 34%, 13km/h y 24km/h. La combinación de la dirección del viento más frecuente (SE) con la orientación predominante (E) promovió la propagación de incendios forestales en el área de estudio. En general, el porcentaje de superficie de matorral quemada excedió la de la superficie arborea.

Teniendo en cuenta los 36 incendios, los valores promedio de la superficie quemada de las diferentes clases de severidad según el índice dNBR fueron los siguientes: sin quemar = 3%; bajo = 12%; moderado = 39% y alto = 46%. Con respecto al índice RdNBR, los porcentajes fueron: sin quemar = 3%, bajo = 5%, moderado = 23% y alto = 69%. Se observa que el uso del dNBR clasifica una mayor

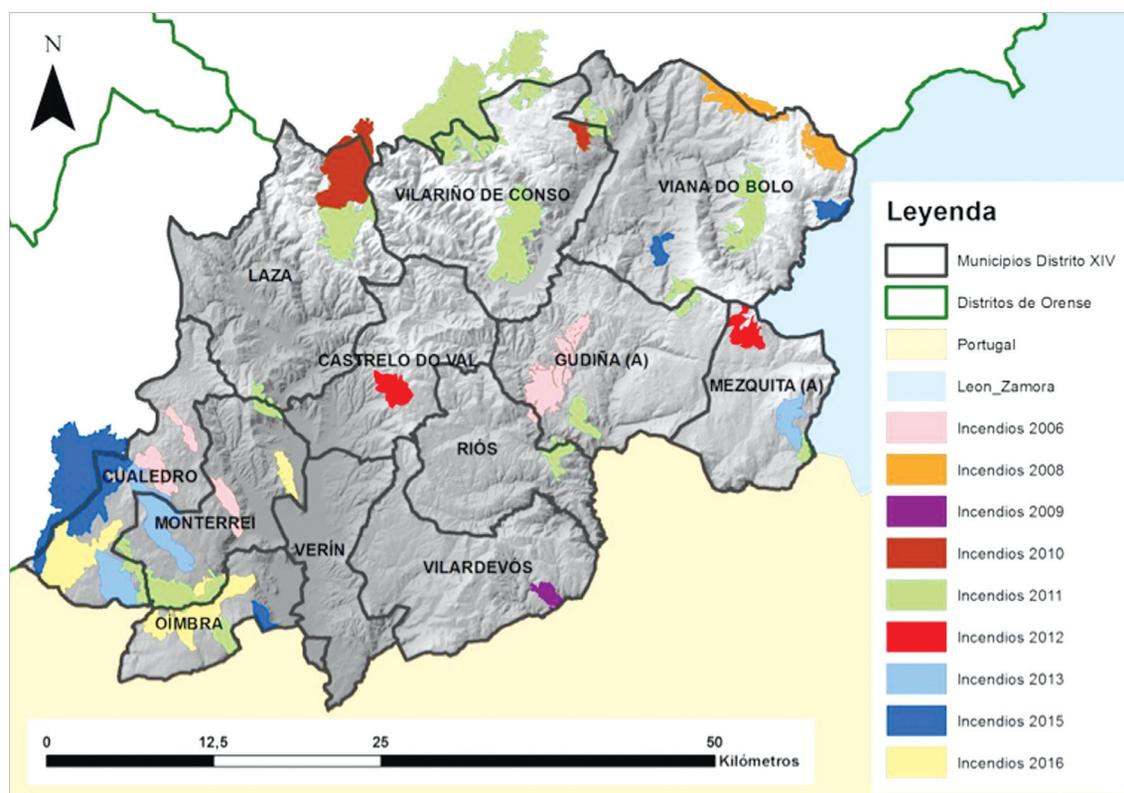


Figura 1. Cartografía de perímetros de los incendios forestales > 200 ha en el distrito forestal Verín-Viana para el periodo 2006-2016.

superficie quemada en los niveles de severidad moderada y baja que el uso del índice RdNBR, con mayor superficie quemada clasificada como de severidad alta. Para el daño a las copas, los porcentajes promedio de superficie quemada de cada nivel fueron los siguientes: verde = 25%, verde-chamuscado = 17%, chamuscado-consumido = 21% y consumido = 37%. Estos valores indican el alto nivel de impacto de los incendios forestales en el área de estudio.

