

Validación de productos LST de los sensores AATSR y MODIS a partir de medidas de superficie

César Coll, Vicente Caselles, Joan M. Galve, Enric Valor, Raquel Niclòs y Juan M. Sánchez

Departament de Termodinàmica, Universitat de Valencia, Avda. Dr. Moliner, 50, 46100 Burjassot, Valencia. cesar.coll@uv.es, joan.galve@uv.es.

Resumen

En este trabajo se presenta una base de datos para la validación de productos de temperatura de la superficie terrestre (LST, por sus siglas en inglés) de los sensores AATSR y MODIS obtenidos con sus algoritmos operativos de split-window. La zona de medidas está dentro de una gran extensión de cultivos de arroz muy homogénea térmicamente. La medida “in situ” de LST se realizó con radiómetros térmicos en un área de 1 km². En este trabajo se muestra que los algoritmos de split-window pueden obtener la LST con una precisión de ± 1 °C.

1. Introducción

En la actualidad existen pocas bases de datos con medidas de suelo para la validación de productos derivados de satélites. Éste es el caso de la temperatura de la superficie terrestre (LST, por sus siglas en inglés) donde podemos citar las medidas de [1]-[3]. En el presente trabajo se presenta una serie de medidas de suelo destinadas a la validación de los productos de LST proporcionados por el sensor *Advanced Along Track Scanning Radiometer* (AATSR) a bordo del satélite Envisat de la ESA y por el *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo del satélite Terra de la NASA, mediante sus respectivos algoritmos operativos de split-window. Para ello se ha establecido una zona experimental de medidas en una gran área (~200 km²) de cultivos de arroz en Valencia. Las campañas de medidas fueron realizadas en los veranos de 2002 al 2004, época en la que la zona presenta una gran homogeneidad térmica. Las medidas fueron tomadas sobre áreas de 1 km² (la resolución espacial de AATSR y MODIS) coincidentemente con el paso matutino de los satélites Envisat y Terra sobre nuestra zona (entre las 10.00 y las 11.00 UTC, aproximadamente). Esta zona ha sido ya utilizada para la validación del producto LST del AATSR [4].

En el presente trabajo mostramos las medidas de temperatura obtenidas sobre nuestra zona, los algoritmos de split-window que pueden utilizarse

con los sensores AATSR y MODIS y los resultados de la validación de los productos LST obtenidos con ellos.

2. Medidas de superficie

Las medidas se realizaron dentro de dos zonas de 1 km² de extensión cada una (Figura 1); la zona 1 se usó en las campañas 2002 y 2003 y la zona 2 en la campaña 2004, porque en ese año la homogeneidad de la zona 1 no era la adecuada. Ambas zonas se sitúan dentro de una gran extensión de cultivo de arroz en la Albufera de Valencia

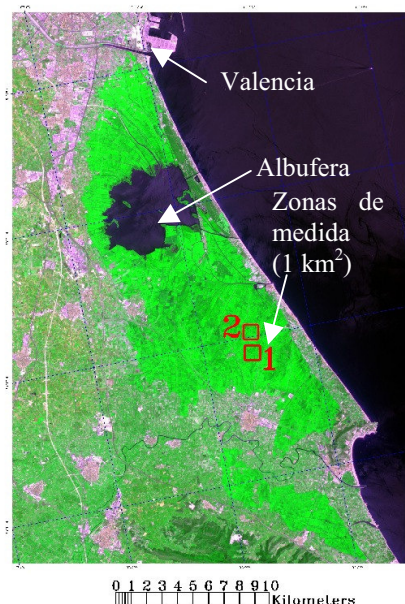


Figura 1.- Imagen en falso color del Terra-ASTER (3 de Agosto del 2004) de las zonas experimentales de medida.

En la Tabla 1 se puede ver la lista de las medidas de LST coincidentes con la hora de paso del AATSR (10:19 – 10:37 UTC) y MODIS (10:11

– 11:00 UTC), con 4 radiómetros térmicos: dos CIMEL Electronique CE312 (CE 1 y CE 2), un EVEREST y un AGA. Los radiómetros fueron calibrados e intercomparados a lo largo de todas las campañas.

