

Algoritmos de estimación de superficies quemadas a partir de compuestos MODIS.

González-Alonso, F., Merino-de-Miguel, S., Roldán-Zamarrón, A., García-Gigorro, S. y Cuevas, J.M.

Laboratorio de Teledetección CIFOR-INIA (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria). Ctra. A Coruña, km 7.5. 28040 Madrid. alonso@inia.es; smerino@inia.es.

Resumen

El presente trabajo muestra la aplicación de diversos algoritmos de estimación de superficies quemadas sobre compuestos MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer). El compuesto elegido es el MOD09A1, de 8 días. Los algoritmos de detección están basados en la estratificación del área de estudio, seguida de la aplicación de diversos umbrales sobre bandas e índices espectrales, para acabar con una asignación automática a la clase 'quemado' o 'no quemado'. Entre los índices utilizados hay que destacar el NBR (Normalized Burnt Ratio) y el BAI (Burned Area Index)-MODIS y derivados. La estimación de la bondad del método ha sido calculada utilizando una imagen Landsat5-TM sobre la que se ha aplicado un método alternativo de detección de superficies quemadas.

1. Introducción

Los incendios forestales constituyen una de las principales amenazas de los ecosistemas mediterráneos. Además de las causas naturales derivadas del clima, este fenómeno se ve agravado por el abandono del medio rural o por las nuevas pautas de ocio de los habitantes del medio urbano. Independientemente de las causas, es un hecho que los incendios forestales destruyen cada año miles de hectáreas, liberando además grandes cantidades de CO₂, un importante gas de efecto invernadero.

La importancia económica y social de los incendios forestales pone de manifiesto la necesidad de buscar herramientas fiables y rentables que permitan hacer estimaciones en torno a estos fenómenos: cuánto, qué, dónde, etc. La teledetección, por sus particulares características de amplia cobertura, objetividad y bajo coste por unidad de superficie, se encuentra especialmente bien posicionada a este respecto.

El presente artículo trata uno de los aspectos más importantes en el estudio de los incendios forestales mediante teledetección: la determinación

de la superficie quemada. Son muchos los trabajos científicos y técnicos publicados al respecto, y amplísimos los enfoques y los tipos de imágenes que se han empleado (una revisión de los mismos está fuera del alcance de este artículo). Para el presente trabajo se ha elegido un sensor de resolución media (500m), MODIS, muy adecuado para escalas nacionales y regionales, y una serie de algoritmos que primero estratifican el territorio, luego establecen umbrales y por último, clasifican en 'quemado' y 'no quemado'. La bondad de los distintos métodos empleados ha sido calculada mediante una imagen Landsat5-TM, procesada por un método alternativo de estimación de superficies quemadas y considerada como 'verdad-terreno'.

2. Material

En el presente trabajo se ha empleado un compuesto MOD09A1 y una escena Landsat5-TM. Del primero se ha procesado una región de 150x150km situada en el suroeste de la península Ibérica; de la segunda, una sub-región que cubre la zona afectada por el incendio de Riotinto (Huelva y Sevilla), ocurrido entre el 27 y el 30 de julio 2004. Además se han utilizado datos de campo de una campaña post-fuego llevado a cabo en Riotinto. Por último, se ha empleado la cobertura CORINE Land Cover 2000 para la construcción de una máscara forestal.

El compuesto MOD09A1 está formado por las 7 primeras bandas del sensor Terra-MODIS, todas ellas con resolución espacial de 500m. Se trata de un producto elaborado a partir de 8 imágenes diarias de reflectancias de superficie según un criterio de mínima contaminación por nubes. El compuesto MOD09A1 utilizado, que corresponde al periodo del 27 de julio al 3 de agosto 2004, ha sido obtenido a través de EOS Data Gateway (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>). La escena Landsat5-TM es del día 31 de julio 2004.

La campaña de muestreo post-fuego tuvo lugar en octubre 2004. Se muestrearon 54 puntos, tomando en cada uno: coordenadas GPS,

fotografías y una estimación visual de la severidad en 4 niveles (no-afectado, baja, moderada, alta).

