

≡  
2021

# CONDEGRES

IX SIMPOSIO NACIONAL SOBRE CONTROL DE  
LA DEGRADACIÓN Y RECUPERACIÓN DE SUELOS



Elche, 24 y 25 de mayo 2021

## EL SUELO: CLAVE PARA UNA GESTIÓN AMBIENTAL SOSTENIBLE EN UN ESCENARIO DE CAMBIO GLOBAL

Libro de resúmenes del IX Simposio Nacional sobre el Control  
de la Degradación y Recuperación de Suelos

Editores

M.B. Almendro Candel y M.M. Jordán Vidal

El suelo: clave para una gestión ambiental sostenible en un escenario de cambio global

Libro de resúmenes del IX Simposio Nacional sobre el Control de la Degradación y Recuperación de Suelos

Elche, 24 y 25 de mayo 2021

ISBN 978-84-18177-09-5

*Este libro recoge las comunicaciones presentadas en el IX Simposio Nacional sobre el Control de la Degradación y Recuperación de Suelos. Es una obra colectiva, siendo responsabilidad de los autores de cada ponencia responder a las posibles reclamaciones por el uso indebido de textos y/o material gráfico.*

## Identificación de indicadores visuales de severidad en el suelo post-incendio a través de imágenes UAV

David Beltrán-Marcos<sup>1,\*</sup>, Susana Suárez-Seoane<sup>2</sup>, Elena Marcos<sup>1</sup>, José Manuel Fernández-Guisuraga<sup>1</sup>, Víctor Fernández-García<sup>1</sup>, Rayo Pinto<sup>1</sup>, Leonor Calvo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Área de Ecología, Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental, Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad de León, 24071 León, España.

<sup>2</sup> Unidad Mixta de Investigación en Biodiversidad (UMIB; UO-CSIC-PA), Departamento de Biología de Organismos y Ecosistemas (Unidad de Ecología), Universidad de Oviedo, 33071 Oviedo, España.

\* [dbelm@unileon.es](mailto:dbelm@unileon.es)

### Resumen

La evaluación del efecto de la severidad en los suelos forestales es esencial para determinar el impacto de los incendios forestales. El principal objetivo de este estudio fue evaluar la potencialidad de imágenes obtenidas por vehículos aéreos no tripulados (UAV) de muy alta resolución para identificar indicadores visuales de severidad capaces de reflejar los cambios producidos en las propiedades del suelo tras un incendio. Se seleccionó un incendio ocurrido en Villapadierna (provincia de León, NO España) en 2019 que afectó a 82,74 ha. Se estimó la severidad en el suelo a través de 2 indicadores visuales (profundidad de cenizas y cobertura de cenizas) y se analizaron 4 propiedades biofísicas del suelo (humedad, diámetro medio ponderado, carbono orgánico y la actividad enzimática  $\beta$ -glucosidasa). Así mismo, se operó un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para obtener imágenes multiespectrales post-incendio, que permitieron calcular 2 índices espectrales (NDVI y NDWI). Se exploró la relación entre los índices espectrales y las métricas de severidad del suelo mediante modelos de regresión de probabilidades proporcionales univariadas. Se empleó una matriz de correlación para establecer las relaciones entre las propiedades del suelo y las métricas de severidad. Los resultados mostraron que la profundidad de la ceniza logró las mejores estimaciones, especialmente cuando se modeló con NDWI ( $R^2_{cv}=0,53$ ). Este indicador mostró correlaciones significativas con el contenido de humedad y la concentración de enzima  $\beta$ -glucosidasa en el suelo. Este trabajo proporciona una base útil para diseñar evaluaciones de la severidad en el suelo a corto plazo, lo que permitirá identificar las áreas prioritarias en las que llevar a cabo restauraciones de emergencia tras los incendios forestales.

