

Separación emisividad/temperatura a partir de datos DAIS y aplicación del contraste espectral para discriminar distintos tipos de vegetación

J.C. Jiménez-Muñoz¹, J.A. Sobrino¹, A. Gillespie² y D. Sabol²

¹Unidad de Cambio Global - Departamento de Termodinámica - Facultad de Física
Universidad de Valencia, Dr. Moliner, 50, 46100 Burjassot (Spain).

Correo electrónico: jcm@uv.es

²W. M. Keck Remote Sensing Laboratory - Department of Earth and Space Sciences
University of Washington, Seattle, Washington 98195-1310 USA

RESUMEN

La aparición de nuevos sensores de alta resolución con varios canales en la región del infrarrojo térmico ha propiciado el desarrollo de metodologías que permiten obtener valores de temperatura de la superficie terrestre y recuperar los espectros de emisividad de las superficies naturales. Una de estas metodologías es el algoritmo TES (Temperature and Emissivity Separation), originariamente desarrollado para el sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer). En este trabajo se ha aplicado este método ejecutando únicamente el primer módulo, llamado NEM (Normalized Emissivity Method), y se han utilizado los datos suministrados por el sensor DAIS (Digital Airborne Imaging Spectrometer) dentro del marco de las campañas DAISEX (DAIS EXperiment) financiadas por la ESA (European Space Agency) y realizadas en la zona agrícola de Barrax (Albacete, España). La validación realizada a partir de medidas in situ muestra una concordancia con la precisión apuntada para el método TES, de 1.5 K para temperatura y un 1% para emisividad. Los valores de emisividad obtenidos permiten evaluar el contraste espectral y, junto con valores de NDVI, discriminar distintos tipos de vegetación.

PALABRAS CLAVE: emisividad, temperatura, teledetección, TES, DAIS.

ABSTRACT

The new generation of high resolution sensors with some thermal infrared bands have allowed the development of methodologies for retrieving land surface temperature and the emissivity spectrum of the natural surfaces. One of this methodologies is the TES (Temperature and Emissivity Separation) algorithm, developed and applied to the ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer). In this paper, the TES method has been applied, executing only the first module, called NEM (Normalized Emissivity Method), and the data supplied by the DAIS (Digital Airborne Imaging Spectrometer) sensor in the framework of the DAISEX (DAIS EXperiment) campaigns supported by ESA (European Space Agency) and carried out over the Barrax agricultural test site (Albacete, Spain) have been employed. The validation carried out from in situ measurements shows an agreement with the accuracy of the TES method, 1.5 K for temperature and 1% for emissivity. Emissivity values have been used in order to calculate the spectral contrast and, along with NDVI values, discriminate different vegetation types.

KEY WORDS: emissivity, temperature, remote sensing, TES, DAIS.

INTRODUCCIÓN

Como es bien conocido, existe un acoplamiento entre la temperatura y la emisividad de la superficie terrestre cuando se trabaja en el campo de la teledetección infrarroja desde satélites, de manera que no se puede obtener una si no se conoce la otra. Este problema puede resolverse si se consideran algunas hipótesis acerca del valor de la emisividad o bien de la

temperatura. En el caso del método TES (Temperature and Emissivity Separation) desarrollado por Gillespie et al. (1998) y que presentaremos en este artículo, la hipótesis de partida consiste en considerar un valor inicial para la emisividad con el fin de obtener una estimación de la temperatura de la superficie terrestre y obtener finalmente un nuevo valor para la emisividad. Para poder aplicar el método se requieren varios canales térmicos, por lo que no puede ser aplicado a plataformas como Landsat o NOAA.

El objetivo de este trabajo es obtener valores de temperatura y emisividad de la superficie terrestre aplicando el método TES y utilizando, por tanto, varios canales situados en la región del infrarrojo térmico. Para ello, se han utilizado los datos proporcionados por el sensor DAIS (Digital Airborne Imaging Spectrometer) dentro del marco de las campañas DAISEX (Digital Airborne Imaging Spectrometer EXperiment) financiadas por la ESA (European Space Agency) y realizadas en la zona de cultivos agrícolas de Barrax (Albacete, España) (Moreno et al., 2001). El instrumento DAIS es un sensor multiespectral con un total de 79 canales, seis de ellos situados en el infrarrojo térmico y con un ancho de banda de 0.9 mm: canal 74 ($\lambda_{\text{efectiva}} = 8.75$ mm), canal 75 ($\lambda_{\text{efectiva}} = 9.65$ mm), canal 76 ($\lambda_{\text{efectiva}} = 10.48$ mm), canal 77 ($\lambda_{\text{efectiva}} = 11.27$ mm), canal 78 ($\lambda_{\text{efectiva}} = 12.00$ mm) y canal 79 ($\lambda_{\text{efectiva}} = 12.67$ mm) (Müller et al, 2001).

