



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



Uso de Google Earth Engine como herramienta para evaluación y seguimiento de la respuesta de la vegetación tras incendios forestales

PEÑA MOLINA, E.¹, MARINO, E.², TOMÉ, JL.², PLAZA ÁLVAREZ, PA.¹, GONZÁLEZ ROMERO, J.¹, LUCAS BORJA, ME.¹, MOYA, D.¹ y DE LAS HERAS, J.¹

¹ Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes (ETSIAM), Universidad de Castilla-La Mancha, Campus Universitario s/n, 02071, Albacete.

² AGRESTA Sociedad Cooperativa, c/Duque de Fernán Nuñez 2, 28012 Madrid.

Resumen

El desarrollo de la teledetección ha avanzado de forma exponencial en los últimos años. La plataforma Google Earth Engine pone a disposición de los usuarios gran cantidad de datos masivos de colecciones de imágenes de satélite de distintos sensores (MODIS, Landsat, Sentinel, etc) para el estudio del territorio a grandes escalas y amplias series temporales bajo un entorno de procesamiento en la nube. En esta comunicación se describe, mediante un caso práctico de estudio, la metodología seguida para el estudio de las dinámicas de la vegetación afectadas por incendios forestales en el sureste peninsular. A partir de la implementación de scripts de procesado es posible filtrar datos para utilizar sólo la información que interese, generar tu propia cartografía y descargarla o subir tu propia cartografía a la plataforma para trabajar con ella, calcular índices espectrales, obtener la severidad de quemado y generar gráficas y tablas que recojan toda la información analizada, entre otras muchas funcionalidades. Y todo ello es posible en cuestión de pocos minutos, agilizando enormemente la obtención de resultados y permitiendo un uso más eficiente de grandes cantidades de datos para el análisis del territorio y detección de cambios en las cubiertas vegetales.

Palabras clave

Cloud computing, detección de cambios, incendios forestales, teledetección.

1. Introducción

Los incendios forestales representan un importante agente modificador del paisaje en los ambientes mediterráneos (Pausas et al. 2008). En el contexto actual de cambio global, es previsible que aumente tanto el número de igniciones como la superficie quemada (Halofsky, Peterson y Harvey 2020). El gran reto que la sociedad tiene que asumir es que los incendios debidos al cambio climático son inevitables por lo que debemos aprender a convivir con el fuego, reducir la gravedad del mismo y minimizar sus impactos en la medida de lo posible. La solución es una prevención integral, donde la gestión forestal y la restauración juegan un papel clave (Pausas 2004; Pausas y Vallejo 2008). A través de la restauración podemos rediseñar el paisaje del futuro, promoviendo paisajes más resistentes al fuego y diversificados y mejor adaptados al cambio climático, así como minimizar el riesgo para los seres humanos y la infraestructura (WWF 2020).

El aumento de grandes incendios forestales (GIF) ocasionados por la convergencia de factores como el constante y creciente aumento del abandono rural, la creciente acumulación de combustibles en el medio forestal, el aumento de la temperatura media mundial como consecuencia del cambio climático (Johnstone et al. 2010; Stevens-Rumann et al. 2018), la escasez de precipitaciones, etc, está ocasionando que los sistemas forestales sean cada vez más y más vulnerables a sufrir este tipo de perturbaciones (Doblas-Miranda et al. 2017), mermando de manera directa, a su vez, la resiliencia de estos sistemas aunque dispongan de adaptaciones (Keeley 1986; Díaz-Delgado et al. 2002; Fernandez-Manso, Quintano y Roberts 2016). El estudio de la severidad de quemado en las áreas afectadas por incendios forestales es clave para poder actuar en

