

## Un nuevo algoritmo para la cartografía de áreas quemadas a partir de información NIR, SWIR y TIR.

González-Alonso, Federico<sup>1, a</sup>; Merino-de-Miguel, Silvia<sup>b</sup>; Cuevas, José M.<sup>a</sup>

<sup>(a)</sup>Laboratorio de Teledetección – CIFOR – INIA, Ctra. A Coruña km 7.5 Madrid 28040, España.

<sup>(b)</sup>EUIT Forestal – Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria s/n Madrid 28040, España.

### RESUMEN

El presente trabajo muestra una estimación de las superficies afectadas en Galicia (España) por los incendios forestales de agosto de 2006. Se ha utilizado una imagen AWiFS (21/agosto), anomalías térmicas de MODIS (1-20/agosto) y una serie de datos y mapas auxiliares. La metodología desarrollada, que combina datos de los dos sensores de forma sinérgica, permitió la producción de mapas de áreas quemadas de gran detalle. Los resultados alcanzados muestran que la metodología desarrollada puede ser de gran interés en la producción de cartografía de áreas quemadas de escalas regionales y nacionales.

Palabras claves: teledetección, cartografía áreas quemadas, incendios forestales.

### ABSTRACT

This work concerns an estimation of burned areas in Galicia (North-West Spain) due to forest fires occurred during August 2006. The study presented herein uses an image from the AWiFS sensor (21<sup>st</sup> of August), MODIS hotspot data (1-20<sup>th</sup> of August) as well as ancillary maps and information. Developed methodology, that synergistically combined two methods used for burn mapping: BAIM (Burned Area Index) estimation and hotspot detection, allowed the production of detailed burn maps. Reached results showed that this method would be of great interest at regional to national scales.

Keywords: remote sensing, burn mapping, wildfires.

### Introducción

Los incendios forestales son uno de los problemas medioambientales y de seguridad más importantes de los países Mediterráneos del sur de Europa. En este área geográfica, los veranos son calurosos y secos lo que, unido al incremento de combustibles por abandono del medio rural, está llevando a un notable incremento del área afectada por incendios forestales. Los incendios forestales causan importantes pérdidas económicas, sociales y medioambientales. Además de destruir notablemente el paisaje y los ecosistemas, los incendios forestales constituyen una importante fuente del principal gas de efecto invernadero (dióxido de carbono), lo que repercute en el calentamiento de

la atmósfera y en la alteración del sistema climático global.

La utilización de métodos tradicionales para la cartografía del área afectada por incendios forestales es cara y lenta. La evaluación y cartografía de dichas áreas mediante técnicas de teledetección presenta en cambio notables ventajas, por lo que se están utilizando cada vez más para abordar este problema.

Las estimaciones realizadas mediante técnicas de teledetección son rápidas, fiables y económicamente viables, lo que permite además el establecimiento de sistemas de respuesta rápida. Por otra parte, estos mapas pueden combinarse con información sobre la pendiente o el tipo de suelo con el objetivo de establecer áreas

---

<sup>1</sup> Contacto autor: Te: +34 91 347 6828

Correo electrónico: alonso@inia.es

Copyright: Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

de intervención prioritaria y planificar adecuadamente los trabajos de restauración (González-Alonso et al., 2007).

Entre los métodos que existen para cartografiar superficies quemadas mediante teledetección, destacan los siguientes (Koustias et al., 1999): (i) establecimiento de umbrales a partir de bandas originales o índices, (ii) clasificación supervisada de las bandas originales o índices, (iii) clasificación no-supervisada, (iv) análisis multivariante de las bandas originales, (v) análisis de mezclas espectrales, (vi) análisis de series temporales, etc. Entre todos ellos se ha elegido una variante del establecimiento de umbrales a partir de índices.

El objetivo del trabajo que se presenta consiste en estimar y cartografiar las áreas afectadas por los incendios forestales ocurridos en Galicia durante la primera quincena del mes de agosto de 2006. Para llevar a cabo dicho trabajo se ha utilizado información procedente del sensor Resourcesat-1 – AWiFS (Advanced Wide Field Sensor) y del sensor Terra/Aqua – MODIS (MODerate resolution Imaging Spectrometer) tal y como se explica en la sección ‘Material’.

