

VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE LA COBERTURA VEGETAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EMISIVIDAD DE LA SUPERFICIE TERRESTRE

V. CASELLES, E. VALOR, C. COLL, E. RUBIO, M.M. ARTIGAO R. NICLÒS y L. MARTÍNEZ

Vicente.Caselles@uv.es

*Dept. de Termodinàmica. Universitat de València.
Cl. Doctor Moliner, 50. 46100 Burjassot (València).*

RESUMEN: El Método de la Cobertura Vegetal permite la determinación independiente de la emisividad necesaria para la estimación de la temperatura de la superficie terrestre con las técnicas de corrección atmosférica y de emisividad. En este estudio se valida una formulación operativa, simplificada y usando coeficientes medios, para dicho método en las regiones espectrales 10,5-12,5 μm y 8-9 μm . Los resultados confirman su efectividad, mientras que definen el límite superior del error de estimación de la emisividad con el método.

ABSTRACT: The Vegetation Cover Method allows an independent assessment of the emissivity that is a necessary input for the land surface temperature estimation with atmospheric and emissivity correction techniques. In this study an operational expression for that method, simplified and that uses average coefficients, is validated within the spectral regions of 10.5-12.5 μm and 8-9 μm . The results confirm its effectiveness, whereas the upper limit of the emissivity estimation error with the method is defined.

Palabras clave: emisividad, Método de la Cobertura Vegetal, SPECTRA, temperatura, corrección atmosférica.

INTRODUCCIÓN

La obtención de medidas precisas de temperatura de la superficie terrestre por teledetección exige el conocimiento de la emisividad de las superficies bajo observación. En concreto, cualquier método de corrección atmosférica y de emisividad, sea monocanal o split-window, contiene una dependencia explícita de la emisividad, la cual debe ser estimada independientemente.

Ahora bien, tanto la emisividad como la temperatura se encuentran acopladas en la radiancia emitida por una superficie, de modo que un sensor con N canales proporciona N ecuaciones (o medidas), para un problema de N+1 incógnitas (N emisividades más la temperatura). La consecuencia es que el sistema de ecuaciones a resolver resulta indeterminado, y de ahí la necesidad de introducir algún tipo de hipótesis que permita la separación de ambas variables.

Para resolver el problema se han propuesto diferentes alternativas, tanto de tipo cualitativo, mediante el uso de técnicas de procesado de imágenes, como cuantitativos, donde es posible obtener el valor relativo o absoluto de la emisividad. En este sentido, el Método de la Cobertura Vegetal (MCV) es cuantitativo y se basa en la búsqueda de relaciones entre la información obtenida

en las regiones visible/IR próximo, e IR térmico, a través del porcentaje de cobertura vegetal observado en la superficie.

En este estudio se presentan los resultados de la validación del método, llevada a cabo con datos de diferentes instrumentos tomados en áreas distintas.

LA EXPRESIÓN OPERATIVA DEL MCV

El MCV define la emisividad efectiva de una superficie heterogénea y rugosa, modelando tal superficie como una distribución regular de elementos vegetales sobre un determinado suelo (Valor, 1997).

Cada elemento vegetal se representa mediante una caja de paredes lambertianas, con longitud L, altura H, y separadas una distancia S. La radiancia emitida por el sistema es un promedio de las radiancias emitidas por cada elemento, bien directamente, bien a través de reflexiones entre los elementos del sistema. Teniendo en cuenta estas hipótesis, la emisividad efectiva para el canal i es (Valor y Caselles, 1996):

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{i0} + d\varepsilon_i$$

donde ε_{i0} se relaciona con la radiancia directamente emitida por los elementos de la superficie,

$$\epsilon_{i0} = \epsilon_{iv} P_V + \epsilon_{ig} (1 - P_V)$$

siendo ϵ_{iv} y ϵ_{ig} las emisividades de vegetación y suelo en el canal i respectivamente, y P_V la cobertura vegetal en el píxel. El término de cavidad, $d\epsilon_i$, toma en cuenta la radiancia emitida indirectamente por la superficie a través de reflexiones (de primer orden) que tienen lugar en las cavidades definidas por la superficie rugosa, como consecuencia de que las superficies naturales no son cuerpos negros perfectos,

$$d\epsilon_i = (1 - \epsilon_{ig}) \epsilon_{iv} F(1 - P_V) + [(1 - \epsilon_{iv}) \epsilon_{ig} G + (1 - \epsilon_{iv}) \epsilon_{iv} F'] P_S$$

en el que P_S es la proporción de lado de los elementos vegetales observados por el sensor, y F , G , y F' son los factores de forma, que representan la fracción de radiación que emitida por la vegetación alcanza el suelo, la proporción que emitida por el suelo alcanza el lado de los elementos vegetales, y la fracción que llega a un elemento vegetal desde otro elemento contiguo a él. Dichos factores de forma dependen de la geometría de la superficie a través del cociente (H/S) (Valor y Caselles, 1996).

