

Análisis comparativo de las ventanas espectrales 8-9 μm . y 10,5-12,5 μm para la determinación precisa de la temperatura

V. Caselles, C. Coll, E. Rubio, E. Valor, M.M. Artigao, R. Niclòs y L. Martínez

Correo electrónico: Vicente.Caselles@uv.es

Departament de Termodinàmica. Facultat de Física. Universitat de València. 46100 Burjassot.

RESUMEN

Hasta ahora se ha utilizado la región espectral de 10,5-12,5 μm para determinar la temperatura de la superficie terrestre mediante el método de split-window. Sin embargo, una posible alternativa podría ser la banda 8-9 μm . En este trabajo se comparan ambas posibilidades, utilizando para ello datos del sensor aerotransportado TIMS, tomados en el marco del proyecto HAPEXSahel. Los resultados confirman que la región óptima para la aplicación del método de split-window es la de 10,5-12,5 μm .

PALABRAS CLAVE: temperatura, 8-9 μm , 10,5-12,5 μm , split-window, TIMS, HAPEX-Sahel.

ABSTRACT

Until now, the spectral region of 10.5-12.5 μm has been used to determine the land surface temperature by means of the split-window method. However, a possible alternative could be the 8-9 μm band. In this study both possibilities are compared, using data from the airborne sensor TIMS, acquired within the framework of the HAPEX-Sahel project. The results confirm that the optimum region for the application of the split-window method is 10.5-12.5 μm .

KEYWORDS: temperature, 8-9 μm , 10.5-12.5 μm , split-window, TIMS, HAPEX-Sahel.

INTRODUCCIÓN

La técnica de split-window fue desarrollada inicialmente para la estimación de la temperatura de la superficie del mar, y se basa en la absorción diferencial que se observa en las medidas de dos canales próximos dentro de una misma ventana atmosférica. En los últimos 15 años se ha extendido esta técnica al cálculo de la temperatura de la superficie terrestre. Aquí, la principal dificultad es el efecto de la variabilidad espacial y espectral de la emisividad de la superficie. Fundamentalmente se ha utilizado la ventana espectral de 10,5-12,5 μm para su aplicación. Sin embargo, Caselles et al. (1998) demostraron que una alternativa a esta región podría ser la banda de 8-9 μm .

En el presente estudio efectuamos una validación del trabajo de simulación de Caselles et al. (1998), empleando para ello las imágenes del sensor aerotransportado Thermal Infrared Multispectral Scanner (TIMS) y las medidas de suelo realizadas en el marco del proyecto HAPEX-Sahel (Hydrologic Atmospheric Pilot Experiment in the Sahel).

De las distintas ecuaciones de split-window que podemos encontrar en la literatura, utilizamos la ecuación cuadrática propuesta por Coll y Caselles (1997).

LA BASE DE DATOS

Con el fin de hacer posible dicha validación, es necesaria una base de datos correlacionada, donde

existan medidas de campo coincidentes espacial, temporal y espectralmente, con imágenes del sensor a utilizar. En nuestro caso, disponemos de:

- Imágenes del sensor TIMS, con 6 canales entre 8 y 12,5 μm , cuya respuesta espectral relativa se muestra en la Figura 1, tomadas sobre la zona de HAPEX-Sahel. Se observan distintos tipos de superficie: suelos desnudos, cultivos (mijo), vegetación natural (sabana), etc. Las imágenes corresponden a alturas de vuelo de 600 m y 5.000 m (resolución en tierra de 1,5 m y 12 m respectivamente), lo que permite evaluar el impacto de dos espesores atmosféricos diferentes. Aplicando un falso color a las imágenes se pueden distinguir las diferentes áreas de estudio, tal como se ve claramente en la Figura 2.