3. Métodos

3.1. Procesado de la imagen Landsat5-TM

La escena Landsat5-TM fue primero corregida geoméricamente y después calibrada, es decir, los ND originales fueron transformados en reflectancias 'top of atmosphere'. No se realizaron correcciones atmosféricas por tratarse de un estudio mono-temporal.

Sobre la imagen corregida geoméricamente y calibrada se realizó un análisis tipo Matched Filtering (MF). Este método asigna a cada píxel un valor de probabilidad de pertenencia a una cierta clase en función de la información espectral introducida por el experto. En el presente trabajo, dicha información procede de los píxeles sobre los que se encontraban parcelas de campo clasificadas como 'completamente quemadas' (severidad alta).

El siguiente paso consistió en aislar, dentro del resultado arrojado por el MF, la superficie afectada por el incendio de Riotinto. Para ello, se estableció un umbral a partir del cual se considera que un píxel no está quemado. Se tomó como umbral el mínimo relativo en el histograma de frecuencias que resulta del MF. Finalmente se extrajo una sub-escena conteniendo el incendio.

La sub-escena Landsat5-TM resultante fue utilizada como 'verdad-terreno' para comparar los resultados alcanzados al procesar MOD09A1. Sin embargo, existe una gran diferencia en cuanto a la resolución espacial de una y otro. Por ello, el último paso consistió en transformar el resultado del MF sobre Landsat5-TM en una imagen de resolución 500m, en la que cada píxel representa el porcentaje de píxeles Landsat clasificados como 'quemados' en su interior. Dicha imagen (Figura 1) toma valores entre 0 y 100.

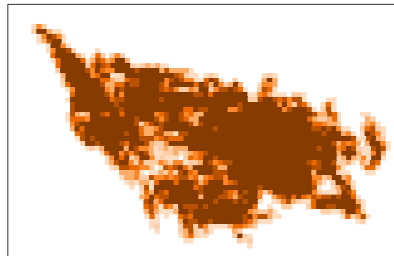


Figura 1: Landsat5-TM procesada y remuestreada a píxel MODIS (500m).

3.2. Procesado del compuesto MOD09A1

Mediante el EOS Data Gateway de la NASA se pueden descargar entre otros productos, los compuestos MOD09A1. Dicho compuesto se encuentra distribuido por ventanas de algo más de 1100x1100km y en proyección Sinusoidal. Una vez localizada la fecha y ventana de interés (España se reparte entre 4 ventanas), se descargó y reproyectó al sistema de referencia de trabajo: UTM - huso30 - WGS84. En este caso se conservó una ventana de trabajo bastante amplia, aunque las validaciones del método se realizaron posteriormente en el entorno del incendio de Riotinto. Los valores de MOD09A1, que representan 'reflectancias de superficie', no fueron modificados. A las 7 bandas que forma el compuesto se añadió el NBR [1], calculado como $(\rho_{swir} - \rho_{irc}) / (\rho_{swir} + \rho_{irc})$, donde ρ_{swir} es la reflectancia en el infrarrojo medio de onda corta (SWIR, banda 7) y ρ_{irc} es la reflectancia en el infrarrojo cercano (IRC, banda 2). Las fechas del compuesto elegido son un aspecto clave, ya que la respuesta espectral del evento a estudiar puede verse atenuada. La gran ventaja de este tipo de compuestos radica en la práctica eliminación de las nubes y otros artefactos.

Sobre el compuesto MOD09A1 se aplicaron 4 métodos distintos que se explican a continuación. Estos métodos se basan mayoritariamente en la aplicación de pasos sucesivos: estratificación, cálculos de índices, establecimiento de umbrales y asignación automática a la clase 'quemado' o 'no quemado'.

3.2.1. Algoritmo LATINIA

El algoritmo LATINIA (Laboratorio de Teledetección del INIA) comienza con la división del territorio a estudiar en ventanas de 50x50km. Esta división se justifica desde el punto de vista de la variedad de condiciones ambientales y climatológicas que sin duda afectan a la respuesta espectral de la vegetación sana y quemada. También se justifica desde el punto de vista del diseño del algoritmo LATINIA que intenta ser un método de cartografía de áreas quemadas para escalas nacionales, para la que esta variedad espectral es más que notable. En el caso de España, esta división ha dado lugar a 257 ventanas, de las que se han estudiado 9. Sobre cada una de éstas se aplicaron los siguientes pasos:

- Paso 1: determinación de píxeles forestales (a partir de la cobertura CORINE Land Cover 2000): condición 1.