consecuencia priorizando actuaciones en las zonas más sensibles de cara a minimizar los riesgos y efectos mediante la gestión forestal (Marino et al. 2014; Moya et al. 2019). La motivación para centrar el estudio en estos términos es el creciente aumento de factores que están ocasionando que cada vez haya incendios más grandes y severos, siendo las zonas mediterráneas en las que nos encontramos, las principales damnificadas por esta nueva actualidad (Tedim et al. 2013). A la hora de evaluar la respuesta de la vegetación y sus dinámicas a lo largo de una serie temporal amplia y a gran escala (paisaje) es casi obligatorio recurrir a información procedente de sensores remotos (Gómez-Sánchez, Heras, et al. 2017). El cálculo de los distintos índices espectrales se realiza en su totalidad dentro de la plataforma Google Earth Engine (GEE), un entorno de procesamiento de escenas de satélite en la nube a través de la creación de scripts de procesado bajo lenguaje de programación Javascript o Python. GEE es similar a un Sistema de Información Geográfica (SIG) pero con gran capacidad de análisis de grandes volúmenes de información. Este entorno incluye varias ventanas dedicadas a la gestión de documentación y archivos, a la generación y desarrollo de scripts de procesado, a la visualización de los comandos ejecutados mediante una consola y una ventana gráfica para mostrar los resultados generados (Gorelick et al. 2017). Gracias a la implementación de la plataforma de Google Earth Engine, el estudio de índices de vegetación a través de series temporales ha posibilitado reducir considerablemente el tiempo de procesado y la obtención de resultados (Perilla y Mas 2020), incluso permitiendo obtener gran cantidad de información relativa a la superficie terrestre a escala mundial (Hansen et al. 2013).

2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es evaluar la respuesta de la vegetación tras incendios forestales en el sureste peninsular mediante el tratamiento de datos masivos en Google Earth Engine a lo largo de una amplia serie temporal (1993-2021) con el fin de demostrar la utilidad práctica de este tipo de entornos como herramienta para ayudar a los gestores forestales en la toma de decisiones y el planteamiento de actuaciones post-incendio.

3. Metodología

3.1. Área de estudio

La localización en la que se enmarca el área de estudio es el sureste de la Península Ibérica, en la provincia de Albacete (figura 1). En esta zona a lo largo del periodo de estudio (1993-2021) se han producido una serie incendios forestales de más de 500 ha en su mayoría, salvo el caso del ocurrido en Agramón en 2020 (tabla 1). La masa forestal de estas zonas son principalmente pinares de *Pinus halepensis* Mill y *Pinus pinaster* Aiton.



Figura 1. Localización de la zona de estudio en el sureste peninsular.

Tabla 1. Descripción de los incendios forestales en el sureste peninsular para el periodo 1993-2021.

Incendio	Año	X_UTM	Y_UTM	Superficie(ha)
Yeste	2017	558099	4255019	3200
Yeste	1994	556564	4250415	14000
Peñalava	1994	602390	4259675	1300
Lietor	2016	599427	4264596	700
Donceles	2012	611280	4250997	5500
Casaloma	2000	597575	4260204	1130
Agramon	2020	615567	4256236	300

3.2. Datos de partida

Para analizar la serie temporal de 1993 a 2021 se utilizaron las colecciones de escenas de satélite procedentes de la misión espacial Landsat, que ha estado observando la Tierra continuamente desde 1972 hasta la actualidad y que está disponible en abierto desde 2008 (Wulder et al. 2019). Hoy en día, los satélites Landsat obtienen imágenes de toda la superficie de la Tierra a una resolución de 30 metros aproximadamente con una periodicidad de 16 días, incluidos datos multiespectrales y térmicos. Para nuestro caso de estudio se utilizaron imágenes de la colección Landsat referidas a reflectancia de superficie (SR), es decir, corregidas radiométrica, geométrica y atmosféricamente (Masek et al. 2006). El periodo del cual disponemos información para cada uno de los sensores es el siguiente:

- Colección Landsat 5 (1984-2012). Serie temporal: 07/03/1984 – 05/06/2013.
- Colección Landsat 7 (1999-presente). Las imágenes del satélite Landsat 7, a partir del 2003, sufren un efecto de bandeo correspondiente a un área sin información debido a un fallo en su sistema SLC (parte del sistema ETM+ que compensa el movimiento hacia delante del satélite durante la adquisición de las imágenes), por lo que el uso de esta colección se reduce el mínimo indispensable para cubrir la serie temporal de 1993-2021.
- Colección Landsat 8 (2013- presente).

3.3. Cálculo de índices espectrales

Los índices espectrales utilizados para la realización de este estudio son: el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), en el Ratio de Quemado (NBR) y la severidad del incendio (dNBR). El NDVI se calculó para todas las imágenes comprendidas en el periodo 1993-2021 ajustando el método de búsqueda a través de 3 parámetros (fecha, geometría y filtro de cobertura de nubes, para evitar artefactos indeseados al procesar las imágenes. Se seleccionaron un total de 734 elementos (412 para Landsat 5, 22 para Landsat 7 y 300 para Landsat 8). Para cada una de las imágenes se calcula una nueva banda en la que se incluye el cálculo del NDVI a través de la definición de una función. Este paso se calculó automáticamente para toda la colección de imágenes (734 elementos) y se obtuvo el gráfico de NDVI para toda la serie temporal de cada una de las geometrías, el cual fue exportado a formato de valores delimitados por comas (.csv) para su inspección posterior. El último paso es el cálculo de la severidad (dNBR) mediante la diferencia del índice de quemado (NBR) en las fechas correspondientes para cada perímetro.