- Medidas de campo de la campaña experimental del proyecto HAPEX-Sahel, la base de datos de la

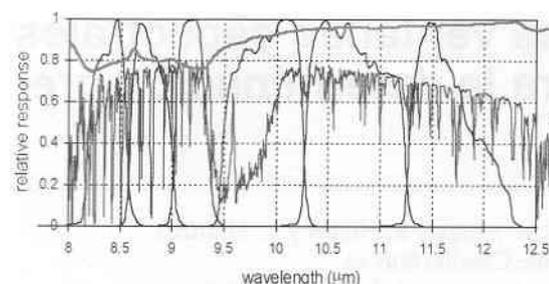


Figura 1. Respuesta espectral relativa de los seis canales del TIMS. Los canales están numerados de 1 a 6 desde la izquierda. La emisividad espectral típica del suelo aparece en rojo, mientras la transmisividad atmosférica se representa en azul

cual se encuentra recopilada en una serie de CDs (Kerr et al., 1996) y via internet en www.orstom.fr/hapex. Aunque en HAPEX-Sahel no se realizó una campaña específica para la validación del TIMS, existen medidas radiométricas de temperatura coincidentes con los vuelos de éste que nos permiten realizarla. Éstas se han corregido del efecto de la emisividad utilizando para ello valores de emisividad espectral medidos en la zona por la Universidad de Estrasburgo para dos muestras de suelo diferentes (Figura 3). Las medidas de temperatura se refieren a elementos individuales de la superficie (suelo o vegetación). Dependiendo de la resolución espacial de los datos TIMS, hemos tenido que definir en ocasiones una temperatura efectiva, lo que ha sido posible gracias a la existencia de algunos datos referentes a la estructura de la vegetación en las zonas piloto. Este hecho, además de la necesaria coincidencia espacial y temporal entre datos de tierra y TIMS, ha reducido considerablemente el número de datos para la validación.

Las áreas finalmente consideradas son útiles por su gran diversidad. Así la zona 1 es un campo, que resulta desigual, con una cobertura muy heterogénea, pero donde se pueden distinguir separadamente vegetación y suelo descubierto en las propias imágenes. La zona 2 es un área degradada de hierba y arbustos, donde se considera una cobertura vegetal completa pero heterogénea. La zona 3 contiene tanto vegetación natural como suelo expuesto, componentes que resultan indistinguibles en las imágenes TIMS pero donde conocemos afortunadamente la proporción de vegetación, lo que nos permite determinar la temperatura y emisividad efectiva. Un nuevo campo de mijo exento de arbustos, constituye la zona 4, donde también observamos suelo desnudo y del que sabemos la proporción de vegetación. Por último, el área 5 se encuentra en zona de sabana, con hierba y suelo descubierto, para la cual es también viable el cálculo de valores efectivos.

ALGORITMOS DE SPLIT-WINDOW

La temperatura de la superficie terrestre puede obtenerse a partir de las temperaturas de brillo en dos canales térmicos i - j según la ecuación:

$$T = T_i + A(T_i - T_j) + B(T_i - T_j)^2 + C(1 - \varepsilon) + D\Delta\varepsilon + E \quad (1)$$

donde $\varepsilon = (\varepsilon_i + \varepsilon_j)/2$ y $\Delta\varepsilon = \varepsilon_i - \varepsilon_j$ son la emisividad media y la diferencia espectral entre los canales split-window (Coll y Caselles, 1997). Los coeficientes A-E dependen únicamente de los canales i - j y pueden obtenerse mediante una base de datos de simulación, la cual debe incluir gran número de sistemas atmósfera-superficie. En nuestro caso definimos 6.120 casos como combinación de diferentes perfiles atmosféricos, temperaturas de superficie y emisividades. Con ello, los coeficientes

