



9CFE-1200



SeverityApp-VIS4FIRE: una herramienta para la predicción de la severidad potencial de quemado

JORGE DE LAS HERAS (1), ESTHER PEÑA (1), ANABEL MORALES (1), ALEJANDRO MARTÍNEZ (1), M. JULIA FLORES (2), ENRIQUE ARIAS (2), ASUNCIÓN DIAZ (1), ALVARO FAJARDO (1), MARINA RIESCO (1), MANUEL E. LUCAS-BORJA (1), JUAN J. PARDO (2), J. ANTONIO MATEO (2), JAVIER GONZÁLEZ ROMERO (3), FERNANDO CHICO (4), DANIEL MOYA (1)

1 E.T.S. Ingeniería Agronómica y de Montes y Biotecnología. Universidad Castilla-La Mancha

2 Instituto de Investigación en Informática de Albacete. Universidad Castilla-La Mancha

3 E.T.S. Ingeniería de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

3 Unidad de Incendios Forestales. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha

Resumen

Se genera una herramienta digital con la que predecir la severidad potencial de quemado a tres niveles (1-4). Para ello se ha desarrollado una arquitectura de alimentación de datos para ser utilizada como una APP a partir de información facilitada en un formulario georreferenciado. La herramienta permite predecir la severidad potencial de un posible incendio en función de variables bióticas (índices de vegetación-terreno), abióticas (topografía y suelos) así como climáticas (anomalía climática, DPV, intensidad del viento) mediante técnicas de IA. Este trabajo se plasma en una calculadora y un visor cartográfico como ejemplo de aplicación en Castilla-La Mancha, territorio piloto de validación de la herramienta. Para la construcción del modelo se han seleccionado 15 incendios de más de 200 ha (2011-2022) ocurridos en la Región. Se optimiza el modelo que mejores resultados ofrece, mediante entrenamiento con diferentes algoritmos (modelos lineales, árboles de decisión, etc.) y diferentes hiper-parámetros mediante una búsqueda en rejilla (Grid Search). Para entrenar cada uno de los algoritmos, se realizó una validación cruzada. Esta herramienta es útil para obtener localizaciones a priori de tratamientos preventivos o medidas de estabilización urgente post-incendio. Estos resultados forman parte del proyecto PDC2021-120845-C53 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea Next GenerationEU/PRTR.

Palabras clave

Severidad de quemado, prevención, restauración post-incendio, gestión adaptativa

Introducción

La mayoría de los análisis actuales del peligro de incendios forestales se basan en variables climáticas y están principalmente relacionados con la ignición y la tasa de propagación del fuego, lo que pierde utilidad en el contexto actual de cambio climático y de uso de la tierra (LULUC). La comunidad científica propone una gestión preventiva dirigida a reducir el daño del fuego (severidad de la quema), en lugar de la probabilidad de ignición o el área quemada (Brodie et al., 2024; Cansler et al., 2022; Moya et al., 2022). La severidad de quemado se refiere al daño del fuego en la biomasa y se evalúa en el campo a través de indicadores visuales como la altura de la quema, el grado de consumo de la vegetación, la mortalidad de los



árboles, el diámetro restante de las ramas, el consumo de hojarasca o la profundidad de las cenizas, entre otros (Keeley, 2009; Key y Benson, 2006). Existen varios métodos de teledetección para cuantificar la severidad (Fernández-García et al., 2022), incluyendo el índice espectral dNBR basado en la sensibilidad de la reflectancia del infrarrojo cercano y del infrarrojo de onda corta a los cambios ambientales provocados por el fuego (Key y Benson, 2006) que es el más utilizado por las altas correspondencia con los datos de verdad-terreno (Fernández-García et al., 2022; Gómez-Sánchez et al., 2017).

Este tipo de mapeo de la severidad de los incendios puede facilitar la respuesta de emergencia posterior al incendio, la planificación de la gestión adaptativa de la tierra y los bosques dentro de las tendencias en los regímenes de incendios y reforzar las evaluaciones de la efectividad de la prevención de la gestión de incendios forestales (Leone y Tedim, 2020). Por ello, resultaría de gran utilidad disponer de una herramienta de predicción de la misma.