4. Resultados

Los resultados del análisis de la evolución temporal del índice espectral NDVI para cada geometría de estudio aparecen reflejados en la figura 2. A partir del gráfico, inspeccionando individualmente las variaciones para cada recinto, podemos observar los cambios bruscos en los valores de NDVI (lo que identifica la perturbación, en este caso incendios) y permite seleccionar las

fechas para el cálculo de la severidad de quemado (tabla 2). Además, también es útil para acotar tasas de recuperación de la vegetación (en términos de respuesta fotosintética) y entendida como el tiempo que tarda el índice espectral en volver a registrar valores similares a la situación pre-incendio. En la mayoría de los perímetros la tasa de recuperación mínima es de aproximadamente 4-5 años, si bien es cierto que, en el caso de aquellos más recientes como el de Agramon 2020, todavía es pronto y no se puede establecer un valor.

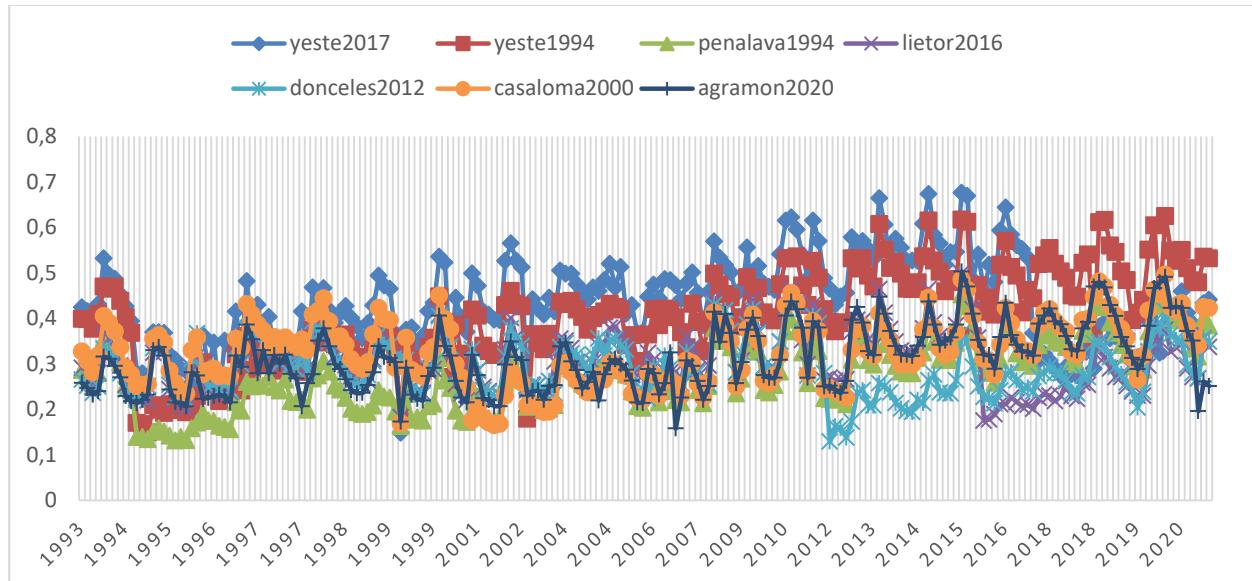


Figura 2. Evolución índice NDVI para cada incendio forestal durante el periodo 1993-2021.

Tabla 2. Selección de las fechas de los incendios y valor medio del NDVI antes y después de incendio.