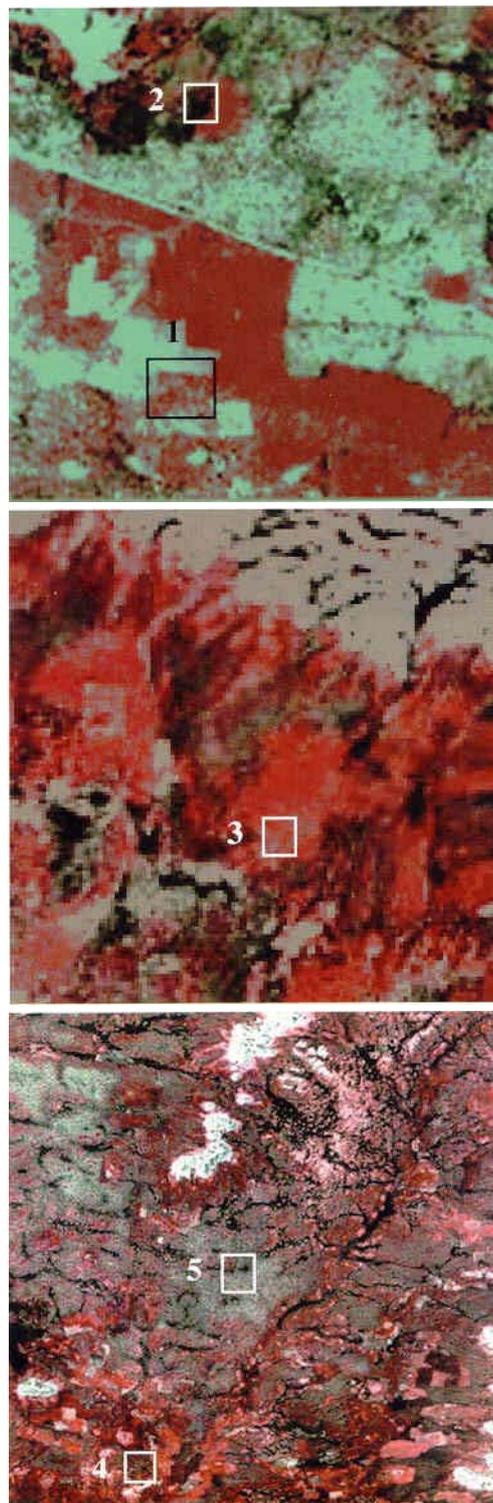


Figura 2. Áreas experimentales 1 a 5 mostradas mediante un falso color obtenido con imágenes TIMS a alturas de vuelo 5.000m.

de splitwindow se pueden obtener mediante regresión para cualquier combinación de canales simulada.

En este trabajo hemos simulado los seis canales del TIMS, aunque un análisis de todas las posibles combinaciones demostró que únicamente las combinaciones de canales TIMS 5-6 (similar a los canales clásicos 4-5 de AVHRR) y 2-1 (una nueva

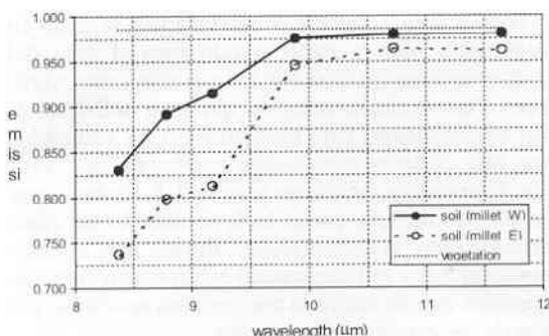


Figura 3. Emisividad integrada para los canales TIMS para dos muestras de suelo de cultivos de mijo (del Oeste y Este Central). Las medidas espectrales fueron realizadas en el laboratorio por la Universidad de Estrasburgo. El espectro de emisividad de vegetación verde, considerado como el de un cuerpo gris, aparece para comparación.

alternativa, entre 8 y 9 mm) son aceptables para la aplicación de dicho algoritmo. En la Tabla 1 se muestran los coeficientes y errores de la regresión en la temperatura obtenidos para estas dos combinaciones, siendo el error mayor para el resto. Este error de regresión o del modelo no es la única fuente de incertidumbre en la estimación de la temperatura de la superficie, ya que hay que incluir también la propagación del ruido radiométrico del instrumento y del error en la estimación de la emisividad, dato de entrada necesario para la aplicación del método de split-window (Valor et al, 1999).

Combinación canales TIMS i-j	5-6	2-1
A	1,85	1,11
B (K^{-1})	0,286	0,129
C (K)	46,9	45,4
D (K)	-90	-48
E (K)	0,54	1,62
Error de regresión (K)	0,7	1,0

Tabla 1. Coeficientes empíricos de split-window para las combinaciones 5-6 y 2-1 del TIMS. Estos coeficientes los hemos determinado de forma empírica mediante una extensa base de datos de simulación.

Generalmente, la incertidumbre en la estimación de la emisividad es la mayor fuente de error en la determinación de la temperatura mediante el método split-window, por lo cual se requiere un buen método para disponer de la emisividad. Por otro lado, estudios anteriores (Schmugge et al., 1998) basados en imágenes TIMS sobre nuestra misma zona de estudio, han mostrado que en los canales 1 y 2 la variabilidad de la emisividad es grande, con valores tan bajos como 0,80 para algunos tipos de suelo, mientras que para los canales 5 y 6, la emisividad toma generalmente valores entre 0,95 y 0,98 para todo tipo de superficies. Por esta razón el impacto de la emisividad en la técnica de split-window será mayor para 2-1 que para 5-6.

