

## Teledetección y Severidad del Fuego

J. R. Ruiz-Gallardo<sup>(1)</sup>, S. Castaño<sup>(1)</sup> y A. Valdés<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Grupo de Teledetección y SIG, IDR-Universidad de Castilla-La Mancha. Campus Universitario, sn. 02071 Albacete. [Josereyes.ruiz@uclm.es](mailto:Josereyes.ruiz@uclm.es); [santiago.castano@uclm.es](mailto:santiago.castano@uclm.es).

<sup>(2)</sup>Dep. Ecología. Universidad de Castilla-La Mancha. Campus Universitario, sn. 02071 Albacete. [Arturo.valdes@uclm.es](mailto:Arturo.valdes@uclm.es).

### Resumen

La severidad del fuego es uno de los parámetros más influyentes en el proceso de regeneración postincendio forestal. Su valoración en campo, aunque está bien definida, en el caso de grandes superficies resulta antieconómica; sin embargo, la teledetección se ha mostrado como una herramienta de gran utilidad para su cálculo. En este documento, se examina un sencillo método para estimarla, el cual, tras comprobarlo en dos grandes incendios en ecosistemas mediterráneos, arroja unos resultados que superan el 81% de fiabilidad global.

### 1. Introducción

La severidad del fuego es un término descriptivo que integra los cambios físicos, químicos y biológicos de un ecosistema, como resultado de la acción del fuego [1]. Se define como el efecto del fuego sobre el ecosistema, es decir, si afecta al suelo, al estrato arbóreo o a cualquier parte del ecosistema [2], y se relaciona con su capacidad de regeneración tras el paso de las llamas [3]. Son bastantes los autores que han parametrizado su estimación en campo [2,3,4, etc] Pero debido a la lentitud del proceso, su cartografiado por esta vía es prácticamente inabordable en grandes incendios.

Este factor tiene una notoria influencia en la capacidad de regeneración del ecosistema, ya que, por un lado, afecta a la cantidad de semillas y órganos resistentes que pueden quedar tras el paso de las llamas [5], y por otro, tiene un valor determinante en los procesos de erosión [6,7,8,9]. Por estas razones numerosos trabajos abalan su empleo para tareas de reforestación, medidas de protección del suelo y otros bienes, etc [10,11,3,4].

La teledetección, dada su capacidad para determinar cambios en la cobertura del suelo, se muestra como una herramienta de gran interés para su estimación. Son numerosos los autores que relacionan distintas características de la imagen de satélite con los diferentes grados de severidad [13,14,1,15,4].

En este trabajo, se propone como objetivo examinar la validez de uno de estos métodos, el de diferencia normalizada de NDVI [4] en dos grandes incendios del área mediterránea.

### 2. Área de estudio

El incendio de Almansa se sitúa en la porción más oriental de la provincia de Albacete, dentro del término municipal de Almansa y en la denominada Sierra de Almansa. La precipitación oscila alrededor de los 350 mm/año y su temperatura media anual es de 13,6°C. El piso bioclimático es el Mesomediterráneo apareciendo sus tres horizontes: Inferior, Medio y Superior. Puntualmente puede aparecer el Supramediterráneo. En cuanto al ombroclima, nos encontramos a caballo entre el Seco Inferior y el Semiárido Superior. La vegetación climática sería una mezcla de las asociaciones *Asparago acutifolii-Querceto rotundifoliae* y *Rubio longifoliae-Querceto rotundifoliae*. Actualmente, las comunidades están dominadas por pinares de *Pinus halepensis*. El incendio se inició el 17 de agosto de 2000, arrasando 1806 ha (cifra oficial).

El segundo incendio, tuvo lugar en Liétor, municipio situado al sur de la provincia de Albacete. La precipitación media en el área es de 335 mm, y la Tª media de 16,2° C. Climáticamente la zona se encuentra en el piso bioclimático Mesomediterráneo inferior, con ombroclima semiárido superior. La vegetación potencial pertenece a la serie *Rhamno lycioidis-Querceto cocciferae*. El estrato arbóreo está constituido por masas monoespecíficas de *Pinus halepensis*, con estructura de bosque semiabierto, que raramente supera 50-60% de cobertura. Pueden aparecer zonas en donde el vuelo arbóreo está ausente, dejando paso al matorral arbustivo y semiarbustivo, incluso a herbáceas vivaces como *Stipa tenacissima*. El incendio se detectó el 3 de agosto de 2000, quemando 1130 ha (cifra oficial).

### 3 Método

### 3.1 Teledetección

Para determinar la severidad de fuego mediante teledetección, se utilizaron 2 imágenes Landsat, adquiridas: 11/08/1998 y 9/09/2000. La primera procede del sensor TM y la segunda del ETM+.

