

UTILIZACIÓN DE IMÁGENES HIPERESPECTRALES AHS-INTA PARA EL ESTUDIO DE ZONAS AFECTADAS POR INCENDIOS FORESTALES

F. González-Alonso ^(*), M. Huesca ^(*), J. M. Cuevas-Gozalo ^(*), S. Martínez ^(**), J. A. Gómez ^(***)
y E. De Miguel ^(****).

^(*)Laboratorio de Teledetección, CIFOR – INIA, Ctra. A Coruña, km 7,5 28040, Madrid, España. alonso@inia.es

^(**)Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural de la Junta de Castilla-La Mancha, Toledo, España.

^(***)Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial INTA, Ctra Ajalvir s/n, Torrejón de Ardoz, 28850, Madrid, España.

RESUMEN

Se lleva a cabo un análisis de la potencialidad de los datos hiperespectrales AHS-INTA para el seguimiento de áreas afectadas por los incendios forestales. El incendio estudiado se produjo en la provincia de Guadalajara en julio de 2005. El laboratorio de Teledetección del CIFOR-INIA dispone de cuatro imágenes (2005, 2006, 2007 y 2008) hiperespectrales AHS-INTA de la zona quemada. A partir de la imagen de 2005 se ha realizado una cartografía de superficie quemada y de grados de severidad de una gran precisión. El área quemada ha sido 12.983,50 ha (2.544,84ha han sido clasificadas como severidad baja, 3.152,57 ha como severidad alta y 7.280,08 ha, como severidad media). Los resultados también muestran la gran utilidad de las imágenes AHS-INTA para el seguimiento de la regeneración de las áreas quemadas, suministrando una información muy valiosa para el gestor en la planificación de los trabajos sobre el área afectada y en la evaluación de sus resultados.

ABSTRACT

The present research studies the potentiality of hyperspectral data to monitor forest burned areas. The study area is located in Guadalajara province (Spain) where a large forest fire occurred in July 2005. The Remote Sensing Laboratory of CIFOR-INIA has four hyperspectral images of the affected area. Burn area estimation and burn severity analysis were carried out using the hyperspectral image of 2005. Total affected area accounted for 12.983,50 ha. This was classified into three categories: high severity (2.544,84 ha), median severity (7.280,08 ha) and low severity (3.152,57 ha). Images from 2006 to 2008 were used for monitoring of the post-fire vegetation recovery. The results show that AHS images were accurate in order to describe burned area and vegetation recovery behaviour. This information could be very useful for the future recuperation activities.

Palabras clave: AHS-INTA, incendios forestales, severidad, regeneración.

INTRODUCCIÓN

Cada año se estima una pérdida de 10 a 15 millones de hectáreas de bosque de regiones boreales y templadas a causa de los incendios forestales. En España son la principal causa de destrucción de recursos naturales. Solamente en 2006, más de 150.000 ha fueron afectadas por este fenómeno en nuestro país (MARM, 2008). Estimar y evaluar la superficie afectada por un incendio de una forma rápida y precisa es de vital importancia a la hora de identificar áreas de intervención prioritaria (González-Alonso *et al.* 2007). La magnitud del impacto de un incendio forestal está directamente relacionada con la severidad del fuego definiéndose dicho término como la medida del nivel de daño ocasionado a la vegetación, materia orgánica y suelo (Agree 1993). Las imágenes de satélites han sido ampliamente utilizadas para la cartografía de las superficies quemadas, sin embargo la discriminación de distintos grados de severidad dentro del área afectada no ha sido tan estudiada. En los estudios de

severidad del fuego a partir de datos de satélites se han empleado principalmente imágenes de media y alta resolución espacial (Keeley *et al.*, 2009). Otra de las aplicaciones que presenta un gran interés es el seguimiento de la vegetación post-incendio (Viedma *et al.*, 1997, Riaño *et al.*, 2002).