SEPARACIÓN DE LA TEMPERATURA Y LA EMISIVIDAD

Con el fin de obtener la temperatura y la emisividad de la superficie terrestre a partir de los datos proporcionados por el sensor DAIS sobre la zona de Barrax, se ha considerado el método TES (Temperature/Emissivity Separation) desarrollado por Gillespie et al. (1998) y aplicado originariamente al sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer) a bordo de la plataforma TERRA. Este método está constituido por un total de tres partes o módulos. El primer módulo consiste en el método NEM (Normalized Emissivity Method) desarrollado por Gillespie (1985) y a partir del cual se obtienen unos primeros valores de emisividad para cada canal térmico. En el segundo módulo se obtienen unos valores de emisividad relativa a partir del cociente entre la emisividad de un canal y la emisividad media de todos los canales térmicos y finalmente en el tercer módulo se obtienen los valores finales de emisividad de la superficie terrestre a partir de la relación entre el valor de la emisividad mínima y los valores del contraste espectral, llamado MMD (Minimum-Maximum Difference). En este trabajo se muestran únicamente los resultados obtenidos al aplicar el método NEM, ya que debido a las características de la zona de Barrax en la que los contrastes espectrales de los cultivos son bajos, es posible obtener valores adecuados aplicando el primer módulo del

método TES (Sobrino et al., 2002). A continuación, y previamente a la presentación de los resultados obtenidos, pasamos a explicar brevemente la metodología del método NEM.

Metodología NEM

Para obtener la emisividad de la superficie terrestre y a partir de ella la temperatura, el método NEM parte de la siguiente ecuación, obtenida a partir de la ecuación de transferencia radiativa:

$$B_i(T_s) = \frac{L_i^{\text{sup}} - (1 - \epsilon_{\text{inicial}}) L_i^{\text{atm}\downarrow}}{\epsilon_{\text{inicial}}} \quad (1)$$

donde B es la función de Planck correspondiente a la radiación emitida por un cuerpo negro, T_s es la temperatura de la superficie terrestre, L_i^{sup} es la radiancia emitida por la superficie y obtenida corrigiendo la radiancia medida por el sensor del efecto atmosférico, $\epsilon_{\text{inicial}}$ es un valor inicial de emisividad y $L_i^{\text{atm}\downarrow}$ es la radiancia atmosférica descendente. El subíndice 'i' hace referencia al canal térmico considerado. A partir de la ecuación (1) es posible obtener valores de T_s a partir de cada canal térmico. Como valor final de T_s se toma el valor máximo, es decir,

$$T_s = \max(T_{s,i}) \quad (2)$$

Una vez obtenido el valor de T_s se pueden recuperar los valores de emisividad correspondientes a cada canal térmico a partir de la ecuación (1):

$$\epsilon_i(T_s) = \frac{L_i^{\text{sup}} - L_i^{\text{atm}\downarrow}}{B_i(T_s) - L_i^{\text{atm}\downarrow}} \quad (3)$$

Los valores de emisividad así obtenidos pueden reutilizarse en la ecuación (1) y repetir de nuevo el proceso, realizando de esta forma un proceso iterativo. El número máximo de iteraciones aconsejable es 12, de forma que si con este número no se alcanza una convergencia en los valores la metodología no resulta lo suficientemente precisa. En nuestro caso y para las zonas seleccionadas (suelo desnudo, alfalfa, cebada de secano y agua), las diferencias entre los valores obtenidos en la primera iteración y los valores obtenidos tras realizar sucesivas iteraciones hasta un total de 12 muestran diferencias

menores a 0.003 en emisividad y a 0.1 K en temperatura para todos los casos, por lo que 1 iteración resulta suficiente para obtener los resultados deseados. Hay que señalar que como valor inicial de emisividad suele tomarse un valor estándar de 0.99. Sin embargo, existe un procedimiento matemático que permite obtener un valor más preciso y que se analiza en el siguiente apartado.

