Ordenamiento del Territorio y Medio Marino. V Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección.
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria - Servicio de Publicaciones.
Las Palmas de Gran Canaria, 10, 11 y 12 de noviembre de 1993. pp. 997-1004.
Editor: Manuel Cantón Garbín.

Resultados experimentales obtenidos en el dominio del infrarrojo térmico dentro de los proyectos EFEDA y HAPEX-SAHEL

César Coll, Vicente Caselles, Enric Valor, Conrado Badenas y Eva Rubio
Departament de Termodinàmica. Facultat de Física
Universitat de València

RESUMEN

En este trabajo presentamos algunos de los resultados experimentales obtenidos en nuesera participación en los Proyectos de Investigación EFEDA y HAPEX-SAHEL, subvencionados por el Programa Mediombiental de la Comisión de las Comunidades Europeas, y realizados, respectivamente, durante el mes de junio de 1991 en la región de La Mancha, y durante los meses de agosto y septiembre de 1992 en Níger. En estos Proyectos realizamos medidas de la emisividad de los distintos tipos de superficie presentes en las zonas de estudio, así como transectos de temperatura. También estudiaremos la aplicación de las medidas de emisividad a las imágenes de satélite, con el objeto de obtener mapas de emisividad a la escala espacial del píxel del satélite estudiado.

ABSTRACT

In this paper we present some experimental results obtained in the framework of the Research Projects EFEDA and HAPEX-SAHEL, supported by the Environmental Programme of the Commission of the European Communities, and carried out, respectively, in the region of La Mancha on June 1991, and in Niger on August and September 1992. In both Projects we have performed emissivity measurements of various surface types existing in the study areas, and temperature transects. Moreover, the application of emissivity measurements to satellite images have been analyzed, with the aim of mapping surface emissivity at the spatial scale of the satellite pixel considered.

Introducción

Para la aplicación de imágenes de satélite en el infrarrojo térmico es necesario el conocimiento de la emisividad de las superficies naturales, con el objeto de corregir las medidas de temperatura del efecto introducido por el hecho de que las superficies no se comportan como cuerpos negros. Además de la corrección debida a la atenuación atmosférica, cuya aplicación operativa está expuesta en un trabajo de estas mismas Actas (Caselles et al., 1994), la corrección de emisividad es necesaria para obtener la temperatura de la superficie.

En este trabajo presentamos medidas de emisividad realizadas en los Proyectos de Investigación EFEDA y HAPEX-SAHEL, subvencionados por el Programa Mediombiental de la Comisión de las Comunidades Europeas, y realizados, respectivamente, durante el mes de junio de 1991 en la región de La Mancha, y durante los meses de agosto y septiembre de 1992 en Níger. De esta forma, expondremos el método utilizado para la medida de la emisividad (método de la caja), y los resultados obtenidos. Por otra parte, un aspecto importante es el cartografiado de la emisividad a la escala espacial del satélite considerado. Para ello, presentaremos un método que permite lograr este objetivo, basándonos en medidas de campo y la utilización de imágenes de un índice de vegetación.

Metodología

Describiremos en este apartado la instrumentación y la metodología seguida para la medida de la emisividad en las áreas de estudio.

Instrumentación

En la campaña de medidas del Proyecto EFEDA, durante el mes de junio de 1991 en Barrax (Albacete), utilizamos un radiómetro de infrarrojos Everest 210, que mide la radiación procedente de las superficies dentro del intervalo espectral 8-13 llm. El campo de visión instantánea del instrumento es de 2°, y la sensibilidad radiométrica es de 0,1°C. Durante la campaña, su funcionamiento se controlaba usando una fuente de calibrado cuya temperatura se conoce por medio de un termómetro interno.

Medidas de emisividad

Las medidas de emisividad de las superficies existentes en el área de estudio fueron realizadas empleando el método de la caja, que es el más apropiado para la medida en el campo (Buettner y Kern, 1965; Nerry et al., 1988; Sobrino y Caselles, 1993). Esencialmente, la caja es un sistema integrador de la radiación de la superficie que elimina la influencia de los alrededores. Está configurado por paredes verticales perfectamente reflectantes y dos tapas intercambiables: una reflectante, la tapa fría (ff 0), y otra hecha de un material perfectamente emisor, la tapa negra (•n 1) Las superficies reflectantes están hechas de aluminio pulido, mientras que la tapa negra está hecha de aluminio anodizado y rugoso pintado de negro. Las dimensiones de la caja son 40 cm. de largo x 40 cm. de ancho x 80 cm. de alto. Las tapas negra y fría tienen un orificio para situar el radiómetro. Se realizan tres medidas de radiancia:

l) Situando la caja sobre la muestra, con la tapa fría en la parte superior, se obtiene la radiancia Ll.