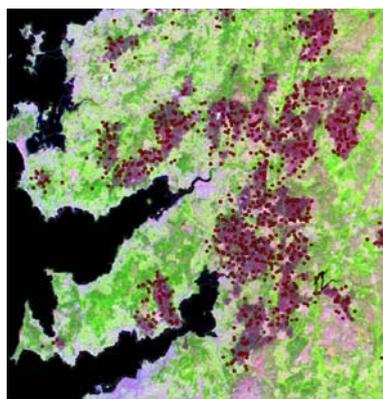
En particular, la imagen AWiFS fue utilizada para obtener una variante del índice BAIM (MODIS Burned Area Index), (Martín et al., 2005) que sirvió a su vez para obtener un mapa de quemado – no-quemado. Los datos MODIS, que consistieron en series temporales de anomalías térmicas o hotspots, fueron utilizados en dos tareas: (i) establecer el umbral de BAIM que separaba quemado de no-quemado, y (ii) eliminar errores de comisión, tal y como se explica en la sección ‘Métodos’.

## Material

Para llevar a cabo el presente trabajo se utilizaron tres fuentes de información: (i) una imagen de satélite post-incendio, (ii) una serie temporal de anomalías térmicas o hotspots y (iii) una serie de mapas y datos auxiliares.

Se utilizó una única imagen de satélite del sensor AWiFS (a bordo del satélite indio Resourcesat-1) captada el 21 de agosto de 2006 (Fig. 1). También se utilizaron datos MODIS hotspot correspondientes a los 20 primeros días de agosto de 2006 (Fig. 1). ‘AWiFS es un sensor único, capaz de proporcionar datos a 56m de resolución espacial, con cinco días de resolución temporal’ (Kulkarni et al., 2006) y en cuatro bandas espectrales (Tabla 1). MODIS es un sensor de alta resolución temporal que se encuentra a bordo de los satélites Terra y Aqua de la NASA, captando información en más de 30 canales de

resolución espacial variable, dos de los cuales (de 1000m de tamaño de píxel) son canales térmicos utilizados en la producción de datos hotspot.



**Fig. 1.** Detalle de la imagen AWiFS utilizada con superposición de los hotspots de MODIS.

Los datos de anomalías térmicas de MODIS, tal y como fueron facilitados por el MODIS Land Team de la NASA, consistieron en una serie de archivos de texto (uno por día), cada uno de los cuales presentaba un registro por cada anomalía detectada. A cada hotspot se encontraba asociada la siguiente información: localización (longitud y latitud), fecha, hora, nivel de confianza de la estimación y satélite que había realizado la detección (Terra o Aqua). Para el área geográfica de Galicia (cerca de tres millones de hectáreas), y correspondiendo a los 20 primeros días de Agosto, fueron detectados 3,340 hotspots.

**Tabla 1.** Resolución espectral del sensor AWiFS

Banda	Resolución espectral (nm)
B2 – verde	520-590
B3 – rojo	620-680
B4 – NIR	770-860
B5 – SWIR	1550-1700

Los mapas y datos auxiliares utilizados consistieron en: (i) un modelo digital de elevaciones que se utilizó en el pre-procesado de la imagen AWiFS y (ii) una cobertura CORINE Land Cover 2000 (CLC2000) que se utilizó para cons-

truir una máscara de 'quemable – no-quemable'.

## Métodos

### Pre-procesado de la imagen AWiFS

Con el fin de obtener una imagen adecuada al procesado posterior, tuvieron que realizarse correcciones radiométricas y geométricas sobre la imagen AWiFS original. Las correcciones radiométricas consistieron en realizar la calibración del sensor (conversión de los números digitales en valores de radiancia) para a continuación estimar reflectancias. No se realizaron correcciones atmosféricas.

Las imágenes de reflectancia 'top-of-atmosphere' resultantes fueron entonces corregidas geométricamente (orto-rectificadas) para lo que se utilizó un modelo digital de elevaciones (de 25m de resolución espacial) y los ficheros 'RPC' (archivos de calibración geométrica). El pre-procesado de la imagen se realizó utilizando el software ENVI 4.2.

### Estimación de la superficie afectada

La metodología empleada en la cartografía de las áreas quemadas consta de los siguientes pasos: (i) cálculo del índice BAIM, (ii) determinación del umbral de BAIM que separara área quemada de no quemada, (iii) aplicación de una máscara derivada del CLC2000 y (iv) análisis de coincidencia con hotspot para la producción final del mapa de áreas quemadas. En el tratamiento de la imagen y de la información se utilizaron ENVI 4.2 y ArcView 3.2.