- Paso 2: determinación del valor medio (m) y desviación típica (σ) de la reflectancia en el IRC para los píxeles que cumplen la condición 1. Cálculo del umbral-1: $m - \sigma$. Aplicación del umbral-1 sobre la banda del IRC, conservando por un lado los píxeles con reflectancia menor que dicho umbral (condición 2), y por otro aquellos con reflectancia mayor o igual (condición 3).
- Paso 3: determinación del valor medio del NBR (umbral-2) para los píxeles que cumplen la condición 2. Aplicación del umbral-2 (o '0' si resultase negativo) sobre la banda NBR, conservando los píxeles que tuvieran un valor de NBR mayor que dicho umbral: condición 4.
- Paso 4: clasificación supervisada por el método de máxima verosimilitud de la ventana de trabajo utilizando la 'condición 4' para entrenar la clase 'quemado' y la 'condición 3' para entrenar la clase 'no quemado'. En el proceso de clasificación intervienen las bandas 1 (rojo), 2 (IRC) y 7 (IRM) del MOD09A1 y el NBR.

El último paso consistió en hacer un mosaico con todas las ventanas, obteniéndose una cartografía de áreas quemadas.

3.2.2. Algoritmo LATINIA - paralelepípedo

Este algoritmo es similar al anterior hasta el paso 3, es decir, hasta la extracción del conjunto de píxeles que se ha denominado 'condición 4'. Estos píxeles son utilizados para conocer la estadística de las 7 bandas de MOD09A1 para una muestra que, en función de los condicionantes que la han originado, puede considerarse como 'muy afectada' por el incendio. De estas estadísticas, se conservan media (m) y desviación típica (σ) y se construyen 7 intervalos $m \pm 2 \cdot \sigma$. El siguiente paso consiste en la aplicación de estos intervalos sobre las 7 bandas y la sucesiva intersección de lo que resulta. Finalmente se realiza el mosaico de todas las ventanas, obteniéndose una segunda cartografía de áreas quemadas.

3.2.3. Algoritmo LATINIA-BAI-MODIS

El algoritmo LATINIA-BAI-MODIS parte, al igual que el anterior, de los píxeles que cumplen la 'condición 4'. La información espectral de dichos píxeles es entonces utilizada para construir una variante del índice BAI. Este índice, propuesto por Chuvieco *et al.* (2002), está basado en 'distancias a

un centro de convergencia que espectralmente acoge la señal del carbón'. La expresión de dicho índice es la siguiente:

$$BAI = \frac{1}{(\rho_{c_{irc}} - \rho_{irc})^2 + (\rho_{c_{swir}} - \rho_{swir})^2}$$

;donde, $\rho_{c_{irc}}$ y $\rho_{c_{swir}}$ son las reflectancias del centro de convergencia para áreas quemadas en el IRC y el SWIR, respectivamente [2]; y ρ_{irc} y ρ_{swir} son las reflectancias píxel a píxel en las mismas bandas. Las primeras toman valores constantes para un determinado sensor y área de estudio. En el caso de MODIS, los valores propuestos para España por Chuvieco *et al.* (2002) son 0.08 y 0.2, respectivamente. Además, los autores proporcionan un valor umbral de dicho índice que sirve para separar las áreas quemadas de las no quemadas.

En el presente estudio, se utiliza la información espectral derivada por el procedimiento explicado, para calcular los valores $\rho_{c_{irc}}$ y $\rho_{c_{swir}}$, que serán los percentiles del 5% y 95% de la respuesta espectral de las bandas 2 y 7 respectivamente. Construido el BAI-MODIS modificado con la información de cada ventana, se calculan sus estadísticos para los píxeles 'condición 4' y se fija el percentil del 5% como umbral que separa 'quemado'-'no quemado'.

Realizado el procedimiento en todas las ventanas, se construye el mosaico, obteniéndose la tercera cartografía de áreas quemadas.

