

Dependencia de la emisividad en la región espectral 8-13 μm con el contenido de agua de los suelos

M. Mira, E. Valor, R. Boluda*, V. Caselles, C. Coll
Maria.Mira@uv.es

Departamento de Física de la Tierra y Termodinámica

** Departamento de Biología Vegetal*

Universidad de Valencia

C/ Dr. Moliner 50, 46100 Burjassot, Valencia

RESUMEN

La influencia de la humedad del suelo en la emisividad es un aspecto conocido pero poco estudiado en el infrarrojo térmico, por lo que se ha diseñado una experiencia para su análisis. Se ha seleccionado un conjunto de tres horizontes superficiales de diferentes suelos para los que se ha medido la emisividad en función del contenido de agua de la muestra. La emisividad se ha medido con el método de la caja en su versión de dos tapas, y la humedad de los suelos se ha estimado con el método gravimétrico. Como resultado se ha observado que la emisividad aumenta significativamente con la cantidad de agua, especialmente para suelos con mayor contenido de arena.

PALABRAS CLAVE: emisividad, humedad del suelo, infrarrojo térmico, temperatura.

ABSTRACT

The influence of soil moisture in thermal infrared emissivity is a fact known, but poorly studied in the past. For this reason, an experiment for this analysis has been designed. Three samples of superficial horizons of different soil types have been selected. Their emissivities have been measured according to their soil water content, using the two-lid variant of the box method, whereas the gravimetric method has been selected for obtaining the soil moisture. As a result, the study shows that emissivity increases significantly when water content becomes higher, especially in soils with higher sand content.

KEY WORDS: emissivity, soil moisture, thermal infrared, temperature.

INTRODUCCIÓN

La emisividad de las superficies naturales es una magnitud necesaria para la determinación de la temperatura que, de no estar bien caracterizada, puede comportar un error significativo en su obtención. Es por ello que debe estimarse con la mayor precisión posible, por lo que es necesario conocer bien los factores que influyen en esta magnitud.

La influencia del tipo de suelo, de su composición y de su textura es bien conocida eminentemente a través de estudios experimentales (Salisbury y d'Aria, 1992 a). Sin embargo, a pesar de que es conocida la dependencia de la emisividad con el contenido de agua de los suelos, este aspecto ha sido poco estudiado en el infrarrojo térmico (IRT) y se encuentran en la bibliografía pocas referencias de tipo experimental (Van Bavel y Hillel, 1976;

Chen et al., 1989; Salisbury y d'Aria, 1992 b; Urai et al., 1997; Xiao et al., 2003).

Contrariamente, en la región de las microondas (MO) existen varios estudios sobre la variación de la emisividad con la humedad, tanto de tipo teórico (Galantowicz et al., 2000), como experimental (Alex y Behari, 1998; Burke y Simmonds, 2003; Jackson et al., 1999). La variabilidad de la emisividad con la humedad en MO es mucho más significativa que en el IRT y ésta es probablemente la causa de su mayor estudio. De hecho, la medida de la emisividad en MO mediante radiometría pasiva es el fundamento de uno de los métodos de medida sinóptica de la humedad del suelo mediante teledetección (Martín-Neira y Goutoule, 1997).

El objetivo de nuestro trabajo es el de mejorar la caracterización de la emisividad térmica con la humedad del suelo, para poder así obtener un valor óptimo bajo unas condiciones conocidas. Además,

otro objetivo futuro será la obtención de una mayor exactitud en la determinación de la emisividad a partir de los valores de humedad proporcionados por la misión SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) de la Agencia Espacial Europea.

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción de las muestras

Para este trabajo se seleccionó un conjunto de tres muestras procedentes de horizontes superficiales (0-15 cm) de diferentes suelos cuya granulometría es muy variada (Tabla 1). Esto ha permitido comprobar el distinto comportamiento de la emisividad frente al contenido de agua para casos variados de composición granulométrica. Parámetros como la textura, la porosidad, la estructura, entre otros, son los responsables de esta variabilidad. La granulometría de las muestras fue determinada según la Norma UNE 77314 (AENOR, 2001), basada en técnicas mecánicas de fraccionamiento y sedimentación.