Estimación del valor óptimo de la emisividad inicial

A la hora de elegir un valor para la emisividad inicial se puede optar por un valor que sea lo más representativo posible para todas las superficies naturales. Por ejemplo, para vegetación, agua o nieve un valor de 0.99 puede ser representativo para la región del infarrojo térmico comprendida entre los 8 y los 14 μm . Sin embargo, para otros tipos de superficie podemos elegir otro valor más adecuado. Una forma sencilla de obtener el valor óptimo para la emisividad inicial consiste en representar la varianza correspondiente a los valores de emisividad de los distintos canales térmicos (canales del 74 al 79 en el caso de DAIS) dividida por el valor de la emisividad media al cuadrado en función de ciertos valores de emisividad inicial. Al realizar esta gráfica obtenemos una parábola cuyo mínimo corresponde con el valor óptimo de emisividad inicial. En la Figura 1 se muestra las parábolas obteni-

das para distintos tipos de superficie así como la ecuación correspondiente a un ajuste polinómico de grado 2. Hay que tener en cuenta que el mínimo de la parábola representará un valor óptimo para la emisividad inicial siempre y cuando este valor sea menor a 1. En la Tabla 1 se muestra los valores para el mínimo de la parábola correspondiente a cada tipo de superficie. Podemos observar como para la cebada de secano el valor óptimo de emisividad inicial es 0.968. En los demás casos los valores superan la unidad, sin embargo para alfalfa y agua, que son superficies con un comportamiento cercano a un cuerpo negro, podemos elegir 0.99 o incluso 1 como valor inicial. La elección de un valor inicial para el caso de suelo desnudo puede resultar más crítica, ya que en este caso la metodología mostrada en este apartado no proporciona un valor satisfactorio y además resulta difícil dar un valor de emisividad inicial representativo de todos los suelos. En este caso podemos recurrir al valor estándar de 0.99 o, lo que es más conveniente, intentar dar un valor más preciso si se tiene conocimiento de la zona de estudio. De todas formas parece claro que un suelo desnudo tendrá una emisividad menor a la de la vegetación, es decir, menor a 0.99. Así, optaremos por un valor parecido a la cebada de secano para el suelo desnudo. De esta forma tendremos un valor de emisividad inicial de 1 para la alfalfa, de 0.99 para el agua y de 0.97 para la cebada de secano y el suelo desnudo. A la hora de trabajar con imágenes de satélite (o imágenes adquiridas por un