En las *Figuras 2 y 3* se muestra, para dos de los incendios y a modo de ejemplo, la distribución espacial de las clases de severidad basadas en ambos índices de teledetección.

A partir de la distribución de los valores medios de dNBR/RdNBR obtenidos para cada incendio y agrupados por año se construyeron los diagramas de caja de la *Figura 4* (dNBR) y la *Figura 5* (RdNBR). En alguno de los años se superó, para ambos índices, el umbral correspondiente al nivel más alto de severidad del fuego (577.2 y 734.7 para dNBR y RdNBR respectivamente). Concretamente, en el caso del dNBR, el umbral se superó solo en tres de los once años (2008, 2015 y 2016) mientras que con el índice RdNBR se superó en 7 ocasiones (años 2006, 2008, 2010, 2011, 2013, 2015 y 2016). Curiosamente, los valores promedio de dNBR más altos se observaron en hábitats arbustivos, seguidos por terrenos cubiertos con masas arboladas. Los valores más bajos se observaron en bosques de ribera y tierras agrícolas.

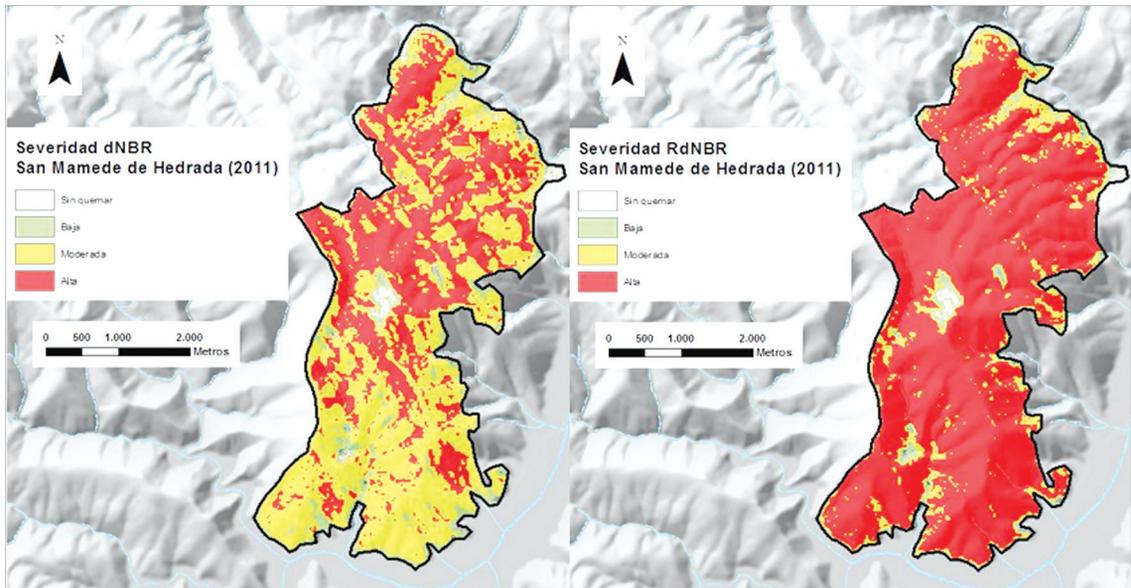


Figura 2. Cartografía de niveles de severidad basada en el índice dNBR (izquierda) y RdNBR (derecha) del incendio de San Mamede de Hedrada (año 2011).

