

Utilización de L-MEB para explorar sensibilidad de las signaturas espectrales en microondas para diferentes superficies naturales y condiciones de observación en la Valencia Anchor Station

Niobe Peinado Galán, Aurelio Cano, Manuel Augusto Pesántez González, Jean-Pierre Wigneron, Ernesto Lopez-Baeza

▶ To cite this version:

Niobe Peinado Galán, Aurelio Cano, Manuel Augusto Pesántez González, Jean-Pierre Wigneron, Ernesto Lopez-Baeza. Utilización de L-MEB para explorar sensibilidad de las signaturas espectrales en microondas para diferentes superficies naturales y condiciones de observación en la Valencia Anchor Station. XV Congreso de la Asociación Española de Teledetección INTA, Oct 2013, Torrejón de Ardoz (Madrid), España. hal-01190019

HAL Id: hal-01190019 https://hal.science/hal-01190019

Submitted on 1 Sep 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers. L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UTILIZACIÓN DE L-MEB PARA EXPLORAR SENSIBILIDAD DE LAS SIGNATURAS ESPECTRALES EN MICROONDAS PARA DIFERENTES SUPERFICIES NATURALES Y CONDICIONES DE OBSERVACIÓN EN LA VALENCIA ANCHOR STATION

N. Peinado Galán⁽¹⁾, A. Cano⁽¹⁾⁽²⁾, M. A. Pesántez González, J.-P. Wigneron⁽²⁾, E. Lopez-Baeza⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidad de Valencia. Facultad de Física. Dept. de la Tierra y Termodinámica. Grupo de Climatología desde Satélites. E-mail: <u>Niobe.Peinado@uv.es</u> / <u>Ernesto.Lopez@uv.es</u> ⁽²⁾ Ahora en ISIS Ingeniería y Sistemas, Madrid. ⁽³⁾ INRA, UR1263 EPHYSE, F-33140 Villenave d'Ornon, Centre INRA Bordeaux Aquitaine, France.

RESUMEN

Mediante la aplicación informática Matlab se ha desarrollado un algoritmo para estudiar la signatura espectral en microondas de las superficies naturales. Utilizando el modelo L-MEB, se ha realizado un estudio de sensibilidad de los principales factores que pueden dicha, estudiando la dependencia de la temperatura de brillo de la superficie con sus propiedades y condiciones de observación, tales como humedad del suelo, rugosidad del suelo, LAI, profundidad de penetración, constante dieléctrica, frecuencia de microondas, ángulo de incidencia, polarización (vertical -V-, horizontal -H-, índice de polarización diferencia normalizada -NDPI-, relación de polarización), etc. Este trabajo tiene una aplicación docente directa en cuanto que muestra gráficamente el comportamiento de la temperatura de brillo en microondas en función de todos los factores que influyen en ella.

Palabras clave: espesor óptico de la vegetación, humedad del suelo, LAI, L-MEB, SMOS, rugosidad del suelo, temperatura de brillo, Valencia Anchor Station

ABSTRACT

By means of a Matlab code, an algorithm has been developed to study the microwave spectral signature of natural surfaces. Using L-MEB model, a sensitivity study of the main factors affecting the spectral signature, thus studying the dependence of surface brightness temperature on its properties and observation conditions such as for example, soil moisture, soil roughness, LAI, penetration depth, dielectric constant, microwave frequency, observation angle, polarization (vertical -V-, horizontal -H-, normalized difference polarization index -NDPI-, polarization ratio), etc. This work has a direct teaching application since it graphically shows the microwave brightness temperature behaviour as a function of all that factors that influence it.

Keywords: Brightness temperature, LAI, L-MEB, SMOS, soil moisture, soil roughness, Valencia Anchor Station, vegetation optical depth

1. INTRODUCCIÓN

Una de las técnicas más innovadoras mediante teledetección que sirven para controlar la humedad del suelo (*Soil Moisture*, **SM**) en la superficie terrestre a escala continental es la radiometría de microondas en banda L (1.1-1.7 GHz).

La misión SMOS, (*Soil Moisture and Ocean Salinity*) de la *Agencia Espacial Europea* (ESA), tiene como objetivo principal mejorar el conocimiento del Ciclo Hidrológico de la Tierra mediante la observación global de **SM** sobre las superfícies continentales.

El modelo L-MEB (*L-Band Microwave Emission of the Biosphere*) (Wigneron *et al.*, 2007) es el modelo elegido por la misión SMOS como base para su procesador de nivel 2 para obtener SM a partir de las medidas desde satélite transformadas en temperaturas de brillo (T_B) (*SMOS Level 2 Processor for Soil Moisture. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)*, Expert Support Laboratories, 2011). El principio de este algoritmo es explotar las observaciones multiangulares y para varias polarizaciones de SMOS para obtener simultáneamente

la humedad del suelo y las características radiativas de la vegetación sobre diferentes tipos de coberturas continentales.

