

# Obtención de la humedad del suelo mediante medidas radiométricas en banda L. Efectos de la rugosidad, tipo de terreno y vegetación

M. Vall-Ilosera<sup>1</sup>, A. Camps<sup>1</sup>, A. Monerris<sup>1</sup>, E. Lopez-Baeza<sup>2</sup> y C. Antolín<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Dep. Teoría de la Señal y Comunicaciones. Universidad Politécnica de Cataluña. Campus Nord UPC, Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona. merce@tsc.upc.edu, camps@tsc.upc.edu*

<sup>2</sup> *Dep. de Termodinámica. Grupo de Climatología desde satélite. Universidad de Valencia. C/Dr. Moliner, 50. Burjassot, 46100 Valencia y CIDE. ernesto.lopez@uv.es*

<sup>3</sup> *CIDE: Dep. de planificación de usos del suelo. Centro de Investigación de la desertificación (CSIC-UV-GV), Camí de la Marjal, s/n. 46170, Albal. Valencia. m.carmen.antolin@uv.es*

## RESUMEN

La emisividad del suelo está relacionada con su contenido de agua mediante su permitividad dieléctrica. Sin embargo, también afectan a esta medida tanto la rugosidad como la vegetación. En este artículo se describen y presentan los resultados de varias campañas de medidas realizadas para mejorar los modelos que simulan la dependencia de la emisividad del suelo en banda L con cada uno de estos parámetros.

**PALABRAS CLAVE:** emisividad, humedad del suelo a partir medidas radiométricas en banda L, vegetación, rugosidad y tipo de terreno, campañas de medidas.

## ABSTRACT

Soil emissivity is related to the water content through its dielectric permittivity. Nevertheless, both the roughness and vegetation also affect to this measurement. In this article several field campaigns carried on in order to improve the models that simulate the dependence of the L-band soil emissivity with each one of these parameters are described and their results are presented.

**KEY WORDS:** emissivity, soil moisture from L-band radiometric measurements, vegetation, roughness and soil type, field campaigns.

## INTRODUCCIÓN

SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) (Kerr 2001) es una misión de oportunidad para la exploración de la tierra seleccionada por la Agencia Espacial Europea (ESA) en 1999, cuyo objetivo, tal como su nombre indica, es proporcionar una estimación global y precisa de la humedad de las zonas terrestres y del contenido de sal en el océano (SMOS 2003). En el marco de esta misión se está estudiando y tratando de mejorar los modelos de emisividad existentes, a partir de los cuales se recuperaran ambos parámetros geofísicos.

La emisividad del suelo está relacionada con su contenido de agua mediante su permitividad dieléctrica. Sin embargo, existen otros parámetros que, de manera más o menos directa, también afectan a la señal captada: la temperatura, composición y rugosidad del suelo, la vegetación existente, la presencia de nieve, el relieve, etc. En la actualidad se están

llevando a cabo diversos estudios para analizar el efecto de estos parámetros en la medida de la humedad del suelo a partir de medidas radiométricas. La banda de frecuencias L resulta especialmente indicada para la obtención de la humedad del suelo, porque su longitud de onda es grande (21cm) y, por tanto, el efecto de la rugosidad y de la vegetación es menor que a otras bandas de frecuencias, aunque no sean despreciables, sobre todo para ángulos de elevación elevados y/o capas de vegetación densas.

En este artículo se describen varias campañas de medidas realizadas sobre tierra con el radiómetro de Dicke LAURA (L-Band Automatic Radiometer), diseñado y construido por el grupo de radiometría del departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la UPC. LAURA es un radiómetro polarimétrico que trabaja a 1.4 GHz, tiene un ancho de haz -3dB de 20°, el ratio de la polarización cruzada es mayor de 40dB en el lóbulo principal y supera los 35 dB en todo el diagrama de radiación.