El índice de área quemada (BAIM) se diseñó específicamente para la discriminación de áreas afectadas por el fuego. 'Este índice se calcula a partir de la distancia espectral de cada píxel a un valor de referencia, valor al cual convergen las áreas recientemente afectadas por el fuego' (Chuvieco et al., 2002). Dicho índice tiene la siguiente expresión:

$$BAIM = 1/((\rho_{nir} - \bar{\rho}_{nir})^2 + (\rho_{swir} - \bar{\rho}_{swir})^2) \quad (1)$$

Siendo,  $\bar{\rho}_{nir}$  y  $\bar{\rho}_{swir}$ , las reflectancias de referencia en el infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR), respectivamente. Y siendo,  $\rho_{nir}$  y  $\rho_{swir}$ , las reflectancias píxel en las mismas bandas. Las reflectancias de referencia se obtuvieron mediante análisis estadístico de píxeles quemados de las bandas NIR y SWIR de la imagen post-fuego AWiFS. Para ello, se digitalizaron más de 150 áreas de entrenamiento utilizando para ello tanto combinaciones RGB de

las bandas originales como los índices espectrales NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y NBR (Normalized Burn Ratio Index). En particular, se asignó como reflectancia de referencia en el NIR ( $\bar{\rho}_{nir}$ ) el percentil del cinco por ciento de la reflectancia en el NIR y, como reflectancia de referencia en el SWIR ( $\bar{\rho}_{swir}$ ) el percentil del 95 por ciento de la reflectancia en el SWIR.

El establecimiento del umbral de BAIM que separa área quemada de no quemada estuvo basado en la búsqueda de la mejor correlación entre 'área quemada' y 'número de hotspots acumulados de MODIS' para distintos tamaños de malla (de 1, 2, 3 y 4km de lado). El 'área quemada' se estableció convirtiendo a vectorial la imagen binaria resultante de aplicar cierto umbral de BAIM, y conservando únicamente aquellos polígonos que contuvieran, al menos, un hotspot. Los valores de BAIM utilizados para dicho análisis fueron: 80, 83, 85, 90, 95 y 100. Los mejores resultados, en términos de coeficiente de determinación, se obtuvieron para un umbral BAIM de 90, independientemente del paso de malla utilizado (Tabla 2). La aplicación de dicho umbral sobre la imagen BAIM original produjo un mapa de 'quemado – no-quemado'.

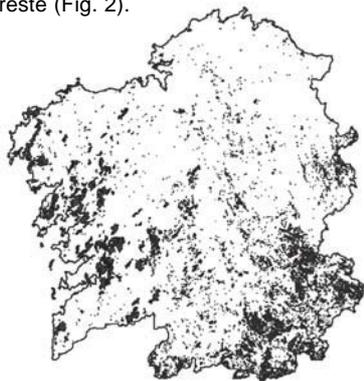
El mapa 'quemado – no-quemado' resultante se mejoró mediante aplicación de una máscara derivada del CLC2000. Es evidente que una buena cartografía de áreas quemadas no puede incluir láminas de agua, zonas urbanas o zonas sin vegetación, para lo que se aplicó dicha máscara. La imagen 'quemado – no-quemado' mejorada se convirtió a formato vectorial (capa de polígonos).

**Tabla 2.** Coeficientes de determinación entre valores de 'área quemada' y 'número de hotspots' para distintos umbrales BAIM y distintos pasos de malla.

BAIM	1x1km	2x2km	3x3km	4x4km
80	41.16	59.63	66.62	70.22
83	43.38	63.25	71.04	74.81
85	44.85	65.69	74.02	78.63
90	45.80	67.71	76.58	81.33
95	45.07	67.02	76.18	80.98
100	44.29	66.37	75.24	80.61

La capa de polígonos resultante del paso anterior se superpuso a una composición RGB de la imagen AWiFS con el objetivo de realizar un análisis visual de posibles errores de omisión y comisión. Galicia es un extenso territorio en el que, en sus alrededor de 3 millones de hectáreas, podemos encontrar ecosistemas que van

desde los asociados al clima Atlántico hasta los más Mediterráneos. Esta variabilidad espacial dio lugar a la aparición de una 'excelente delimitación' de las manchas quemadas cercanas a la costa oeste, pero también a una 'fuerte aparición de errores de comisión' en las zonas del sureste (Fig. 2).

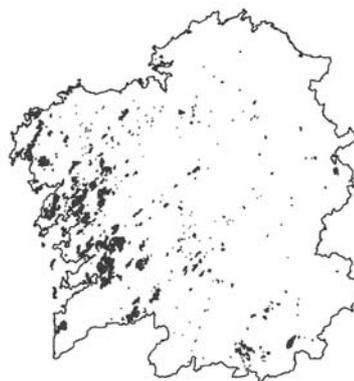


**Fig. 2.** Polígonos con un valor de BAIM mayor que 90 (formato vectorial).

Sin embargo, y tal y como se observa en la Fig. 1, la mayor parte de las manchas quemadas de la escena AWiFS presenta además un importante número de hotspots en su interior. Esta circunstancia motivó el último paso en la producción de la cartografía de áreas afectadas: la utilización de la localización de hotspots para la eliminación de los posibles errores de comisión así como la eliminación de polígonos de muy pequeño tamaño (Fig. 3). Un último análisis visual sirvió para recuperar aquellos polígonos que, apareciendo claramente afectados por el fuego, habían sido descartados por no contener ningún hotspot. Esta última operación dio lugar al mapa final de áreas afectadas por el fuego (Fig. 4).