Incendio	Año	Fecha del gráfico	NDVI_pre	NDVI_post
Yeste	2017	27 de julio	0.533	0.307
Yeste	1994	22 de julio	0.438	0.170
Peñalava	1994	23 de julio	0.341	0.139
Lietor	2016	2 de julio	0.420	0.178
Donceles	2012	15 de julio	0.389	0.162
Casaloma	2000	7 de agosto	0.376	0.176
Agramon	2020	8 de agosto	0.351	0.196

Tomando como ejemplo uno de los casos (Yeste 2017) podemos evaluar el cambio en los valores del NDVI antes y después del incendio (Figura 3). Mientras que los valores mensuales antes de la perturbación muestran rangos de entre 0.5-0.7 para el NDVI, una vez ocurre se produce el incendio, estos valores bajan drásticamente aproximadamente un 0.25 manteniéndose los años consecutivos en rangos de 0.3-0.4. Analizando los resultados del cálculo del NDVI de las escenas de satélite justo antes (12 de junio de 2017) y después (6 de agosto de 2017), se puede observar claramente el cambio producido en prácticamente la totalidad de la superficie.

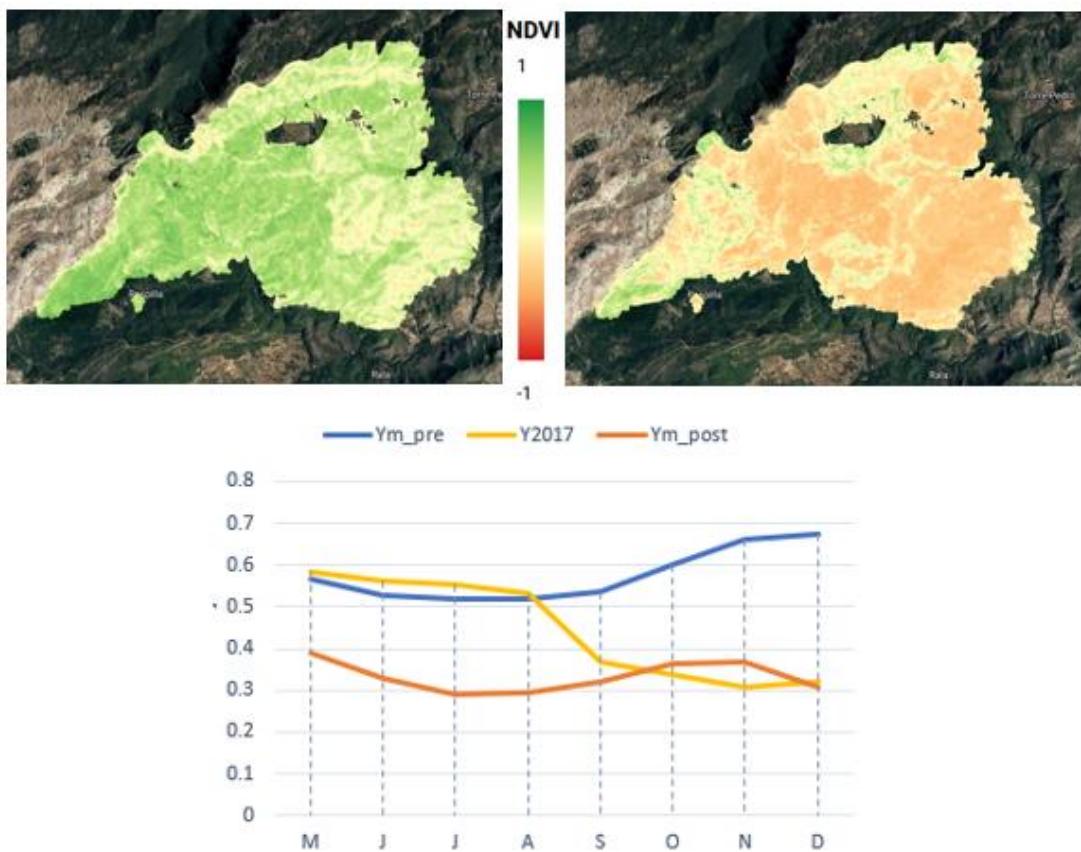


Figura 3. Resultados de la variación temporal del NDVI antes (arriba a la izquierda) y después (arriba a la derecha) del incendio para el caso de Yeste 2017 y gráfico de medias en los valores mensuales de NDVI (abajo). Ym_pre: valor medio de NDVI de los 3 años previos al año del incendio; Y2017: valor medio NDVI para el año del incendio; Ym_post: valor medio de NDVI de los 3 años posteriores al año del incendio.

La evaluación de la severidad de quemado (a través de los índices NBR y dNBR) permite delimitar las zonas más afectadas por el paso del fuego. Algunos de los resultados vienen representados en la figura 4, donde se puede observar que para cada perímetro la mayor parte de la superficie está afectada por severidades medianas y altas (valores por encima de 0.4).