Objetivos

Nuestro objetivo es generar un conjunto de herramientas digitales que permitan evaluar la potencial severidad de los incendios. Esta facilidad se logra desarrollando un método de cálculo de diferentes variables significativas, en formato espacial, implementando un método protocolizado para homogeneizar la información de dichas variables al obtenerlas con datos de campo e información de sensores remotos relacionados con los índices de severidad de los incendios.

Metodología

El estudio se realizó en la Península Ibérica, concretamente en la Comunidad de Castilla-La Mancha (España), compuesta por las provincias de Albacete, Ciudad Real, Cuenca, Guadalajara y Toledo (en total 79.463 km²).

Evaluamos la severidad de los incendios en dos etapas: primero, utilizando herramientas de teledetección (mapas de severidad de los incendios (raster) y, posteriormente, validando los resultados con estudios de campo. Para ello, seleccionamos los grandes incendios forestales (>500 ha quemadas) ocurridos en Castilla-La Mancha en los últimos 15 años debido a la disponibilidad de imágenes satelitales e información de los servicios de extinción de incendios (Figura 1).

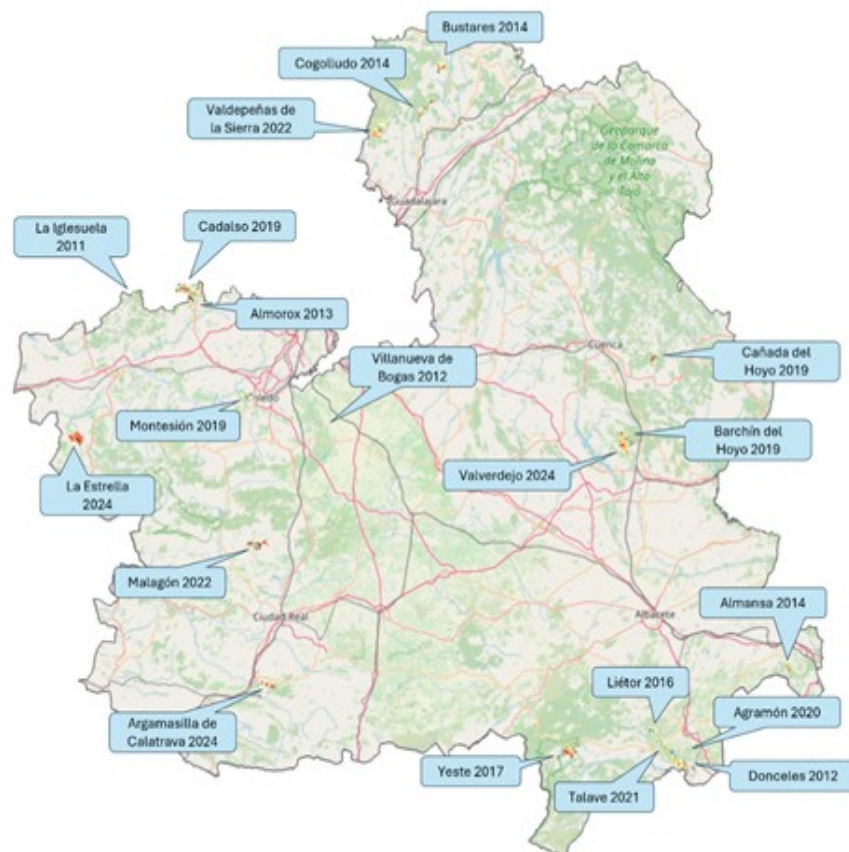
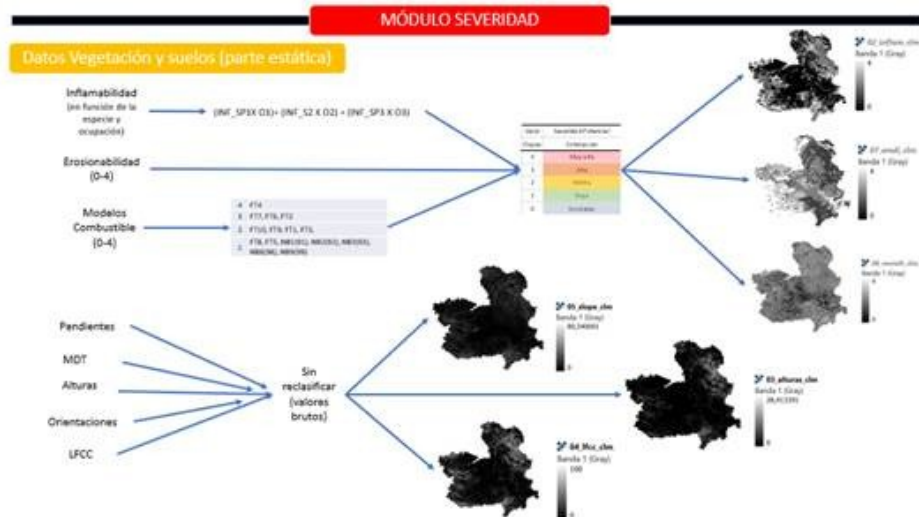