Tabla1. Lista de medidas “in situ” de LST de cada radiómetro, coincidentes con la hora de paso del AATSR y del MODIS.

AATSR	LST Suelo $\pm\sigma(T)$ (°C)			
Fecha (dd/mm/aa)	CE 1	Everest	AGA	Media
10/07/02	28,4 $\pm$ 0,6	29,1 $\pm$ 1,0	-	28,6 $\pm$ 0,6
13/07/02	27,2 $\pm$ 0,8	28,2 $\pm$ 0,8	27,9 $\pm$ 1,0	27,6 $\pm$ 0,9
29/07/02	28,1 $\pm$ 0,5	27,2 $\pm$ 0,8	28,1 $\pm$ 1,0	27,9 $\pm$ 0,7
08/08/02	26,4 $\pm$ 0,6	-	26,7 $\pm$ 1,0	26,5 $\pm$ 0,7
14/08/02	28,4 $\pm$ 0,5	28,6 $\pm$ 0,8	-	28,5 $\pm$ 0,5

MODIS	LST Suelo $\pm\sigma(T)$ °C				
Fecha (d/m/a)	CE 1	CE 2	Everest	AGA	Media
10/07/02	28,6 $\pm$ 0,5	-	29,6 $\pm$ 0,9	-	28,8 $\pm$ 0,7
26/07/02	28,0 $\pm$ 0,6	-	27,8 $\pm$ 0,8	28,4 $\pm$ 1,0	28,1 $\pm$ 0,7
08/07/03	28,6 $\pm$ 0,4	28,6 $\pm$ 0,4	29,1 $\pm$ 0,9	-	28,7 $\pm$ 0,5
11/07/03	28,3 $\pm$ 0,4	29,3 $\pm$ 0,5	29,3 $\pm$ 0,7	-	28,9 $\pm$ 0,8
09/08/03	30,1 $\pm$ 0,6	29,1 $\pm$ 0,7	-	29,7 $\pm$ 0,7	29,7 $\pm$ 0,8
12/08/03	31,5 $\pm$ 0,5	30,8 $\pm$ 0,5	31,3 $\pm$ 0,8	31,5 $\pm$ 0,9	31,2 $\pm$ 0,6
26/08/04	31,5 $\pm$ 0,4	32,2 $\pm$ 0,5	-	-	31,9 $\pm$ 0,6
08/07/04	25,3 $\pm$ 0,5	-	25,5 $\pm$ 0,8	-	25,3 $\pm$ 0,6
27/07/04	27,9 $\pm$ 0,6	27,8 $\pm$ 0,5	-	-	27,9 $\pm$ 0,6
03/08/04	29,5 $\pm$ 0,6	30,6 $\pm$ 0,6	-	-	30,0 $\pm$ 0,7
12/08/04	28,6 $\pm$ 0,5	28,8 $\pm$ 0,3	-	-	28,7 $\pm$ 0,5

Las temperaturas radiométricas (T_r) tomadas “in situ” han sido corregidas de los efectos de la emisividad (ϵ) (incluyendo la reflexión de la radiancia atmosférica, L_{sky}). Hemos tomado $\epsilon=0.985$ y espectralmente constante [4] y [5], y utilizado la siguiente relación para dicha corrección.

$$B(LST) = \frac{B(T_r) - (1 - \epsilon)L_{sky}}{\epsilon} \quad (1)$$

donde LST es la temperatura efectiva de la superficie estudiada.

Los errores en la temperatura de suelo, $\sigma(T)$, de la Tabla 1 incluyen el error en la calibración de los radiómetros, el de la corrección de emisividad y la variabilidad natural de la LST en el suelo.

La estrategia seguida ha consistido en tomar las temperaturas radiométricas de las zonas test, corregirlas y promediarlas, y finalmente compararlas con las obtenidas por los productos del AATSR o del MODIS según el caso. Los datos del AATSR

proviene del AATSR Validation Team, University of Leicester. En el caso del MODIS las escenas han sido tomadas del Earth Observing System Data Gateway a través de la web edcimswww.cr.usgs.gov.