**Palabras clave:** índices espectrales, indicadores visuales, propiedades suelo, severidad, UAV

### 1. Introducción

Tras un incendio forestal es de esperar que ocurran alteraciones en la dinámica entre la vegetación y el suelo de los sistemas forestales (Hart *et al.*, 2005). Particularmente relevantes son las consecuencias ecológicas de la severidad del incendio en el suelo. La severidad en el suelo se define como los cambios causados por el fuego en las capas orgánicas y minerales del suelo (Lentile *et al.*, 2006). Por lo general, la estimación de la severidad en el suelo se basa en el uso de

indicadores visuales semicuantitativos medibles en el campo, siendo la presencia de cenizas uno de los más empleados (Vega *et al.*, 2013). El desafío actual es desarrollar metodologías basadas en herramientas espacialmente explícitas que permitan evaluar la variación espacial de los indicadores visuales de la severidad en el suelo a escala muy fina, con el fin de identificar áreas prioritarias donde aplicar acciones de restauración post-incendio. Estos indicadores visuales deben informar sobre los cambios funcionales producidos en las propiedades biofísicas del suelo después del incendio (Morgan *et al.*, 2001). En este sentido, las técnicas basadas en la teledetección han demostrado ser efectivas para discriminar patrones espaciales en propiedades específicas del suelo (Rodrigo-Comino *et al.*, 2018). En especial, las imágenes multiespectrales de alta resolución espacial recopiladas por UAV son una herramienta prometedora para evaluar las variaciones de severidad en suelo (Fernández-Guisuraga *et al.*, 2018).

El objetivo del presente estudio es evaluar la capacidad de los índices multiespectrales obtenidos de imágenes UAV para definir la variación espacial de los indicadores visuales de la severidad en el suelo después de un incendio. Específicamente, se tratará de (i) determinar la posibilidad de evaluar los indicadores a través del uso de índices multiespectrales obtenidos con UAV, (ii) relacionar los indicadores visuales de la severidad con los cambios en las propiedades biofísicas del suelo post-incendio.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Zona de estudio y diseño experimental

Se seleccionó un incendio forestal ocurrido en Villapadierna (provincia de León) el 22 de agosto de 2019 que afectó a 82,47 ha cubiertas por plantaciones forestales jóvenes de *Pinus sylvestris* L. (21,47 ha), masas forestales maduras de *Pinus pinaster* Ait. (14,45 ha) y bosque maduro de *Quercus pyrenaica* Willd. (35,47 ha). Los suelos del área quemada se clasifican como Cambisoles Dísticos y Húmicos. La clase de textura del suelo en el área afectada es franco-arenosa.

En un marco de estudio de 16 ha ubicado dentro del perímetro del incendio, un mes después del incendio forestal se establecieron al azar un total de 80 parcelas de 50 cm<sup>2</sup> en zonas sin dosel arbóreo. La severidad del suelo en campo se estimó mediante el índice CBSI (Beltrán-Marcos *et al.*, 2021) y se midieron dos parámetros visuales indicativos de la severidad: (1) profundidad de ceniza (cm) y (2) cobertura de ceniza (%). Dentro del marco de estudio, se tomaron imágenes aéreas multiespectrales mediante el uso de una cámara Parrot SEQUOIA a bordo de un octocóptero FV8, con cuatro sensores que recogen información de cuatro bandas espectrales (GREEN, RED, RED EDGE y NIR). A partir de estas imágenes, se generaron ortomosaicos de reflectancia con una resolución espacial de 6,64 cm/píxel, de los cuales se calcularon un conjunto de índices espectrales potencialmente útiles para la detección de la severidad del incendio: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada;  $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$  y Índice de Agua de Diferencia Normalizada;  $NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$ .

En cada parcela de estudio, se tomaron 4 submuestras de suelo de 5 cm de diámetro x 3 cm de profundidad para analizar las propiedades biofísicas. Se determinaron las siguientes propiedades: (1) la humedad gravimétrica del suelo, (2) la distribución del tamaño de los agregados (DMP) se obtuvo por tamización en seco, (3) el carbono orgánico del suelo (SOC) se determinó por oxidación con dicromato potásico y (4) la actividad de la enzima  $\beta$ -glucosidasa se determinó siguiendo el procedimiento descrito por Tabatabai (1994).