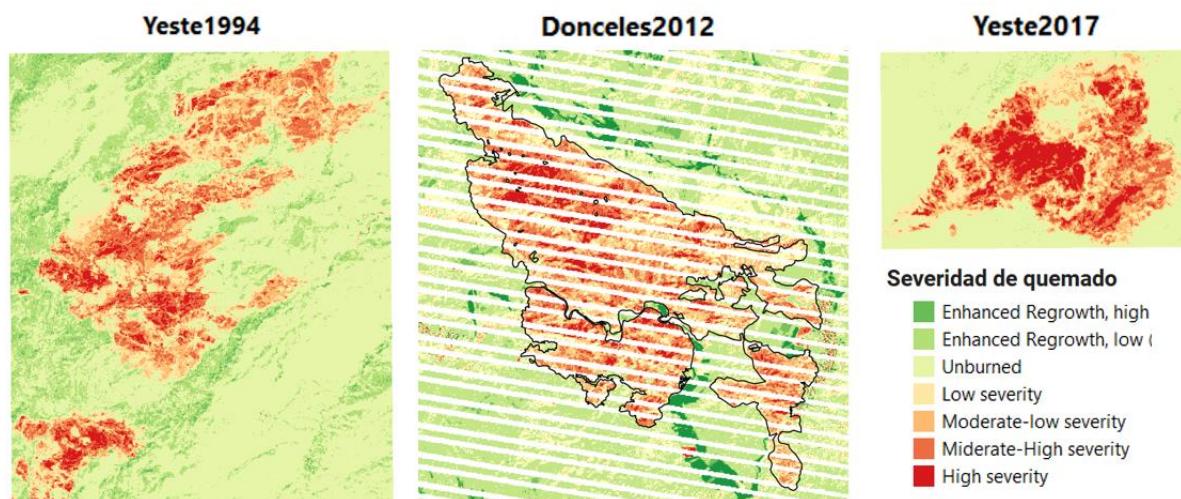


Figura 4. Resultado del cálculo de la severidad para varios perímetros de incendio del periodo 1933-2021: Yeste 1994 (izquierda) a partir de la colección Landsat-5, Donceles (centro) a partir de la colección Landsat-7 y Yeste 2017 (derecha) a partir de la colección Landsat-8.

5. Discusión

Los resultados obtenidos en el análisis de la serie temporal para el NDVI con GEE permiten identificar el tiempo que tarda la vegetación en mostrar valores de respuesta fotosintética similares a los que presentaban en la situación pre-incendio (Robinson et al. 2017; Hird, Kariyeva y McDermid 2021; Meng et al. 2022). Habría que comprobar en campo cómo se está recuperando la vegetación tras el paso del fuego, si ha cambiado la composición florística y estructura, si hay regenerado, etc., ya que los sensores remotos muestran que la respuesta fotosintética se recupera en los siguientes 5-10 años tras el paso del fuego, pero no aportan información sobre dichos parámetros (Cohen, Yang y Kennedy 2010).

El análisis de la severidad de quemado permite identificar aquellas zonas que han sido afectadas gravemente por los incendios forestales sobre las cuales habría que priorizar las actuaciones post-incendio. Estos resultados unidos con parámetros de riesgo de erosión, pendientes y demás pueden ayudar al gestor forestal a seleccionar zonas más vulnerables y sensibles que requieren de una atención más inmediata para ayudar y asegurar la regeneración de la cubierta vegetal (Gómez-Sánchez, De las Heras, et al. 2017).

Como propuesta a futuro sería interesante analizar los tratamientos realizados dentro de cada una de las superficies afectadas por los incendios forestales para evaluar qué influencia han tenido dichos tratamientos en la recuperación de la respuesta de la vegetación y si existen diferencias en las tasas de recuperación de la vegetación según el tipo de tratamiento post-incendio realizado, a partir del cual poder seleccionar qué tratamientos funcionan mejor en cada caso.