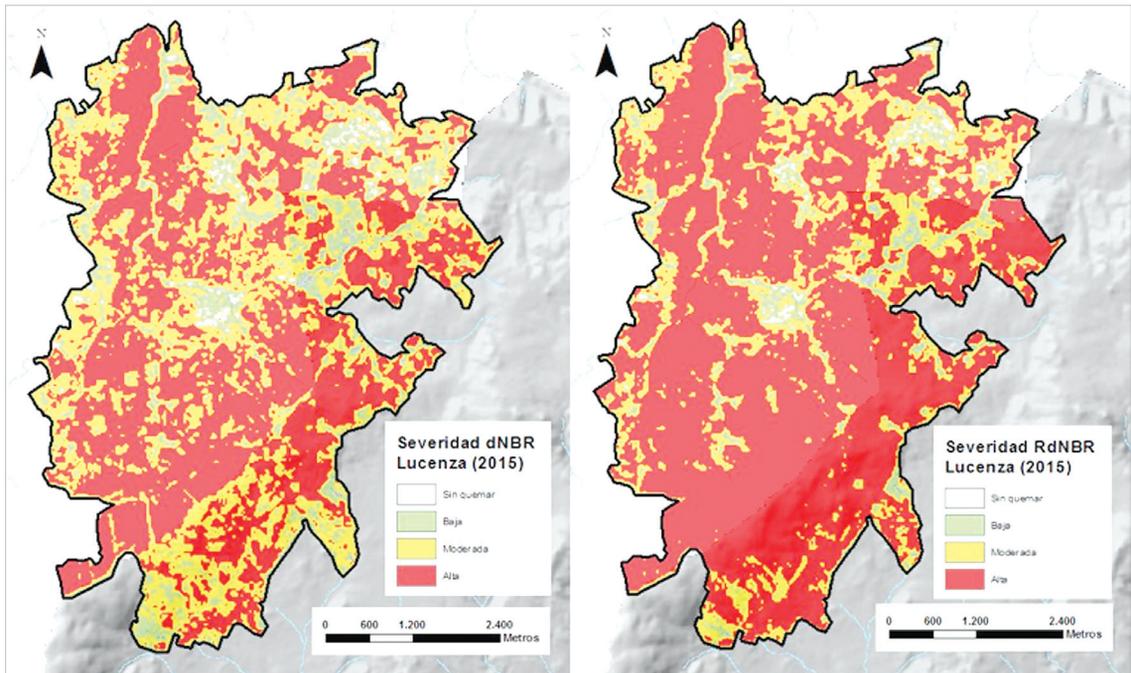


Figura 3. Cartografía de niveles de severidad basada en el índice dNBR (izquierda) y RdNBR (derecha) del incendio de Lucenza (año 2015).

La importancia relativa de las principales características que explican el porcentaje de superficie quemada clasificada como clase de severidad alta se muestra en las *Figuras 6* (dNBR) y *7* (RdNBR). Las variables que más contribuyen a la expli-