3. Algoritmos Split-window

Los algoritmos que vamos a validar se basan en el método de split-window.

3.1. Algoritmo de LST del AATSR.

En su origen el AATSR fue diseñado para la obtención de la temperatura de la superficie del mar [6], pero también puede ser usado para el cálculo de LST. El algoritmo LST del AATSR [7] utiliza una combinación lineal de las temperaturas de brillo en los canales de 11 μ m y 12 μ m (T_{11} y T_{12}) en el nadir. Los coeficientes del algoritmo están determinados para distintas clases o tipos de superficie a partir de una regresión utilizando simulación de superficies terrestres. Hay que destacar que este algoritmo no depende explícitamente de la emisividad de la superficie. Estos efectos quedan representados implícitamente en la caracterización de las superficies. El algoritmo se puede escribir como:

$$LST = a + b(T_{11} - T_{12}) + (b + c)T_{12} \quad (2)$$

donde a, b y c dependen de la clase de superficie y de la cobertura de vegetación correspondiente.

3.2. Algoritmo MOD11_L2

El MOD11_L2 es el producto de LST del MODIS y utiliza un algoritmo generalizado de split-window con las temperaturas de brillo de los canales 31 (11 μ m) y 32 (12 μ m), T_{31} y T_{32} , y puede escribirse como [8]:

$$LST = C + (A_1 + A_2 \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} + A_3 \frac{\Delta\epsilon}{\epsilon^2}) \frac{T_{31} + T_{32}}{2} + (B_1 + B_2 \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} + B_3 \frac{\Delta\epsilon}{\epsilon^2}) \frac{T_{31} - T_{32}}{2} \quad (3)$$

donde $\epsilon = (\epsilon_{31} + \epsilon_{32})/2$ y $\Delta\epsilon = \epsilon_{31} - \epsilon_{32}$ son, respectivamente, la emisividad media y la diferencia de emisividad en los canales 31 y 32. Estos valores están predeterminados para distintas clases de superficies. Los coeficientes C, A_i y B_i se obtienen por regresión a partir de una gran variedad de superficies y situaciones atmosféricas.

3.3. Algoritmo cuadrático y dependiente de la emisividad

El algoritmo de split-window de [9] posee una dependencia explícita con la emisividad de la

superficie. Para dos canales genéricos en los 11 μm y 12 μm , canales 1 y 2 respectivamente, y usando la emisividad media, $\varepsilon=(\varepsilon_1+\varepsilon_2)/2$, y la diferencia de emisividad entre canales, $\Delta\varepsilon=\varepsilon_1-\varepsilon_2$, el algoritmo se puede escribir como:

$$\text{LST}=T_1+a_0+a_1(T_1-T_2)+a_2(T_1-T_2)^2+\alpha(1-\varepsilon)-\beta\Delta\varepsilon \quad (4)$$

donde los coeficientes a_i , α y β dependen del sensor, y β depende además de la cantidad de agua precipitable en la atmósfera. El término cuadrático en T_1-T_2 tiene en cuenta la mayor absorción que se produce en atmósferas húmedas. Supondremos nuestra zona como un cuerpo gris con $\varepsilon=0.985$ y $\Delta\varepsilon=0$ [4]. Para el AATSR, utilizamos como coeficientes de la Ec. (4) los propuestos por [10], es decir:

$$\text{LST}=T_{11}+0,57+1,03(T_{11}-T_{12})+0,26(T_{11}-T_{12})^2 \quad (5)$$

En el caso del MODIS utilizamos los coeficientes propuestos por [11]:

$$\text{LST}=T_{31}+1,52+1,79(T_{31}-T_{32})+1,20(T_{31}-T_{32})^2 \quad (6)$$

4. Resultados y discusión.

Se ha comparado las medidas tomadas en superficie con los resultados dados por los productos LST tanto a partir de imágenes AATSR como MODIS para la media de una ventana de 3×3 píxeles centrada en la zona de estudio. Con ello, se han validado tanto el producto AATSR operativo (Ec. 2) como el cuadrático (Ec. 5). Los resultados se adjuntan en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación de las medidas “in situ” con los resultados de dos algoritmos de LST para el AATSR.