Las tres muestras de suelos proceden de una región con clima mediterráneo, siendo su origen una cantera localizada en Villar del Arzobispo, un huerto de la localidad de Albal y el Parque Natural de la Albufera de Valencia. Los suelos han sido caracterizados tanto según la clasificación de la FAO (1999), como según Soil Taxonomy (USDA, 1999) y, además, se ha detallado su horizonte de diagnóstico.

Método de medida de la humedad

El primer paso en este estudio, en el laboratorio, fue triturar las muestras, homogeneizarlas, dejarlas secar al aire y finalmente tamizarlas a 2 mm. Posteriormente, se saturaron con agua, considerando alcanzada su capacidad de campo (CC) una vez transcurridas 48 horas. Durante ese tiempo se mantuvieron en un lugar fresco y se evitó la evaporación desde su superficie (Porta et al., 2003; Martín et al., 2005). A partir de ese momento, se dejaron secar libremente, alcanzándose de ese modo distintos contenidos de humedad hasta llegar a su punto de marchitez permanente (PMP), parámetro que toma un valor característico y constante para un suelo dado (Hillel, 1980).

Para ello se utilizaron unos recipientes de vidrio (Figura 1) de dimensiones 48 x 48 cm² donde contener los suelos, adecuados para la realización de las medidas de emisividad, así como de lonas impermeables para evitar la evaporación durante los dos días después de la saturación. Los recipientes fueron diseñados de tal forma que permitían el drenado del agua y su posterior vaciado, evitando al mismo tiempo la pérdida de las partículas más finas. El suelo se sostuvo sobre una superficie de metal perforada, elevada unos centímetros sobre la base de los recipientes, y sobre ésta se colocó una lámina tamiz de 2 µm.

Para conocer el contenido de agua del suelo se escogió el método gravimétrico. Es un método directo, muy sencillo y de bajo coste, basado en la determinación directa del contenido de agua de una muestra de suelo. Consiste en pesar una muestra de suelo, secarla a 105°C durante al menos 24 horas, volverla a pesar y calcular la pérdida de masa de agua, de acuerdo con los "Métodos Oficiales de Análisis" del Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA, 1994). El contenido de agua se calcula respecto al peso seco. Este método sirve tanto para muestras frescas como para suelos secados al aire. Asimismo, es también importante remarcar que se trata de un método destructivo cuya principal limitación es ser un proceso laborioso, hecho que no ha permitido la toma de medidas con elevada frecuencia. Además, el método está sujeto a la variabilidad espacial de la muestra, motivo por el cual se hace un muestreo lo más representativo posible en el momento de obtener el suelo a pesar.

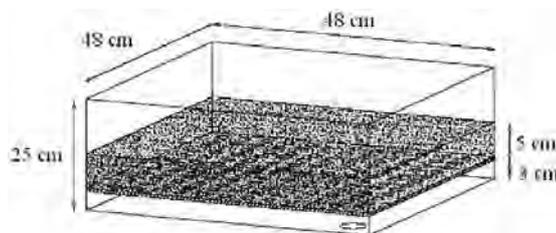


Figura 1. Recipiente de vidrio donde contener los suelos y permitir una práctica realización de las medidas de emisividad, así como el drenaje del agua de riego.

Muestra	FAO (1999)	Soil Taxonomy (USDA, 1999)	Zona de procedencia	Horizonte de diagnóstico	Granulometría (%)	Textura (USDA, 1999)
1	Arenosol alábico	Xeropsamment	Cantera	Antrópico	A: 99 ± 6 L: 1 ± 1 AC: 0 ± 0	Ar
2	Calcisol lúvico	Rhodoxeralf	Huerto	Irrágrico	A: 41 ± 3 L: 28 ± 1 AC: 31 ± 2	Fr-Ac
3	Fluvisol calcáreo gleico	Fluvaquent	Parque Natural de la Albufera de Valencia	Antrácuico	A: 14 ± 6 L: 50 ± 8 AC: 35 ± 4	Fr-Ac-Li

Tabla 1. Clasificación y caracterización de los suelos estudiados. A: contenido de arena; L: contenido de limo; AC: contenido de arcilla; Ar: arenoso; Fr-Ac: franco arcilloso; Fr-Ac-Li: franco arcillo limoso.