RESULTADOS

Los algoritmos de split-window se han aplicado en sus dos combinaciones consideradas, 5-6 y 2-1,

a las distintas imágenes TIMS en las áreas donde existen medidas in situ de temperatura, con el objetivo de mostrar su validez.

Los puntos de medida fueron localizados dentro de las imágenes usando para ello una imagen SPOT geo-referenciada de la zona y puntos de control. Los inputs de emisividad necesarios los hemos calculado para cada área a partir de las escasas medidas espectrales disponibles. Dado que la localización de los puntos de medida en las imágenes TIMS implica una imprecisión, la comparación con los datos in situ se ha hecho para ventanas de píxeles de cierto tamaño centradas sobre el punto de medida estimado. Así, hemos obtenido gráficos donde es posible comparar el histograma de valores de temperatura calculados con el algoritmo, para cada área de validación, con las temperaturas in situ, o sus magnitudes efectivas, en el caso de superficies heterogéneas, las cuales aparecen en forma de barras en la Figura 4.

Para el área 1, los datos del TIMS se separan en vegetación pura y suelo, dando para el caso del suelo y la combinación 5-6, temperaturas muy similares a las de tierra, mientras que para la 2-1 resultan subestimadas. Para la vegetación los resultados son más certeros para ambas combinaciones, aunque ligeramente inferiores para la 2-1. En las zonas de píxeles mezcla, como la 4, se observa un claro acuerdo entre la temperatura estimada para la combinación 5-6 y la temperatura efectiva considerada, mientras que de nuevo la temperatura resultante del uso de los canales 2-1 es menor. En la Tabla 2 se muestran resumidamente los resultados para todas las áreas de validación, con sus correspondientes medidas in situ de temperatura y las temperaturas obtenidas con los algoritmos de split-window.

CONCLUSIONES

Hemos propuesto como combinaciones válidas para la determinación de la temperatura de la superficie terrestre con el uso del método split-window, debido a la sensibilidad presentada a las condiciones atmosféricas y superficiales, los pares de canales 2-1 y 5-6.

Los resultados de la validación del método de split-window han confirmado que la combinación de canales clásica (5-6 del TIMS) proporciona temperaturas de la superficie comparables con las medidas del suelo con una precisión de ± 2 $^{\circ}\text{C}$, mientras que la combinación alternativa (canales 2-1 del TIMS) generalmente subestima la temperatura entre 1 y 6 $^{\circ}\text{C}$, dependiendo de los casos. Esto podría ser debido a la mayor dificultad de obtener valores adecuados de emisividad en estos canales. Llegamos, por tanto, a la conclusión de que los canales térmicos óptimos para la aplicación de los algoritmos split-window deben situarse

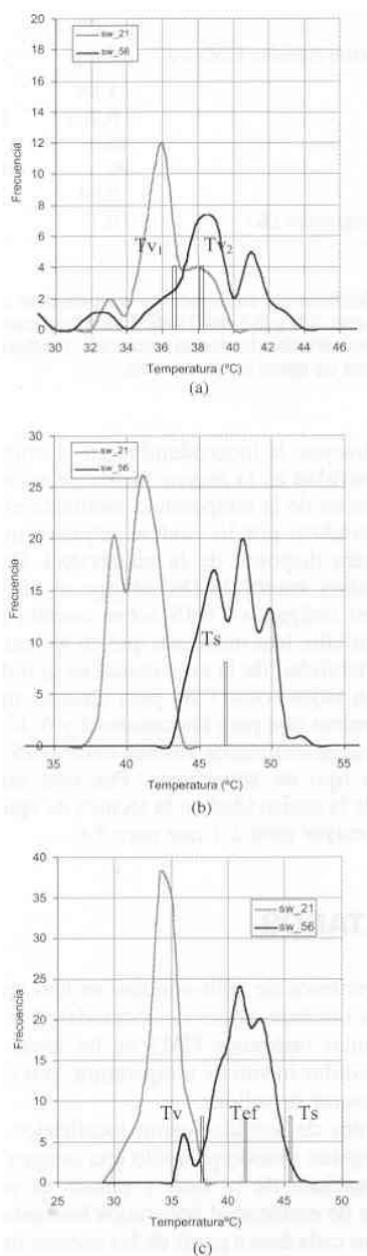


Figura 4. Comparación entre la temperatura determinada a partir de TIMS con los dos algoritmos de split-window estudiados, y las medidas de tierra en la zona 1, considerando separadamente vegetación de dos tipos (a) y suelo desnudo (b), y la zona de mezcla 4 (c). Se han representado los histogramas de la zona obtenidos con las imágenes TIMS y los valores de campo mediante barras: vegetación Tv, suelo Ts y valor efectivo Tef.