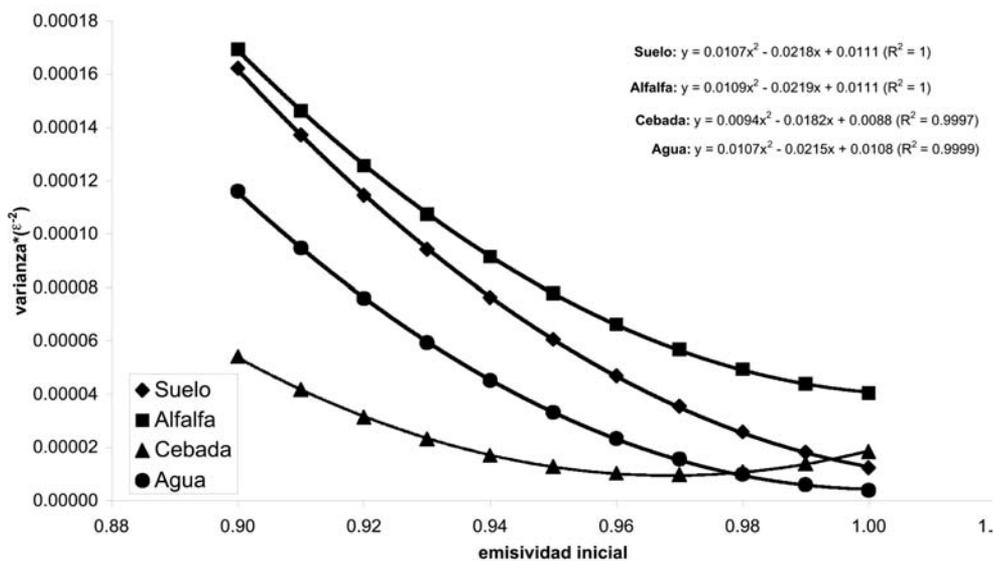
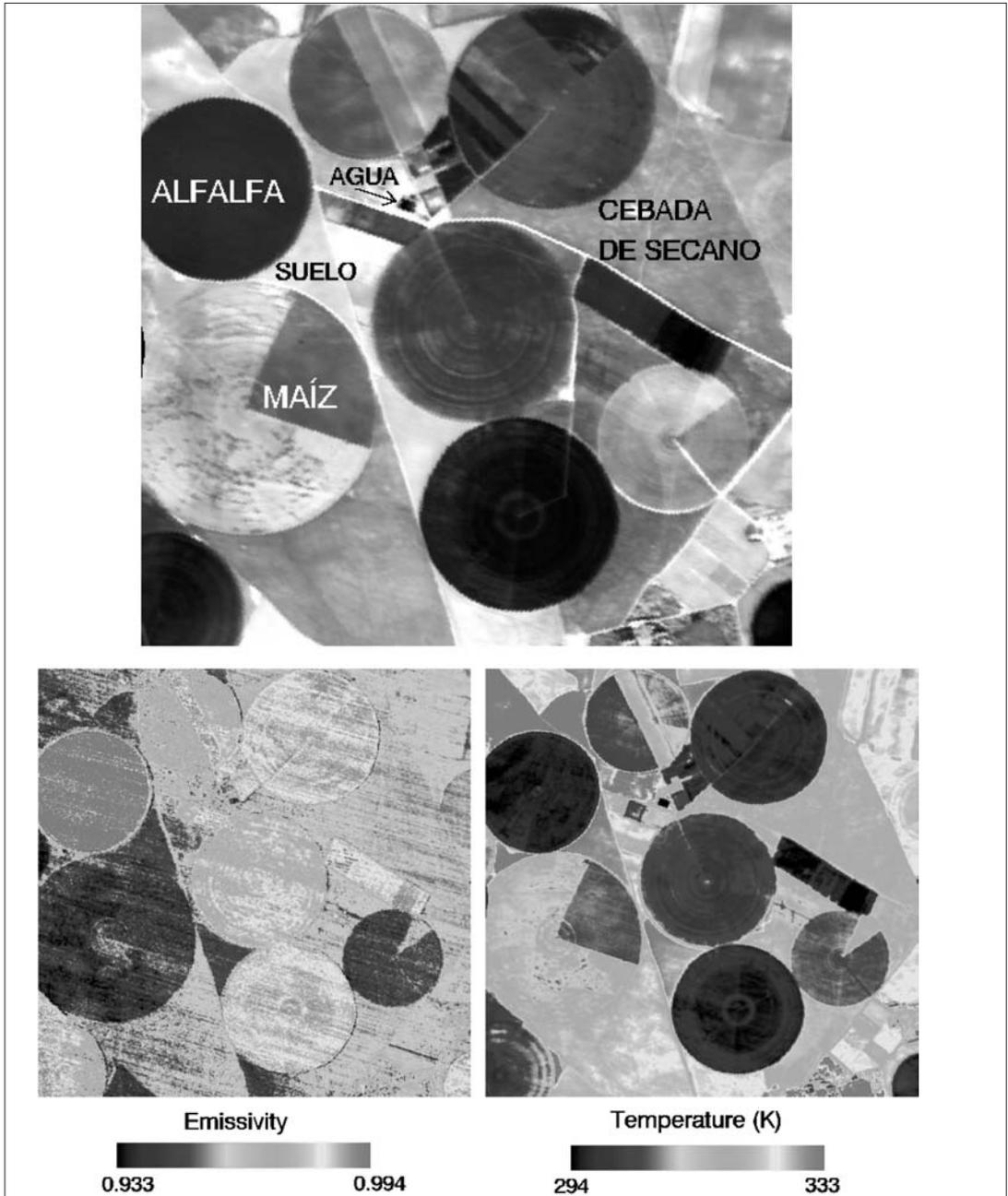


Figura 1. Gráfica de las parábolas cuyo mínimo proporciona el valor óptimo para la emisividad inicial necesaria para ejecutar el módulo NEM.

ZONA	mínimo
Cebada de Secano	0,968
Alfalfa	1,005
Agua	1,005
Suelo Desnudo	1,019

Tabla 1. Valores correspondientes a los mínimos de la parábola que indica el valor óptimo de emisividad inicial para aplicar el método NEM.