Método de medida de la emisividad

Las emisividades de los suelos se han medido con el método de la caja (Rubio et al., 1997) y dos radiómetros que miden en el IRT. En este método, la emisividad de la muestra se obtiene a través de una secuencia de tres medidas de radiancia en las que se utiliza una caja sin fondo, cuyas paredes son de aluminio pulido al espejo por considerarse un material con un comportamiento similar al de un reflector especular perfecto, y dos tapas intercambiables, una del mismo material que las paredes y otra de aluminio rugoso y anodizado pintada con negro de Parson, ésta última con una temperatura unos 20 K superior que la muestra. Añadir que se trabajó con el método de la caja en su versión de dos tapas, incluyendo la cuarta medida correspondiente al factor corrector ligado a la no linealidad de la caja. Este término correctivo depende de la geometría de la caja, la temperatura del aluminio pulido al espejo y la emisividad de las dos tapas.

Los radiómetros utilizados fueron un CIMEL Electronique CE-312 que tiene un canal ancho (8-13 μm) y tres bandas estrechas (8,2-9,2 μm , 10,3-11,3 μm , 11,5-12,5 μm), y un EVEREST Modelo 112.2L con tan solo una banda (8-13 μm). La utilidad del EVEREST es básicamente la de proporcionar una medida "in situ" de las temperaturas de la tapa caliente y la muestra para permitir así tomar las precauciones necesarias para mantener constantemente una diferencia de temperaturas entre ambas como mínimo de 20 K.

Con el fin de obtener una buena estadística y disminuir así el error, se realizaron alrededor de 26

medidas por canal, a partir de las cuales se obtuvo un único valor de emisividad para cada banda.

Teniendo en cuenta la hipótesis de considerar el suelo como una superficie homogénea, tanto en composición, textura, etc., como en humedad se ha tenido la precaución de homogeneizar al máximo posible estos parámetros a lo largo de los días de medida. Esto se ha conseguido removiendo el contenido de la muestra cuando sus condiciones lo permitían, o bien mediante procedimientos más elaborados como triturar el suelo minuciosamente con el fin de eliminar las grietas aparecidas con su secado y conseguir una uniformidad en el contenido de agua de ésta. Considerando que tan sólo el primer milímetro de suelo influye en la medida de la emisividad en el infrarrojo térmico, los resultados obtenidos dependen en gran medida del cuidado que se ha tenido en dicha homogeneización, y de ahí que la humedad considerada en cada caso haya conllevado un muestreo adecuado del suelo para proceder a su medida. Asimismo, debido a la variabilidad de la emisividad con el ángulo de observación se consideró oportuno eliminar las grietas aparecidas y medir una superficie lisa y homogénea.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 aparecen los valores del PMP de cada suelo, así como su correspondiente capacidad de retención del agua (CRA), cuyo valor está determinado de forma predominante por la textura de los suelos (Saxton et al., 1986) y se estima como la diferencia entre los contenidos de agua en el suelo

a CC y en el PMP. Se observa claramente que cuanto menor es la cantidad de arena que contiene el suelo, su CRA aumenta considerablemente.

Muestra	CRA (PMP) %
Arenosol Álbico	25,1±1,6 (0,029±0,004)
Calcisol Lúvico	41,6±0,5 (2,72±0,02)
Fluvisol Calcáreo Gleico	55,8±0,8 (2,6±0,1)

Tabla 2. Valores del PMP y la CRA de cada suelo.

En la Figura 2 se muestran los resultados obtenidos mediante la representación de la respuesta en emisividad de los diferentes suelos analizados respecto su contenido de agua, para cada intervalo espectral del radiómetro CE-312.

Los valores obtenidos muestran una tendencia general al aumento de la emisividad con la humedad claramente superior a la incertidumbre en su medida. En la Tabla 3 se muestra un conjunto de valores que nos puede servir para analizar el orden de magnitud del error de las medidas experimentales de emisividad, así como también el intervalo de variación máximo de las emisividades, ambos para

cada canal del radiómetro y para cada uno de los tres suelos estudiados.