Previo a su análisis las imágenes fueron ortorectificadas y geocodificadas [16], así como corregidas topográfica y radiométricamente [17]. Finalmente, y puesto que el proceso entrañaba comparación entre imágenes de diferente fecha y sensor, se realizó una normalización radiométrica [18].

De las imágenes resultantes se extrajo el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), íntimamente relacionado con la cobertura vegetal [20] y que demuestra ser uno de los que mejor caracteriza cambios en la vegetación cuando se compara con otros índices [18].

El método de diferencia normalizada de NDVI [4], consiste en restar al índice de la imagen previa al fuego ( $NDVI_{PREINCENDIO}$ ), el posterior ( $NDVI_{POSTINCENDIO}$ ), dividiéndolo por su suma:

$$D = \left[ \frac{(NDVI_{PREINCENDIO} - NDVI_{POSTINCENDIO})}{(NDVI_{PREINCENDIO} + NDVI_{POSTINCENDIO})} \right] \cdot 100$$

De este modo, se obtendrán: a) valores negativos, b) cero y positivos de baja magnitud y c) positivos de alta magnitud, grupo encontraremos a los píxeles quemados [4].

### 3.2. Trabajo de campo

Entendemos la medida de la severidad del fuego como un parámetro relativo [15], que nos indica la cantidad de cambio en relación con las condiciones previas de la vegetación, sin tener en cuenta el tipo de comunidad ecológica, localización, etc.

Así mismo, al igual que [2] y otros muchos autores, se establecen tres clases de severidad: *baja* (SB), *media* (SM) y *alta* (SA), más el nivel "no quemado". Para la descripción de cada una de ellas en campo, véase [4].

Bajo estas premisas, y utilizando técnicas de muestreo aleatorio simple, se ha estimado la severidad de fuego en el campo, en un total de 101 parcelas (69 en Almansa y 32 en Liétor). Las inspecciones se realizaron 1 y 2 años después de la extinción del fuego.

### 3.3. Comprobación

Para comparar los datos obtenidos por ambas vías, hemos utilizado matrices de contingencia, uno de los sistemas más empleados para confrontar datos procedentes de teledetección y campo [21], proporcionando el grado de acuerdo, global y por

clases de severidad.

Para el análisis de errores, se ha usado el grado de fiabilidad, tanto entre clases iguales como en el acuerdo global. En el primer caso, hemos optado por el acuerdo de usuario, ya que nos describe cómo de fielmente el mapa clasificado representa lo que realmente aparece en el terreno en cada clase [21]. También se ha deducido el intervalo de confianza donde se situará la fiabilidad real alcanzada por la clasificación. Finalmente, se ha aplicado el estadístico *Kappa* ( $\kappa$ ), que nos indica cuánto mejor ha sido el nivel de acierto obtenido con el método de clasificación empleado, con respecto al que se hubiese logrado si se hubiera hecho al azar.

## 4. Resultados.

### 4.1 Almansa

Los umbrales establecidos [4] para cada una de las clases de severidad SB, SM, SA son: (9-31), (32-55), (56-140). La matriz de acuerdo de estas parcelas con respecto al mapa, una vez clasificado, se muestra en la tabla 1.

El estadístico *Kappa* ( $\kappa$ ) en esta matriz, es 0,73, lo que significa que la clasificación es un 73% mejor que lo esperable aleatoriamente.

Observando la tabla 1, comprobamos que los mejores resultados se obtienen en la SA (95,83%), encontrando, tan solo, 1 parcela erróneamente clasificada, determinada en el campo como de SM. Le sigue en fiabilidad la SB (acuerdo del 87,50%). 2 son las parcelas que el método asigna erróneamente a esta clase y que pertenecen a la SM. Finalmente, la SM tiene el acuerdo más bajo, con 65,38%, habiéndose asignado 7 parcelas a SB y otras 2 a SA, de un total de 26 clasificadas. El acuerdo global es del 81,16%, con un intervalo de confianza de  $\pm 6,37$ .

### 4.2 Liétor

Los umbrales que corresponden a cada clase de severidad [4], son: 14-29 para la SB, 30-43 para la SM y 44-150 para la SA. En la matriz de contingencia de la tabla 2, observamos el acuerdo final obtenido (81,25). Por otro lado, el *Kappa* ( $\kappa$ ) indica que la clasificación es un 74% mejor que lo esperable aleatoriamente ( $\kappa = 0,74$ ).

Observamos que el acuerdo en las SA y SB es el máximo (100%). En cuanto a la SM, su acuerdo es del 54,55%, habiendo clasificado 5 parcelas erróneamente de un total de 11: 2 que corresponden a la SB y 3 a la SA. El acuerdo global es del 81,25%, con un intervalo de confianza de  $\pm 4,33$ .

