Validación de una estrategia basada en el análisis de mezclas espectrales a partir de datos ATM

F. J. García-Haro* y **, M. A. Gilabert*, J. Meliá* y M. T. Younis* M.Amparo
Gilabert@uv.es
** Departament de Termodinamica. Facultat de Fisica. Dr: Moliner; 50. 46100 Burjassot (Valencia)*
*** EGEO Unit. Space Applications 1nstitute. Joint Research Center: TP 250. 1-21020 lspra (Va). Italía*

RESUMEN

El estudio realizado a partir de datos ATM, de alta resolución espacial, nos ha permitido validar una téc- nica basada en el análisis de mezclas espectrales para estimar parámetros de la cubierta vegetal. Para ello, hemos dispuesto de valores de la cobertura vegetal medidos en el campo en parcelas de almendros. Previamente a la aplicación del Análisis de Composición Espectral (ACE) hemos analizado las posibilidades que ofrece un método automático de extracción de los espectros de las componentes puras o *endmembers.* Los resultados han indicado la validez del mismo para estimar los *endmembers* de suelo, vegetación y som- bra a partir de imágenes ATM. Por ejemplo, el *endmember* de vegetación estimado es directamente com- parable al que se midió en el campo. Por otro lado, los resultados obtenidos al aplicar el ACE indican un buen acuerdo entre los valores de la cobertura vegetal medida en el campo en parcelas de almendros y la fracción de vegetación estimada mediante el ACE, por lo que esta magnitud parece ser mas adecuada para cuantifi- car el porcentaje de cobertura vegetal que los métodos tradicionales tales como las técnicas de clasificación o el NDVI. No obstante, cuando la contribución atmósfera es grande y no está corregida con gran precisión, introduce errores sistemáticos significativos en la frac- ción de las componentes, que afectan en mayor medida a la fracción de vegetación.

PALABRAS CLAVE: Mezclas espectrales, endmembers, cobertura vegetal, ATM.

ABSTRACT

This work is focussed on the application and validation of a methodology based on the Linear Spectral Mixture Modelling (LSMM) to derive vegetation parameters using ATM data acquired in the MAC SPAIN-96 flight campaign. We first applied an automatic method to estímate the spectral signature of the three dominant components: soil, vegetation and shaded soil. Results indicate the validity of the proposed method. For example, the vegetation endmember is directly comparable with the measured spectrum of an almond. Finally, the LSMM was applied and tested using ground measured vegetation parameters corresponding to almond parcels. A good correspondence was obtained between estimated vegetation fraction and measures of canopy cover, confirming the suitability of this magnitude to analyse the compositional character of vegetation canopies. Nevertheless, vegetation fraction was apparently lower at increasing the altitude of the sensor, probably due to errors of the atmospheric correction which mostly affect the vegetation estimates since this is the component that shows more accused spectral features.

KEY WORDS: Espectral mixing, endmem vegetation cover, ATM.

INTRODUCCIÓN

El Grupo de Teledetección de la Universitat de Valencia ha participado en el experimento SPARSE *(SPAnish Remate Sensing Experiment),* de la campaña de vuelos MAC SPAIN-96, financiada por el NERC *(National Environmental Research Council)* de Reino Unido. En ella se han tomado, entre otros, datos espectrales mediante el sensor ATM *(Airborne Thematic Mapper),* a bordo de un avión, simultáneamente con una campaña de medidas de campo. Este estudio nos ha permitido validar una metodología para la obtención de mapas de vegetación, que en un futuro genalizaremos para el seguimiento de la vegetación natural en zonas semiáridas. Para ello hemos aplicado el Análisis de Composición Espectral (ACE), también llamado análisis de mezclas espectrales, que consiste básicamente en la inversión de un modelo de reflectividad geométrico-óptico para estimar la composición de suelo, vegetación y sombra (García-Haro et al. 1996).

AREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a una zona de cultivos bastante llana situada en la localidad de Las Palas, a 50km al Sur-Oeste de Murcia. El área

considerada tiene una extensión de 800(1000m, de coordenadas UTM (Xmin= 661.000, Xmax= 661.800; Ymin= 4.168.000, Ymax= 4.169.000), y en ella predominan las parcelas de almendros. Existe una gran diferencia de tonalidades en el suelo de fondo debida a importantes diferencias locales del manto vegetal y de la pedregosidad, incluso dentro de una misma parcela. Los datos ATM corresponden a tres alturas diferentes del avión: 1000m (tamaño de pixel de 2.3m), 2000m (tamaño de pixel de 4.9m) y 3000m (tamaño de pixel de 7.2m). Las características técnicas del sensor ATM y el modo de operación del mismo durante la campaña de vuelos pueden encontrarse en (García-Haro, 1997).

