

MODIS SPECTRAL MIXTURE ANALYSIS Y CARTOGRAFIA DE AREAS QUEMADAS EN LA CUENCA MEDITERRANEA

MODIS SPECTRAL MIXTURE ANALYSIS AND BURNED AREA MAPPING IN MEDITERRANEAN COUNTRIES

Vanesa Gordillo¹, Patricia Martín¹, Carmen Quintano¹, André Lima², Yosio Edemir Shimabukuro²

¹ Universidad de Valladolid, Departamento de Tecnología Electrónica, EUP, C/ Francisco Mendizabal, 47014-Valladolid, España; ² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil

e-mail: ¹ vane9ga@hotmail.com, patrimp23@hotmail.com, menchu@tele.uva.es; ² andre@dsr.inpe.br, yosio@ltid.inpe.br

RESUMEN

El objetivo de este estudio es optimizar la aplicación de Spectral Mixture Analysis (SMA) a imágenes procedentes del MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) con el objeto de cartografiar áreas afectadas por incendios forestales desde un punto de vista unitemporal en Castilla y León (España). Concretamente, se utilizaron los productos MOD09GHK, MOD09GQK y MOD13Q1. El empleo de diferentes alternativas para definir los componentes básicos (“endmembers”) permitió obtener diferentes conjuntos de imágenes fracción tras aplicar SMA. A continuación, dichas imágenes fracción fueron clasificadas (“quemado” / “no quemado”) dando lugar a diferentes estimaciones de superficie quemada. La precisión de dichas estimaciones se evaluó mediante el estadístico Kappa, considerando el perímetro Global Positioning System (GPS) rasterizado de los incendios ocurridos durante la campaña 2004 como imagen verdad-terreno. Las estimaciones más precisas se obtuvieron al utilizar clasificadores no supervisados sobre las imágenes fracción del producto MOD13Q1 obtenidas mediante ‘unmixing’ de la transformada Minimum Noise Factor (MNF) empleando los componentes básicos identificados en el diagrama de dispersión de las bandas originales.

Palavras-chaves: MODIS, SMA, area quemada, subpixel.

ABSTRACT

The goal of this study is optimizing the use of Spectral Mixture Analysis (SMA) with MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) imagery to map burned area from unitemporal point of view in Castilla y León (Spain). Concretely, MOD09GHK, MOD09GQK and MOD13Q1 products were employed. The use of several alternatives to define the endmembers allowed unmixing different sets of fraction images. Next, such fraction images were classified (“burned” / “unburned”), being the source of different burned area estimations. Its accuracy was calculated by using Kappa statistic, considering as ground-truth data the rasterized image of the Global Positioning System (GPS) perimeter of burned areas occurred in 2004. The more accurate estimations were achieved unmixing the Minimum Noise Factor (MNF) of MOD13Q1 products using the endmembers identified in the scatter plot of the original bands.

Key words: MODIS, SMA, burned areas, subpixel.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son un gran problema en la cuenca Mediterránea. Cada año miles de kilómetros cuadrados son arrasados por el fuego. A los irreparables daños al ecosistema hay que añadir el coste económico que suponen las pérdidas materiales, las tareas de extinción del fuego, la puesta a punto de un sistema para la recuperación de la zona afectada, etc. Las imágenes de satélite, junto con los programas que las analizan, están sustituyendo el trabajo de campo necesario para cartografiar la superficie afectada por un incendio principalmente por dos razones: la rapidez con la que puede estimarse el área afectada, y la economía para un nivel de fiabilidad equivalente. Una vez que el incendio ha sido extinguido, para analizar la extensión de la superficie afectada y la intensidad con que lo ha sido, puede utilizarse una combinación de

imágenes de baja y alta resolución espacial. De esta forma, puede realizarse una estimación de los daños producidos tanto directos como indirectos (desaparición de bosques, disminución de turismo,...).