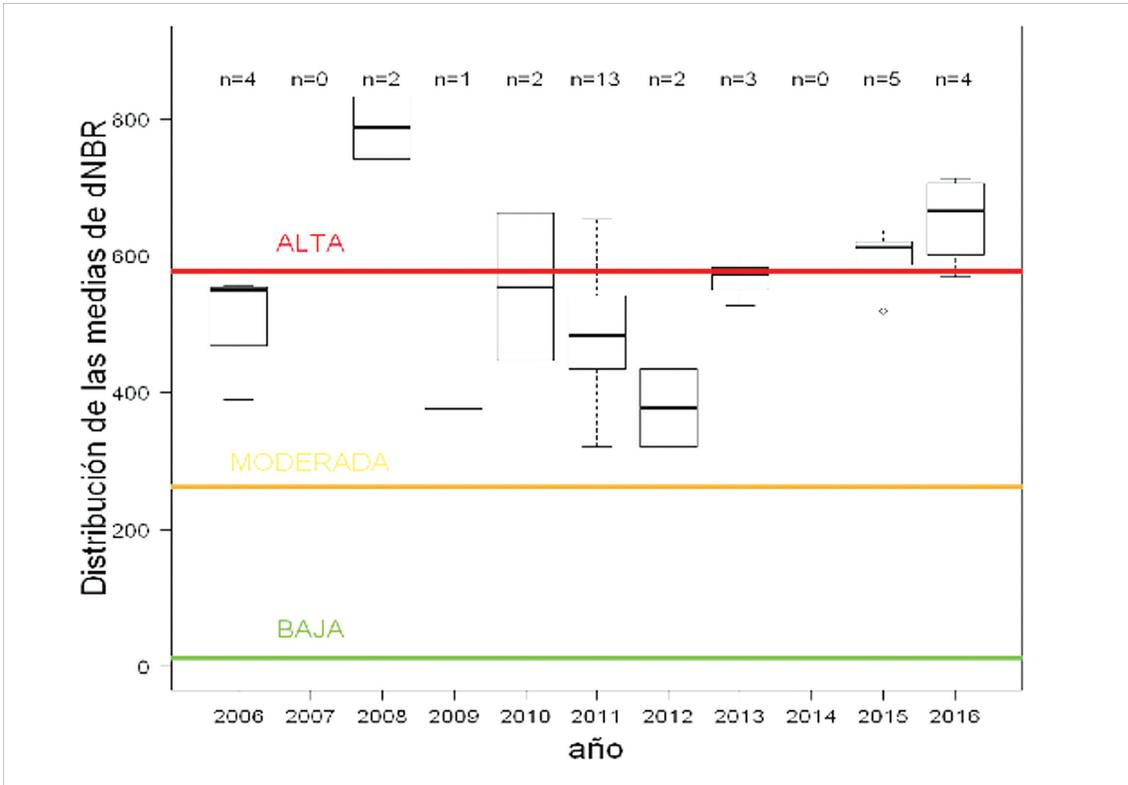


Figura 4. Diagramas de caja de la distribución temporal de los valores promedios de dNBR.

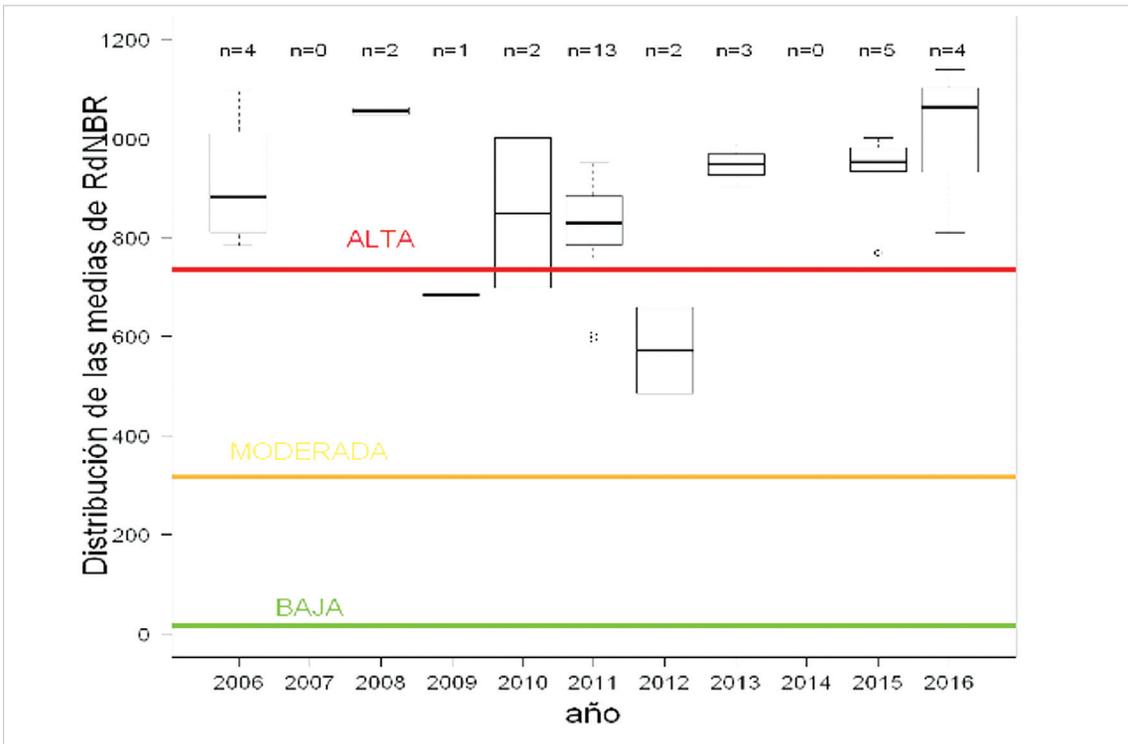


Figura 5. Diagramas de caja de la distribución temporal de los valores promedios de RdNBR.