Día dd/mm/aa	LST in situ (°C)	AATSR LST (°C)		Diferencias (°C)	
		Ec. 2	Ec. 5	Ec. 2	Ec. 5
10/07/02	28,6	32,3	28,9	-3,7	-0,3
13/07/02	27,6	32,0	28,5	-4,4	-0,9
29/07/02	27,9	29,7	26,6	-1,8	1,3
08/08/02	26,5	29,5	26,3	-3,0	0,2
14/08/02	28,5	30,8	27,7	-2,3	0,8
03/08/04	30,0	29,9	30,4	0,1	-0,4
12/08/04	28,7	28,7	28,7	0,0	0,0
Media (°C)				-3,0	0,2
Desviación estándar (°C)				1,0	0,9

Respecto al MODIS, se ha validado el producto MOD11_L2 (Ec. 3) y el algoritmo cuadrático (Ec. 6). Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Comparación de las medidas “in situ” con los resultados de dos algoritmos de LST para el MODIS.

Día dd/mm/aa	LST in situ (°C)	MODIS LST (°C)		Diferencias (°C)	
		Ec. 3	Ec. 6	Ec. 3	Ec. 6
10/07/02	28,8	27,6	28,0	1,3	0,8
26/07/02	28,1	26,1	27,9	2,1	0,2
08/07/03	28,7	27,5	28,3	1,3	0,4
11/07/03	28,9	29,4	29,0	-0,5	-0,1
09/08/03	29,7	28,6	29,4	1,1	0,3
12/08/03	31,2	30,9	30,7	0,3	0,5
26/08/03	31,9	29,7	31,7	2,2	0,2
08/07/04	25,3	24,7	24,7	0,6	0,6
27/07/04	27,9	28,5	28,7	-0,6	-0,8
03/08/04	30,0	29,9	30,4	0,1	-0,4
12/08/04	28,7	28,7	28,7	0,0	0,0
Media (°C)				0,7	0,2
Desviación estándar (°C)				1,0	0,5

Aunque el número de datos es reducido, se pueden extraer algunas conclusiones. El producto LST del AATSR parece sobreestimar en alrededor de 3 °C la medida “in situ” de LST. Esto puede ser debido a que en la aplicación operativa del algoritmo asigna unos coeficientes de split-window basada en una clasificación global con una resolución de $0,5^\circ\times 0,5^\circ$ (longitud/latitud), la cual no se ajusta como debiera a nuestra zona de estudio. Por otra parte el algoritmo cuadrático se ajusta mejor a las medidas de suelo de LST (máxima diferencia de 1,3 °C, con un error medio de 0,2 °C y desviación estándar de $\pm 0,9$ °C).

Respecto del producto de MODIS, MOD11_L2 muestra un buen ajuste con las medidas del suelo (máxima diferencia de 2,2 °C, error medio de 0,7 °C y desviación estándar de $\pm 1,0$ °C). Sin embargo los mejores resultados se obtienen de nuevo con el algoritmo cuadrático (Ec. 6), con una máxima diferencia de 0,8 °C, un error medio de 0,2 °C y una desviación estándar de $\pm 0,5$ °C.

5. Conclusiones

En este trabajo se muestra las medidas de suelo realizadas para la validación de productos de LST derivados de los sensores AATSR y MODIS, así

como de la ecuación de split-window cuadrática de [9], con coeficientes adaptados para los canales del AATSR y del MODIS.

La comparación entre datos experimentales y observaciones de satélite muestran una sobreestimación de alrededor de 3 °C para el algoritmo LST del AATSR, de lo que se comprueba que la clasificación global de suelos con una resolución de 0,5° no es apropiada para zonas como la de nuestro estudio.