Las metodologías uni-temporales analizan una única imagen posterior al incendio, por lo que no incluyen información de la situación previa al fuego. Habitualmente se basan en la clasificación de dicha imagen, ya sea de sus bandas de forma independiente, o bien de una combinación de las mismas que realce el daño ocasionado por el incendio. Sin embargo, en muchas ocasiones un píxel nunca está totalmente quemado, sino que sólo una parte de la superficie que representa fue afectada por el fuego. Este tipo de píxeles, llamados “píxeles mezcla”, son una fuente de error para el clasificador provocando confusiones entre píxeles pertenecientes a las clases “quemado” y “no quemado”. El empleo de Spectral Mixture Analysis (SMA), o “unmixing”, puede reducir estas confusiones. Cochrane y Souza (1998), Sá et al. (2003) y Quintano et al. (2006a) utilizaron las imágenes fracción procedentes del “unmixing” como entrada a diferentes algoritmos de clasificación con el objetivo de cartografiar el área afectada por un incendio forestal, demostrando su superioridad frente a las habitualmente empleadas imágenes de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

Basándose en trabajos previos que relacionan SMA con el estudio de la vegetación (Novo y Shimabukuro, 1997; Díaz-Delgado y Pons, 1999; Rodríguez-Yi et al., 2000), este trabajo busca en la aplicación de SMA a las imágenes originales una alternativa al empleo de imágenes NDVI, ampliamente utilizadas en estudios de cartografía de áreas quemadas. En él se presenta un estudio para optimizar la aplicación de SMA a imágenes procedentes del MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) con el objeto de cartografiar áreas afectadas por grandes incendios forestales desde un punto de vista unitemporal en Castilla y León (España). Su principal objetivo es identificar cuáles son los parámetros más adecuados para la aplicación de esta metodología en Castilla y León, con el ánimo de poder implementarla de forma semi-automática. Los parámetros más adecuados serán aquéllos que permitan obtener la estimación de área quemada más precisa (estadístico Kappa de valor más alto). Este objetivo general puede desglosarse en los siguientes objetivos específicos. 1) Respecto a la aplicación del SMA: determinar qué bandas de la imagen son las más adecuadas para aplicar el modelo; y determinar el número y tipo de los componentes básicos (“endmembers”) más adecuados para implementar SMA. 2) Respecto al proceso de reclasificación posterior de las imágenes fracción, obtenidas aplicando SMA: determinar qué imágenes fracción son las más adecuadas como entrada del clasificador; y determinar qué tipo de clasificador es el más adecuado. 3) Respecto al tipo de imágenes empleadas: determinar qué producto MODIS es el más adecuado para esta aplicación; y determinar qué fecha resulta más idónea, analizando la permanencia de la cicatriz.

ZONA DE ESTUDIO Y MATERIAL

La zona de estudio elegida ha sido Castilla y León (Figura 1), la región situada en el norte de España interior. Castilla y León presenta una elevada altitud que oscila entre los 700 y los 1100 m en las llanuras centrales y los 2600m en los bordes montañosos. Más de la mitad de su territorio (94 224 km²) se corresponde con uso forestal, representando la superficie arbolada un 31% de la superficie forestal total. En este trabajo se analizarán los incendios ocurridos en el año 2004. Dicho año, según el gobierno Castellano y Leonés, se produjeron 632 incendios en los que se quemaron más de 150 km² de superficie forestal en Castilla y León.

Se utilizaron imágenes procedentes del sensor MODIS a bordo del satélite TERRA, preprocesadas por MODIS Adaptive Processing System (MODAPS) y distribuidas por Goddard Distributed Active Archive Center (DAAC), de fechas 1 de julio de 2004 hasta 31 de octubre de 2004. Concretamente: MOD09GHK, reflectancia de la superficie diaria, 500 m y 7 bandas espectrales; MOD09GQK, reflectancia de la superficie diaria, 250 m y 2 bandas espectrales; y MOD1313Q1, índices de vegetación, 16 días, 250 m y 4 bandas espectrales, más los índices NDVI y Enhanced Vegetation Index (EVI).