CORRECCIONES REALIZADAS

La georreferenciación de las imágenes se ha realizado mediante el método de los puntos de control, ajustando la transformación a una función polinómica de segundo grado y el registrado mediante el método de interpolación de convolución cúbica.

Debido a que se desconocen las condiciones atmosféricas durante la adquisición de las imágenes, hemos utilizado un método de normalización atmosférica basado en áreas de reflectividad estable que proporciona una corrección en primer orden de la degradación atmosférica, de los efectos de iluminación y de la respuesta del sensor para las diferentes imágenes (Hill y Storm, 1991). Para ello elegimos diferentes superficies (asfalto, arcillas, barbecho, etc.) y realizamos medidas de reflectividad *in situ* mediante radiometría de campo simultáneamente al paso del avión. Se obtuvo una relación aproximadamente lineal entre los valores de reflectividad medidos en el campo y los registrados por el sensor ATM, con valores del coeficiente de correlación lineal, r^2, superiores a 0.95 en la mayoría de las regiones espectrales, si bien en el caso de altura de 1000m los resultados fueron algo peores. Los valores promedio del RMS de la desviación entre los espectros de reflectividad medidos y modelados fueron de 0.033, 0.020 y 0.025 para las alturas de 1000,2000 y 3000m, respectivamente, que pueden considerarse razonablemente pequeños.

ESTIMACION DE PARAMETROS DE LA VEGETACION

Dentro del marco de una Acción Integrada con el grupo de Teledetección de la Universidad de Salford (Inglaterra) para analizar los datos de la campaña de vuelos, realizamos una campaña de campo conjuntamente con objeto de tomar medidas de parámetros de la vegetación dentro del área de estudio. Se seleccionaron, para ello, diferentes sub-parcelas con una extensión de 30 (30m situadas dentro de parcelas de almendros, y se realizaron medidas de parámetros agronómicos (dimensiones y densidad de árboles) a partir de los cuales se calculó la cobertura vegetal media (%) de cada una de las mismas, que es el parámetro de la cubierta en que nos hemos centrado en este trabajo. Comentamos ahora brevemente los resultados obtenidos para cuantificar la vegetación a partir de datos ATM, tanto utilizando métodos tradicionales como a partir del ACE. Aunque no mostramos los resultados, éstos revelaron las limitaciones de la técnicas de clasificación para capturar las continuas variaciones graduales de la vegetación. Por ejemplo, los pixels de la clase denominada 'vegetación' presentan cierta contribución de suelo, lo cual se debe a que (i) la escala del pixel es comparable al tamaño típico de los almendros, de manera que cada pixel contendrá una proporción significativa de suelo, (ii) existe un solapamiento en el campo de visión del sensor entre pixels vecinos, y (iii) el método de convolución cúbica para la interpolación en el registrado de la imagen realiza un promedio de la reflectividad de los pixels próximos.

La Figura 1 muestra los valores medios del NDVI correspondientes a las parcelas consideradas en cada una de las tres imágenes con altura diferente, frente a la cobertura vegetal de las mismas. Puede verse que existe una correlación importante entre los valores medios del NDVI de cada parcela y su cobertura vegetal. No obstante, hay que resaltar la gran variación que presenta el NDVI al variar la altura del sensor, tendente a producir valores más bajos conforme aumenta dicha altura. Hay que

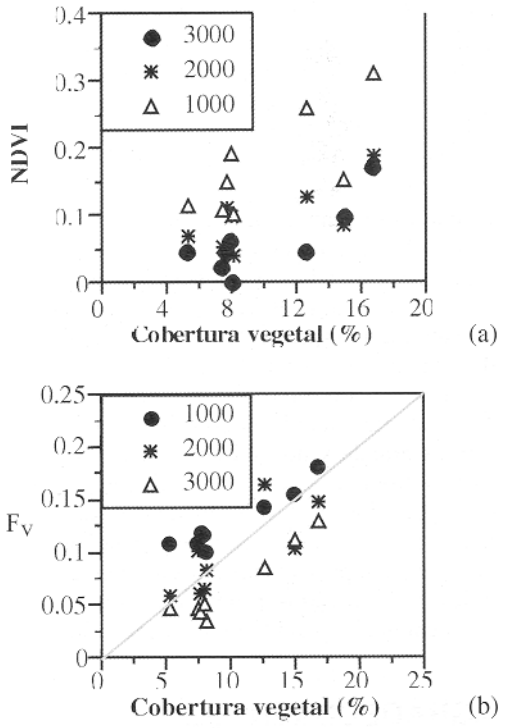

Figura 1. (a) Valores medios de (a) NDVI y (b) fracción de vegetación (F_V) estimada mediante el ACE en función de la cobertura vegetal de las parcelas consideradas para las tres imágenes con altura diferente.