2) Situando la caja sobre la muestra, con la tapa negra en la parte superior, se obtiene la radiancia L2. Esta operación se debe realizar rápidamente para no modificar la temperatura de la muestra.

3)Situando la caja sobre la tapa fría, y la negra en la parte superior, se obtiene la radiancia L3. Para no modificar la temperatura de la tapa negra, esta medida debe ser realizada lo más rápidamente posible.

Con estas tres medidas de radiancia, la emisividad de la superficie se determina a partir de la expresión (Dana, 1969)

$$\varepsilon_0 = \frac{L_3 - L_2}{L_3 - L_1} \qquad (1)$$

La ecuación (1) se aplica en el caso de una caja «ideal»; sin embargo, debido a que en la práctica las emisividades de las tapas no son exactamente 0 y 1, las dimensiones de la caja son limitadas y la influencia de las temperaturas de las tapas fría y negra, debemos introducir un término corrector, $\delta\varepsilon$, de forma que la emisividad real de la superficie viene dada por

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \delta\varepsilon \qquad (2)$$

donde el término corrector viene dado por una expresión teórica dada por Sobrino y Caselles (1993). Con el método dado por la ecuación (2), la emisividad de las superficies naturales puede obtenerse con un error relativo del orden de 0,6%. Para obtener el término corrector, que depende de la caja utilizada y de las condiciones externas de medida, proponemos la utilización de dos superficies estándar de emisividad conocida, con valores extremos de aproximadamente 1,00 y 0,95, respectivamente.

Resultados

Siguiendo el procedimiento descrito, hemos medido la emisividad de los distintos tipos de superficies existentes en la zona piloto de Barrax (Albacete).

En la Tabla 1 mostramos los valores de la emisividad obtenidos. Para cada superficie se hicieron del orden de 50 medidas de emisividad, con lo que damos el valor medio obtenido, con su desviación estándar. Con los valores de esta Tabla hemos construido un mapa digitalizado de emisividades, que se muestra en la Figura 1. Por

otra parte, en la Tabla 2 mostramos los valores de la emisividad en la zona del Níger (mijo sobre arena), para distintas fechas dentro del Proyecto HAPEX-SAHEL. Estas emisividades fueron determinadas utilizando un método de la caja modificado, en el cual es necesario medir la radiancia atmosférica descendente. El procedimiento de medida seguido puede encontrarse en una comunicación de esta misma Reunión Científica (Valor et al., 1994).

superficie	ε_0	ε	**desviación estándar**
maíz+suelo húmedo	0,981	0,991	0,005
maíz+suelo seco	0,963	0,982	0,009
alfalfa	0,973	0,987	0,008
cebada regadío	0,960	0,980	0,008
cebada secano	0,953	0,977	0,011
suelo barbecho	0,955	0,978	0,013
suelo maíz (seco)	0,944	0,973	0,008
suelo maíz (húmedo)	0,988	0,994	0,005

TABLA 1
Emisividad de distintas superficies en la zona de Barrax (Albacete) medidas durante el Proyecto EEEDA

fecha	ε
26/8/92	0,973
31/8/92	0,981
1/9/92	0,973
3/9/92	0,972
3/9/92	0,975

TABLA 2
Emisividad en la zona experimental del Proyecto HAPEX-SAHEL (mijo sobre arena)