6. Conclusiones

Es interesante remarcar los aspectos más destacables del uso de datos procedentes de sensores remotos, así como el uso de plataformas de procesamiento en la nube para el seguimiento y evaluación de las respuestas de la vegetación afectadas por incendios forestales (Tavakkoli Piralilou et al. 2022), las cuales se resumen a continuación: capacidad de procesar grandes volúmenes de información de forma casi instantánea; uso de diferentes conjuntos de datos (escenas de satélite, datos geofísicos, sobre el clima y el tiempo, datos demográficos, etc...) así como la opción de cargar tus propia cartografía; capacidad de generar gráficos y tablas, y descargarlos en el formato que mejor convenga en cada caso (png, csv, html) para aplicar y/o utilizar en otro software; versatilidad, ya que es posible acometer multitud de procesamientos (análisis de severidad de incendios, de inundaciones, de series temporales, etc); y una de las más interesantes es la reproducibilidad de GEE, que al estar basado en la creación, desarrollo y customización de scripts de procesado, le otorga gran capacidad para actualizar el estudio realizado con el tiempo, realizar el mismo estudio en otras zonas y comparar los resultados obtenidos. Es decir, una vez creado el script, es muy fácil reproducirlo en otras áreas o aplicarlo en otros estudios similares. Todas estas características sitúan a GEE como una herramienta muy interesante para el seguimiento y la monitorización de las dinámicas y respuestas espectrales de la vegetación para un periodo de tiempo dado. En conclusión, remarcar la importancia y utilidad para el gestor forestal que tiene el manejo de estas herramientas, ya que permite obtener gran cantidad de información referida al entorno natural con la cual gestionar la toma de decisiones y planificación de actuaciones de manera eficiente, reduciendo tiempos de procesado y con gran capacidad de actualización con el tiempo.

Actualmente se están realizando diversos estudios de campo y seguimiento en varios de estos incendios para evaluar la regeneración de la vegetación, la erosión y el transporte de sedimento, el estudio de parámetros biológicos y fisicoquímicos del suelo, así como las actuaciones post-incendio llevadas a cabo que complementan los resultados obtenidos mediante teledetección y, además, son

indispensables para ampliar el conocimiento de los efectos ocasionados por los incendios forestales.

7. Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el Instituto Español de Investigación y Tecnología Agraria (INIA) con el Proyecto Nacional de Investigación VIS4FIRE (RTA2017-0042-C05-03), fondos regionales de la Junta de Comunidades Castilla-La Mancha (PRESFIRE: SBPLY/19/180501/000130/1) y MCIN/AEI/10.13039/501100011033 “FEDER una manera de hacer Europa” (ENFIRES: PID2020-116494RR-C43). Esther Peña cuenta con una beca de Doctorado del Plan Propio de Investigación de la Universidad de Castilla-La Mancha, cofinanciada por el Fondo Social Europeo (PREUCLM-16032).

8. Bibliografía

COHEN, W.B., YANG, Z. y KENNEDY, R., 2010. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 2. TimeSync – Tools for calibration and validation. *Remote Sensing of Environment*, vol. 114, no. 12, pp. 2911-2924. ISSN 0034-4257. DOI 10.1016/j.rse.2010.07.010.

DÍAZ-DELGADO, R., LLORET, F., PONS, X. y TERRADAS, J., 2002. Satellite Evidence of Decreasing Resilience in Mediterranean Plant Communities After Recurrent Wildfires. *Ecology*, vol. 83, no. 8, pp. 2293-2303. ISSN 1939-9170. DOI 10.1890/0012-9658(2002)083[2293:SEODRI]2.0.CO;2.

DOBLAS-MIRANDA, E., ALONSO, R., ARNAN, X., BERMEJO, V., BROTONS, L., DE LAS HERAS, J., ESTIARTE, M., HÓDAR, J.A., LLORENS, P., LLORET, F., LÓPEZ-SERRANO, F.R., MARTÍNEZ-VILALTA, J., MOYA, D., PEÑUELAS, J., PINO, J., RODRIGO, A., ROURA-PASCUAL, N., VALLADARES, F., VILÀ, M., ZAMORA, R. y RETANA, J., 2017. A review of the combination among global change factors in forests, shrublands and pastures of the Mediterranean Region: Beyond drought effects. *Global and Planetary Change*, vol. 148, pp. 42-54. ISSN 0921-8181. DOI 10.1016/j.gloplacha.2016.11.012.

FERNANDEZ-MANSO, A., QUINTANO, C. y ROBERTS, D.A., 2016. Burn severity influence on post-fire vegetation cover resilience from Landsat MESMA fraction images time series in Mediterranean forest ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, vol. 184, pp. 112-123. ISSN 0034-4257. DOI 10.1016/j.rse.2016.06.015.

