

USO DE RADIOMETRÍA TÉRMICA EN EL ANÁLISIS DE CORRELACIONES ENTRE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIES VEGETADAS Y LA TEMPERATURA DEL AIRE A NIVEL SUPERFICIAL

R. Nicolòs (*), M. J. Estrela (**), J. A. Valiente (*) y M. J. Barberà (*).

(*) *Unidad Mixta CEAM-UVEG. Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo. Charles Darwin, 14, 46980 Paterna. niclos@ceam.es*

(**) *Unidad Mixta CEAM-UVEG. Departamento de Geografía. Universidad de Valencia. Blasco Ibáñez, 28. 46010 Valencia.*

RESUMEN

En este trabajo se analizan las correlaciones entre la temperatura del aire a nivel superficial y la temperatura de la propia superficie medida por radiometría térmica dentro de un proyecto cuya finalidad es la obtención de mapas de temperatura del aire desde satélite. Para ello, se calculan las diferencias entre ambas temperaturas medidas simultáneamente, y éstas se estudian en función tanto de parámetros meteorológicos como biofísicos.

ABSTRACT

This work analyses relationships between surface air temperature and surface temperature measured by thermal radiometry in the framework of a project aimed at obtaining air temperature maps from satellites. For this end, differences between both temperatures measured simultaneously are first assessed and then studied as a function of meteorological and biophysical parameters.

Palabras clave: radiometría térmica, temperatura superficial, temperatura del aire, meteorología.

INTRODUCCIÓN

La temperatura del aire a nivel superficial, definida entre 1 y 2m sobre la superficie, constituye hoy en día un parámetro de interés a nivel social y económico. Si bien es cierto que la temperatura del aire suele medirse desde estaciones meteorológicas, los datos disponibles siempre se limitan a la distribución y a la densidad de la red de estaciones con las que se cuente. Por ello, nos proponemos establecer correlaciones entre la temperatura del aire y la temperatura de la superficie, con el objetivo de disponer de la información necesaria para obtener mapas de temperatura del aire a partir de imágenes de temperatura superficial obtenidas desde satélite, siempre con el apoyo de los datos medidos por nuestra red de torres meteorológicas. Para establecer dichas correlaciones partimos del análisis de datos medidos a nivel de suelo, tanto de la temperatura del aire y de la superficie, obtenida por radiometría térmica, como de otras variables meteorológicas.

MEDIDAS EXPERIMENTALES

Para realizar este estudio se instalaron radiómetros térmicos en torres fijas, junto con estaciones meteorológicas completas, en dos áreas vegetadas diferentes: A) una zona arbustiva silvestre muy densa, situada en un altiplano extenso a unos 800m de altitud (39,225N, -0,902E), donde las

especies predominantes son el romero y la aliaga (Figura 1a), y B) una zona agrícola de marjal dedicada al cultivo del arroz (39,265N, -0,308E), con una extensión aproximada de 7 x 21 km² y una altitud de unos 10m sobre el nivel del mar (Figura 1b). Ambas áreas fueron seleccionadas por ser superficies planas y uniformes, con el fin de poder descartar posibles efectos locales debidos al relieve y a heterogeneidades. Los radiómetros utilizados para la medida de la temperatura de la superficie son los modelos SI-111 (IRR-PN, IFOV/2=18°) y SI-121 (IRR-P, IFOV/2=22°) fabricados por Apogee Instruments, Inc. (www.apogeeinstruments.com). Estos radiómetros, que disponen de una banda espectral de 8-14µm, fueron previamente calibrados, obteniendo una precisión de ±0,2K. En la zona A se instalaron 3 radiómetros SI-121, 2 de ellos midiendo la superficie con ángulos de 20° y 55°, y 1 registrando la radiancia hemisférica procedente de la atmósfera en sentido descendente bajo un ángulo de 55,4° desde zenith. Este ángulo efectivo, con el que medir la contribución atmosférica, fue calculado para el sensor utilizado en condiciones de campo siguiendo el procedimiento descrito en (Nicolòs et al. 2005). En la zona B se instalaron 2 radiómetros SI-111, uno de ellos observando la superficie en dirección nadir desde una altura de 2m, dada su elevada homogeneidad, y otro registrando la radiancia atmosférica hemisférica, en este caso medida en dirección zenith y multiplicada por un

factor 1,3, estimado también de acuerdo a (Nicolòs et al. 2005). La temperatura del aire se midió con sensores VAISALA HMP45A en la zona A y Hygro-Thermo THIES en la zona B, en ambos casos con una sonda de temperatura tipo PT-100 y con una precisión de $\pm 0,2K$. Adicionalmente, se midieron de forma simultánea gran número de variables meteorológicas, como la irradiancia solar, usando piranómetros Kipp&Zonen CM3 (región espectral de 305-2800nm y precisión de $\pm 5\%$), y la velocidad del viento a una altura de 1,5m y 2m, con anemómetros GILL Instruments WindSonic y NGR #40 para A y B, con precisiones de $\pm 0,2m/s$. Esta instrumentación nos ha permitido disponer de datos radiométricos y meteorológicos simultáneos en ambas zonas desde agosto de 2008 hasta el momento (Figura 2).