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la potencialidad de las imágenes del sensor hiperespectral aerotransportado AHS del INTA, para evaluar con gran precisión el área quemada, considerando diferentes grados de severidad, así como la regeneración de la vegetación de la zona afectada.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio se centra en el incendio forestal que se produjo en la provincia de Guadalajara, entre los días 16 y 21 de julio 2005. Este incendio tuvo muy graves consecuencias ecológicas y humanas. El fuego se inició en el paraje

conocido como la Cueva de Casares, en el municipio de Riba de Saelices, debido a una negligencia humana en el uso de una barbacoa. Las altas temperaturas, la baja humedad relativa, el viento, las pronunciadas pendientes del terreno y la alta combustibilidad de la vegetación, provocaron un avance muy rápido y virulento del fuego. Según el IFN3, la vegetación afectada corresponde a un pinar de pino resinero con un sotobosque de rebollo y quejigo, y un matorral acompañante dominado por jara, estepa y brezal.

El laboratorio de Teledetección del CIFOR-INIA dispone en propiedad de cuatro imágenes de la zona quemada, captadas por el sensor hiperespectral AHS del INTA. Las imágenes utilizadas cuentan con 63 bandas, cubriendo las regiones VIS, NIR, SWIR y MIR. Los anchos de banda varían según la región. La resolución espacial es de tres metros. Las imágenes fueron captadas el 6 de octubre 2005, el 6 de octubre 2006, el 28 de septiembre 2007 y el 15 de septiembre 2008. Todas las imágenes están completamente libres de nubes y cubren la totalidad del área quemada. También se dispone de una imagen Terra-MODIS de 500 m de resolución espacial y una Envisat-MERIS, ambas del 24 de julio 2005, una Landsat TM del 22 de septiembre 2005 y una Resourcesat-AWiFS del 21 de agosto 2005. Todas ellas fueron geo-referenciadas al sistema de coordenadas UTM uso 30N datum European Mean 1950.

Se han realizado tres visitas al área afectada los días 6, 17 y 25 de octubre 2005. Se tomaron dos tipos de puntos de muestreo: Los puntos "A" localizados en zonas quemadas, usados para estimar el grado de severidad del incendio, y los puntos "B", tomados en zonas no quemadas, utilizados para definir zonas de entrenamiento (*endmembers*) de vegetación no quemada y suelo desnudo.

Las imágenes AHS-INTA han sido corregidas radiométrica y geométricamente. También se ha realizado una corrección atmosférica. Finalmente, se ha llevado a cabo un proceso de homogeneización de las reflectancias de todas las imágenes utilizando espectros de zonas invariantes a partir de la imagen de 2008. Para la delimitación del perímetro y la estimación de la superficie afectada se realizó un análisis de *Matched Filtering* tomando como *endmember* puntos seleccionados a partir del trabajo de campo. Posteriormente se realizó una clasificación no supervisada utilizando el algoritmo ISODATA en dos clases, que se identificaron como correspondientes a quemado, y no-quemado, modificándose los umbrales inferiores del

histograma hasta alcanzar la máxima precisión posible.

La severidad del incendio ha sido estimada mediante la utilización del índice NBR, "Normalized Burn Ratio" (Key y Benson 2002).

$$NBR = (picr - pim) / (picr + pim)$$

Donde *picr* y *pim* representan las reflectancias en el infrarrojo cercano y en el infrarrojo de onda corta (SWIR) respectivamente.

La cartografía de grados de severidad se ha realizado mediante clasificación supervisada, utilizando el 60% de las parcelas de campo como áreas de entrenamiento y el restante 40% para validar los resultados.

El estudio de la regeneración se ha realizado mediante el uso del índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI, para determinar el grado de regeneración a nivel monte.

$$NDVI = (pirc - pr) / (pirc + pr)$$

Donde *picr* y *pr* representan las reflectancias del infrarrojo cercano y rojo respectivamente.

Para estimar el grado de cobertura vegetal se ha realizado un *spectral unmixing* utilizando como *endmembers* espectros tomados de la imagen en píxeles puros de vegetación y suelo desnudo.