Figura 1. Localización del área de estudio
Figure 1. Location of the study area.

Asimismo, se han utilizado datos de la campaña de incendios 2004 proporcionados por la Junta de Castilla y León (Servicio de Defensa del Medio Natural, Consejería de Medio Ambiente) para construir la imagen verdadera-terreno. Concretamente, los perímetros de los incendios medidos mediante Global Positioning System (GPS).

MÉTODO Y RESULTADOS

La figura 2 muestra el diagrama de flujo de la metodología propuesta.

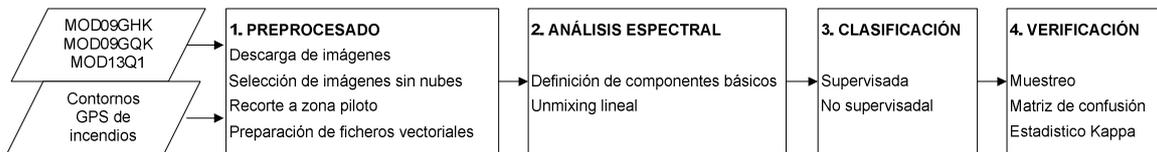


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología propuesta
Figure 2. Flow chart of the propose methodology.

PREPROCESADO

Tras descargar las imágenes MODIS (Earth Observing System Data Gateway site), se recortaron ajustándose a la zona de estudio y se eligieron aquéllas con menos nubes: 21 de Julio, 14 de Agosto, 29 de Agosto y 14 de Octubre, para los productos MOD09GHK y MOD09GQK, y los compuestos 27 Julio a 11 Agosto, 12 Agosto a 27 Agosto, 28 Agosto a 12 Septiembre, 13 Septiembre a 28 Septiembre y 29 Septiembre a 13 Octubre, para el producto MOD13Q1.

Asimismo, los perímetros GPS de los incendios mayores de 1 km² ocurridos durante la campaña 2004 fueron agrupados en 4 ficheros vectoriales: 1) incendios ocurridos antes del 17 de Julio, 2) incendios ocurridos entre el 18 de Julio y el 7 de Agosto, 3) incendios ocurridos entre el 8 de Agosto y el 15 de Agosto, y 4) incendios ocurridos desde el 16 de Agosto hasta la finalización de la campaña de incendios (Tabla 1).

Tabla 1. Incendios considerados: fecha y superficie afectada.

Table 1. Considered fires: date and affected surface.

Incendios producidos hasta el 17 de Julio de 2004		Incendios producidos desde el 18 de Julio hasta el 7 de Agosto de 2004		Incendios producidos desde el 8 de Agosto hasta el 7 de Agosto de 2004		Incendios producidos desde el 16 de Agosto hasta el fin campaña 2004	
Fecha	Superficie (km ²)	Fecha	Superficie (km ²)	Fecha	Superficie (km ²)	Fecha	Superficie (km ²)
18 / 06	3,78	23 / 07	1,04	15 / 08	1,83	28 / 09	1,61
18 / 06	6,38	25 / 07	2,61	15 / 08	12,44	05 / 10	1,28
30 / 06	2,60	26 / 07	4,08			08 / 10	1,00
01 / 07	1,73	01 / 08	3,38			08 / 10	1,26
17 / 07	20,26	01 / 08	3,96				
		07 / 08	7,73				
		07 / 08	10,25				

ANÁLISIS DE MEZCLAS ESPECTRALES

SMA es un método ampliamente utilizado para estimar las proporciones subpixel de cada componente básico considerado. En este trabajo, se considerará el proceso lineal, que se define para cada píxel de la imagen como:

$$\mathbf{x} = \mathbf{M}\mathbf{f} + \mathbf{e}$$

donde: 'x', es un vector columna (nx1) cuyas componentes representan la reflectividad del píxel considerado en las 'n' bandas utilizadas en la transformación, 'f', es un vector (mx1) cuyas componentes indican la proporción de superficie ocupada por cada uno de los 'm' componentes básicos que forman parte de la imagen, 'M' es una matriz (nxm) que almacena la reflectividad en cada banda de cada componente básico, y 'e', es un vector (nx1) que representa el error de la predicción.