La eficiencia del lóbulo principal es del 95.2% y la sensibilidad radiométrica es aproximadamente igual al 0.5K en 1 segundo de integración. El objetivo final de dichas campañas es mejorar los modelos de emisividad del suelo existentes y validar su aplicabilidad en Banda L. Cada una de estas campañas se ha focalizado en el análisis del efecto de uno de los parámetros anteriormente mencionados:

- SMOS REFLEX 2003. Estudio del efecto de la vegetación. Emisividad de un campo de viñas en la Valencia Anchor Station (VAS, Requena-Utiel (Lopez-Baeza 2001)), en julio 2003.
- MOUSE 2004. Estudio del efecto del tipo de terreno. Se realizó en mayo-junio 2004 en el Joint Research Center (Ispra, Italia).
- T-REX 2004. Estudio del efecto de la rugosidad del terreno. Se realizó en Agramunt (LLeida), donde la Universitat de Lleida y el Irta tienen unos campos experimentales con distintos tipos de laboreo.

A continuación se va a dedicar una sección a la descripción de cada una de estas campañas.

### SMOS REFLEX 2003. EFECTO DE LA VEGETACIÓN

Uno de los objetivos principales de la comunidad científica española relacionada con la misión SMOS es la caracterización de un área de tamaño similar al píxel de SMOS que sirva como lugar de calibración/validación de la misión. El experimento SMOS REFerente píxel L-band Experiment (SMOS REFLEX) 2003 es el primero de una serie de campañas dedicadas a la caracterización de la Valencia Anchor Station (VAS, Requena-Utiel; 39° 33' N, 1° 17' W). La VAS es una zona amplia, con pocos usos del suelo, la mayor parte son viñas, lo cual la hace adecuada como píxel de calibración/validación. Los principales objetivos de esta campaña fueron:

- Estudio de la dependencia de la temperatura de brillo con el ángulo de observación.
- Caracterización empírica de los parámetros de vegetación (opacidad,  $\tau$  y albedo,  $\omega$ ) del modelo de transferencia radiativa de primer orden.
- Análisis de algoritmos de recuperación de la humedad del suelo utilizando datos radiométricos multi-angulares en banda L, en las dos polarizaciones (vertical y horizontal).

### Descripción de la campaña

SMOS REFLEX 2003 tuvo lugar en la VAS desde el 30 de junio hasta el 10 de julio de 2003. Con el fin de obtener medidas con distintas condiciones de humedad del suelo, el viñedo se regó hasta llegar a saturación en dos ocasiones: el 1 de julio y el 4 de julio, (dos ciclos completos desde suelo completamente húmedo hasta suelo seco). Debido a las altas temperaturas y al fuerte viento registrados en el primer ciclo, este fue mucho más corto que el segundo.

La Fig. 1 muestra la disposición del radiómetro LAURA durante la campaña. Se tomaron medidas radiométricas multi-angulares: 9 ángulos de elevación ( $\theta$  desde 25° a 65° en ángulos de 5°) y 7 direcciones de acimut ( $\phi$  desde -45° a 45° en pasos de 15°). Cada noche, entre 9:30pm y 4am, se realizaba una secuencia con 9x7 observaciones en cada una de las polarizaciones horizontal y vertical. LAURA se mantenía en cada orientación durante 180 segundos, con un periodo de muestreo de 1 segundo. Al inicio y final de cada secuencia se procedía a la calibración del instrumento. Además se montó una cámara de video apuntado en la dirección *boresight* de la antena para determinar, en cada ángulo de incidencia la proporción de suelo cubierta por vegetación.



\*Figura 1. Ubicación de LAURA durante SMOS-REFLEX 2003.

Además de las medidas radiométricas se tomaron simultáneamente medidas de la temperatura y de la humedad del suelo a varias profundidades, así

como de la rugosidad. También se caracterizaron las viñas: contenido de agua de las planta, tamaño y distribución de las hojas, ramas y de los frutos, etc. El contenido de agua (WC) de una planta por unidad de área resultó ser de 9-10 kg/m<sup>2</sup>; la altura media de las plantas es de unos 1.63m y su anchura es de 1.45m (más grandes que las viñas típicas del mediterráneo).

### Procesado de los datos y resultados

La temperatura de brillo (TB) se estima utilizando una expresión empírica que relaciona la permitividad compleja del suelo descubierto y el contenido de agua (Wang 1980). Para incluir el efecto de la rugosidad se utilizó la expresión descrita en (Wang 1981).