dentro de la ventana 10,5-12,5 mm. Una posible alternativa sería, sin embargo, la región de 8-9 mm. Para ello se debería disponer de valores apropiados de emisividad para esta banda, que eviten los errores sistemáticos observados en este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud a la Agencia Espacial Europea por la financiación proporcionada para el estudio aquí presentado (ESTEC Contrato No. 14236/00/NL/DC).

T in situ (°C)	S-W 2/1(°C)	S-W 5/6(°C)
<i>Área 1 (mijo)</i>		
Tv=36,7 – 38,2	35,7 ± 1,8	37,6±3,0
Ts=46,8	40,1 ± 1,3	46,9±1,8
<i>Área 2 (arbusto y hierba)</i>		
Ta=29,7/Th=47,	35,5 ± 2,5	39,4 ± 1,6
Efectiva: 46,1		
Ta=29,7/Th=47,	35,5 ± 2,3	42,3 ± 2,4
Efectiva: 45,8		
Ta=29,6/Th=45,	34,8 ± 1,9	41,5 ± 2,1
Efectiva: 43,7		
<i>Área 3 (vegetación y suelo)</i>		
Tv=32,0/Ts=47,	37,5 ± 0,9	49,0 ± 0,9
Efectiva: 46,6		
<i>Área 4 (mijo)</i>		
Tv=38,0/Ts=45,	34,0 ± 1,7	39,8 ± 1,9
Efectiva: 41,9		
Tv=37,7/Ts=45,	33,7 ± 1,4	40,7 ± 2,2
Efectiva: 41,5		
Tv=37,1/Ts=44,	32,8 ± 1,3	38,1 ± 2,1
Efectiva: 40,9		
<i>Área 5 (hierba y suelo)</i>		
Tv=40,7/Ts=45,	36,9 ± 1,7	41,7 ± 2,3
Efectiva: 42,9		
Tv=40,4/Ts=44,	37,7 ± 1,5	41,2 ± 1,8
Efectiva: 42,6		
Tv=39,5/Ts=43,	35,3 ± 1,8	40,0 ± 1,9
Efectiva: 41,5		

Tabla 2. Comparación entre medidas in situ y temperaturas determinadas a partir de las imágenes TIMS con los dos algoritmos de split-window estudiados, S-W 2/1 y S-W 5/6. Las medidas de campo se realizaron separadamente para los distintos elementos presentes en cada zona. Así tenemos: vegetación, Tv, suelo, Ts, arbustos, Ta, y hierba, Th, para un mayor grado de distinción.

BIBLIOGRAFÍA

CASELLES, V., RUBIO, E., COLL, C. y VALOR, E. 1998. Thermal band selection for the PRISM instrument 3. Optical band configuration. *Journal of Geophysical Research*. 103(D14): 17.057-17.067.

COLL, C. y CASELLES, V. 1997. A split-window algorithm for land surface temperature from advanced very high resolution radiometer data: Validation and algorithm comparison. *Journal of Geophysical Research*. 102: 16.697-16.713.

KERR, Y.H., VALE RO, T. y WAGNER, S. 1993a. HAPEX SAHEL Information System CD-ROM 1 y 2: AVHRR 92. CESBIO, BPI 2.801. [Disponible en Avenida 18 E. Berlin, 31055 Toulouse Cedex, France].

KERR, Y.H., VALE RO, T. y WAGNER, S. 1993b. HAPEX SAHEL Information System CD-ROM 3: Ground data Vol. 1 (12/94). CESBIO, BPI 2.801. [Disponible en Avenida 18 E. Berlin, 31055 Toulouse Cedex, France].

- SCHMUGGE, T.J., HOOK, S.J. y COLL, C. 1998. Recovering surface temperature and emissivity from thermal infrared multispectral data. *Remote Sensing of Environment*. 65: 121-131.
- VALOR, E., CASELLES, V., COLL, C., RUBIO, E. Y SOSPEDRA, F. 1999. Selección de las bandas térmicas del instrumento PRISM. *Revista de Teledetección*. 11:23-27.