### 2.2. Tratamiento de datos

Se realizó un análisis de correlaciones bivariadas de Spearman con el fin de estudiar las relaciones entre los indicadores visuales de severidad y todas las propiedades biofísicas del suelo. La relación entre los indicadores visuales de severidad en suelo y los índices multiespectrales UAV fue analizada mediante modelos lineales univariados. La validación se

realizó mediante una validación cruzada de 10 veces con 10 repeticiones, que proporcionó un  $R^2_{cv}$  promedio para evaluar el rendimiento del modelo. Todos los análisis estadísticos se realizaron en R Core Team (2020) utilizando las librerías “hmisc” y “rms”.

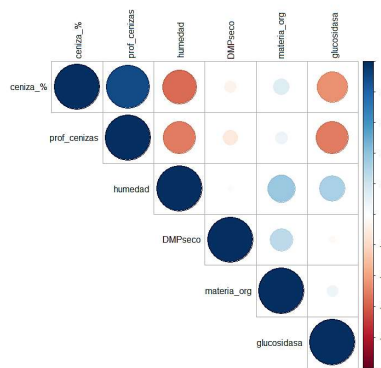
### 3. Resultados y Discusión

El espesor de la ceniza y la cantidad de ceniza depositada en el suelo dependió directamente de la severidad del incendio (Tabla 1), por lo que pueden ser considerados como indicadores clave del efecto del fuego en el suelo a corto plazo (Vega *et al.*, 2013). Por otro lado, el contenido de humedad de los suelos sometidos a fuegos severos se redujo significativamente frente a zonas de severidad baja. De manera similar, la enzima  $\beta$ -glucosidasa mostró valores muy bajos de actividad en las zonas afectadas por alta severidad respecto a escenarios de baja severidad (Tabla 1), siendo una de las propiedades del suelo estudiadas más sensibles al fuego (Fernández-García *et al.*, 2019).

**Tabla 1.** Valores medios y desviación estándar de las propiedades de suelo analizadas y de los indicadores visuales de severidad utilizados en el estudio.

Indicadores visuales de severidad	Severidad baja	Severidad alta
Profundidad cenizas (cm)	7,25 ± 7,04	25,33 ± 8,46
Cobertura cenizas (%)	13,8 ± 16,03	73,75 ± 17,71
Propiedades de suelo	Severidad baja	Severidad alta
Humedad (%)	3,98 ± 3,15	1,94 ± 0,93
DMP (mm)	0,96 ± 0,18	0,89 ± 0,16
Carbono orgánico ( $\mu\text{g C}\cdot\text{g}^{-1}$ soil)	45,66 ± 20,15	41,05 ± 11,22
$\beta$ -glucosidasa ( $\mu\text{moles}$ )	1,46 ± 0,93	0,82 ± 1,05

Los indicadores visuales de severidad se correlacionaron significativamente con las propiedades del suelo más susceptibles a las alteraciones producidas por el fuego como la actividad enzimática  $\beta$ -glucosidasa y la humedad (Figura 1). La disminución en la actividad  $\beta$ -glucosidasa del suelo en función del nivel de severidad ya fue reportada por Vega *et al.* (2013) y Fernández-García *et al.* (2019). Respecto a la humedad, los dos indicadores visuales de severidad reflejaron cambios en su contenido ocasionados por el fuego (Figura 1). Esta propiedad ya ha demostrado su importancia a la hora de establecer medidas de restauración post-incendio debido a su alta correlación con las métricas de severidad y con los procesos de degradación del suelo (Marcos *et al.* 2018).



**Figura 1.** Matriz de correlaciones entre las variables de suelo y los indicadores visuales de severidad. Los tamaños de los círculos son proporcionales al valor absoluto del coeficiente de correlación de Spearman.

Centrándonos en la detección remota de los indicadores visuales individuales de la severidad, tanto la profundidad como la cobertura de las cenizas se relacionaron fuertemente con el índice espectral NDWI ( $R^2_{cv} = 0,5325$  y  $R^2_{cv} = 0,4401$ , respectivamente) (Tabla 2). En este trabajo, los sensores de alta resolución espacial equipados en UAV han demostrado ser efectivos para

detectar la cantidad y el espesor de ceniza post-incendio debido a la gran variabilidad observada a pequeña escala en el suelo. Imágenes de alta resolución espectral ya han demostrado alta capacidad de estimar indicadores de severidad, como la cobertura de cenizas (Robichaud *et al.*, 2007), por lo que la combinación con imágenes UAV de alta resolución espacial podría mejorar estas caracterizaciones.