***Figura 2.** La zona de Barrax y las imágenes de emisividad y temperatura de la superficie terrestre obtenidas con el método NEM. Las imágenes corresponden al día 3 de Junio de 1999, a las 11, 52 GMT, y fue adquirida por el sensor DAIS dentro de la campaña DAISEX-99..

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color

sensor a bordo de un avión como en este caso) se puede realizar una clasificación y asignar a cada clase un valor de emisividad inicial. De esta forma podemos aplicar el método NEM con el fin de obtener una imagen de emisividad y también de temperatura (ver Figura 2). Una vez aplicado el algoritmo y obtenidos los valores de emisividad y temperatura, llega el momento de comparar los resultados obtenidos con los valores medidos en campo con el fin de evaluar la precisión del método utilizado.

Validación

Durante las campañas DAISEX realizadas en los veranos de 1998, 1999 y 2000 sobre la zona de Barrax se recogieron numerosas medidas in situ con el fin de validar los resultados extraídos de las imágenes proporcionadas por el sensor DAIS (la base de datos se encuentra disponible en la dirección de red <http://io.uv.es/projects/daisex>). Entre estas medidas se encuentran valores de temperatura radiométrica y de emisividad obtenidos sobre distintas superficies. Los valores de emisividad han sido obtenidos a partir del método de la caja (Nerry et al., 1990), mientras que los valores de temperatura radiométrica han sido corregidos del efecto de la radiancia atmosférica descendente y del efecto de la emisividad con el fin de obtener un valor de temperatura de la superficie terrestre. Los radiómetros de campo utilizados han sido básicamente dos: el RAYTEK ST8, con una única banda en la región 8-14 mm (y por tanto una longitud central de 11 mm), y el CIMEL CE 312, con cuatro bandas con unas longitudes de onda efectiva de 10.54 mm, 11.96 mm, 10.80 mm y 8.82 mm respectivamente. Para validar los resultados obtenidos para la emisividad de la superficie terrestre, también podemos utilizar

los espectros de Salisbury extraídos de la librería espectral de ASTER (<http://speclib.jpl.nasa.gov>) debidamente promediados según la función filtro de los canales térmicos del sensor DAIS. Con el fin de comparar los valores medidos con el radiómetro CIMEL y los obtenidos con el sensor DAIS se ha establecido la siguiente correspondencia en función de la semejanza de las longitudes de onda efectiva:

CIMEL: banda 1 fi DAIS: canal 76

CIMEL: banda 2 fi DAIS: canal 78

CIMEL: banda 3 fi DAIS: promedio de los canales 76 y 77

CIMEL: banda 4 fi DAIS: canal 74

(para comparar los valores obtenidos con el radiómetro RAYTEK se ha utilizado también el promedio de los canales DAIS 76 y 77).

Los resultados obtenidos en la validación a partir de una imagen DAIS adquirida el día 3 de Junio de 1999 a las 11:52 GMT se muestran en las Tablas 2, 3 y 4. Así, la validación a partir de los datos RAYTEK (Tabla 2) muestra una coincidencia exacta para los casos de suelo desnudo y alfalfa, mientras que para la cebada de secano se observa una dife-

ZONA	mínimo
Suelo Desnudo	0,000
Cebada de Secano	-0,004
Alfalfa	0,000

Tabla 2. Validación de la emisividad obtenida con el método NEM y comparada con los valores medidos in situ con el radiómetro RAYTEK.

rencia de 0.004. Con respecto a los valores correspondientes al radiómetro CIMEL (Tabla 3) se pueden observar diferencias mínimas, destacando úni-

ZONA	$\lambda_{\text{efectiva}} (\mu\text{m})$	$\epsilon_{\text{NEM}} - \epsilon_{\text{in situ}}$
Suelo Desnudo	10.54 (Banda 1)	0.002
	11.96 (Banda 2)	0.000
	10.80 (Banda 3)	-0.002
	8.82 (Banda 4)	0.000
Cebada de Secano	10.54 (Banda 1)	-0.001
	11.96 (Banda 2)	0.005
	10.80 (Banda 3)	0.022
	8.82 (Banda 4)	0.007

Tabla 3. Validación de la emisividad obtenida con el método NEM y comparada con los valores medidos in situ con el radiómetro CIMEL CE 312 extraídos de la base de datos DAISEX'99 (<http://io.uv.es/projects/daisex>).