Según los valores de la Tabla 3 vemos que el error medio de las emisividades está alrededor del ±0,5% y que la mayor variación de emisividad se obtiene para la región 8,2-9,2 μm, correspondiente al canal 4, seguido del canal 1 (región 8-13 μm), después el canal 2 (11,5-12,5 μm) y finalmente el canal 3 (10,3-11,3 μm). La mayor variabilidad en la emisividad se obtiene para el Arenosol Álbico ($\Delta\epsilon_4 \sim 0,16$), y la menor para el Fluvisol Calcáreo Gleico ($\Delta\epsilon_3 \sim 0,011$). Además, en la Figura 2 observamos cómo el crecimiento de la emisividad es más acusado para contenidos de agua pequeños, llegando a establecerse un valor máximo de la emisividad para un determinado valor de la humedad, variable según el tipo de suelo, valor que se mantiene prácticamente constante hasta alcanzar su CC. Particularmente, dicha cota podría corresponder en el caso del Calcisol Lúvico y el Fluvisol Calcáreo Gleico a un valor de humedad coincidente a la mitad del valor de la CC de éstos: un 22% para el primero y alrededor del 30% para el segundo.

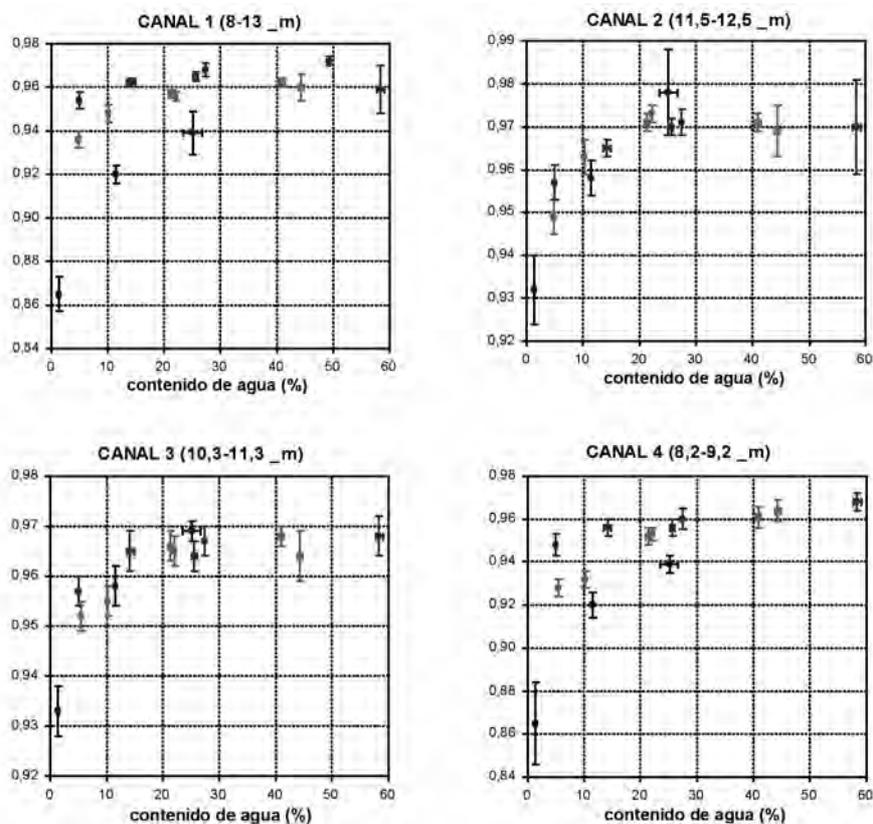
Muestra	$\overline{\delta\epsilon_1}$	$\overline{\delta\epsilon_2}$	$\overline{\delta\epsilon_3}$	$\overline{\delta\epsilon_4}$	$\Delta\epsilon_1 \pm \delta\Delta\epsilon_1$	$\Delta\epsilon_2 \pm \delta\Delta\epsilon_2$	$\Delta\epsilon_3 \pm \delta\Delta\epsilon_3$	$\Delta\epsilon_4 \pm \delta\Delta\epsilon_4$
1	0,007	0,004	0,004	0,010	0,074±0,018	0,046±0,007	0,036±0,007	0,16±0,02
2	0,003	0,005	0,003	0,004	0,026±0,006	0,024±0,007	0,016±0,005	0,036±0,009
3	0,004	0,004	0,003	0,004	0,018±0,006	0,014±0,009	0,011±0,007	0,020±0,009

Tabla 3. Intervalo máximo de variación de la emisividad ($\Delta\epsilon_i \pm \delta\Delta\epsilon_i$) para cada canal del radiómetro ($i=1,2,3,4$) y para cada muestra (1:Arenosol álbico; 2:Calcisol lúvico; 3:Fluvisol calcáreo gleico), junto con los errores medios de las medidas de emisividad ($\overline{\delta\epsilon_i}$).