3.2.4. Algoritmo BAI-MODIS-manual

El cuarto y último algoritmo que se ha testado no realiza la estratificación del área de estudio. Dicho algoritmo consta de los siguientes pasos:

- Paso 1: selección de los píxeles que cumplen la condición $NBR > 0.01$.
- Paso 2: sobre dicha selección, digitalización de áreas que visualmente pueden clasificarse como 'quemadas' por el experto.
- Paso 3: extracción de los estadísticos de las áreas digitalizadas. Cálculo de los percentiles del 5 y 95% de las bandas 2 y 7 respectivamente, sobre dichas áreas.
- Paso 4: construcción del BAI-MODIS modificado con umbrales extraídos en el paso 3. Cálculo del percentil del 5% del BAI-MODIS modificado sobre las áreas digitalizadas en el paso 2. Utilización de dicho umbral para separar 'quemado'-'no quemado'.

4. Resultados

4.1. Cartografías de áreas quemadas

La aplicación de los cuatro algoritmos descritos sobre el producto MOD09A1 dio lugar a sendas cartografías de áreas quemadas de tipo binario, es decir, con una leyenda de dos clases: 'quemado' y 'no quemado'.

El siguiente paso consistió en extraer de estas cuatro cartografías, sub-escenas del tamaño de la cartografía que iba a ser utilizada como 'verdad-terreno', la derivada de la escena Landsat5-TM. En la Figura 2 aparece el resultado del algoritmo LATINIA.

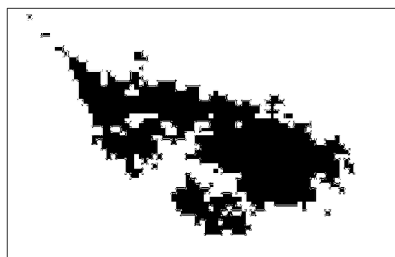


Figura 1: Resultado del algoritmo LATINIA sobre MOD09A1.

4.2. Bondad de la estimación

En la tabla 1 aparecen los coeficientes de correlación entre cada una de los cuatro algoritmos empleados para la extracción de superficies quemadas (cartografías binarias) y el resultado de remuestrear a pixel MODIS, la cartografía de áreas quemadas derivada por el método MF de la escena Landsat5-TM. Como puede apreciarse el mejor resultado se alcanza para el algoritmo LATINIA en su primera versión.

Tabla 1: *Coefficiente de correlación (r) de las distintos algoritmos utilizados.*

algoritmo	r
LATINIA	0.796
LATINIA-paralelepípedo	0.732
LATINIA-BAI-MODIS	0.687
BAI-MODIS-manual	0.770

5. Conclusiones

Las principales conclusiones que pueden extraerse del trabajo presentado son las siguientes:

- El compuesto MOD09A1 es un producto que puede ser de gran ayuda en el estudio de incendios forestales y otros fenómenos. En el caso de España, es relativamente fácil encontrar un MOD09A1 libre de nubes, especialmente durante el periodo estival. Además es gratuito y su disponibilidad se produce en un lapso de tiempo realmente corto desde la captura de la información por el satélite. La geometría de la imagen ha resultado de gran calidad. Cabe destacar por último que, aun tratándose de un compuesto de 8 días, la coherencia en la radiometría es alta, presentando la imagen una textura de gran calidad, que hace pensar en muchos casos que se está más frente a una imagen libre de nubes, que ante un compuesto.
- Aunque laborioso, el procesado por ventanas ha dado en general buenos resultados. Hay que mencionar sin embargo, que el tamaño y disposición de las ventanas afectan al resultado final, por lo que deberían llevarse a cabo más pruebas.
- El empleo de modificaciones de BAI-MODIS no ha resultado del todo satisfactorio, quizás porque se ha utilizado un único incendio para calibrar dicho índice. Se trata además de un incendio particularmente grande y virulento.

6. Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del Convenio CC02-0015 suscrito entre el Ministerio de Medio Ambiente y el INIA.

7. Referencias

- [1] Key, C.H., Benson, N.C., 2004. FIREMON Landscape assessment (LA): Sampling and Analysis methods. NPS-USGS, USA.
- [2] Chuvieco, E., Martín, M.P. y Ventura, G., 2002. Evaluación de imágenes NOAA-AVHRR y Terra-MODIS para cartografía regional de áreas quemadas. X Simposio Internacional SELPER. Cochabamba, Bolivia.