**Tabla 2.** Rendimiento de los modelos con los indicadores individuales de la severidad del suelo, medido por R<sup>2</sup> de validación cruzada de 10 veces (R<sup>2</sup>cv)

	Profundidad cenizas (cm)	Cobertura cenizas (%)
NDVI	0,3509	0,3796
NDWI	0,5325	0,4401

#### 4. Conclusiones

En este trabajo se ha demostrado que el índice multispectral NDWI, derivado de sensores con muy alta resolución a bordo de UAVs, predice con éxito la severidad del suelo. Los indicadores visuales relacionados con las características de las cenizas muestran una relación significativa con el contenido de humedad y la actividad enzimática  $\beta$ -glucosidasa, ya que son altamente sensibles a las alteraciones producidas por el fuego. Los resultados obtenidos permiten identificar elementos clave del suelo útiles para el diseño de programas de gestión integral en situación pre-incendio y post-incendio.

#### 5. Referencias

- Beltrán-Marcos, D.; Suárez-Seoane, S.; Fernández-Guisuraga, J.M.; Fernández-García, V.; Pinto, R.; García-Llamas, P.; Calvo, L. 2021. Mapping Soil Burn Severity at Very High Spatial Resolution from Unmanned Aerial Vehicles. *Forests* 12(2): 179.
- Fernández-García, V.; Marcos, E.; Fernández-Guisuraga, J.M.; Taboada, A.; Suárez-Seoane, S.; Calvo, L. 2019. Impact of burn severity on soil properties in a *Pinus pinaster* ecosystem immediately after fire. *Int. J. Wildland Fire* 28(5): 354–364.
- Fernández-Guisuraga, J.M.; Sanz-Ablanedo, E.; Suárez-Seoane, S.; Calvo, L. 2018. Using unmanned aerial vehicles in postfire vegetation survey campaigns through large and heterogeneous areas: Opportunities and challenges. *Sensors* 18(2): 586.
- Hart, S.C.; DeLuca, T.H.; Newman, G.S.; MacKenzie, M.D.; Boyle, S.I. 2005. Post-fire vegetative dynamics as drivers of microbial community structure and function in forest soils. *For. Ecol. Manage.* 220(1–3): 166–184.
- Lentile, L.B.; Holden, Z.A.; Smith, A.M.S.; Falkowski, M.J.; Hudak, A.T.; Morgan, P.; Lewis, S.A.; Gessler, P.E.; Benson, N.C. 2006. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *Int. J. Wildland Fire* 15(3): 319–345
- Marcos, E.; Fernández-García, V.; Fernández-Manso, A.; Quintano, C.; Valbuena, L.; Tárrega, R.; Luis-Calabuig, E.; Calvo, L. 2018. Evaluation of Composite Burn Index and Land Surface Temperature for Assessing Soil Burn Severity in Mediterranean Fire-Prone Pine Ecosystems. *Forests* 9: 494.
- Morgan, P.; Hardy, C.C.; Swetnam, T.W.; Rollins, M.G.; Long, D.G. 2001. Mapping fire regimes across time and space: understanding coarse and fine-scale fire patterns. *Int. J. Wildland Fire* 10(4): 329–342.
- Robichaud, P.R.; Lewis, S.A.; Laes, D.Y.M.; Hudak, A.T.; Kokaly, R.F.; Zamudio, J.A. 2007. Postfire soil burn severity mapping with hyperspectral image unmixing. *Remote Sens. Environ.* 108: 467–480.
- Rodrigo-Comino, J.; Senciales, J.M.; Cerdà, A.; Brevik, E.C. 2018. The multidisciplinary origin of soil geography: A review. *Earth-Sci. Rev.* 177: 114–123
- Vega, J.A.; Fontúrbel, T.; Merino, A.; Fernández, C.; Ferreira, A.; Jiménez, E. 2013. Testing the ability of visual indicators of soil burn severity to reflect changes in soil chemical and microbial properties in pine forests and shrubland. *Plant Soil* 369(1–2): 73–91.