Pero antes de descomponer espectralmente los datos originales, es necesario definir el número y las firmas espectrales de los componentes básicos. Estos espectros pueden ser considerados como puntos en un diagrama de dispersión n-dimensional (BOARDMAN et al., 1995), siendo sus coordenadas los valores de radiancia o reflectancia. La distribución de estos puntos en el n-espacio permite estimar el número de componentes básicos y su firma.

Para poder visualizar los píxeles más puros sobre un diagrama de dispersión y obtener los componentes básicos, en este trabajo se aplicó el Pixel-Purity-Index™ (PPI™), sobre la transformada MNF (Minimum Noise Fraction) de la imagen original. La transformación MNF permite eliminar el ruido de la imagen, determinando así la dimensión real de la misma, y reduciendo los requerimientos computacionales (BOARDMAN y KRUSE, 1994). Por su parte, PPI™ es un medio de localizar los píxeles más puros en imágenes multiespectrales o hiperespectrales. Tras identificar estos píxeles más puros, se aplicó la transformada inversa MNF a dichos píxeles y se verificó visualmente su respuesta espectral. Estos píxeles más puros correspondieron a los componentes básicos de la imagen.

Específicamente, en primer lugar, se aplicaron los algoritmos MNF y PPI a cada imagen de entrada. A continuación, se eligieron diferentes combinaciones de bandas para observar la constelación formada por los píxeles más puros, identificándose en dichas constelaciones grupos de píxeles con distintas características espectrales que permitieron definir los componentes básicos. Una vez identificados los componentes básicos, se aplicó el algoritmo SMA utilizando las siguientes alternativas: 1) 'unmixing' de la transformada MNF empleando los componentes básicos identificados en el diagrama de dispersión de las bandas originales; 2) 'unmixing' de la transformada MNF inversa empleando los componentes básicos identificados en el diagrama de dispersión de las bandas MNF; y 3) 'unmixing' de la transformada MNF inversa empleando los componentes básicos identificados en el diagrama de dispersión de las bandas MNF inversa.

Tanto la definición de los componentes básicos de la forma descrita, como la resolución del sistema de ecuaciones, se repitieron hasta que el error RMS (Root Mean Square) fue inferior a 1. Concretamente, se seleccionaron tres componentes básicos (que fueron identificados como vegetación sana, vegetación quemada, y agua) para los productos MOD09GHK y MOD13Q1, y dos (identificados como vegetación sana y vegetación quemada) para MOD09GQK. Las imágenes fracción obtenidas (Figura 3) fueron la entrada del siguiente paso de la metodología. La primera alternativa produjo las estimaciones más precisas para la mayor parte de las imágenes de entada consideradas.

CLASIFICACIÓN

Para obtener la estimación de área quemada diferentes combinaciones de imágenes fracción previamente obtenidas fueron clasificadas en dos clases: "quemado" y "no quemado". Dos clasificadores no supervisados (ISODATA y k-means), y tres supervisados (paralelepípedos, mínima distancia y máxima probabilidad) fueron utilizados.

VERIFICACIÓN DE RESULTADOS

La precisión de la estimación de área quemada fue verificada mediante su comparación con el perímetro GPS oficial rasterizado. Para ello, tras aplicar un muestreo aleatorio estratificado desproporcionado, se calculó la matriz de confusión para cada estimación obtenida y, a partir de ella, se obtuvieron la precisión de usuario, de productor, así como el estadístico Kappa (CONGALTON y GREEN, 1999).