## 5. Discusión

Como se aprecia en las tablas 1 y 2, aparecen una serie de parcelas erróneamente clasificadas por el método. Las razones pueden ser las siguientes:

En el caso de las parcelas cuya severidad se ha sobreestimado (asignadas por el método a una clase superior a la determinada por el proceso de campo), la cause puede estar la asincronía entre trabajo de campo y adquisición de la imagen, pudiendo haberse recuperado el ecosistema mucho mejor de lo esperado, enmascarando la gravedad inicial de la severidad del fuego. Por otro lado, algunos autores [15], señalan que el análisis de imágenes adquiridas poco después de extinguirse el fuego, puede sobreestimar determinadas severidades.

Por otro lado, las parcelas subestimadas (caso inverso), también puede ser debido a la asincronía de procesos. Así, una parcela puede quedar con parte de su cubierta verde tras el paso de las llamas y el sensor, por tanto, determinarla como ligeramente quemada. Sin embargo, puede no estar en condiciones de mantenerse o recuperarse y fenecer poco después. Otra explicación válida para ambos casos, es que, en ocasiones, las severidades dentro de una parcela están compuestas por mezclas de éstas, pudiendo, desde el punto de vista de observador, en el campo, tener una imagen diferente a la obtenida desde el sensor [12].

Apreciamos que la SM es la que tiene el acuerdo más bajo. Autores como [5], hablan de esta clase como "amplia", ya que sus límites superiores e inferiores pueden ser flexibles y subjetivos.

A modo de comparación, otros autores en trabajos similares, obtienen: [1] acuerdos del 77,5%, 56,0% y 38,5% para SB, SM y SA, y un 63,0% como acuerdo global, utilizando una clasificación de la banda TM 7 de Landsat en Glacier Nat. Park (EE.UU). [12] estudian 7 incendios producidos en EE.UU. (en Oregón, Utah, Colorado y California) y encuentran acuerdos del 61, 53 y 67% (SB, SM, SA), y del 60% como global, utilizando umbrales del NBR en una imagen, y 36, 42 y 68% (con 50% de acuerdo global), si aplican una diferencia multitemporal del NBR. [22] obtienen un acuerdo global superior al 87% (no especifican el acuerdo por clase de severidad), utilizando el método de diferencia de NDVI en un incendio en Nattai National Park (Australia). Comprobamos que los resultados obtenidos por el método examinado, son similares, e incluso mejores en la clase SA, la más importante, a la hora de conocer las consecuencias del fuego.

Así, el mapa obtenido podría ser de gran interés para la gestión forestal postincendio [10,11,3,4], ya que se dispone de una cartografía que delimita áreas con mayores necesidades de actuación, reduciendo sustancialmente el área de trabajo, optimizando, de esta forma, los recursos de

los que se dispone. Este mapa, a su vez, puede ser combinado con otros de forma que se discrimine, todavía más, aquellas áreas más vulnerables [4].

## 6. Conclusiones

- El método de diferencia normalizada de NDVI obtiene, en los incendios evaluados, resultados similares e incluso mejores a los encontrados por otros autores con otros métodos, especialmente en la clase SA, la más agresiva y determinante de las graves consecuencias del fuego.
- Los valores umbral que definen los rangos de cada nivel de severidad no son constantes, variando en cada caso de estudio, indicando que cada incendio deberá ser tratado como un caso particular.
- El mapa resultado puede ayudar a planificar las tareas de gestión postincendio forestal, optimizando y ahorrando los recursos disponibles.

## 7. Referencias

- [1] White JD, KC Ryan, CC Key and SW Running, 1996. Remote Sensing of Forest Fire Severity and Vegetation Recovery. *Int. J. Wild. Fire*, 6: 125-136.
- [2] Ryan KC, and NV Noste, 1983. *Evaluating prescribed fires*. In: *Wilderness Fire Sympos.*, Missoula, Mont., Nov. 15-18. pp: 230-238.
- [3] Key CH and NC Benson 2004a. *Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index*. In: 'FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System'. (D.C. Lutes; R.E. Keane; J.F. Caratti; C.H. Key; N.C. Benson; L.J. Gangi) General Tech Report RMRS-GTR-XXX, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, in press.
- [4] Ruiz-Gallardo JR, S Castaño and A Calera, 2004. Application of Remote Sensing and GIS to locate priority intervention areas after wildland fires in Mediterranean systems: a case study from SE Spain. *Int. J. Wildland Fire*, 13: 241-252.
- [5] Ryan KC, 2002. Dynamic Interactions between Forest Structure and Fire Behavior in Boreal Ecosystems. *Silva Fennica*, 36: 13-39.
- [6] McNabb, DH and FJ Swanson, 1990. *Effects on fire on soil erosion*. In : *Natural and prescribed fire in Pacific Northwest forests*. Walstad, JD ed. Corvallis, OR: Oregon State University Press. 159-176.
- [7] Robichaud, PR, 2000. *Forest Fire Effects on Hillslope Erosion: What We Know*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Moscow, Idaho. Internal Report.
- [8] Benavides-Solorio, J de D, L. Macdonald and J Pietrzak, 2002. *Measuring and Predicting*