atribuir dicho hecho a la distorsión que produce la atmósfera sobre la señal, básicamente, un aumento del espesor óptico atmosférico y de la irradiancia solar difusa. En efecto, aunque el método de normalización atmosférica corrige en primer orden la influencia de dichos factores, introduce errores sistemáticos muy significativos. Por ejemplo, observamos que conforme aumenta la altura a la que fue tomada la imagen se produce un aumento de la reflectividad en las regiones del visible (en el que la contribución de la atmósfera es mayor), que origina una variación en la señal de los pixels de vegetación similar a la que produciría un aumento de la proporción de suelo.

Un problema fundamental en la aplicación del ACE consiste en la estimación de los espectros de las componentes puras *(endmembers)*. Hemos utilizado para ello un método potencialmente válido para estimar los *endmembers* a partir únicamente de un conjunto de mezclas espectrales (García-Haro et al., 1999). Se trata de un método automático de extracción de *endmembers* basado en la topología de los objetos (pixels mezcla) en el "espacio abstracto" de Componentes Principales (PCs). En efecto, la posición de los objetos (reflectividad de los pixels mezcla) en dicho espacio se hallaría en el interior de una figura poliédrica (en este caso, un triángulo), cuyos vértices corresponderían con los *endmembers*. Hemos escogido este método porque *a priori* proporciona resultados buenos cuando la dimensionalidad de los datos espectrales es reducida. Analizamos ahora la validez y aplicabilidad de dicho método para el caso de datos ATM.

La Figura 2 muestra la nube de puntos en dicho espacio proyectada sobre el plano PCI-PC2, para una determinada parcela de almendros, junto con los extremos (estimados mediante el mencionado método) del hipotético triángulo, que representan las posiciones de las mezclas puras. En este caso, la nube de puntos se distribuye en el interior de un triángulo cuyos extremos corresponden con las posiciones en el "espacio abstracto" de las componentes puras. Puede verse como el método captura adecuadamente la topología de la distribución, identificando los vértices del hipotético triángulo. Ello parece indicar la existencia de tres componentes dominantes en las parcelas. La Figura 2b muestra los *endmembers* obtenidos por este método para una de las parcelas.

Cabe atribuir los *endmembers* 1,2 y 3 a suelo iluminado, vegetación y sombra, respectivamente. Aunque no mostramos los resultados, el *endmember* de vegetación obtenido es directamente comparable al de un almendro medido en el campo. Puede verse cómo en las regiones del visible los *endmembers* obtenidos presentan valores anormalmente bajos, lo cual atribuimos por error introducido en la normalización atmosférica. Para el resto de parcelas obtuvimos una respuesta de la vegetación similar, lo cual confirma la validez del

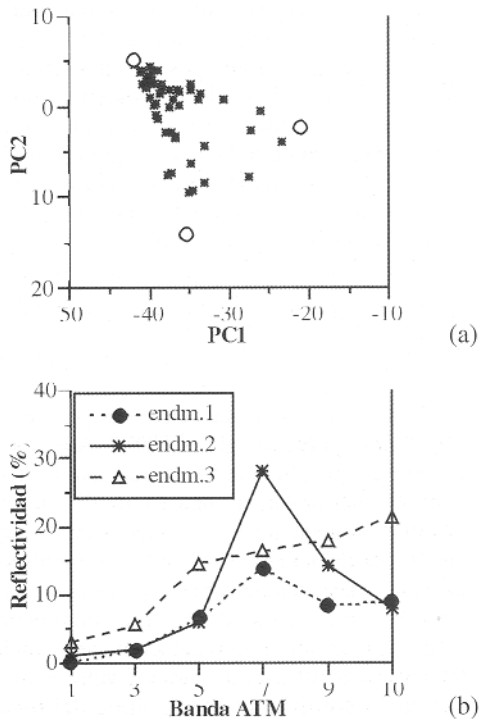

Figura 2. (a) Distribución de los pixels mezcla (pertenecientes a la imagen de 1000m de altura) en el "espacio abstracto" PC1-PC2, para una determinada parcela de almendros. Los símbolos (*) corresponden a los distintos pixels y los símbolos (o) a las soluciones obtenidas para las posiciones de los endmembers. (b) Los tres endmembers calculados.

método para estimar los endmembers, aún en el caso de mezclas espectrales con un suelo de fondo diferente. No obstante, la aplicación del procedimiento utilizando datos correspondientes a una altura mayor produjo unos espectros de vegetación típicos de una cobertura vegetal más escasa. Atribuimos dichas variaciones a la alteración atmosférica de la señal, que es difícil de corregir adecuadamente y atenúa los rasgos espectrales de la vegetación (pues es la componente con rasgos espectrales más acusados). Este procedimiento nos ha permitido modelar la respuesta del suelo de fondo de las distintas parcelas, que presentan una gran variabilidad espectral.