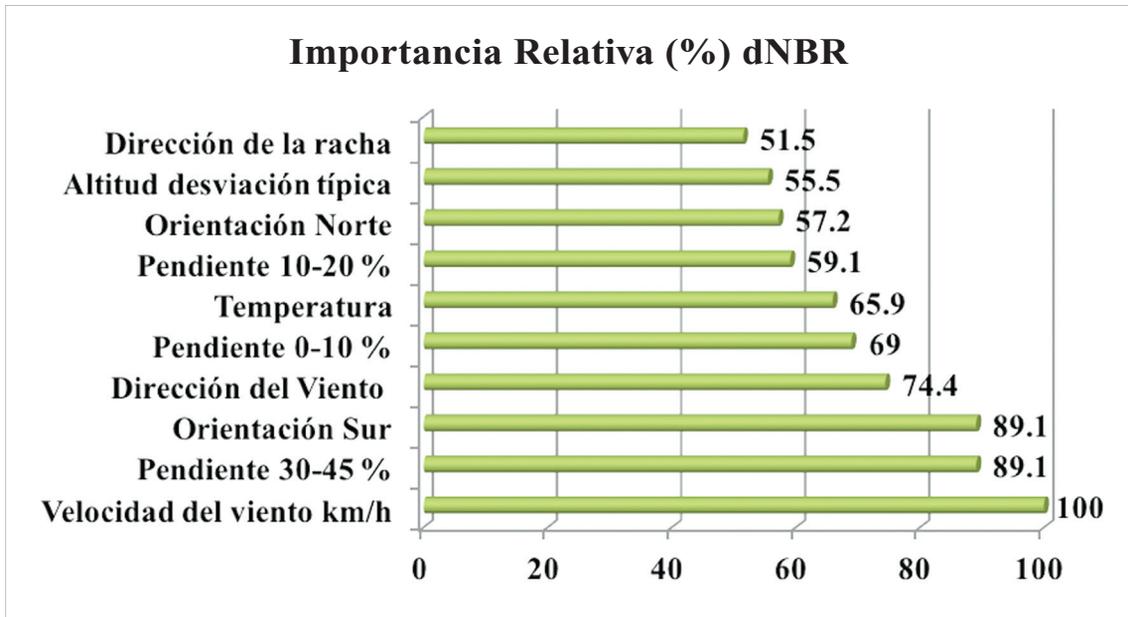


Figura 6. Importancia relativa de las variables explicativas del nivel alto de severidad del fuego según el índice dNBR

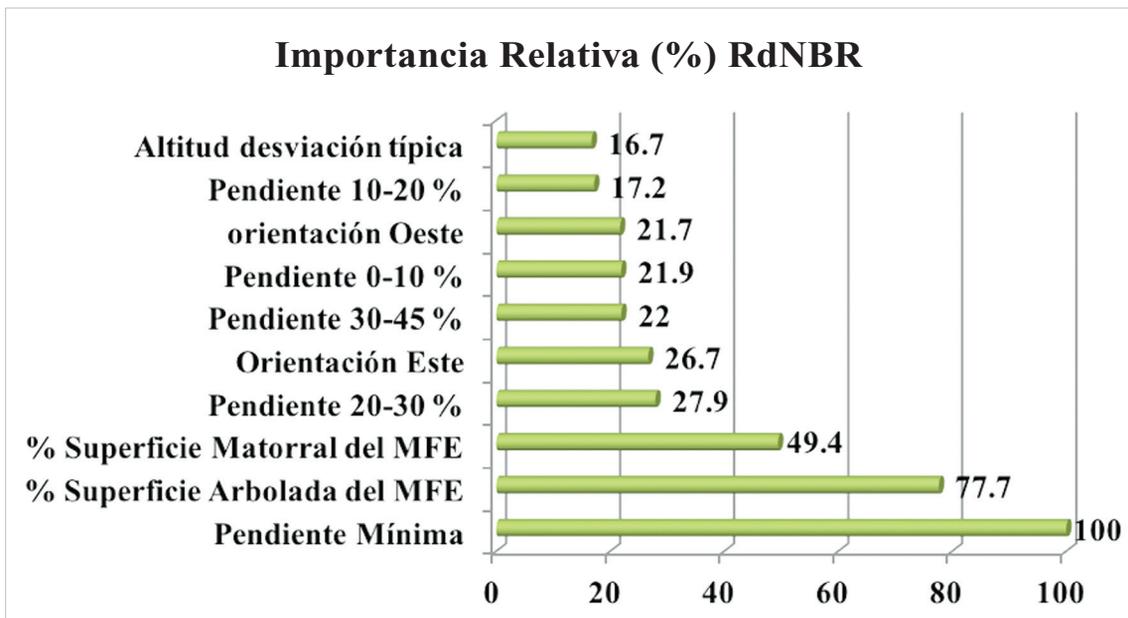


Figura 7. Importancia relativa de las variables explicativas del nivel alto de severidad del fuego según el índice RdNBR.