La temperatura de la superficie terrestre se obtiene a partir de los datos radiométricos medidos en campo con la siguiente ecuación:

$$R = \varepsilon B(T_s) + (1 - \varepsilon) L_{atm\ hem}^{\downarrow} \quad (1)$$

que consiste en una corrección atmosférica y de emisividad, siendo R la radiancia medida por el sensor, ε la emisividad de la superficie observada, $B(T_s)$ la función de Planck para la temperatura T_s de la superficie, promediada para la banda espectral del sensor, y $L_{atm\ hem}^{\downarrow}$ la radiancia atmosférica

hemisférica, medida simultáneamente en campo. Así, la determinación de T_s , por inversión de la ec. (1), requiere conocer la emisividad efectiva para cada superficie. Esta emisividad fue obtenida aplicando el Método de Cobertura Vegetal (MCV, Valor y Caselles 2005). La proporción de vegetación se estimó conociendo las dimensiones de la estructura vegetal, asociada a un modelo de cubos de acuerdo con el MCV, y se comprobó a partir de ortofotos. En la zona A la proporción de vegetación para la visión nadir era de 48,8%, aumentando a 60% para un ángulo de 20° y 95% para 55°. Los valores de emisividad de la vegetación, matorral compuesto predominantemente por romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y aliaga (*Ulex parviflorus* L.), y del suelo (70% de Luvisol crómico y 30% de Leptosol lítico) se obtuvieron con el Método de la Caja (Rubio et al. 1997). La emisividad efectiva resultante de aplicar el MCV para esta zona es de $0,986 \pm 0,007$ para un ángulo de observación de 20° y de $0,989 \pm 0,008$ para 55°. Para la zona B, había una proporción de vegetación del 100% durante los meses de verano (ver Figura 1b), con una emisividad de $0,985 \pm 0,005$.

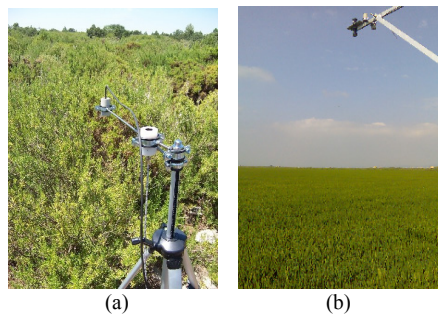


Figura 1.- Zonas A y B: (a) matorral y (b) arrozal.

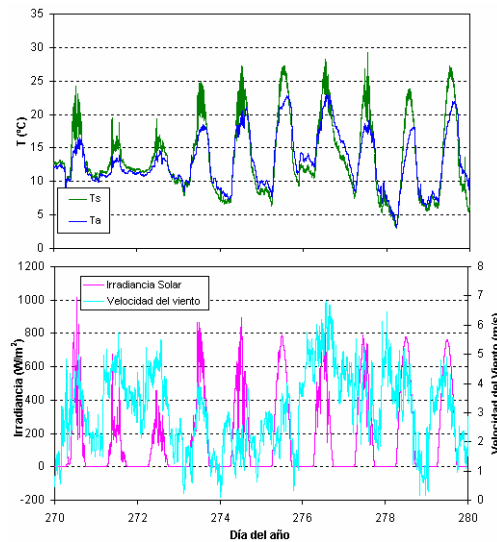


Figura 2.- Ejemplo de los datos medidos (zona A): temperatura superficial (T_s) y del aire (T_a), irradiancia solar y velocidad del viento en superficie.

ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

En primer lugar nos centramos en los datos medidos durante el día, cuando la irradiancia solar tiene un efecto importante. Para ello, consideramos un valor límite de 20° en el ángulo de elevación solar, ya que por debajo de este valor la imprecisión en la medida de la irradiancia solar es elevada. Por otro lado, también distinguimos los datos medidos con y sin nubosidad. Para ello, con el modelo SBDART 2.4 (Ricchiuzzi et al. 1998) simulamos la irradiancia solar, I, que mediría nuestro piranómetro y calculamos el cociente entre el valor instantáneo medido en campo y el simulado. Cuando este cociente es próximo a la unidad ($>0,8$) significa que el dato fue medido en condiciones de nubosidad nula o despreciable y cuando difiere la medida fue

realizada con cielos nublados. En esta discriminación también se consideró un valor límite en la medida radiométrica de la temperatura atmosférica. Los primeros resultados de este análisis muestran que la diferencia de temperatura superficie-aire tiene una dependencia con la irradiancia solar y la velocidad del viento en superficie. La Figura 3 muestra dicha dependencia con la irradiancia solar para los datos medidos con cielos despejados en la zona A.