Se obtendrán así dos tipos de cartografía, una de regenerado a nivel píxel, representada por el grado de cubierta vegetal y otra a nivel monte definida por el NDVI medio. Los resultados obtenidos han sido confirmados por los expertos forestales de la Junta de Castilla-La Mancha.

RESULTADOS

La estimación de la superficie afectada por el incendio, utilizando la metodología expuesta anteriormente, se muestra en la Tabla 1. Para comparar la precisión obtenida con la imagen hiperespectral AHS-INTA se ha llevado a cabo la estimación del área quemada, utilizando la misma metodología, a partir de otros sensores de menor resolución espacial y espectral (Terra-MODIS (500 m), Envisat-MERIS (300 m), Landsat TM (30 m) y Resourcesat-AWiFS (60 m). La siguiente tabla muestra un resumen de la superficie quemada estimada con estos sensores y su relación con los datos oficiales proporcionados por el Ministerio de

Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Se puede observar que la superficie estimada con la imagen AHS, es la que se acerca con mayor precisión a las cifras del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, quedando así justificada la utilización de las imágenes AHS-INTA en este evento.

Tabla 1.- Superficie afectada estimada con diversos sensores.

	Superficie afectada (ha)	% de exceso (+) y de defecto (-)
MARM	12.887,37	-
MODIS	11.132,20	- 13,62
MERIS	12.564,00	- 2,51
LANDSAT TM	11.087,37	- 13,57
AWiFS	12.479,04	- 3,17
AHS	12.983,50	+ 0,74

A continuación se muestra la cartografía obtenida en la estimación de la severidad a partir del índice NBR. Para una mejor interpretación de los resultados se han definido tres clases de severidad: media, alta y baja.



Figura 1.-Grados de severidad. En negro la severidad alta, en gris la severidad media y en blanco la severidad baja.

La Figura 1 muestra la distribución espacial de la severidad en el incendio estudiado. La severidad predominante es la clasificada como media, representada por 7.286,08 ha, (56,12%), seguida por las zonas de severidad alta, 3.152,57 ha (24,28%), siendo la superficie clasificada como severidad baja la que tiene una menor superficie 2.544,85 ha (19,60%). Se puede observar que la zona de severidad alta, se sitúa en una franja central

del área quemada con una orientación suroeste–noreste. Esta cartografía ha sido validada utilizando el trabajo de campo realizado en octubre de 2005, el % de clasificación correcta es del 70 %.

Mediante la diferencia de NDVIs se ha calculado la regeneración a nivel monte, por ser esta la unidad de gestión utilizada (Tabla 2).

Tabla 2.- NDVI de los años 2005 y 2008 para los montes afectados.

Monte	Término Municipal (superficie afectada ha)	NDVI 2005	NDVI 2008
GU191	Selas (1028ha)	0,20	0,42
GU190	Selas (216ha)	0,19	0,46
GU126	Cobeta (1475ha)	0,19	0,47
GU301	Anquela del Ducado (721ha)	0,17	0,46
GU292	Anguita (235ha)	0,14	0,44
GU298	Ablanque (746ha)	0,14	0,45
GU239	Cobeta (266ha)	0,17	0,50
GU294	Anguita (397ha)	0,11	0,45
GU232	Mazarete (2811ha)	0,16	0,51
GU150	Ciruelos del Pinar (853ha)	0,15	0,51
GU300	Anquela del Ducado (121ha)	0,07	0,44
GU297	Riba de Saelices (1003ha)	0,10	0,47
GU299	Mazarete (435ha)	0,08	0,46
GU296	Luzón (1710ha)	0,12	0,55
GU293	Anguita (760ha)	0,20	0,63
GU149	Ciruelos del Pinar (111ha)	0,19	0,70

Los montes Dehesa (GU149), El Bosque del Buen Desvío (GU293) y Pinar (GU296) situados en el cuadrante noroeste del la zona afectada son los que presentan una mayor regeneración debido al gran regenerado de quercíneas presente. Los montes peor regenerados se encuentran en la zona este (GU301) y en la zona sur del área afectada (GU191 y GU190), y muestran un regenerado de pino medio-alto. La baja cobertura de la vegetación obtenida, se debe a la alta proporción de suelo desnudo que existe en el regenerado de pino, lo que dificulta mucho su discriminación mediante *spectral unmixing*. La Figura 2 representa el grado de cobertura vegetal en el año 2008 y permite visualizar el estado de la regeneración desde el incendio hasta la actualidad.