GÓMEZ-SÁNCHEZ, E., DE LAS HERAS, J., LUCAS-BORJA, M. y MOYA, D., 2017. Ajuste de metodologías para evaluar severidad de quemado en zonas semiáridas (SE peninsular): incendio Donceles 2012. *Revista de Teledetección*, no. 49, pp. 103. ISSN 1988-8740, 1133-0953. DOI 10.4995/raet.2017.7121.

GÓMEZ-SÁNCHEZ, E., HERAS, J. de las, LUCAS-BORJA, M. y MOYA, D., 2017. Assessing fire severity in semi-arid environments: application in Donceles 2012 wildfire (SE Spain). *Revista de Teledetección*, no. 49, pp. 103-113. ISSN 1988-8740. DOI 10.4995/raet.2017.7121.

GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D. y MOORE, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, vol. 202, pp. 18-27. ISSN 0034-4257. DOI 10.1016/j.rse.2017.06.031.

HALOFSKY, J.E., PETERSON, D.L. y HARVEY, B.J., 2020. Changing wildfire, changing forests: the effects of climate change on fire regimes and vegetation in the Pacific Northwest, USA. *Fire Ecology*, vol. 16, no. 1, pp. 4. ISSN 1933-9747. DOI 10.1186/s42408-019-0062-8.

HANSEN, M.C., POTAPOV, P.V., MOORE, R., HANCHER, M., TURUBANOVA, S.A., TYUKAVINA, A., THAU, D., STEHMAN, S.V., GOETZ, S.J., LOVELAND, T.R., KOMMAREDDY, A., EGOROV, A., CHINI, L., JUSTICE, C.O. y TOWNSHEND, J.R.G., 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* [en línea], [Consulta: 21 enero 2022]. DOI 10.1126/science.1244693. Disponible en: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1244693.world>

HIRD, J.N., KARIYEVA, J. y MCDERMID, G.J., 2021. Satellite Time Series and Google Earth Engine Democratize the Process of Forest-Recovery Monitoring over Large Areas. *Remote Sensing*, vol. 13, no. 23, pp. 4745. ISSN 2072-4292. DOI 10.3390/rs13234745.

JOHNSTONE, J.F., MCINTIRE, E.J.B., PEDERSEN, E.J., KING, G. y PISARIC, M.J.F., 2010. A sensitive slope: estimating landscape patterns of forest resilience in a changing climate. *Ecosphere*, vol. 1, no. 6, pp. art14. ISSN 2150-8925. DOI 10.1890/ES10-00102.1.

KEELEY, J.E., 1986. Resilience of mediterranean shrub communities to fires. En: B. DELL, A.J.M. HOPKINS y B.B. LAMONT (eds.), *Resilience in mediterranean-type ecosystems* [en línea]. Dordrecht: Springer Netherlands, Tasks for vegetation science, pp. 95-112. [Consulta: 25 febrero 2021]. ISBN 978-94-009-4822-8. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-94-009-4822-8_7.

MARINO, E., HERNANDO, C., PLANELLES, R., MADRIGAL, J., GUIJARRO, M., SEBASTIÁN, A., MARINO, E., HERNANDO, C., PLANELLES, R., MADRIGAL, J., GUIJARRO, M. y SEBASTIÁN, A., 2014. Forest fuel management for wildfire prevention in Spain: a quantitative SWOT analysis. *International Journal of Wildland Fire*, vol. 23, no. 3, pp. 373-384. ISSN 1448-5516, 1448-5516. DOI 10.1071/WF12203.

MASEK, J.G., VERMOTE, E.F., SALEOUS, N.E., WOLFE, R., HALL, F.G., HUEMMRICH, K.F., GAO, F., KUTLER, J. y LIM, T.-K., 2006. A Landsat surface reflectance dataset for North America, 1990-2000. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 3, no. 1, pp. 68-72. ISSN 1558-0571. DOI 10.1109/LGRS.2005.857030.

MENG, Y., WEI, C., GUO, Y. y TANG, Z., 2022. A Planted Forest Mapping Method Based on Long-Term Change Trend Features Derived from Dense Landsat Time Series in an Ecological Restoration Region. *Remote Sensing*, vol. 14, no. 4, pp. 961. ISSN 2072-4292. DOI 10.3390/rs14040961.