**Fig. 3.** Polígonos con un valor de BAIM mayor que 90 y conteniendo al menos un hotspot (formato vectorial).



**Fig. 4.** Mapa final de área afectada por el fuego compuesto por: (i) polígonos con un valor de BAIM mayor que 90 y conteniendo al menos un hotspot y (ii) polígonos recuperados manualmente.

## Resultados

El mapa final de área afectada por el fuego (Fig. 4) corresponde a toda la superficie quemada en Galicia durante la campaña 2006 hasta el 21 de agosto. El área total se ha cifrado en 93,261 hectáreas, más del tres por ciento del territorio gallego. Aunque no se realizó validación mediante datos externos (datos de campo, perímetros GPS, etc.), un análisis visual exhaustivo permite concluir que el resultado alcanzado fue bastante satisfactorio.

También conviene recordar que la cifra alcanzada en el presente trabajo de investigación resulta bastante acorde con las ofrecidas por los organismos oficiales. En particular, el Ministerio de Medio Ambiente (Ministerio de Medio Ambiente, 2006) cifra en 92,941 hectáreas la superficie afectada en Galicia hasta el 1 de octubre, mientras que para la Xunta de Galicia (Xunta de Galicia, 2007) el área afectada para todo el 2006 es de 93,887 hectáreas.

## Conclusiones

La estimación y cartografía de áreas quemadas a partir de datos AWiFS y MODIS ha resultado rápida y fiable. El uso del índice de área quemada BAIM (calculado a partir de datos AWiFS) en combinación con la información relativa a anomalías térmicas (derivada de las bandas térmicas de MODIS) en la generación de la cartografía de las áreas afectadas por el fuego, es una metodología innovadora e inte-

resante por los motivos siguientes: (i) el pre-procesado y procesado de los datos ha sido rápido, (ii) no precisa datos de campo, (iii) apenas necesita de decisiones basadas en la opinión del experto (método objetivo) y (iv) ha resultado de exitosa aplicación a escala regional (Galicia, tres millones de hectáreas).

### Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Instituto Geográfico Nacional (IGN), por proporcionar la cobertura CORINE Land Cover 2000, así como al MODIS Ground Team de la NASA, por la cesión de datos MODIS hotspot.

### Referencias

- Chuvieco, E., Martín, M. P., Palacios, A. 2002. Assessment of different spectral indices in the red – near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *Int. J. Remote Sensing* 23(23): 5103-5110.
- González-Alonso, F., Merino-de-Miguel, S., Rolán-Zamarrón, A., García-Gigorro, S., Cuevas, J. M. 2007. MERIS Full Resolution data for mapping level-of-damage by forest fires: the Valencia de Alcántara event in August 2003. *Int. J. Remote Sensing* 28(3-4): 797-809.
- Koustias, N., Karteris, M., Fernández-Palacios, A., Navarro, C., Jurado, J., Navarro, R., Lobo, A. 1999. Burnt land mapping at local scale. En: E. Chuvieco ed. *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*. Berlin: Springer; 157-187.
- Kulkarni, A. V., Singh, S. K., Mathur, P., Mishra, V. D. 2006. Algorithm to monitor snow cover using AWiFS data of RESOURCESAT-1 for the Himalayan region. *Int. J. Remote Sensing* 27(12): 2449-2457.
- Martín, M. P., Gómez, I., Chuvieco, E. 2005. Performance of a burned-area index (BAIM) for mapping Mediterranean burned scars from MODIS data. En: De la Riva, J., Pérez-Cabello, F. y Chuvieco, E. editores. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Workshop on Remote Sensing and GIS applications to Forest Fire Management: Fire Effects Assessment*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza; 193-197.
- Ministerio de Medio Ambiente. 2006. *Incendios forestales en España 2006*. Avance Informativo. Madrid, España.  
<http://www.incendiosforestales.org>.
- Xunta de Galicia. 2007. *Datos sobre superficies quemadas en 2006*. Galicia, España.  
[http://mediorural.xunta.es/forestal/Datos\\_incendios/index.php](http://mediorural.xunta.es/forestal/Datos_incendios/index.php).