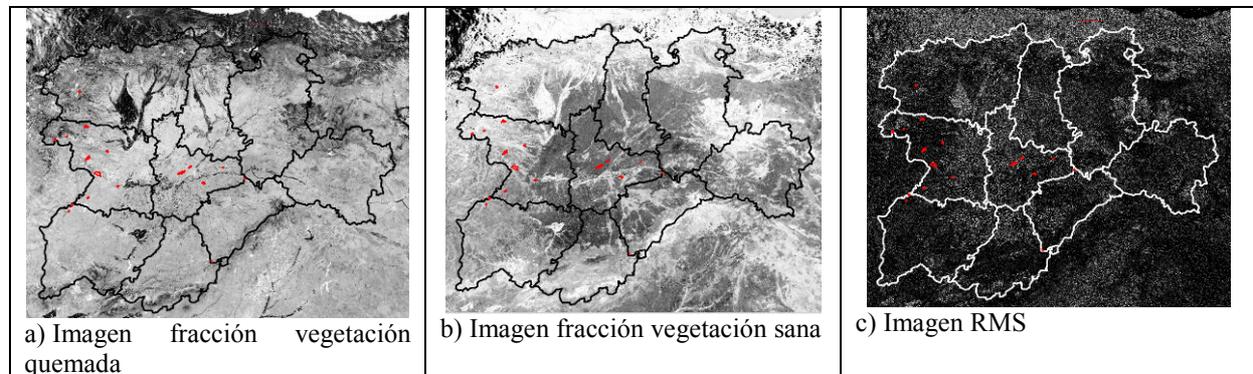


Figura 3. a) y b) imágenes fracción de MOD09GKQ 14 Agosto; y c) RMS.

Figure 3. a) and b) images fraction of MOD09GKQ 14th August; and c) RMS.

Las estimaciones más precisas se obtuvieron al utilizar clasificadores no supervisados, no observándose apenas diferencia entre ellos. También, se observó que los valores más altos para el estadístico Kappa se obtuvieron al utilizar como entrada las imágenes fracción procedentes del “unmixing” del producto MOD13Q1 (Tabla 2).

Tabla 2. Estadístico Kappa obtenido aplicando ISODATA a las imágenes fracción MOD13Q1.

Table 2. Statistical Kappa applying ISODATA to the images fraction MOD13Q1.

Bandas de entrada ISODATA	27 julio a 11 agosto	12 agosto a 27 agosto	28 agosto a 12 septiembre	13 septiembre 28 septiembre	29 septiembre 13 octubre
Fracción Veg. sana					
Fracción Veg. quemada	0,71	0,29	0,77	0,76	0,74
Fracción Veg. sana					
Fracción Veg. quemada	0,70	0,29	0,77	0,78	0,78
Fracción Agua					

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

El NDVI no es el índice óptimo a partir del cual realizar una estimación de área quemada, a pesar de su extendido empleo (PEREIRA, 1999). Las imágenes fracción obtenidas mediante “unmixing” son una alternativa válida a dicho índice (ELMORE et al., 2000; QUINTANO et al., 2005). El presente estudio corrobora su validez, demostrando que a partir de imágenes fracción pueden obtenerse estimaciones de área quemada con precisión suficiente en el área mediterránea.

Los tres clasificadores supervisados empleados realizaron estimaciones de área quemada de menor precisión que las estimaciones obtenidas mediante los clasificadores no supervisados. La posible causa de este hecho fue la dificultad de obtener zonas de entrenamiento adecuadas. La clase “no quemado” presentó una variabilidad intraclase demasiado alta, y no pudo ser definida de forma que su separabilidad de la clase “quemado” fuera aceptable. Sin duda, como demuestran algunos trabajos (GITAS et al., 2004; QUINTANO et al., 2006b), el empleo de clasificadores orientados a objeto podría mejorar los resultados obtenidos.