Aplicación a imágenes de satélite

Para la corrección de imágenes de temperatura del efecto introducido por la emisividad es necesario el cartografiado de ésta a la escala espacial del satélite considerado. Con este objetivo, propondremos aquí un método operativo sencillo, basado en el uso de imágenes del índice de vegetación normalizado (NDVI) y en medidas de emisividad realizadas en el campo (Caselles et al., 1993). Para ello, es necesario encontrar una relación entre la emisividad efectiva de un píxel con el índice de vegetación correspondiente. Este es un problema sobre el que se está trabajando actualmente. En una primera aproximación, podemos sugerir una relación lineal entre la

emisividad efectiva, ε y el índice de vegetación normalizado (NDVI). Introduciremos previamente el concepto de emisividad efectiva de un píxel heterogéneo con cobertura vegetal incompleta. De esta forma, si ε_v Y ε_s son las emisividades de la vegetación y del suelo, respectivamente, la emisividad efectiva viene dada por (Caselles y Sobrino, 1989)

$$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s(1-P_v) + d\varepsilon_r \tag{3}$$

donde Pv es la proporción de vegetación presente en el píxel, y $d\varepsilon_r$ es un término corrector que tiene en cuenta el efecto de las reflexiones entre las distintas partes del sistema. Para hacer una estimación de la proporción de vegetación, podemos utilizar una imagen del índice de vegetación normalizado (NDVI), de forma que podemos escribir:

$$P_v \approx \frac{NDVI-NDVI_{mín}}{NDVI_{máx}-NDVI_{mín}} \tag{4}$$

siendo $NDVI_{máx}$ y $NDVI_{mín}$ los valores máximo y mínimo del NDVI en el área de interés, respectivamente, que se corresponden con una cobertura completa de vegetación (P_v=l) Y suelo desnudo sin vegetación (P_v=0). Combinando las ecuaciones (3) y (4), podemos obtener la relación lineal entre la emisividad efectiva y el NDVI, según la expresión (Caselles et al., 1993):

$$\varepsilon = a\,NDVI + b$$

con

$$a = \frac{\varepsilon_v-\varepsilon_s}{NDVI_{máx}-NDVI_{mín}}$$

$$b = \frac{\varepsilon_s NDVI_{mín}-\varepsilon_v NDVI_{máx}}{NDVI_{máx}-NDVI_{mín}} + d\varepsilon_r$$

De esta forma, podemos aplicar el método propuesto a imágenes de satélite, con unas pocas medidas de emisividad realizadas en el campo: las medidas de la emisividad de la vegetación y el suelo, asumiendo que éstas son los valores máximo y mínimo de la emisividad que podemos encontrar. En la región espectral de los 10,512,5 µm, la mayor parte de los suelos tienen una emisividad parecida, por lo que podemos asignar un valor promediado para los distintos tipos de suelo presentes en la zona de estudio. La base del método propuesto reside en la correlación existente entre la emisividad y el índice de vegetación, tema sobre el cual estamos profundizando actualmente. Los resultados mostrados en el presente apartado son sólo una primera aproximación al problema. No obstante, la variabilidad de la emisividad media de las superficies más usuales es pequeña, como se aprecia en las Tablas 1 y 2. Así, no es ne-

cesaria una estimación muy precisa de la proporción P_v. Y el efecto de los términos correctores es pequeño. El error en la emisividad debido al error en la proporción, δP_v, viene dado por $(\varepsilon_v - \varepsilon_s)\delta P_v$. Tomando un caso extremo en que $\varepsilon_v - \varepsilon_s = 0{,}05$, y suponiendo un error en P_v del 10%, el error en la emisividad es sólo de 0,005. Esta precisión es suficiente para la aplicación del método de cartografiado de la emisividad en los métodos de corrección de imágenes de temperatura. Una aplicación del método expuesto en este apartado a la zona de Barrax (Albacete) puede encontrarse en Caselles et al. (1994), dentro de estas mismas Actas. En la Figura 2 mostramos como ejemplo complementario la aplicación de este método en la zona completa (1° x 1°) del Proyecto HAPEX-SAHEL.

Conclusión

En este trabajo hemos presentado el método de la caja para la determinación experimental en el campo de la emisividad de la superficie. Además, hemos propuesto un procedimiento simple para cartografiar la emisividad utilizando imágenes del índice de vegetación normalizado (NDVI) y medidas de emisividad de la vegetación y el suelo. Este método puede ser fácilmente aplicable, y proporciona resultados con suficiente precisión para la corrección de emisividad de imágenes de temperatura de los satélites Landsat y NOAA.

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Comisión de las Comunidades Europeas por la financiación recibida para la realización de este trabajo (Proyectos EPOCH-CT90-0030, y EV5V-CT91-0033).