Una vez se ha obtenido la contribución del suelo descubierto se añade el efecto de la vegetación. Para ello, se eligió el modelo directo  $\tau\omega$ . Es un modelo de primer orden de la ecuación de transferencia radiativa y se basa en dos parámetros de la vegetación que describen la contribución de la capa de vegetación en la emisión del suelo: la opacidad ( $\tau$ ), relacionada con el efecto de la atenuación y el albedo ( $\omega$ ), que describe el efecto de la dispersión (Mätzler 1984).

Algunos artículos demuestran que los cultivos con estructura vertical poseen  $t$  y  $w$  dependientes de la polarización. En los viñedos se ha observado que ambos parámetros son independientes de la polarización: la estructura de las vides no tiene una dirección predominante. Los valores de opacidad obtenidos crecen con  $\theta$  (desde 0.2 a 25° hasta 0.6 a 55°). Mientras que el albedo tiende a decrecer con  $\theta$  con valor máximo de 0.07 a 35° y mínimo de 0.015 a 65° (Vall-llossera 2003).

Finalmente, se ha utilizado un algoritmo iterativo, basado en el procedimiento de mínimos cuadrados en la estimación de la humedad del suelo a partir de medidas radiométricas (Vall-llossera 2003). El mejor resultado se obtuvo cuando se recuperan simultáneamente, el albedo, la opacidad y la humedad del terreno. El algoritmo converge para ángulos de incidencia menores a 50°. Para ángulos mayores el efecto de la vegetación es más importante y debería utilizarse una aproximación de mayor orden en el modelo directo para conseguir una mejor precisión.

La Fig. 2 compara la humedad recuperada respecto de la medida: la pendiente de la recta de regresión es 0.9 (cercana a 1) y la ordenada en el origen es 0.29. El valor rms del error entre los datos y las medidas es del 2.3%.

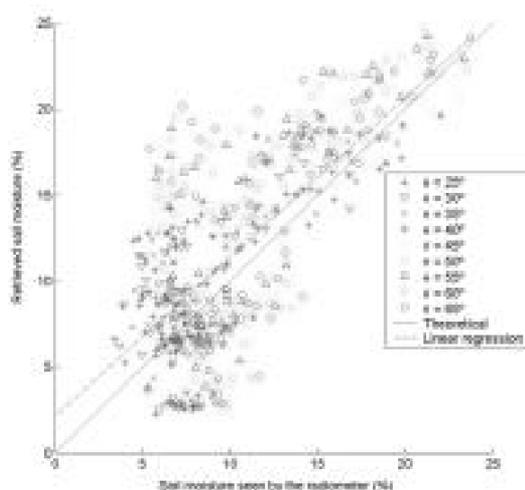


Figura 2. Humedad recuperada versus medida para distintos ángulos de incidencia.

### MOUSE 2004. EFECTO DEL TIPO DE TERRENO

El experimento MOUSE 2004 (Monitoring Underground Soil Experiment) tuvo lugar en el Joint Research Center (JRC, 45° 48', 8° 37' E) en Ispra Italia, desde el 7 de Junio al 1 de julio de 2004. El principal objetivo de este experimento es el estudio de la dependencia de la  $T_B$  con respecto del tipo de terreno, del contenido del agua y del ángulo de incidencia.

La zona de medidas tenía 5.7 m de ancho por 80m de largo y estaba dividida en 7 campos de distintos terrenos separados por unas paredes de cemento: terreno cubierto de hierba, terreno margoso, arena, arena refinada (utilizada como referencia,



Figura 3. LAURA montado en un caballete deslizable, para tomar medidas en cada campo.

siempre permanecía seca), arcilla, terreno enriquecido con materia orgánica y terreno ferromagnético. Todos los suelos carecían de cubierta vegetal excepto el primero, que no se midió. La humedad del suelo se midió con 42 Thetaprobos ML2x (6 por campo) enterradas a 5, 10 y 15 cm de profundidad. La temperatura del suelo también se midió en cada campo con termistores situados en la superficie, a 5 y a 10 cm de profundidad. Una estación meteorológica al lado del campo de medidas se utilizó para registrar la temperatura y la humedad atmosféricas y la lluvia acumulada. La rugosidad se midió con un perfilómetro láser (Fig. 5).