- Post-fire Erosion Rates at the hillslope scale, Colorado Front Range.* Denver Annual Meeting. Geomorphic Impacts of Wildfire
- [9] Pierson, FB, DH Carlson, and KE Spaeth, 2002. Impacts of wildfire on soil hydrological properties of steep sagebrush-steppe rangeland. *Int. J. Wildland Fire*, 11: 145-151
- [10] USDA, 1976. *Crum Canyon Fire Emergency Rehabilitation Report*. Entiat Ranger District, Wenatchee Nat. For, Wenatchee, Washington.
- [11] Isaacson, DL, Smith, HG and Alexander, CJ, 1982. Erosion hazard reduction in a wildfire damaged area. In: *Remote Sensing for Resource Management*, (Johannsen and Sanders Eds.). Soil Conservation Society of America. Ankeny. 179-190.
- [12] Bobbe, T, MV Finco, B Quayle, K Lannom, R Sohlberb, and A Parsons, 2001. Field Measurements for the Training and Validation of Burn Severity Maps from Spaceborne, Remotely Sensed Imagery. Final Project Report. Joint Fire Science Program-2001-2. USDA Forest Service, Salt Lake City, Utah.
- [13] Milne, AK, 1986. The use of Remote Sensing in mapping and monitoring vegetational change associated with bushfire events in Eastern Australia. *Geocarto Int.*, 1: 25-32.
- [14] Kushla JD and WJ Ripple, 1998. Assessing wildfire effects with Landsat Thematic Mapper Data. *I. J. Rem Sens*, 19: 2493-2507.
- [15] Key CH and NC Benson 2004b. *Landscape Assessment: Remote sensing of Severity, the Normalized Burn Ratio*. In: 'FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System'. (D.C. Lutes; R.E. Keane; J.F. Caratti; C.H. Key; N.C. Benson; L.J. Gangi) General Tech Report RMRS-GTR-XXX, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, *in press*.
- [16] Palà, V and X Pons, 1995. Incorporation of relief into geometric corrections based on polynomials. *PE&RS*, 61: 935-944.
- [17] Pons, X and L, Solé-Sugrañes, 1994. A Simple Radiometric Correction Model to Improve Automatic Mapping of Vegetation from Multispectral Satellite Data. *Remote Sensing of Environment*, 48: 191-204.
- [18] Schott, JR, 1997. *Remote sensing: the image chain approach*. Oxford University Press. NY
- [19] Lyon JG, D Yuan, RS Lunetta, CD Eldvidge, 1998. A Change Detection Experiment Using Vegetation Index. *PE&RS*, 64: 143-150.
- [20] Calera A, C Martinez and J Melia, 2001. A procedure for obtaining green plant cover: relation to NDVI in a case study for barley. *Int. J. Rem. Sens*. 22: 3357-3362.
- [21] Congalton, R., 2001. Accuracy assessment and validation of Remotely Sensed and other spatial information. *Int. J. Wildland Fire*, 10:321-328.
- [22] Shakesby, RA, CJ Chafer, SH Doerr, WH Blake, P Wallbrink, GS Humphreys and BA Harrington, 2003. Fire severity, water repellency characteristics and hydrogeomorphological changes following the Christmas 2001 Sydney forest fires. *Australian Geographer*, 34: 147-175.

Tabla 1: Matriz de correlación entre las 69 parcelas examinadas en el incendio de Almansa. Junto al acuerdo global, se ha incluido el intervalo de confianza para una probabilidad de acuerdo del 95%.

CAMPO SENSOR	NO QUEMADO	SEVER. BAJA	SEVER. MEDIA	SEVER. ALTA	TOTAL	ACUERDO %
NO QUEMAD	2	1			3	66,67
SEV BAJA		14	2		16	87,50
SEV MEDIA		7	17	2	26	65,38
SEV. ALTA			1	23	24	95,83
<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>22</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>69</b>	<b>81,16 (±6,37)</b>

Tabla 2: Matriz de contingencia de las 32 parcelas examinadas en el incendio de Liétor y el mapa clasificado. Junto al acuerdo global se ha incluido el intervalo de confianza para una probabilidad de acuerdo del 95%.

CAMPO SENSOR	NO QUEMADO	SEVER. BAJA	SEVER. MEDIA	SEVER. ALTA	TOTAL	ACUERDO %
NO QUEMAD	4	1			5	80,00
SEV BAJA		6			6	100,00
SEV MEDIA		2	6	3	11	54,55
SEV. ALTA				10	10	100,00
<b>TOTAL</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>13</b>	<b>32</b>	<b>81,25 ±4,33</b>