Bibliografía

Buettner, K.J.K., y Kern, C.D.: 1965, The determination of infrared emissivities of terrestrial surfaces. *Journal of Geophysical Research, 70:*1329-1337.

Caselles, V., y Sobrino, J.A.: 1989, Determination of frosts in orange groves from NOAA-9 AVHRR data, Remote Sensing of Environment, *29:*135-146.

Caselles, V., Sobrino, J.A., y Valor, E.: 1993, A simple method for measuring and mapping thermal infrared emissivities. En Thermal Remote Sensing, La Londe Les Maures, The Pennsylvania State University (USA). CRPE (Francia) y CEMAGREF (Francia) (en prensa).

Caselles, V. et al.: 1994, La utilidad del infrarrojo térmico en el estudio de la degradación de la superficie de la tierra. Primeros resultados de los Proyectos EFEDA, HAPEX-SAHEL y DEMON. En las *Actas de la V Reunión Científica de la Sociedad Española de Teledetección*, Las Palmas de Gran Canaria, 10-12 de noviembre de 1993.

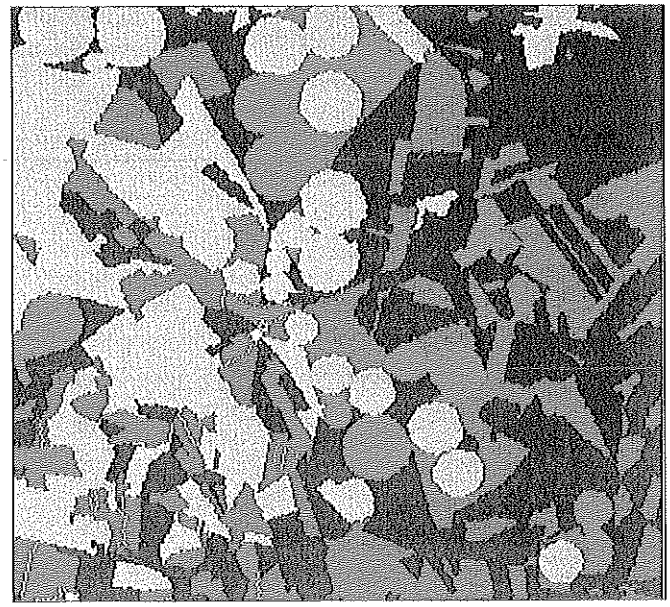

FIGURA 1
Mapa digitalizado de emisividad de la zona de Barrax (Albacete) Proyecto EFEDA. **(A. 105)**

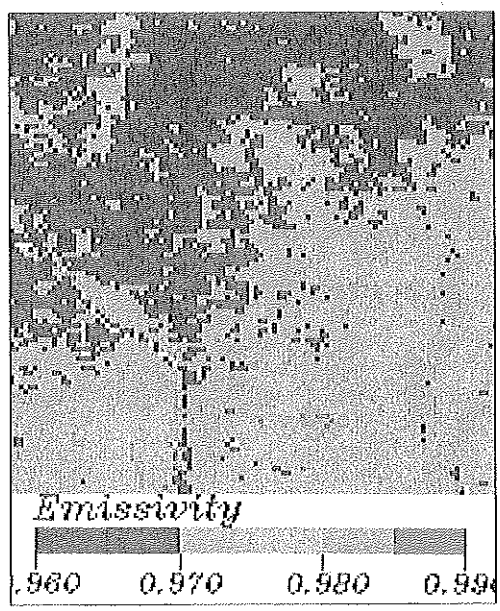

FIGURA 2
Mapa de emisividad de la zona completa del Proyecto HAPEX-SAHEL (1° x 1°) en el Níger. **(A. 106)**

Nerry, F., Labed, J., y Stoll, M.P.: 1988, Emissivity signatures in the thermal IR bands for remote sensing: calibration procedure and method of measurement, Applied Optics. 27: 758-764.
Sobrino, J.A., y Caselles, V.: 1993, A field method for estimating the thermal infrared emissivity. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 48:* 24-31.
Valor, et al. 1994, Proyecto DEMON: primeros resultados experimentales en el infrarojo térmico. En las *Actas de la V Reunión Científica de la Sociedad Española de Teledeteccion*, Las Palmas de Gran Canaria, 10-12 de noviembre de 1993.