El radiómetro LAURA se situó en una estructura móvil que se deslizaba sobre unos raíles (ver Figura 3) para poder posicionar el radiómetro delante de cada uno de los campos. Se tomaron medidas radiométricas de cada uno de los 6 campos sin vegetación para 5 ángulos de incidencia ( $\theta$ , desde 25° a 65° en pasos de 10°). El radiómetro apuntaba cada uno de los campos durante 360 segundos, con un periodo de muestreo de 1segundo.

Además se montó al lado de la antena de LAURA una cámara de infrarrojos para medir la temperatura superficial de los campos y analizar sus diferencias con las medidas con los termistores enterrados. Las temperaturas medidas con la cámara de infrarrojos y la medida con los termistores a 0 y 10 cm eran muy iguales.

Finalmente, después de observar diferencias apreciables entre los modelos de constante dieléctrica

publicados y para poder tener valores precisos de la constante dieléctrica de los tipos de suelo medidos y para distintos grados de humedad se tomaron muestras de todos los terrenos y se midieron en el laboratorio con el método descrito en (Blanch 2004), (Monerris 2005). Los resultados preliminares de la humedad del suelo recuperada se presentan en la Fig. 4. Se observa la recuperación de la humedad con una precisión aceptable para la mayoría de terrenos, excepto para la arcilla y el terreno orgánico. Sin embargo, hay que averiguar si existe algún problema con los sensores de humedad pues no se observa variación en toda la campaña en el campo de arcilla y poca el terreno orgánico.

#### REX (Terrain Roughness Experiment) 2004. EFECTO DE LA RUGOSIDAD DEL SUELO

La campaña T-REX tuvo lugar en Agramunt (41°48' N, 1°7' W) del 27 de Noviembre al 2 de diciembre de 2004. Esta campaña está dedicada al análisis del efecto de la rugosidad del terreno en la emisividad, por lo que se realizó en unos campos de experimentación de la Universidad de Lleida (UdL) y el Institut de Recerca i Tecnologia Agrària i Alimentària (IRTA), todos del mismo tipo de terreno. El campo experimental está formado por 4 bloques idénticos, formado cada uno por cuatro parcelas (6m x 50m) recién sembradas (todavía sin plantas) y habiendo aplicado un tipo de laboreo distinto en cada parcela. Cada día se tomaron medidas radiométricas bajo nueve ángulos de incidencia ( $\theta$ , desde 25° a 65°, en pasos de 5°) sobre 8 parcelas, es decir, se tomaban dos medidas de cada tipo de laboreo, y por tanto de la misma rugosidad, diariamente. En esta ocasión el radiómetro y el rack de control para movimiento automático se montaron sobre un remolque que se iba desplazando. Al igual que en MOUSE la medida de la rugosidad de cada campo se obtuvo con el perfilómetro láser (Fig. 5).

Se adquirieron muestras del suelo para determinar la humedad volumétrica del suelo en cada secuencia de medida, así como obtener la constante dieléctrica. Finalmente, la temperatura del suelo se midió a distintas profundidades (0, 5 y 10 cm). En este caso los campos no se regaron, pero el tiempo en esta zona y esta época del año fue muy húmedo, con mucha niebla. Los datos de esta campaña se están procesando en estos momentos.

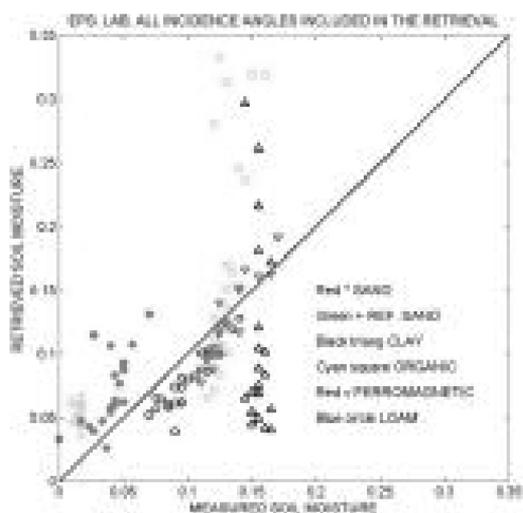


Figura 4. Humedad recuperada respecto a la medida en MOUSE.