Los resultados para el producto del MODIS MOD11_L2, basados en una clasificación de suelo con una resolución de un píxel, se aproximan bien a las medidas de suelo, con diferencias comparables o menores que los errores de medida en la mayor parte de los casos. El algoritmo cuadrático constituye una buena opción tanto para el AATSR como para el MODIS, proporcionando unas diferencias respecto a los datos experimentales siempre dentro de ± 1 °C (diferencia media de 0.2 °C y desviación estándar de $\pm 0,9$ y $\pm 0,5$ °C para AATSR y MODIS respectivamente).

Aunque las medidas son escasas y limitadas para el caso de superficies totalmente cubiertas de vegetación, con temperaturas comprendidas entre 25 a 32 °C y condiciones moderadas de vapor de agua (2-3 cm), estos resultados dan confianza a los algoritmos split-window para la determinación de LST en condiciones reales.

6. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (Acción especial REN 2002-11605-E7CLI; Proyecto REN 2001-3116/CLI, y el contrato de investigación Ramón y Cajal del Dr. Enric Valor), Ministerio de Educación y Ciencia (Proyecto CGL2004-06099-C03-01, Acción Complementaria CGL2004-0166-E y Beca de Investigación de la Dr. Raquel Niclòs) y la Universitat de València (Beca "V Segles" de J. M. Sánchez).

7. Referencias

- [1] Prata A.J., "Land Surface temperatures derived from the Advanced Very High Resolution Radiometer and the Along Track Scanning Radiometer. II. Experimental results and validation of AVHRR algorithms", *J. Geophysics Research*, 99D,133025-13058. 1994.
- [2] Prata A.J., "Land surface temperature measurement from space : Validation of the AATSR Land Surface Temperature product". *Technical Report*, CSIRO,40pp. 2003.
- [3] Wan, Z.,Zhang, Y., Zhang,Q. and Li, Z.-L. "Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data". *Remote Sensing of Environment*, 83,163-180, 2002.
- [4] Coll,C., Valor, E., Caselles, V., Niclòs R., Rivas, R., Sánchez, J.M. y Galve, J.M. "Evaluation of the Envisat/AATSR land surface temperature algorithm with ground measurements in the Valencia test site". *Proceedings of the Envisat Symposium*, 6-10 Septiembre 2004, Saulzburg, Austria (en prensa).
- [5] Rubio, E., Caselles, V., Coll, C., Valor, E. y Sospedra, F. "Thermalinfrared emissivities of natural surfaces: Improvements on the experimental set-up and new measurements". *Int. J. Remote Sensing*, 24, 5379-5390. 2003.
- [6] Llewellyn-Jones, D., Edwards, M.C., Mutlow, C. T., Birks, A.R., Barton, I.J. and Tait, H. (2001) " AATSR: Global-change and Surface-Temperature measurements from ENVISAT". *ESA Bulletin*, February 2001, 11-21.
- [7] Prata A.J., "Land surface temperature measurement from space: AATSR algorithm Theoretical Basis Document" *Technical Report*, CSIRO, 27pp. 2000.
- [8] Wan, Z. y Dozier, J. "A generalized split-window algorithm for retrieving land surface temperature from space", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34 (4), 892-905.1996.
- [9] Coll, C., y Caselles, V., "A global split-window algorithm for land surface temperature from AVHRR data: Validation and algorithm comparison". *J. Geophy. Res.* 102D, 16697-16713, 1997.
- [10] Sòria, G., Sobrino, J.A., Cuenca, J., Jiménez-Muñoz, J.C., Gómez,M., y El Kharraz, J. "Surface temperature retrieval from AATSR data: multichannel and multiangle algorithms". *Proceedings of Recent Advances in Quantitative Remote Sensing*, Universidad de Valencia ,pp. 952-955. 2002.
- [11] Sobrino, J.A., El Kharraz, J., y Li, Z.-L. "Surface temperature and water vapour retrieval from MODIS data" *Int. J. Remote Sensing*, 24, 5161-5182. 2003.