Aunque hemos ensayado diferentes métodos para aplicar el ACE, por ejemplo variando el endmember de suelo y de sombra, o el estimador utilizado, con el fin de realizar un análisis de sensibilidad de los mismos (García-Haro, 1997), mostraremos únicamente los resultados correspondientes a un caso general (ver endmembers en figura 2b). El *endmember* de vegetación corresponde a una vegetación con una respuesta relativamente baja en TM4, lo cual se puede atribuir a que contiene cierta proporción de sombras. Es por ello que los valores que obtengamos para la fracción de sombra los atribuimos únicamente a suelo sombreado.

La Figura 1b revela la alta correlación existente entre la fracción de vegetación media de la parcela y la cobertura vegetal medida en el campo, que es mejor que la que se obtuvo para el NDVI. Además,

al contrario de lo que allí ocurría, la fracción de vegetación se puede interpretar, de una forma directa, como la cobertura vegetal de la vegetación en la superficie pues existe un acuerdo razonable entre ambas magnitudes, con desviaciones típicamente inferiores a 0.02.

No obstante, de modo similar a como ocurría con el NDVI, la fracción de vegetación varía con la altura del sensor, tendiendo a producir valores más bajos de ésta conforme aumenta la altura del mismo. De nuevo, hay que atribuir dichas diferencias a la distorsión que existe en las imágenes a consecuencia de la atmósfera, que dificulta la estimación de la correlación. En efecto, la atmósfera actúa como filtro que suaviza el contraste espectral entre componentes, especialmente la de vegetación (cuyos rasgos espectrales son más acusados), lo que origina una reducción considerable de la contribución aparente de la vegetación en la escena. Asimismo, el RMS del residuo promedio de la reflectividad para las distintas parcelas fue razonablemente bajo en todos los casos, con valores (típicamente inferiores a 0.01) comparables al error experimental.

CONCLUSIONES

El estudio realizado a partir de datos ATM, de alta resolución espacial, nos ha permitido validar una técnica basada en el análisis de mezclas espectrales para estimar parámetros de la vegetación. Previamente a la aplicación del ACE hemos analizado las posibilidades que ofrece un método automático de extracción de *endmembers*. Los resultados han indicado la validez del mismo para estimar los *endmembers* de suelo, vegetación y sombra a partir de imágenes ATM. Por ejemplo, el *endmember* de vegetación estimado es directamente comparable al que se midió en el campo. Asimismo, los resultados obtenidos indican un buen acuerdo entre los valores de la cobertura vegetal medida en el campo en parcelas de almendros y la fracción de vegetación estimada mediante el ACE, por lo que éstos proporcionan una interpretación mucho más directa de la distribución de materiales en la escena que la que pueden proporcionar los índices de vegetación. No obstante, cuando la contribución de la atmósfera es grande y no está corregida con gran precisión, introduce errores sistemáticos significativos en la fracción de las componentes, que afecta en mayor medida a la fracción de vegetación, dado que la vegetación presenta un espectro con rasgos espectrales muy marcados, produciendo una disminución en la cantidad aparente de la vegetación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro del marco del Proyecto Medalus-III, subvencionado por la Unión Europea (EV5V-CT92-0164).

BIBLIOGRAFíA

GARCÍA-HARO, F.J., GILABERT, M.A. y MELIÁ, J., 1996, Linear spectral rnixture modelling to estimate vegetation amount from optical spectral data, *lntemational Joumal of Remote Sensing*. 17:3373-3400.

GARCÍA-HARO, F.J. 1997. Modelización y estimación de parámetros relacionados con la cubierta vegetal en teledetección, Tesis doctoral, Universitat de Valencia.

GARCÍA-HARO, F.J., GILABERT, M.A. y MELIÁ, J. 1999. Estimation of endmembers from spectral rnixtures, *Remote Sensing of Environment* (en prensa).

HILL, J. y STURM, B. 1991. Radiometric correction of multitemporal Thematic Mapper data for use in agriculturalland-cover classification and vegetation monitoring. *lntemational Joumal of Remote Sensing*. 12(7): 1471-1491.