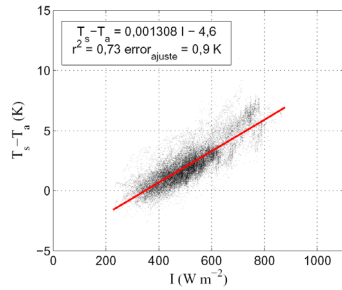


Figura 3.- Dependencia de $T_s - T_a$ con I en condiciones de cielos despejados (zona A).

Así, la temperatura del aire se obtiene a partir de la temperatura de la superficie, T_s , usando una función lineal de la irradiancia solar, I ($W m^{-2}$):

$$T_a = T_s - (a I + b) \quad (2)$$

donde $a=0,01308 \pm 0,00005 K m^2 W^{-1}$ y $b=-4,6 \pm 0,9 K$. Esta ecuación proporciona la temperatura del aire

con un error de $\pm 0,9 K$. Si ajustamos una ecuación de este tipo separando los datos por velocidades de viento en superficie, los coeficientes a y b muestran una ligera dependencia con esta velocidad, pero los errores obtenidos indican que la precisión en la determinación de T_a no mejoraría apreciablemente.

Sin embargo, si analizamos estas correlaciones con los datos medidos con nubosidad (Figura 4), la función de ajuste de $T_s - T_a$ con I es cuadrática y sus coeficientes muestran una dependencia más acusada con la velocidad del viento, U ($m s^{-1}$), por lo que en este caso proponemos la ecuación siguiente:

$$T_a = T_s - ((a_1 U + a_0) I^2 + (b_1 U + b_0) I + (c_1 U + c_0)) \quad (3)$$

donde $a_1 = (-1,5 \pm 0,2) \cdot 10^{-6} K m^3 s W^{-2}$, $a_0 = (1,59 \pm 0,18) \cdot 10^{-5} K m^4 W^{-2}$, $b_1 = (7,1 \pm 0,9) \cdot 10^{-4} K m s W^{-1}$, $b_0 = (-3,4 \pm 0,7) \cdot 10^{-3} K m^2 W^{-1}$, $c_1 = -0,151 \pm 0,016 K m^{-1} s$, y $c_0 = 1,43 \pm 0,13 K$. Con la ec.(3) obtenemos la T_a con un error de $\pm 1,4 K$. La Figura 4 muestra como para U bajas (p.ej. $2 ms^{-1} \leq U < 4 ms^{-1}$) se diferencian 2 tendencias: una con mayor cuadratura, que hemos identificado que corresponde a nubes altas, y otra de menor cuadratura correspondiente a nubes bajas (según el valor de temperatura medido por nuestro radiómetro para la base de la nube). La aplicación de la ec. (3), para la obtención de T_a a partir de T_s medida desde satélite se limitaría al uso de radiómetros pasivos en la región de las microondas, dada la opacidad de las nubes en el infrarrojo térmico.

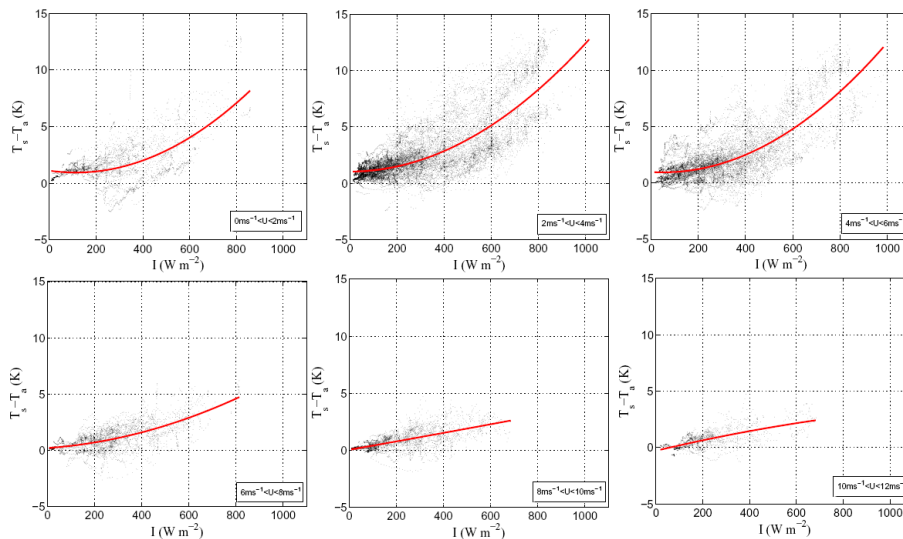


Figura 4.- Dependencia de $T_s - T_a$ con I en condiciones de nubosidad para diferentes valores de U (zona A).