ZONA	$\lambda_{\text{efectiva}} (\mu\text{m})$	$\epsilon_{\text{NEM}} - \epsilon_{\text{in situ}}$
Suelo Desnudo	8.75 (DAIS-74)	0.003
	9.65 (DAIS-75)	0.004
	10.48 (DAIS-76)	0.000
	11.27 (DAIS-77)	-0.009
	12.00 (DAIS-78)	-0.012
	12.67 (DAIS-79)	-0.012
Alfalfa	8.75 (DAIS-74)	0.010
	9.65 (DAIS-75)	0.025
	10.48 (DAIS-76)	0.010
	11.27 (DAIS-77)	0.014
	12.00 (DAIS-78)	-0.002
	12.67 (DAIS-79)	0.010
Agua	8.75 (DAIS-74)	0.000
	9.65 (DAIS-75)	0.001
	10.48 (DAIS-76)	0.000
	11.27 (DAIS-77)	0.000
	12.00 (DAIS-78)	0.001
	12.67 (DAIS-79)	0.006

Tabla 4. Comparación entre la emisividad obtenida con el método NEM y los valores de los espectros de Salisbury filtrados según las funciones filtro de los canales térmicos DAIS..

camente el valor obtenido con la banda 3 para el caso de la cebada de secano, con una diferencia de 0.02. Por último, la comparación con respecto a los valores de Salisbury, en los que se ha comparado la alfalfa con la hierba verde y el suelo desnudo con un suelo del mismo tipo que el de Barrax y etiquetado como 86P4561, muestran también unas diferencias aceptables, menores al 1% en la mayoría de los casos, a excepción del valor obtenido para la alfalfa a partir del canal 75, en el que se observa una diferencia de alrededor del 3%.

Con respecto a la validación de la temperatura de la superficie terrestre, se ha obtenido una diferencia con respecto a la temperatura medida in situ de 0.1 K para el suelo desnudo y 0.04 K para el agua. Estas diferencias extraordinariamente pequeñas se deben a que estas zonas han sido elegidas como puntos para recalibrar las imágenes DAIS. No ocurre lo mismo con las zonas de alfalfa y cebada de secano, en las que se ha obtenido unas diferencias de 2.3 K y 1.4 K respectivamente. En el caso de la cebada de secano esta diferencia puede explicarse teniendo en cuenta la alta heterogeneidad térmica (de varios grados) de este cultivo, debida en parte a

su estado senescente. Por lo que respecta a la alfalfa, las comparaciones realizadas con otras medidas y con datos meteorológicos parecen apuntar a un error en la medida de la temperatura in situ. Todos estos resultados concuerdan con la precisión señalada para el método TES (Gillespie et al., 1998): 1.5 K para la temperatura y 1% para la emisividad.

DISCRIMINACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE VEGETACIÓN A PARTIR DEL MMD Y DEL NDVI

En la sección anterior se ha mostrado un método para obtener la emisividad de la superficie terrestre para los seis canales térmicos del sensor DAIS. Una vez obtenidos estos valores, se puede calcular el contraste espectral o MMD (Minimum-Maximum Difference) a partir de la siguiente expresión:

$$\text{MMD} = \max(\beta_i) - \min(\beta_i) \quad (4)$$

donde β_i son valores de emisividad relativa calculados como:

$$\beta_i = \frac{\varepsilon_i}{\left(\frac{\sum \varepsilon_i}{6}\right)} \quad (5)$$

Los valores de MMD pueden ser utilizados para caracterizar distintos tipos de superficie de forma análoga al NDVI. Así, una vegetación verde y frondosa puede distinguirse de un suelo desnudo a partir de su valor de NDVI. Algo parecido ocurre con los valores de MMD, ya que la vegetación suele presentar valores bajos de contraste espectral, mientras que otros tipos de superficies como suelos desnudos o rocas pueden llegar a presentar valores altos de MMD. Sin embargo, puede haber casos en los que a partir del valor de NDVI o a partir del valor de MMD no podamos distinguir superficies distintas. En la Tabla 5 se muestran los valores tanto de NDVI como de MMD obtenidos a partir de una imagen DAIS (adquirida el día 3 de Junio de 1999, a las 11:52 GMT) para las zonas de suelo desnudo, alfalfa y cebada de secano, esta última en un estado senescente. A la vista de los resultados, podemos observar que a partir del valor de NDVI el suelo desnudo y la