Por otra parte, en la Figura 3 podemos observar la variación de la emisividad con la composición granulométrica. Dado que los porcentajes correspondientes a la cantidad de arcilla se pueden deducir con un simple cálculo, se han obviado para permitir una mejor visualización de la tendencia. Además se ha representado la respuesta de las emisividades obtenidas en el caso de los suelos en su PMP, por ser ésta su emisividad mínima y de referencia, y en el canal 4 por ser la variación de emisividad más acentuada. No obstante, los resultados son similares en los restantes canales. Si analizamos la figura, vemos que las medidas muestran un aumento de la

emisividad inversamente con la cantidad de arena y directamente con la cantidad de arcilla y limo. Además, si se observa con detenimiento la Figura 2, se ve como esta tendencia se mantiene para los distintos contenidos de humedad de los suelos: el Arenosol Álbico toma siempre una emisividad menor que el resto para una determinada humedad, por ser el suelo con mayor contenido de arenas y menor contenido de arcillas y limos; mientras que en el caso del Calcisol Lúvico y el Fluvisol Calcáreo Gleico la tendencia no es tan marcada dado que sus composiciones no varían entre ellos de forma tan drástica.

Dependencia de la emisividad en la región espectral 8-13 μm con el contenido de agua de los suelos



*Figura 2. Variación de la emisividad de los suelos respecto su humedad para los distintos canales del CE-312. Negro: Arenosol albeo; Rojo: Calcisol lúvico; Azul: Fluvisol calcáreo gleico.

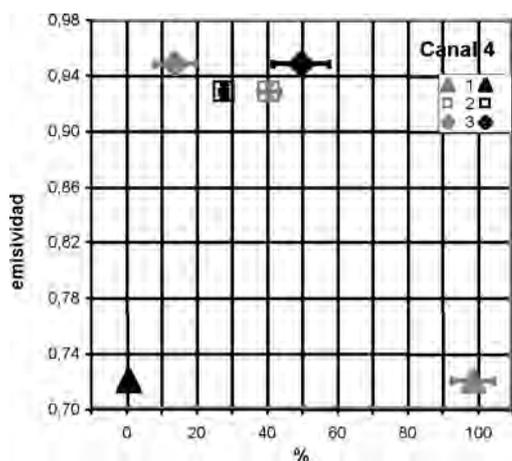


Figura 3. Variación de la emisividad de los suelos en el PMP respecto su cantidad de arena (rojo) y limo (negro), en la región 8,2-9,2 μm (canal 4 del CE-312). 1: Arenosol albeo; 2: Calcisol lúvico; 3: Fluvisol calcáreo gleico.

CONCLUSIONES

Un conjunto de tres suelos nos ha servido como base para estudiar con medidas espectrales en el laboratorio la variación de la emisividad térmica respecto la humedad y la textura de los suelos. La granulometría de las muestras estudiadas es muy distinta, de modo que se pueden clasificar como arenosa, franco arcillosa y franco arcillo limosa. Se ha comprobado que la emisividad aumenta significativamente con el contenido de agua, sobretodo en la región 8,2-9,2 μm , siendo mayor para el Arenosol Albeo con una variación del orden del 16%. Dicha variación es significativa, hecho que puede tener un impacto importante en los métodos actualmente existentes de estimación de la emisividad a partir de datos radiométricos. Por ello, el siguiente paso en la investigación será la modeliza-

* Todas la figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color.

ción teórica de la dependencia observada y su posible inclusión en tales algoritmos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto GV2004-B-084 concedido por la Generalitat Valenciana y por los proyectos CGL2004-06099-C03C01/CLI y CGL2004-0166-E concedidos por el Ministerio de Educación y Ciencia. Agradecer la imprescindible participación de todos aquellos que han colaborado en la toma de medidas de emisividad (Alberto Almendros, Joan Miquel Galve, Juan Manuel Sánchez, Dra. Raquel Niclòs, Anaís Barella, Jesús Muñoz, Maite Rodríguez, Mari Carmen Campo y África Barreto), así como en la orientación constante del Dr. Luís Roca referente a temas edafológicos.