cación del porcentaje de superficie clasificada con el nivel más alto de daño a las copas se muestran en la *Figura 8*. Atendiendo al índice dNBR, las dos características que mejor diferenciaron las áreas afectadas por la clase de severidad de fuego alta y el nivel de fuego de copas fueron la velocidad del viento y el porcentaje de

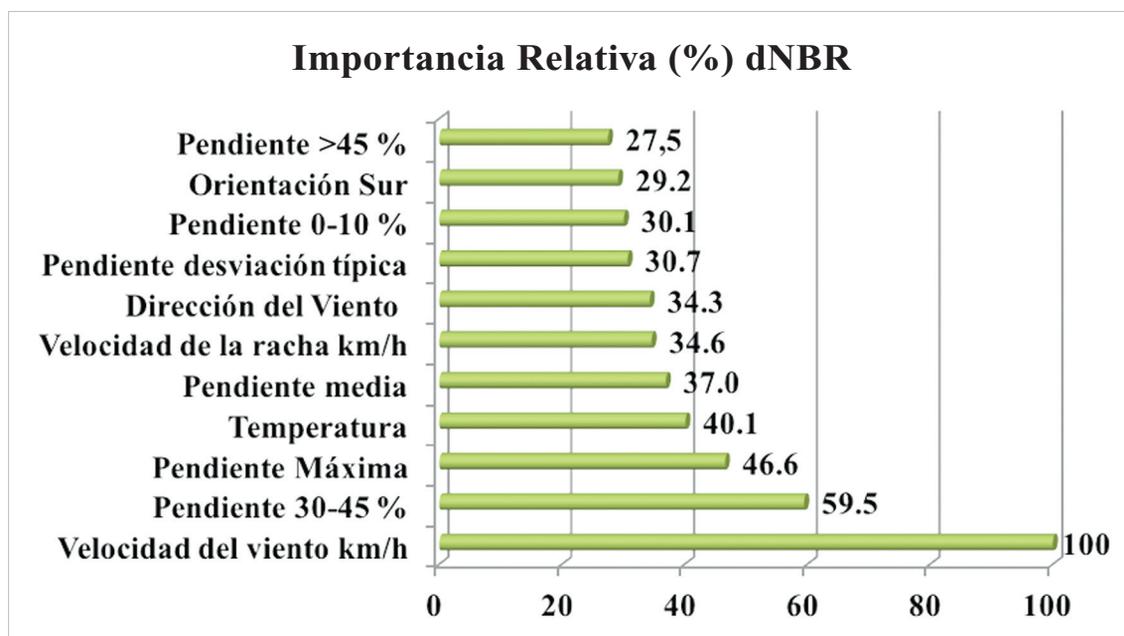


Figura 8. Importancia relativa de las variables que explican el nivel más alto de daño a copas según el índice dNBR.

área quemada con pendiente en el intervalo del 30 al 45%, coincidiendo para ambos. Sin embargo, para el índice RdNBR, la pendiente mínima y al porcentaje de superficie arbolada del Mapa Forestal de España fueron las variables más explicativas.

Estos resultados concuerdan con los de Fernández Alonso *et al.* (2017), quienes observaron que la velocidad del viento también fue la variable más importante que explica el patrón espacial del fuego de copas en varios incendios forestales en Galicia. Otros estudios (Lentile *et al.*, 2006, Holden *et al.*, 2009, Lecina-Díaz *et al.*, 2014) también han demostrado la relación existente entre la pendiente y la gravedad extrema del fuego. En general, los resultados confirman la notoria y abrumadora importancia del viento y el ángulo de la pendiente en el comportamiento de los incendios forestales (Rothermel, 1983) y particularmente en los incendios de alta intensidad (Werth *et al.*, 2016).