Figura 1. Grandes incendios (>500 ha) ocurridos desde 2009 en Castilla-La Mancha seleccionados para el estudio.

Para proporcionar una evaluación de la severidad del incendio, utilizamos imágenes de Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) y Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) y TIRS (Thermal Infrared Sensor) para calcular el delta-normalized burn ratio (dNBR) (Miller y Thode, 2007). Para evaluar la severidad cuantitativamente, se realizó una validación con un estudio de campo (89 parcelas ubicadas sistemáticamente en el perímetro de los incendios forestales de los últimos 5 años) utilizando el Índice Compuesto de Quemado (CBI) basado en una evaluación visual de la cantidad de combustible consumido, el grado de carbonización del suelo y el grado de mortalidad de los árboles (Key y Benson, 2006). Los valores se estimaron visualmente en parcelas circulares ($r=15$ m; superficie=706,85 m²) visitadas en menos de 3 meses después de la extinción del incendio. Los centros de las parcelas se registraron con un receptor GPS Monterra™. Para desarrollar el modelo, analizamos la relevancia de diferentes grupos de variables (climáticas, topográficas, tipo de carga de combustible, carga de combustible-humedad y continuidad del combustible) vinculadas a la severidad de los incendios y seleccionamos las más influyentes para elaborar un modelo predictivo integral de la severidad potencial de los incendios funcional a grandes escalas espaciales. Asimismo, incluimos la capacidad de generalización de los modelos predictivos añadiendo variables climáticas calculadas en continuo con datos de los modelos meteorológicos predictivos proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2024).

Con las variables seleccionadas, mediante técnicas de Inteligencia Artificial, se

obtiene un modelo de predicción de severidad de quemas potenciales. Para correlacionar los datos (píxel a píxel) de la severidad de las quemaduras evaluadas y las variables seleccionadas, utilizamos Python 3 (Python Software Foundation, 2024) basado en bibliotecas para análisis de datos y aprendizaje automático optimizadas para manejar grandes volúmenes de datos (Pandas), visualizar datos (Matplotlib y Seaborn), uso de algoritmos de aprendizaje supervisados (Scikit-learn), validación cruzada y selección de modelos (OpenMP). Con ello se desarrolló un proceso iterativo para construir un algoritmo que vinculara las variables seleccionadas y la severidad registrada en los grandes incendios forestales seleccionados (Figura 2).