Estas ecuaciones permiten la obtención de la emisividad térmica en cualquier canal espectral empleando una estimación de la cobertura vegetal a escala de píxel, magnitud que puede obtenerse mediante medidas realizadas en el dominio óptico por el instrumento.

Para poder realizar un cálculo preciso del término de cavidad se necesita una buena descripción de la geometría de la superficie, información que no siempre se encuentra disponible. Por ello resulta conveniente buscar una simplificación de dicho término, de modo que dependa de menos parámetros y cuya aplicación sea más sencilla. Con este objetivo, se ha analizado el valor del término de cavidad considerando un amplio intervalo de estructuras y emisividades que engloben el mayor número de casos posibles: (i) emisividad del suelo entre 0,95 y 0,98, y emisividad de la vegetación fija en 0,985, como consecuencia del comportamiento espectral de las superficies vegetales en el intervalo 10-12,5 mm (Salisbury y D'Aria, 1992); (ii) estructuras geométricas diversas, considerando desde hierba hasta bosques; y (iii) ángulos de observación desde 0 a 60°.

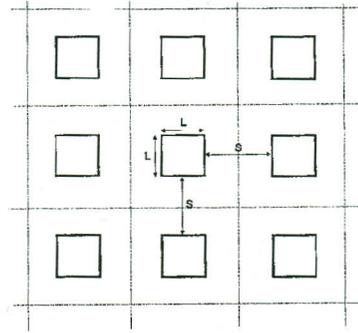
Los cálculos se han realizado con el modelo geométrico de la Figura 1 (Valor, 1997).

La Figura 2 muestra la variación del término de cavidad con el porcentaje de cobertura vegetal, para diferentes tipos de estructuras de la superficie. Este resultado sugiere una posible aproximación para el término de cavidad mediante el uso de una función parabólica dotada de un valor promedio para describir el valor máxi-

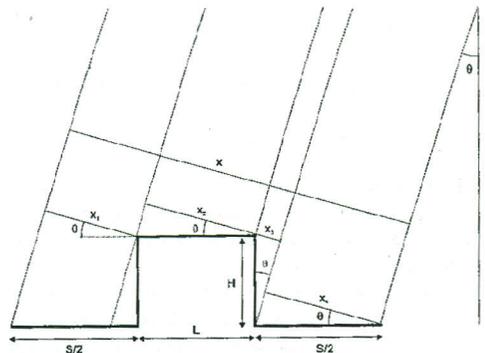
mo del término de cavidad. Con esto, la emisividad de canal quedaría:

$$\epsilon_i = \epsilon_{iv} P_V + \epsilon_{ig} (1 - P_V) + 4 \langle d\epsilon_i \rangle P_V (1 - P_V)$$

donde $\langle d\epsilon_i \rangle$ es el término de cavidad máximo para cada estructura superficial considerada.



(a)



(b)

Figura 1. Modelo geométrico de la superficie terrestre usado para el análisis del término de cavidad. (a) visión nadir. (b) sección de la celda unitaria.

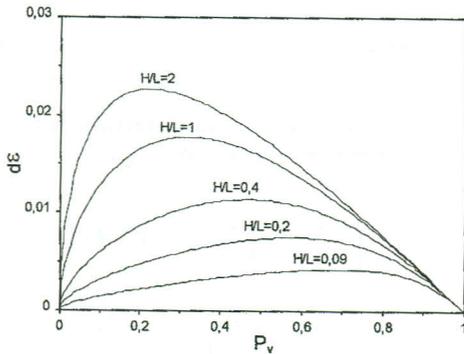


Figura 2. Dependencia del término de cavidad con la cobertura vegetal para distintas estructuras de la superficie (H/L), considerando visión nadir y emisividades $\epsilon_g=0,960$ y $\epsilon_v=0,985$.

Físicamente, esta aproximación sustituye una superficie heterogénea por una estructura vegetal media con un máximo del término de cavidad dado por $\langle dc \rangle$, y con una separación entre sus elementos variable con P_v .