4. Conclusiones

La cartografía de perímetros y de severidad obtenida, que incluye la totalidad de incendios forestales de más de 200 ha ocurridos en el distrito de Verín-Viana durante un periodo de 11 años, supone un punto de partida fundamental para nuevos estudios como puede ser el análisis de la recurrencia de incendios en la zona, la localización de zonas estratégicas de gestión o la tipificación de incendios en función de los principales parámetros implicados en su propagación.

En los mapas de severidad obtenidos con el índice de teledetección dNBR se observó una menor superficie quemada con alta severidad, en comparación con el índice RdNBR. Lo contrario se observó para los niveles de severidad moderada y baja. Estas observaciones son importantes para proponer medidas de recuperación y priorizar la gestión en las zonas de actuación más urgentes.

La capacidad mostrada por el índice dNBR para separar diferentes niveles de afectación por el fuego en el dosel arbóreo también puede servir de ayuda a la hora de proponer medidas para la rehabilitación de áreas quemadas priorizando las zonas con el nivel más alto de daño a las copas, que son las que requieren mayor atención ya que no tienen la capacidad para generar mulching natural.

Las variables velocidad del viento, porcentaje de superficie ocupada por matorral desarbolado y el porcentaje de pendiente 30-45% son muy importantes a la hora de estimar la severidad más alta y el nivel de daño de fuego a las copas. Sin embargo, la información meteorológica utilizada en estudios de este tipo debería ser más completa. Por ejemplo, el uso de software como WindNinja (Forthofer, 2007) que adapta el viento a la topografía serían de gran interés. En futuros estudios la caracterización del combustible debería de ser también más completa. El uso de ortofotos históricas y datos LIDAR, cuando sea posible, permitiría la determinación de variables relacionadas con el combustible que pueden ser relevantes a la hora de estimar la severidad.

5. Agradecimientos

Este estudio fue financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España a través del proyecto de investigación GEPRIF (RTA2014-00011-C06-04). También agradecemos al ADCIF (MAPAMA) por proporcionar la base de datos EGIF, a METEOGALICIA por proporcionar datos meteorológicos gratuitos en su sitio web y al IET para proporcionar imágenes de Landsat.

6. Bibliografía

- Arellano, S., 2008. Índices meteorológicos de peligro de incendios forestales en Galicia: Evidencias de cambio climático y su relación con la frecuencia de fuegos y superficie afectada. Proyecto fin de carrera. Escuela Técnica de Ingeniería Forestal. Universidad de Vigo.
- Arellano, S., 2014. Comparación de la capacidad de los índices dNBR y RdNBR para evaluar la severidad del fuego en incendios forestales de Galicia. Trabajo Fin de Máster. Master Fuego. Universidades de Lérida, Córdoba y León.
- Arellano, S., Vega, J.A., Rodríguez y Silva, F., Fernández, C., Vega-Nieva, D., Álvarez, J.G., Ruiz, A.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. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7137>