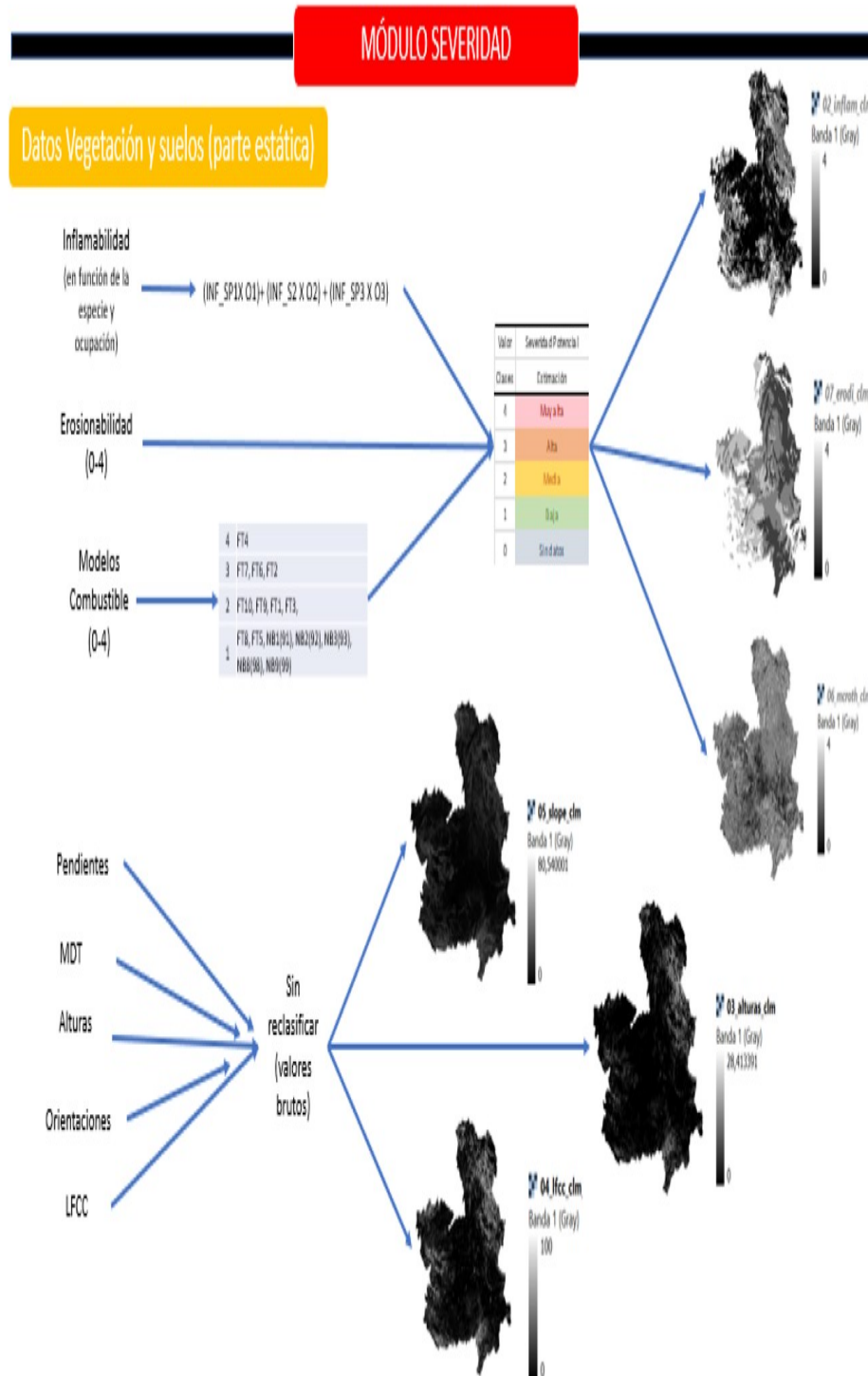


Figura 2. Proceso iterativo de uso de variables para construcción de un algoritmo de predicción de severidad potencial de quemado en grandes incendios forestales seleccionados en Castilla-La Mancha desde 2009. (Adaptado de Botella, 2024).

Resultados

El algoritmo aprende de situaciones reales para generar un modelo matemático que permita realizar predicciones basadas en datos y extrapolar a datos



regionales.

El modelo finalmente seleccionado se construye a partir de una combinación de dos modelos, uno desarrollado para las provincias de Albacete y Cuenca (modelo de incendios mediterráneos) y otro para las provincias de Toledo, Ciudad Real y Guadalajara (modelo de incendios continentales). Para cada modelo se han generado dos submódulos mediante un proceso dinámico que busca inicialmente predecir si la clase de severidad de quemadura potencial es ALTA o BAJA, reasignando después valores a Media-alta o Alta al primero y Baja o Media-baja al segundo. Para seleccionar el mejor modelo según exactitud y precisión de ajuste se entrenan diferentes algoritmos (modelos lineales, árboles de decisión, conjuntos de árboles de decisión, etc.) con diferentes hiperparámetros mediante un Grid Search (Müller y Guido, 2016) y se comparan los resultados de todos ellos, eligiendo el más cercano a la realidad. Además, se realiza una validación cruzada (Müller & Guido, 2016) agrupando el conjunto de datos de entrenamiento por incendios y entrenando un modelo para cada incendio forestal, utilizando el valor real de severidad de quemadura, con objeto de validarlo y obtener así el modelo final utilizando la media ponderada de los resultados de cada uno de los incendios y conformado para predecir valores de severidad de quemadura potencial en áreas no quemadas.