Para la zona B, la dependencia de $T_s - T_a$ con I es menos acusada, tanto en presencia de nubosidad como sin ella (ver Figura 5), probablemente por la elevada humedad existente en esta zona de arrozales. Esto nos lleva a pensar en la necesidad de estudiar las correlaciones existentes en otras áreas e introducir nuevos parámetros, como la humedad, en nuestro estudio.

Si representamos los datos medidos para ángulos de elevación solar menores a 20° en función de la U , donde la irradiancia solar es despreciable, observamos que a mayor U mayor similitud existe entre T_a y T_s (Figura 6). Finalmente, todos estos resultados demuestran que cuanto menor es la irradiancia solar y mayor es la velocidad del viento, menores diferencias existen entre estas temperaturas, y por ello más próxima es la temperatura del aire a la temperatura superficial medida desde satélite.

CONCLUSIONES

La obtención de la temperatura del aire a partir de la temperatura de la superficie medida desde satélite requiere establecer a priori correlaciones entre ambas magnitudes, que dependen de otras variables meteorológicas, como la velocidad del viento en superficie y la irradiancia solar, durante el día. En este trabajo hemos establecido dichas correlaciones analizando las medidas realizadas en 2 áreas vegetadas diferentes: una zona silvestre de matorral denso y una zona de marjal dedicada al cultivo del arroz. La obtención de resultados diferentes en ambas zonas apunta la necesidad de estudiar estas correlaciones en otros tipos de superficies, así como la introducción de nuevos parámetros en las expresiones propuestas, con el fin de obtener una ecuación general que nos permita determinar la temperatura del aire a partir de la observación desde satélite.

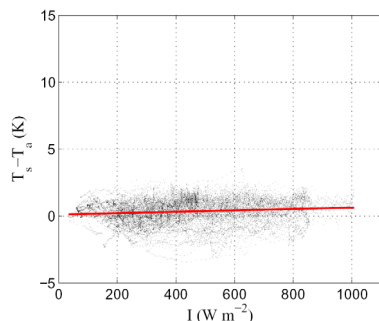


Figura 5.- Dependencia de $T_s - T_a$ con I (zona B).

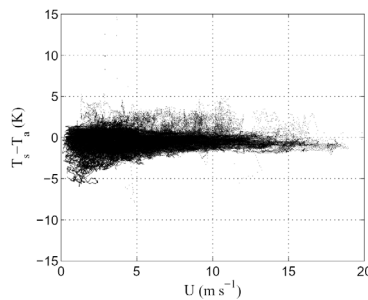


Figura 6.- Dependencia de $T_s - T_a$ con U para datos tomados con ángulos solares menores a 20° (zona A).

BIBLIOGRAFÍA

Niclòs, R., Caselles, V., Coll, C., Valor, E., y Sánchez, J.M. 2005. In situ surface temperature retrieval in a boreal forest under variable cloudiness conditions. *International Journal Remote Sensing*, 26: 3985–4000.

Valor, E. y Caselles, V. 2005. Validation of the Vegetation Cover Method for land surface emissivity estimation. *Recent Research Developments in Thermal Remote Sensing*, 1-20. Research Singpost, Kerala.

Ricchiazzi, P., Yang, S., Gautier C. and Soble, D. 1998. SBDART: A Research and Teaching Software Tool for Plane-Parallel Radiative Transfer in the Earth's Atmosphere. *Bull. Am. Meteorological Society*, 79: 2101-2114.

Rubio, E., Caselles, V., y Badenas, C. 1997. Emissivity measurements of several soils and vegetation types in the 8-14 μ m wave band: analysis of two field methods. *Remote Sensing Environment*, 59: 490-521.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de la Dra. M.J. Marín, así como de los Departamentos de Efectos en la Vegetación y Restauración Forestal de la Fundación CEAM. Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Innovación y Ciencia, y el Fondo Social Europeo, a través de los proyectos CGL2007-65774/CLI, CGL2008-04550/CLI, CONSOLIDER-INGENIO CSD2007-00067 y el contrato *Juan de la Cierva* de la Dra. R. Niclòs.