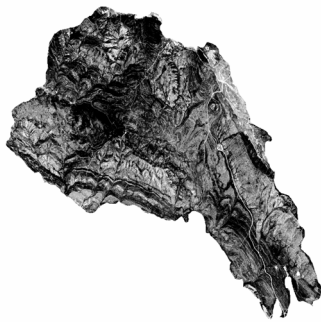


Figura 2.- Grado de cobertura vegetal en el año 2008, representado en escala de grises. El blanco representa suelo desnudo y el negro cobertura vegetal completa.

Las zonas con un grado de regeneración mayor se sitúan en la parte norte del área afectada mientras que las menos regeneradas se presentan en la zona sur definiendo una franja con orientación noroeste-sureste. Se puede observar que la mayor parte de la zona afectada se está regenerando poco a poco tras cuatro años de ocurrido el incendio. Comparando los resultados con el trabajo de campo se puede apreciar como el porcentaje máximo de cobertura corresponde a aquellas zonas donde predominan las quercineas o el matorral denso. La cobertura de pino se discrimina con bastante dificultad por la alta proporción de suelo desnudo que le acompaña. El trabajo de campo realizado por la Junta de Castilla La Mancha así como la opinión de sus expertos forestales, han confirmado la utilidad, para los gestores de la cartografía generada.

CONCLUSIONES

Este estudio muestra la utilidad de las imágenes hiperespectrales AHS-INTA para el seguimiento de áreas afectadas por incendios forestales. Respecto a su capacidad para discriminar la superficie afectada por el incendio producido en Guadalajara podemos señalar la gran precisión de los resultados comparados con los obtenidos con otros sensores multiespectrales. Los resultados obtenidos en el estudio de la severidad, nos llevan a confirmar la capacidad de este sensor para discriminar entre diversos grados de severidad provocados por un incendio forestal. Mediante un análisis de *spectral unmixing*, utilizando dos *endmembers* (suelo y vegetación) se ha realizado un estudio temporal de la regeneración post-incendio, información que puede ser de gran utilidad para los gestores de estos montes.

BIBLIOGRAFÍA

Agee, J. K. 1993. Fire ecology of Pacific Northwest forests. *Island Press*, Washington, D.C. (1993) 493pp.

González-Alonso, F., Merino-de-Miguel, S., Roldán-Zamarrón, A., García-Gigorro, S. y Cuevas, J. M. 2007. MERIS Full Resolution data for mapping level-of-damage by forest fires: the Valencia de Alcántara event in August 2003. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 797-809.

Keeley, J.E. 2009. Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*. 18, 116-126.

Key, C., Benson, N. 2002. Landscape assessment, in fire effects monitoring (FireMon) and inventory protocol. Integration of standardized fields data collection techniques and sampling design with remote sensing to assess fire effects. *NPS-USGS National Burn Severity Mapping Project*.

MARM (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino), 2008, <http://www.marm.es/>.

Riaño, D.; Chuvieco, E.; Ustin, S.; Zomer, R.; Dennison, P.; Roberts, D.; Salas, J.; 2002. Assessment of vegetation regeneration after fire through multitemporal analysis of AVIRIS images in the Santa Monica Mountains. *Remote Sensing of Environment* 79, 60-71.

Viedma, O., Jeliá, J., Segarra, D., García-Haro, J., 1997. Modelling rates of ecosystem recovery after fires by using landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, 61, 383-398.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se ha realizado en el marco del convenio de colaboración entre el INIA y la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha CC0621. Los autores agradecen su valiosa colaboración al Servicio Forestal de Guadalajara, por su apoyo en las visitas realizadas al área en estudio y por los comentarios y sugerencias recibidos.