Para cada zona, el modelo consta de tres submodelos predictivos de forma continua que siguen la siguiente lógica:

1. El primero predice si la clase es Baja o Alta.
2. Según la predicción del primero:
 - a) Si es Baja, se utiliza un modelo que predice entre Baja y Media baja.
 - b) Si es Alta, se utiliza un modelo que predice entre Media alta y Alta.

Para la construcción de cada uno de estos modelos, se utilizan como datos de entrenamiento todas las observaciones del conjunto de datos que cumplen con las condiciones en las que se usa ese modelo (zona y severidad).

Para seleccionar el modelo que mejores resultados ofrece, se entrenan diferentes algoritmos y se comparan los resultados de todos ellos, escogiendo el que produzca unos resultados más cercanos a la realidad (Martínez-García, 2024).

Para entrenar cada uno de los algoritmos, se hace una validación cruzada (Müller & Guido, 2016). Esta consiste en agrupar el conjunto de datos de entrenamiento por incendios y entrenar un modelo por cada incendio, de forma que se utilizan los datos de ese incendio para validar el modelo y el resto para entrenarlo. Una vez hecho el proceso con todos los incendios, se obtiene un resultado final del algoritmo haciendo la media ponderada de los resultados de cada uno de los incendios.

Una vez elegidos los algoritmos de mayor valor de predicción y fiabilidad (Tabla 1), se valida utilizando todos los datos que cumplen con las condiciones del modelo, esta vez sin dividirlos por incendios para conformar el modelo final con el que se van a hacer las predicciones.

Tabla 1. Valores estadísticos de predicción y fiabilidad para los modelos seleccionados como MODELO INCENDIOS MEDITERRANEOS (arriba) y MODELO INCENDIOS CONTINENTALES (abajo).

F1	0.1901
Recall	0.1343
Precisión	0.3256
Accuracy	0.5984

(a) Baja - Alta

F1	0.7228
Recall	0.8426
Precisión	0.6329
Accuracy	0.6225

(b) Baja - Media baja

F1	0.6170
Recall	0.7964
Precisión	0.5036
Accuracy	0.7054

(c) Media alta - Alta

F1	0.1901
Recall	0.1343
Precisión	0.3256
Accuracy	0.5984

(a) Baja - Alta

F1	0.7228
Recall	0.8426
Precisión	0.6329
Accuracy	0.6225

(b) Baja - Media baja

F1	0.6170
Recall	0.7964
Precisión	0.5036
Accuracy	0.7054

(c) Media alta - Alta

Discusión

El modelo y su disponibilidad en web (<http://severia.i3a.info/incendios/>) permite seleccionar fecha y área espacial para obtener la severidad potencial de quemado (Figura 3), lo que es de gran utilidad para apoyo y desarrollo de otras herramientas, tales como la RESTORATIONAPP (Figura 4).

SEVERITY MODULE

Web APP

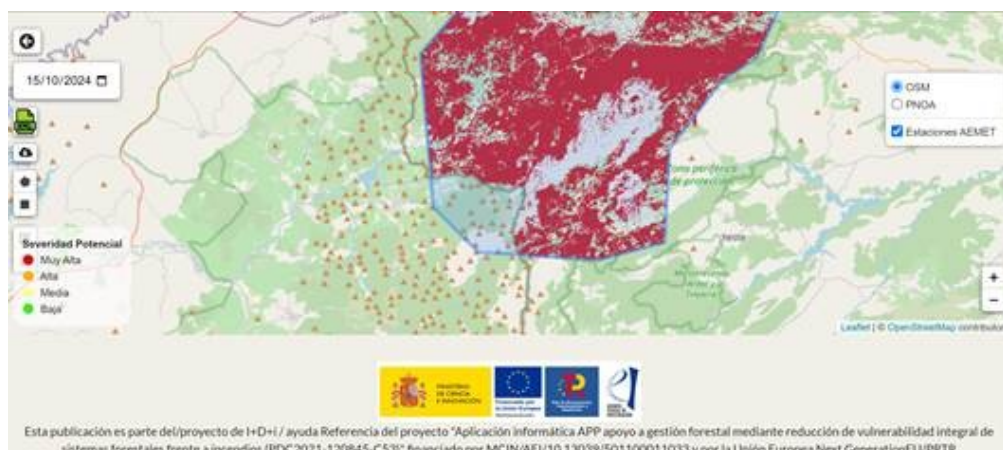


Figura 3. Salida grafica de la app desarrollada.