- Chander, G., Markham, M.L., Helder, D.L., 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113, 893-903. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- Chuvieco, E., Riaño, D., Danson, F.M., Martín, M.P., 2006. Use of radiative transfer model to simulate the post-fire spectral response to burn severity. *Journal of Geophysical Research*, 111, G04S09. <https://doi.org/10.1029/2005JG000143>
- ESA, 2017. Agencia Espacial Europea. https://www.esa.int/esl/ESA_in_your_country/Spain. (Acceso 29 Junio 2017).
- Fernández Alonso, J.M., Vega, J.A., Jiménez, E., Ruiz González, A.D., Álvarez González, J.G., 2017. Spatially modeling wildland fire severity in pine forests of Galicia, Spain. *Eur J. Forest Res.* 136, 105-121. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-1012-5>
- Forthofer, J., 2007. Modeling wind in complex terrain for use in fire spread prediction. Tesis doctoral. Colorado State University. Fort Collins, Colorado.
- Holden, Z.A., Morgan, P., Evans, J.S., 2009. A predictive model of burn severity based on 20-year satellite-inferred burn severity data in a large southwestern US wilderness area. *For. Ecol. Manage.* 258, 2399-2406. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.08.017>
- Hudak, A.T., Morgan, P., Bobbitt, M.J., Smith, A.M.S., Lewis, S.A., Lentile, L.B., 2007. Relationship of multispectral satellite imagery to immediate fire effects. *Fire Ecology*, 3 (1), 64-90. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0301064>
- IGN, 2017. Instituto Geográfico Nacional. <http://www.ign.es/web/ign/portal>. (Acceso 3 Junio 2017).
- Key, C.H., Benson, N.C., 2006. Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index; and Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. USDA Forest Service. RMRS-GTR-164-CD: LA1-51 (Ogden, UT).
- Lecina-Diaz, J., Alvarez, A., Retana, J., 2014. Extreme Fire Severity Patterns in Topographic, Convective and Wind-Driven Historical Wildfires of Mediterranean Pine Forests. *PLoS ONE*, 9 (1), e85127. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085127>
- Lentile, L.B., Smith, F.W., Shepperd, W.D., 2006. Influence of topography and forest structure on patterns of mixed severity fire in ponderosa pine forests of the South Dakota Black Hills, USA. *Int. J. Wildland Fire*, 15, 557-566. <https://doi.org/10.1071/WF05096>
- Liaw, A., Wiener, M., 2002. Classification and regression by random forest. *R News*, 2, 18-22.
- MAPAMA, 2012. Los incendios Forestales en España (decenio 2001-2010). Enríquez Alcalde E., del Moral Vargas L., Coord. ADIF. Madrid.
- MARM, 2011. Mapa Forestal Español (MFE25). http://www.mapama.gob.es/es/cartografia/ide/descargas/biodiversidad/mfe_galicia.aspx. (Acceso 19 Junio 2017).
- Meng, Q., Meentemeyer, R.K., 2011. Modeling of multi-strata forest fire severity using Landsat TM Data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13 (1), 120-126. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.08.002>
- METEO GALICIA, 2017. <http://www.meteogalicia.gal/web/index.action>. (Acceso 1 Junio 2017).
- Miller, J.D., Thode, A.E., 2007. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*, 109(1), 66-80. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.006>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00071-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00071-8)

- Moreno, J.M., 2005. Riesgos de Origen Climático: Impactos sobre los Incendios Forestales. En: Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático (581-615). Ministerio de Medio Ambiente.
- Parsons, A., Robichaud, P.R., Lewis, S.A., Napper, C., Clark, J.T., 2010. Field Guide for Mapping Post-Fire Soil Burn Severity. *USDA Forest Service*. Rocky Mountain Research Station. General Technical Report RMRS-GTR-243 pp. 49.
- Riaño, D., Chuvieco, E., Salas, J., Aguado, I., 2003. Assessment of different topographic corrections in Landsat- TM data formapping vegetation types. *IEEE Transaction son Geoscience and Remote Sensing*, 41(5), 1056-1061.
- Robichaud, P.R., Beyers, J.L., Neary, D.G., 2000. Evaluating the effectiveness of post fire rehabilitation treatments. *USDA Forest Service*. General Technical Report. RMRS-GTR.-63.
- Rothermel, R.C., 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. *USDA Forest Service*. Gen. Tech. Rep. INT-143.
- Vega, J.A., Fernández, C., Jiménez, E., Ruiz, A.D., 2009. Evidencias de cambio climático en Galicia a través de la tendencia de los índices de peligro de incendios forestales. En: Evidencias e Impactos do Cambio Climático en Galicia (Cap.8, 173-194). XUNTA DE GALICIA, Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible, Santiago de Compostela.
- Vega, J.A., Fonturbel, T., Fernández, C., Arellano, A., Díaz-Raviña, M., Carballas, M.T., Martín, A., González-Prieto, S., Merino, A., Benito, E., 2013. Acciones urgentes contra la erosión en áreas forestales quemadas: Guía para su planificación en Galicia. Santiago de Compostela.
- Werth, P.A., Potter, B.E., Alexander, M.E., Clements, C.B., Cruz, M.G., Finney, M.A., Forthofer, J.M., Goodrick, S.L., Hoffman, C., Jolly, W.M., McAllister, S.S., Ottmar, R.D., Parsons, R.A., 2016. Synthesis of knowledge of extreme fire behavior: volume 2 for fire behaviour specialists researchers, and meteorologists. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-891. Portland, OR: *USDA Forest Service*, Pacific Northwest Research Station. 258 p.
- XUNTA DE GALICIA, 2017. PLADIGA. http://mediorural.xunta.gal/es/areas/forestal/incendios_forestales/pladiga_2017/. (Acceso 15 Junio 2017).