MOYA, D., CERTINI, G., FULÉ, P.Z., MOYA, D., CERTINI, G. y FULÉ, P.Z., 2019. Fire regime and ecosystem responses: adaptive forest management in a changing world (Part 2). *International Journal of Wildland Fire*, vol. 28, no. 7, pp. 471-472. ISSN 1448-5516, 1448-5516. DOI 10.1071/WFv28n7_FO.

PAUSAS, J.G., 2004. Changes in Fire and Climate in the Eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin). *Climatic Change*, vol. 63, no. 3, pp. 337-350. ISSN 1573-1480. DOI 10.1023/B:CLIM.0000018508.94901.9c.

PAUSAS, J.G., LLOVET, J., RODRIGO, A. y VALLEJO, R., 2008. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? – A review. *International Journal of Wildland Fire*, vol. 17, no. 6, pp. 713-723. ISSN 1448-5516, 1448-5516. DOI 10.1071/WF07151.

PAUSAS, J.G. y VALLEJO, R., 2008. Bases ecológicas para convivir con los incendios forestales en la Región Mediterránea: decálogo. *Ecosistemas* [en línea], vol. 17, no. 2. [Consulta: 21 enero 2022]. ISSN 1697-2473. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/482>.

PERILLA, G. y MAS, J., 2020. Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube | Investigaciones Geográficas. [en línea], [Consulta: 21 enero 2022]. DOI <https://doi.org/10.14350/rig.59929>. Disponible en: <http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/59929>.

ROBINSON, N.P., ALLRED, B.W., JONES, M.O., MORENO, A., KIMBALL, J.S., NAUGLE, D.E., ERICKSON, T.A. y RICHARDSON, A.D., 2017. A Dynamic Landsat Derived Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Product for the Conterminous United States. *Remote Sensing*, vol. 9, no. 8, pp. 863. ISSN 2072-4292. DOI 10.3390/rs9080863.

STEVENS-RUMANN, C.S., KEMP, K.B., HIGUERA, P.E., HARVEY, B.J., ROTHER, M.T., DONATO, D.C., MORGAN, P. y VEBLEN, T.T., 2018. Evidence for declining forest resilience to wildfires under climate change. *Ecology Letters*, vol. 21, no. 2, pp. 243-252. ISSN 1461-0248. DOI 10.1111/ele.12889.

TAVAKKOLI PIRALILOU, S., EINALI, G., GHORBANZADEH, O., NACHAPPA, T.G., GHOLAMNIA, K., BLASCHKE, T. y GHAMISI, P., 2022. A Google Earth Engine Approach for Wildfire Susceptibility Prediction Fusion with Remote Sensing Data of Different Spatial Resolutions. *Remote Sensing*, vol. 14, no. 3, pp. 672. ISSN 2072-4292. DOI 10.3390/rs14030672.

TEDIM, F., REMELGADO, R., BORGES, C., CARVALHO, S. y MARTINS, J., 2013. Exploring the occurrence of mega-fires in Portugal. *Forest Ecology and Management*, vol. 294, pp. 86-96. ISSN 0378-1127. DOI 10.1016/j.foreco.2012.07.031.

WULDER, M.A., LOVELAND, T.R., ROY, D.P., CRAWFORD, C.J., MASEK, J.G., WOODCOCK, C.E., ALLEN, R.G., ANDERSON, M.C., BELWARD, A.S., COHEN, W.B., DWYER, J., ERB, A., GAO, F., GRIFFITHS, P., HELDER, D., HERMOSILLA, T., HIPPLE, J.D., HOSTERT, P., HUGHES, M.J., HUNTINGTON, J., JOHNSON, D.M., KENNEDY, R., KILIC, A., LI, Z., LYMBURNER, L., MCCORKEL, J., PALEVAN, N., SCAMBOS, T.A., SCHAAF, C., SCHOTT, J.R., SHENG, Y., STOREY, J., VERMOTE, E., VOGELMANN, J., WHITE, J.C., WYNNE, R.H. y ZHU, Z., 2019. Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sensing of Environment*, vol. 225, pp. 127-147. ISSN 0034-4257. DOI 10.1016/j.rse.2019.02.015.

WWF. 2020. El planeta en llamas. Propuesta Ibérica de WWF para la prevención de incendios. Recuperado de: [wwf.informe_incendios_2020_el_planeta_en_llamas.pdf\(panda.org\)](http://wwf.informe_incendios_2020_el_planeta_en_llamas.pdf(panda.org))