cebada de secano se diferencian perfectamente de la alfalfa, sin embargo resulta difícil distinguir entre suelo desnudo y cebada de secano, ya que poseen un valor de NDVI relativamente parecido. Por lo que respecta al valor de contraste espectral, el suelo desnudo aparece claramente diferenciado de las zonas de alfalfa y cebada, sin embargo estas últimas no se diferencian apreciablemente. En resumen, podemos decir que el NDVI no es útil para distinguir entre vegetación senescente y suelo desnudo, mientras que el MMD no es útil para distinguir una zona de vegetación verde de una zona de vegetación senescente. Para resolver este problema, podemos representar los valores obtenidos en un plano formado por valores NDVI y valores MMD (French et al., 2000). De esta forma podemos discriminar perfectamente los tres tipos de superficies mencionados anteriormente,

ZONA	MMD	NDVI
Suelo Desnudo	0,086	0,12
Alfalfa	0,032	0,88
Cebada de Secano	0,041	0,24

Tabla 5. Valores de contraste espectral (MMD) y NDVI.

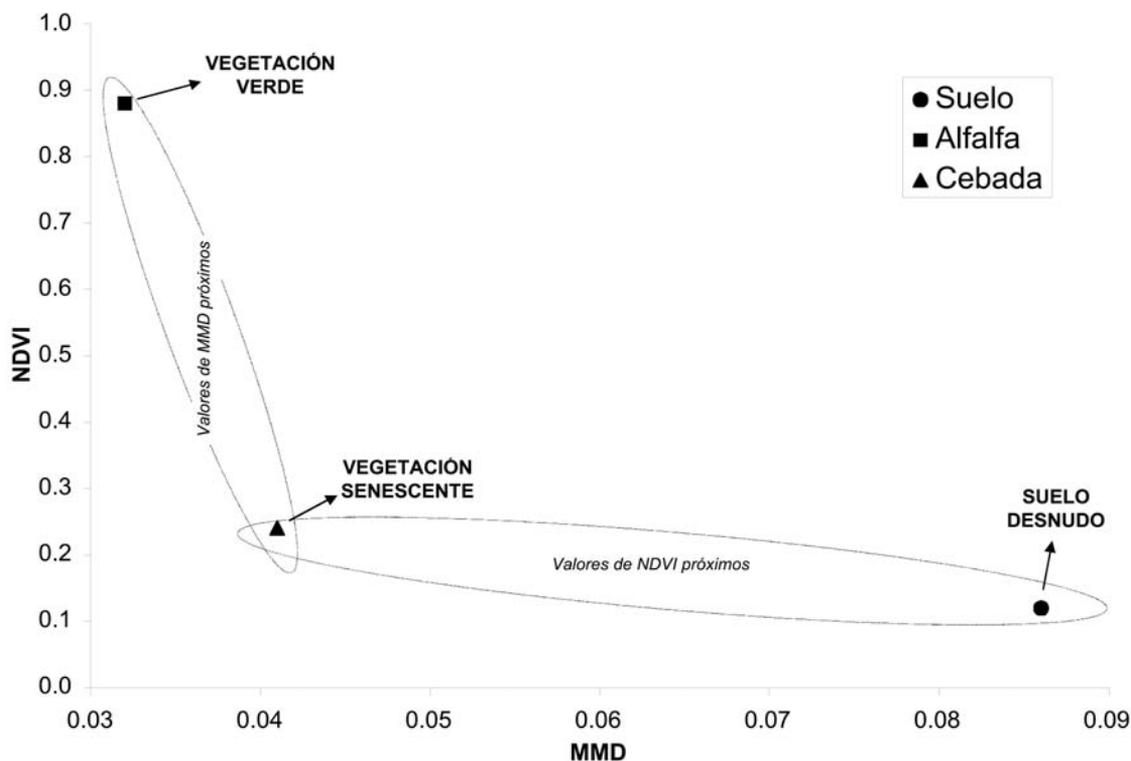


Figura 3. Representación bidimensional de los valores de contraste espectral (MMD) y NDVI correspondientes a la imagen DAIS del día 3 de Junio de 1999, a las 11,52 GMT.