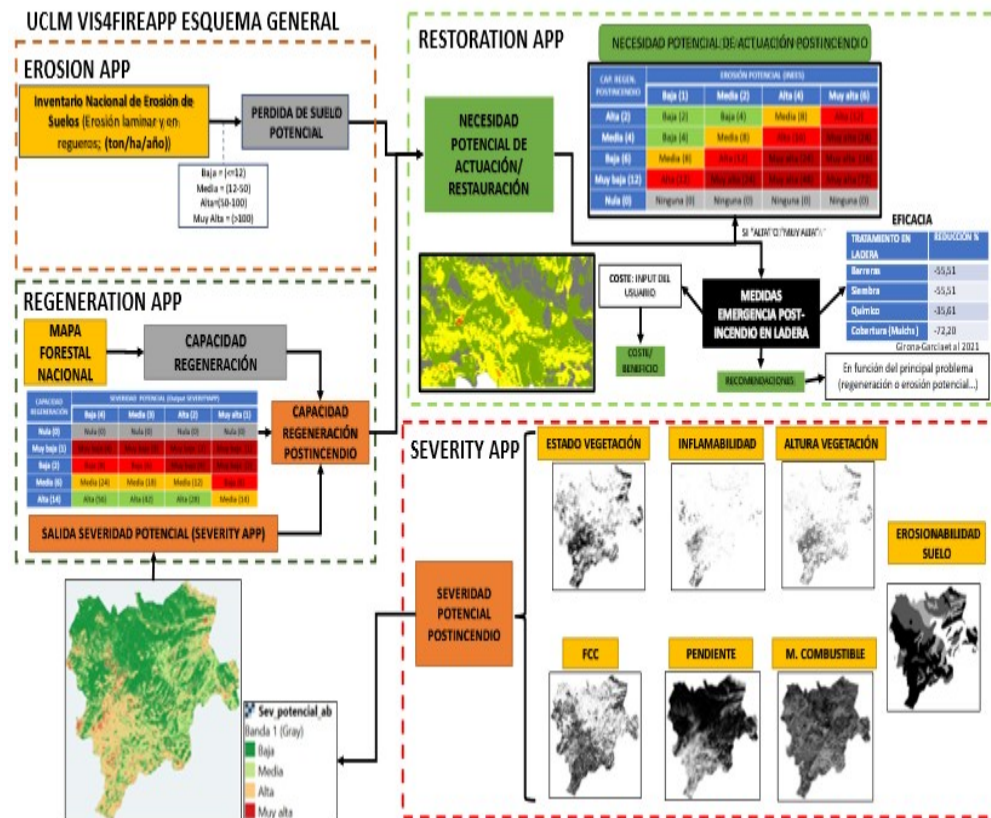


Figura 4. Proceso de flujo de obtención de resultados del modelo desarrollado y un posible uso directo para restauración post-incendio.

1. Conclusiones

El conjunto de herramientas propuesto proporcionaría información espacial que incluye una evaluación de la severidad potencial de los incendios integrada en mapas validados con información real y contrastados por especialistas, gestores y científicos en prevención de incendios, extinción de incendios y restauración post-incendio. Para ello, se ha desarrollado una arquitectura de alimentación de datos que se utilizará como un software en línea que proporcione información en formato georreferenciado para la planificación de proyectos de tratamiento de combustibles, en la gestión de incendios activos, acciones de restauración post-incendio y para una mejor comprensión de los patrones de severidad de los incendios a escala del paisaje de forma preliminar para reducir la vulnerabilidad y promover paisajes resilientes.

1. Agradecimientos

Esta publicación es parte de los proyectos de I+D+i: "Aplicación informática APP apoyo a gestión forestal mediante reducción de vulnerabilidad integral de sistemas forestales frente a incendios (PDC2021-120845-C53)" financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea Next GenerationEU/PRTR;

"Prevención y restauración de grandes incendios forestales de Castilla-La Mancha



en un escenario de cambio global (SBPLY/23/180225/00011)” cofinanciado por la Unión Europea a través del FEDER y por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha a través del INNOCAM

Bibliografía

AEMET, 2024. Datos abiertos - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España [WWW Document]. URL https://www.aemet.es/es/datos_abiertos (accessed 11.26.24).