Los coeficientes de la ecuación anterior dependen de: (i) el tipo de vegetación y el tipo de suelo sobre el que se encuentra, a través de sus emisividades; (ii) la geometría de las superficies, a través del término de cavidad máximo; y (iii) el canal empleado, por la variación espectral de las emisividades de las superficies naturales. Estos coeficientes pueden ser ajustados para cada canal y tipo de superficie, si las geometrías son conocidas y si se dispone de emisividades de campo de los diferentes tipos de suelo y vegetación para el área estudiada. Si no es el caso, se propone el uso de valores medios para dichos coeficientes, que serán específicos para cada banda térmica considerada. Para calcular dichos valores medios se ha tomado como referencia la base de espectros de emisividad de Salisbury y D'Aria (1992). Para ϵ_{ig} se ha calculado el promedio y desviación estándar de emisividades de rocas y suelos conjuntamente; para ϵ_{iv} se ha considerado un cuerpo gris de emisividad 0,985. Esta última elección se justifica a partir de los valores de emisividad medidos por Salisbury sobre hojas verdes individuales. Además, el efecto de la reflexión múltiple, que tiene lugar en la misma planta y entre ésta y el suelo, tiende a aumentar la emisividad y a desdibujar los rasgos espectrales pudieran observarse en una hoja individual. Por otro lado esta elección se ve confirmada por las medidas de campo realizadas en diferentes campañas experimentales (Rubio et al, 1997). El término de cavidad máximo ha sido elegido en función del canal para cada par $\epsilon_{ig}-\epsilon_{iv}$. Para ello se ha calcu-

lado un término de cavidad para diferentes tipos de vegetación, considerando el valor promedio de todos ellos.

	8-9 μm	10.5-12.5 μm	8-13 μm
ϵ_{ig}	0,90 \pm 0,06	0,960 \pm 0,014	0,93 \pm 0,03
ϵ_{iv}	0,985 \pm 0,005	0,985 \pm 0,005	0,985 \pm 0,005
$\langle dc \rangle$	0,04 \pm 0,03	0,017 \pm 0,011	0,03 \pm 0,02

Tabla 1. Valores medios a utilizar en los coeficientes de la ecuación operativa del MCV

El objetivo de este estudio ha sido comprobar la validez de la ecuación operativa del MCV junto con los coeficientes dados en la (Tabla 1), así como estimar el error con que proporciona la emisividad. Esta validación determina el límite superior del error de estimación de la emisividad con el MCV (ya que el uso de coeficientes ajustados a casos concretos o del término de cavidad exacto llevaría a mejores resultados), y muestra la eficacia real de esta formulación mucho más operativa.

LA BASE DE DATOS

Para llevar a cabo la validación, se necesita una base de medidas de emisividad de campo coincidentes con el paso de instrumentos situados a bordo de aviones o de satélites artificiales. En concreto, se han usado datos obtenidos en cuatro áreas enmarcadas en diferentes proyectos, en las que se disponía de este tipo de medidas: Turco (Bolivia) con datos del AVHRR, Bunyol (Valencia) con el TM, Barrax (Albacete) para el caso del TM y DAIS, y Alpillés (Francia) también con el DAIS.

Las medidas in situ de la emisividad se efectuaron con el método de la caja (Rubio *et al.*, 1997) en las variantes de 1 tapa (Turco y Bunyol) y 2 tapas (en los otros casos). Como instrumental se usó un radiómetro monocanal que opera en 8-14 μm (Turco, Bunyol y Barrax/TM), un radiómetro multibanda que mide en 8-14 μm , 8,2-9,2 μm , 10,5-11,5 μm y 11,5-12,5 μm (Barrax/DAIS) y un espectroradiómetro (Alpillés). El empleo del radiómetro de bandas y el espectroradiómetro posibilita la validación del MCV tanto en la región de 8-9 μm como en la de 10.5-12.5 μm , intervalos en los que se encuentran las dos combinaciones de canales propuestas para el instrumento SPECTRA. En el caso de las medidas realizadas en banda ancha, han sido transformadas a las regiones espectrales mencionadas por medio de las ecuaciones propuestas por Rubio *et al.* (1997).

También se dispone de medidas in situ de las dimensiones de la estructura vegetal, que junto a las medidas de emisividad de cada uno de los componentes de la superficie (distintos tipos de vegetación y suelo), per-

miten determinar la emisividad efectiva medida, mediante el uso de la expresión exacta del MCV.

Por otra parte, a partir de las imágenes proporcionadas por los diferentes sensores antes mencionados se han calculado las emisividades con la ecuación operativa del MCV y los coeficientes de la Tabla 1. Posteriormente se han extraído dichos valores en ventanas de 5x5 o 7x7 píxeles centradas en el píxel que, tras la georreferenciación de las imágenes a las zonas observadas, coincide espacialmente con las zonas de medida en el campo.