Figura 5. Perfilómetro láser midiendo uno de los campos.

## CONCLUSIONES

Este trabajo describe distintas campañas realizadas en el marco de la misión SMOS para la mejora de la recuperación de la humedad del suelo a partir de medidas multi-angulares radiométricas en banda L. El procesado preliminar de los datos de la campaña MOUSE indica que hay que aplicar un algoritmo preciso en la definición de la constante dieléctrica. Por otro lado, la campaña SMOS-REFLEX demuestra que en zonas cubiertas de vegetación los mejores resultados se obtienen cuando se recuperan la opacidad, el albedo y la humedad simultáneamente. Para ángulos de incidencia elevados ( $>50^\circ$ ) habría que utilizar algoritmos directos de segundo orden en la recuperación de la humedad (el algoritmo t-w no converge para estos ángulos de incidencia).

## AGRADECIMIENTOS

Estas campañas han sido subvencionadas por la Comisión Española Interministerial Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y EU FEDER proyectos TIC 2002-04451-C02-01, y CICYT proyectos ESP2001-4524-PE y ESP2001-4525-PE.

Los autores agradecen la colaboración del personal del *Joint Research Center* durante la campaña MOUSE y de la Universitat de Lleida y el IRTA por ceder el campo experimental en Agramunt durante la campaña T-REX.

## BIBLIOGRAFÍA

- KERR, Y., WALDTEUFEL, P., WIGNERON, J.P., FONT, J. y BERGER, M. 2001. Soil moisture retrieval from space: the Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) mission. *IEEE Trans. Geosci. And Remote Sens.* 39: 1729-1735.
- SMOS 2003. Mission objectives and scientific requirements of the SMOS Mission, (Online), Available: <http://www.cesbio.ups-tlse.fr/data-all/pdf/SMOS-MRD-V5.pdf>.
- LÓPEZ-BAEZA, E., ANTOLÍN, C., BODAS, A., GIMENO, J.F., SALEH, K., FERRER, F., CASTELL, N., DOMÉNECH, C., SÁNCHEZ, M.A. y VELÁSQUEZ, A. 2001. The Valencia Anchor Station: A referente cal/val area for low-resolution remote sensing data and products. *Proc. First International Symposium on Recent Advances in Quantitative Remote Sensing*, Torrent (Valencia).
- WANG, J.R. y SCHUMGGE, T.J. 1980. An empirical model for the complex dielectric permittivity of soils as a function of water content. *IEEE Trans. Geosci. And Remote Sens.* 18: 288-295.
- WANG, J.R. y CHOUDHURY, B.J. 1981. Remote sensing of soil moisture content over bare field at 1.4 GHz frequency. *Journal of Geophysical Research.* 86: 5277-5282.
- MÄTZLER, C. 1994. Microwave (1-100GHz) dielectric model of leaves. *IEEE Trans. Geosci. And Remote Sens.* 32: 947-949.
- VALL-LLOSSERA, M., CAMPS, A., CORBELLA, I., TORRES, F., DUFFO, N., MONERRIS, A., SABIA, R., SELVA, D., ANTOLÍN, C., LÓPEZ-BAEZA, E., FERRER, J.F. y SALEH, K. 2003. SMOS REFLEX 2003: L-Band Emissivity Characterization of Vineyards. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, in press.
- BLANCH, S. y AGUASCA, A. 2004. Seawater dielectric permittivity model from measurements at L-band. *Proceedings of Geoscience and remote sensing Symposium.* 2: 1362-1365, Anchorage (Alaska, USA).
- MONERRIS, A., CARDONA, M., VALL-LLOSSERA, M., CAMPS, A., SABIA, R., VILLARINO, R., ÁLVAREZ, E. y SOSA, S. 2005. Soil Moisture Retrieval Errors Using L-band Radiometry Induced by the Soil Type Variability. *IEEE Proceedings of Geoscience and remote sensing Symposium IGARSS'05*, Seul Corea.