BIBLIOGRAFÍA

- AENOR. 2001. *Calidad del suelo. Determinación de la distribución granulométrica de la materia mineral de los suelos. Método por tamizado y sedimentación*. Madrid. AENOR. Norma UNE 77314, 36 p.
- ALEX, Z. C. y BEHARI, J. 1998. Laboratory evaluation of emissivity of soils. *Internacional Journal of Remote Sensing*. 19(7):1335-1340.
- BURKE, E. J. y SIMMONDS, L. P. 2003. Effects of sub-pixel heterogeneity on the retrieval of soil moisture from passive microwave radiometry. *International Journal of Remote Sensing*. 24(10):2085-2104.
- CHEN, J. M., YANG, B. J. y ZHANG, R. H. 1989. Soil thermal emissivity as affected by its water content and surface treatment. *Soil Science*. 148 (6):433-435.
- FAO-ISRIC-SICS. 1999. *Base referencial mundial del recurso suelo*. Roma. FAO. N84, ISBN 92-5-304141-2, 90 p.
- GALANTOWICZ, J. F., ENTEKHABI, D. y NJOKU, E. G. 2000. Estimation of soil-type heterogeneity effects in the retrieval of soil moisture from radiobrightness. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 38:312-316.
- HILLEL, D. 1980. *Fundamentals of soil physics*. New York. Academic Press. 413 p.
- JACKSON, T. J., LE VINE, D. M., HSU, A. Y., OLDARK, A., STARKS, P. J., SWIFT, C. T., ISHAM, J. D. y HAKEN, M. 1999. Soil moisture mapping at regional scales using microwave radiometry: the southern great plains hydrology experiment. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 37:2136-2151.
- MAPA. 1994. *Métodos oficiales de análisis de suelos y aguas*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 283 p.
- MARTÍN, F., LÓPEZ, P. y CALERA, A. 2005. *Agua y agronomía*. Universidad de Castilla la Mancha. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 606 p.
- MARTÍN-NEIRA, M. y GOUTOULE, J. M. 1997. MIRAS-A two dimensional aperture-synthesis radiometer for soil-moisture and ocean-salinity observations. *ESA Bulletin*. 92:95-104.
- PORTA, J., LÓPEZ, M. y ROQUERA, C. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. ISBN: 8484761487, 929 p.
- RUBIO, E., CASELLES, V. y BADENAS, C. 1997. Emissivity measurements of several soils and vegetation types in the 8-14 μm wave band: analysis of two field methods. *Remote Sensing of Environment*. 59:490-521.
- SALISBURY, J. W. y D'ARIA, D. M. 1992 a. Emissivity of terrestrial materials in the 8-14 μm atmospheric window. *Remote Sensing of Environment*. 42:83-106.
- SALISBURY, J. W. y D'ARIA, D. M. 1992 b. Infrared (8-14 μm) remote sensing of soil particle size. *Remote Sensing of Environment*. 42:157-165.
- SAXTON, K. E., RAWLS, W. J., ROMBERGER, J. S. y PAPENDICK, R. I. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Science Society of America Journal*. 50(4):1031-1036.
- URAI, M., MATSUNAGA, T. y ISHII, T. 1997. Relationship between soil moisture content and thermal infrared emissivity of the sand sampled in Muus Desert, China. *Remote Sensing Society of Japan*. 17(4):322-331.
- USDA Natural Resources Conservation Service. 1999. *Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Washington, DC. Soil Survey Staff. N 436, 870 p.
- VAN BAVEL, C. H. M. y HILLEL, D. 1976. Calculating potencial and actual evaporation from a bare soil surface by simulation of concur-

- rent flor of water and heat. *Agricultural Meteorology*. 17:453-476.
- XIAO, Q., LIU, Q. H., LI, X. W., CHEN, L. F., LIU, Q. y XIN, X. Z. 2003. A field measurement method of spectral emissivity and research on the feature of soil thermal infrared emissivity. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*. 22(5):373-378.