como se puede observar en la Figura 3. En esta figura se aprecia como los valores correspondientes a vegetación verde (alfalfa) y vegetación senescente (cebada de secano) forman prácticamente una recta vertical debido a valores parecidos de MMD, mientras que el suelo desnudo y la vegetación senescente forman aproximadamente una recta horizontal debido a valores próximos de NDVI. Por tanto, la representación gráfica de los valores en el plano (MMD, NDVI) proporciona un método sencillo y eficaz para discriminar distintos estados de la vegetación.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha aplicado el método TES, o más concretamente, el método NEM, que forma el primer módulo de un total de tres de los que está constituido el método TES. Esta metodología nos ha permitido obtener imágenes tanto de temperatura como de emisividad de la superficie terrestre a partir de los datos proporcionados por el sensor DAIS transportado a bordo de un avión sobre una zona de cultivos agrícolas situada en Barrax (Albacete, España). La validación realizada a partir de las medidas in situ con radiómetros de campo y los valores extraídos de la imagen DAIS correspondiente al día 3 de Junio de 1999 (11:52 GMT) muestra una diferencia en temperatura prácticamente despreciable (menor a 0.1 K) para las zonas de suelo desnudo y agua, debido a que estos puntos han sido elegidos como puntos de calibrado. Esta diferencia es mayor para las zonas de alfalfa y cebada de secano, de 2 K y 1.4 K respectivamente, debido a un posible error en la medida de la temperatura in situ de la alfalfa y la gran heterogeneidad térmica de la cebada, además de problemas de calibración en los canales térmicos del sensor DAIS. Por lo que respecta a la emisividad, las diferencias son menores a 0.005 cuando se comparan con las medidas realizadas con el radiómetro RAYTEK en la región 8-14 mm. Estas diferencias son menores al 1% en prácticamente todos los casos cuando se comparan los valores medidos con el radiómetro CIMEL en cuatro bandas distintas (10.54 μm , 11.96 μm , 10.80 μm y 8.82 μm) y con los espectros de Salisbury promediados según las funciones filtro de los seis canales térmicos DAIS (8.75 μm , 9.65 μm , 10.48 μm , 11.27 μm , 12.00 μm y 12.67 μm). Por último, se ha obtenido el contraste espectral (MMD) a partir de los valores de emisividad así como valores de NDVI. Estos valores han sido representados en el plano (MMD,

NDVI) con el objetivo de discriminar la vegetación senescente, representada por la cebada de secano, de la vegetación verde, representada por la alfalfa.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Unión Europea (proyecto WATERMED, ICA3-ct-1999-00015) y el Ministerio de Ciencia y Tecnología (proyecto REN2001-3105/CLI). Agradecemos también el apoyo financiero proporcionado por la Agencia Espacial Europea (proyecto ESA-ESTEC 13053/NL/GD y 13390/NL/GD) así como al instituto alemán DLR por proporcionarnos las imágenes DAIS.

BIBLIOGRAFÍA

- FRENCH, A. N., SCHMUGGE, T. J. y KUSTAS, W. 2000. Discrimination of Senescent Vegetation Using Thermal Emissivity Contrast. *Remote Sensing of Environment*. 74: 249-254.
- GILLESPIE, A.R. 1985. Lithologic mapping of silicate rocks using TIMS. *The TIMS Data Users' Workshop*, JPL Publication 86-38, pp. 29-44.
- GILLESPIE, A., ROKUGAWA, S., MATSUNAGA, T., COTHERN, J. S., HOOK, S. y KAHLE, A. B. 1998. A temperature and emissivity separation algorithm for advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 36: 1113-1126.
- MORENO, J., CALERA, A., CASELLES, V., CISNEROS, J.M., MARTÍNEZ-LOZANO, J.A., MELIÁ, J., MONTERO, F. y SOBRINO, J.A. 2001. The measurement programme at Barrax. *DAISEX Final Results Workshop*, SP-499, pp. 43-51.
- MÜLLER, A., GEGE, P. y COCKS, T. 2001. The Airborne Imaging Spectrometers used in DAISEX. *DAISEX Final Results Workshop*, SP-499, pp. 3-6.
- NERRY, F., LABED, J. y STOLL, M. P. 1990. Spectral properties of lands surfaces in the thermal infrared band. Part II: Field method for spectrally averaged emissivity measurements. *Journal of Geophysical Research*. 95: 7045-7062.
- SOBRINO, J. A., JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C., LABED-NACHBRAND, J. y NERRY, F. 2002. Surface emissivity retrieval from Digital Airborne Imaging Spectrometer data. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 107, No. D23, 4729, doi: 10.1029/2002JD002197.