RESULTADOS

Las Tablas 2 y 3 presentan los resultados de la validación en las regiones espectrales 10,5-12,5µm y

Muestra	Med.	Calc.	Dif.
<i>AVHRR/Bolivia</i>			
Estepa árida	0,975	0,973	0,002
<i>TM/Barrax</i>			
Cebada reg. (30 mayo)	0,977	0,990	-0,013
Cebada reg. (12 junio)	0,979	0,991	-0,012
Cebada sec. (30 mayo)	0,985	0,989	-0,004
Cebada sec. (12 junio)	0,974	0,985	-0,011
Maíz (30 mayo)	0,976	0,967	0,009
Maíz (12 junio)	0,982	0,974	0,008
Maíz (25 junio)	0,994	0,983	0,011
Alfalfa (30 mayo)	0,989	0,988	0,001
Alfalfa (12 junio)	0,989	0,987	0,002
Alfalfa (25 junio)	0,989	0,991	-0,002
Suelo (30 mayo)	0,977	0,965	0,012
Suelo (12 junio)	0,977	0,965	0,012
Suelo (25 junio)	0,977	0,962	0,015
<i>TM/Bunyol</i>			
Alborache	0,978	0,967	0,011
Montroi	0,983	0,977	0,006
<i>DAIS97/Alpilles</i>			
Maíz 500	0,993	0,989	0,004
Girasol 121	0,987	0,992	-0,005
Girasol 102	0,985	0,987	-0,002
Trigo (cosechado) 120	0,951	0,984	-0,033
Alfalfa 203	0,991	0,986	0,005
<i>DAIS98/Barrax</i>			
Suelo S1	0,963	0,966	-0,003
Suelo S3	0,967	0,965	0,002
Maíz C5	0,992	0,986	0,006
Alfalfa A4	0,980	0,986	-0,006
<i>DAIS99/Barrax</i>			
Suelo S10	0,968	0,965	0,003
Cebada V27	0,952	0,977	-0,025
Maíz SV3	0,984	0,979	0,005

Tabla 2. Resultados de la validación del MCV en la región espectral 10,5-12,5 µm.

Muestra	Med.	Calc.	Dif.
<i>DAIS97/Alpilles</i>			
Maíz 5000,993	0,991	0,002	
Girasol 1210,978	0,991	-0,013	
Girasol 1020,985	0,988	-0,003	
Trigo 120 (cosechado)	0,955	0,967	-0,012
Alfalfa 2030,991	0,987	0,004	
<i>DAIS98/Barrax</i>			
Suelo S1 0,944	0,915	0,029	
Suelo S3 0,959	0,912	0,047	
Maíz C5 0,992	0,987	0,005	
Alfalfa A40,981	0,987	-0,006	
<i>DAIS99/Barrax</i>			
Suelo S100,955	0,914	0,041	
Cebada V27	0,957	0,945	0,012
Maíz SV30,972	0,950	0,022	

Tabla 3. Resultados de la validación del MCV en la región espectral 8-9 µm.

8-9 µm, respectivamente. En cada una de ellas se muestra, para cada zona y tipo de superficie, el valor medido en el campo, el valor calculado con el MCV, y la diferencia entre ambos.

De estos resultados podemos concluir que:

- En la región 10,5-12,5 µm el MCV proporciona la emisividad sin desviación sistemática y con un error de $\pm 0,011$.
- En el intervalo 8-9 µm el método determina la emisividad con una desviación sistemática de 0,01 y una incertidumbre de $\pm 0,02$.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha abordado la validación de la formulación operativa del MCV en las regiones espectrales 10,5-12,5 µm y 8-9 µm.

El resultado obtenido para la región de 10,5-12,5 µm es razonablemente bueno si se tiene en cuenta la simplicidad del método propuesto y el hecho de que se emplean coeficientes medios. Por tanto se confirma que los coeficientes para esta región espectral son adecuados al no introducir desviación sistemática en la estimación de la emisividad.

En el caso de la región 8-9µm disponemos de una base de datos poco extensa ya que sólo son disponibles medidas de diversos experimentos con el DAIS. Aquí el MCV subestima la emisividad. Probablemente esto se debe a la gran variabilidad en la emisividad que presentan los diferentes tipos de suelos y rocas en esta región espectral, lo cual limita la aplicación del método. Sin embargo, el uso de coeficientes ajustados a cada región sí que podría ofrecer mejores resultados.

En resumen, los resultados de la validación confirman la efectividad del método operativo propuesto, al mismo tiempo que definen el límite superior en el error de estimación de la emisividad con el mismo en ambas regiones espectrales.

BIBLIOGRAFÍA

- RUBIO, E., CASELLES, V. y BADENAS, C. (1997). Emissivity measurements of several soils and vegetation types in the 8-14 mm wave band: analysis of two field methods. *Remote Sens. Environ.*, 59, 490-521.
- SALISBURY, J. W. y D'ARIA, D. M. (1992). Emissivity of terrestrial materials in 8-14 mm atmospheric window. *Remote Sens. Environ.*, 42, 83-106.
- VALOR, E. (1997). Determinación de la emisividad de la superficie terrestre a partir de imágenes de satélite. *Tesis doctoral. Dep. de Termodinàmica. Universitat de València*, 166 pp.
- VALOR, E. y CASELLES, V. (1996). Mapping land surface emissivity from NDVI: application to European, African and South American areas. *Remote Sens. Environ.*, 57, 167-184.