Alloza, J.; García, S.; Gimeno, T.; Baeza, J.; Vallejo, V.; Rojo, L.; Martínez, A. Guía de Técnicas Para la Gestión de Montes Quemados. Protocolos de Actuación Para la Restauración de Zonas Quemadas Con Riesgo de Desertificación; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Centro de Publicaciones: Madrid, Spain, 2013; ISBN 978-84-491-1324-6.

Brodie, E.G., Knapp, E.E., Brooks, W.R., Drury, S.A., Ritchie, M.W., 2024. Forest thinning and prescribed burning treatments reduce wildfire severity and buffer the impacts of severe fire weather. *Fire Ecology* 20, 17.<https://doi.org/10.1186/s42408-023-00241-z>

Botella, R. 2024. Desarrollo y validación de una herramienta de cálculo de severidad potencial (Severidad-VIS4FireApp) en grandes incendios forestales de la Comunitat Valenciana (España). Trabajo Fin de Master de Ingeniería de Montes en Universidad Politécnica de Madrid.

Cansler, C.A., Kane, V.R., Hessburg, P.F., Kane, J.T., Jeronimo, S.M.A., Lutz, J.A., Povak, N.A., Churchill, D.J., Larson, A.J., 2022. Previous wildfires and management treatments moderate subsequent fire severity. *Forest Ecology and Management* 504, 119764.<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119764>

Fernández-García, V., Beltrán-Marcos, D., Fernández-Guisuraga, J.M., Marcos, E., Calvo, L., 2022. Predicting potential wildfire severity across Southern Europe with global data sources. *Science of The Total Environment* 829, 154729.<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154729>

Gómez-Sánchez, E.G., Heras, J. de las, Borja, M.E.L., Moya, D., 2017. Ajuste de metodologías para evaluar severidad de quemado en zonas semiáridas (SE peninsular): incendio Donceles 2012. *Revista de teledetección: Revista de la Asociación Española de Teledetección* 103–113.

Keeley, J.E., 2009. Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *Int. J. Wildland Fire* 18, 116–126. <https://doi.org/10.1071/WF07049>

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 (Other Government Series No. RMRS-GTR-164-CD: LA 1-51), Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index; and Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT.

Leone, V., Tedim, F., 2020.12 - How to create a change in wildfire policies, in: Tedim, F., Leone, V., McGee, T.K. (Eds.), *Extreme Wildfire Events and Disasters*. Elsevier, pp. 217–232.<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815721-3.00012-6>

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, 66–80.



<https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.006>

Martínez-García, A. 2024. Predicción de la severidad de incendios mediante técnicas de aprendizaje automático. Trabajo Fin de Máster Universitario en Ingeniería Informática de Universidad de Castilla-La Mancha.

Moya, D., Fonturbel, T., Peña, E., Alfaro-Sanchez, R., Plaza-Álvarez, P.A., González-Romero, J., Lucas-Borja, M.E., de Las Heras, J., 2022. Fire Damage to the Soil Bacterial Structure and Function Depends on Burn Severity: Experimental Burnings at a Lysimetric Facility (MedForECOTron). *Forests* 13, 1118. <https://doi.org/10.3390/f13071118>

Moya D., Esther Peña, Asunción Díaz, Alvaro Fajardo, Maria Vazquez, Marina Riesco, Manuel E. Lucas-Borja, Anabel Morales, Alejandro Martínez, M. Julia Flores, Juan José Pardo, J. Antonio Mateo, Enrique Arias, Jorge de las Heras. SeverityApp: A VIS4FIRE-conceptual tool to assess potential burn severity. In abstract book of 7th International Fire Behavior and Fuels Conference by International Association of Wildland Fire (April 15-19, 2024). Tralee, Ireland.

Müller, A. C., & Guido, S. (2016). *Introduction to machine learning with Python: a guide for data scientists*. O'Reilly Media, Inc.

Vega, J.A. Acciones urgentes contra la erosión en áreas forestales quemadas: Guía para su planificación en Galicia; INIA. Xunt.; Andavira: Santiago de Compostela, Spain, 2013; ISBN 8484087166