Como conclusión final es posible afirmar que: 1) respecto a la aplicación de SMA, el estadístico Kappa más alto se obtuvo, de forma general, cuando se realizó el ‘unmixing’ de la transformada MNF empleando los componentes básicos identificados en el diagrama de dispersión de las bandas originales, y se seleccionaron tres componentes básicos para los productos MOD09GHK y MOD13Q1, y dos para MOD09GQK; 2)

respecto al proceso de clasificación posterior de las imágenes fracción, los clasificadores más adecuados fueron los no supervisados cuando se aplicaron a las imágenes fracción obtenidas mediante “unmixing” del producto MOD13Q1 (índice kappa máximo ~0,8, 28 agosto a 12 septiembre, 2 componentes básicos); y 3) respecto al producto MODIS más adecuado, el MOD13Q1 produjo las estimaciones más precisas. La mejor fecha fue, de forma general, aquella más próxima a la fecha del incendio. En cualquier caso se ha observado que algunos incendios son identificables hasta un mes y medio después.

Por otra parte, la metodología puesta a punto en el presente trabajo puede ser empleada para detectar otro tipo de cambios como deforestación, crecimiento urbano, etc.

REFERENCIAS

- BOARDMAN, J. W.; KRUSE, F. A. Automated spectral analysis: A geologic example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada. In: THEMATIC CONFERENCE ON GEOLOGIC REMOTE SENSING, 9-12 Mai, 1994. Ann Arbor, Michigan. *Proceedings of the Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing*, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI, p. I-407 - I-418, 1994
- BOARDMAN, J. W. et al. Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data. In: JPL AIRBORNE EARTH SCIENCE WORKSHOP SUMMARIES, 23-26 January, 1995, Pasadena (CA-USA). *Proceedings of Fifth JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication 95-1, v. 1, p. 23-26. 1995
- COCHRANE, M. A.; SOUZA, C. M. Linear mixture model classification of burned forest in the Eastern Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, v. 19, p. 3433–3440, 1998.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, J. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practice*. NY: Lewis publishers. 1999
- DÍAZ-DELGADO, R.; X. PONS. Empleo de imágenes de teledetección para el análisis de los niveles de severidad causados por el fuego. *Revista de Teledetección (España)*, v. 12, p. 63-68, 1999
- ELMORE, A. J. et al. Quantifying vegetation change in semiarid environments: precision and accuracy of spectral mixture analysis and the normalized difference vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, v. 73, p. 87–102, 2000.
- GITAS I. Z., et al. Object-Oriented Image Analysis for Burned Area Mapping using NOAA-AVHRR Imagery in Creus Cape, Spain. *Remote Sensing of Environment*, v. 92, p. 409-413, 2004.
- NOVO, E.; SHIMABUKURO. Y. E. Identification and Mapping of the Amazon Habitats Using a Mixing Model. *International Journal of Remote Sensing*. v.18, p. 663-670, 1997.
- PEREIRA, J. A comparative evaluation of NOAA-AVHRR vegetation indexes for burned surface detection and mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v.37, p. 217–226, 1999.
- QUINTANO, C., et al. A spectral unmixing approach for mapping burned areas in Mediterranean countries. *International Journal of Remote Sensing*, v. 26, p. 1493–1498, 2005.
- QUINTANO, C., et al. Mapping burned areas in Mediterranean countries using spectral mixture analysis from a uni-temporal perspective. *International Journal of Remote Sensing*, v. 27, p. 645–662, 2006a.
- QUINTANO, C., et al. Synergies between linear spectral mixture analysis and object based image analysis *Ambiência*. Ed. Universidade Estadual do Centro-Oeste. Brasil. (ISSN: 1808-0251) Edição Especial. p. 121-134, 2006b.
- RODRIGUEZ-YI, et al. Image segmentation for classification of vegetation using NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 21, p. 167-172, 2000.
- SÁ, A. C. L. et al. Assessing the feasibility of sub-pixel burned area mapping in miombo woodlands of northern Mozambique using MODIS imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24, p. 1783–1796, 2003.