El objetivo principal de este trabajo es realizar una aplicación mediante Matlab que permita simular y estudiar el comportamiento de T_B en función de los diferentes ángulos de incidencia, propiedades y tipos de suelo, cobertura de la vegetación, polarización (vertical -V-, horizontal -H-, índice de polarización diferencia normalizada -NPDI- y relación de polarización). También se han realizado estudios de sensibilidad sobre alguno de los parámetros más significativos (rugosidad, LAI) para las diferentes condiciones de observación.

2. METODOLOGÍA

Se han introducido los algoritmos del modelo L-MEB en un código programado en Matlab, conteniendo las funciones de emisividad, permitividad y la función de T_B para polarización vertical y horizontal.

Las recuperaciones de SM se llevan a cabo solamente sobre el área dentro del píxel correspondiente a suelo desnudo y baja cubierta de vegetación (referido como la clase nominal) y algunas zonas boscosas.

Los efectos topográficos no se modelan en el L-MEB. La T_B de un píxel mixto se denota por T_{BP} , dónde P es el subíndice de polarización (P=V para vertical y P=Hpara horizontal). Este se escribe como una combinación lineal de T_B en cada cubierta de la tierra, ponderado por su respectiva fracción de cobertura dentro del píxel y determinadas características reales del patrón de la antena SMOS (Expert Support Laboratories, 2011).

2.1. Modelización del suelo

2.1.1 Reflectividad del suelo

La emisión de microondas a nivel de suelo T_{B-GP} generalmente se describe como una función de la emisividad de la tierra (e_{GP}) y de la temperatura efectiva del suelo (T_G) , (Ulaby *et al.*, 1981-86).

$$T_{B-GP} = e_{GP} \cdot T_G \tag{1}$$

La temperatura de suelo efectiva T_G representa el hecho de que T_{B-GP} es una suma ponderada de las emisiones de las diferentes capas del suelo, que tiene características diferentes en términos de temperatura física y emisividad. Generalmente, la emisividad del suelo se calcula como ($e_{GP} = 1 - r_{GP}$), donde r_{GP} es la reflectividad integral de los efectos dispersos en la superficie sobre la parte superior del hemisferio.

Para considerar la rugosidad, L-MEB se basa en un enfoque semi-empírico desarrollado por Wang y Choudhury (1981) a través de los parámetros de ajuste, H_R y Q_R . La reflectividad del suelo, r_{GP} , viene dada por:

$$r_{GP}(\theta) = \left[\left(1 - Q_{RP}(\theta) \right) r^*{}_{GP}(\theta) + Q_{RP}(\theta) r^*{}_{GP}(\theta) \right] (2)$$

Pueden realizarse diversas simplificaciones. La mayoría de los estudios publicados para un gran conjunto de datos experimentales, establecen que $Q_R=0$ (Wigneron *et al.*, 2001). Hay que tener en cuenta que Q_R es un parámetro diferente de cero a altas frecuencias (Njoku *et al.*, 1999; Pellarin *et al.*, 2006).

 $Q_R = \theta$, $r_{GP}(\theta) = [r_{GP}^*(\theta)] \exp(-H_{RP}(\theta) \cos^{N_{RP}}(\theta))(3)$

(Wang *et al.* 1983) demostraron que $N_R=0$ para tres frecuencias (1.4, 5 y 10.7 GHz).

2.1.2 Temperatura efectiva del suelo

A partir de datos experimentales, Choudhury *et al.* (1982) desarrollaron una parametrización simple de T_G :

 $T_G = T_{soil_depth} + C_t (T_{soil_surf} - T_{soil_depth})$ (4) donde T_{soil_depth} es la temperatura en profundidad del suelo (aproximadamente 50 ó 100 cm); T_{soil_surf} es la temperatura en superficie (aproximadamente en un intervalo de profundidad de 0 – 50 cm). Wigneron et al. (2001) modificaron la Eq. (4) considerando T_{soil_depth} la temperatura del suelo a 50 cm y parametrizando Ct como una función de la humedad en superficie de acuerdo con:

$$C_t = \left(\frac{SM}{w_0}\right)^{b_{w_0}} \tag{5}$$

donde *SM* es la humedad en superficie, de 0 a -3 cm, la cual corresponde a la contribución del valor efectivo **SM** de las emisiones del suelo en banda L (Raju *et al.*, 1995), w_0 y b_{wo} son parámetros semi-empíricos dependientes de las características del suelo.

Se determinó que w_o es aproximadamente 0,3 m³/m³ sobre dos tipos de suelos desnudos: el INRA Avignon (Wigneron *et al.*, 2001) y SMOSREX (De Rosnay *et al.*, 2006). El valor de b_{wo} fue determinado en 0,3 m³/m³ para INRA Avignon y 0,65 m³/m³ para SMOSREX. Actualmente se utiliza por defecto $w_o = 0,3$ m³/m³ y $b_{wo} = 0,3$ en L-MEB.

2.1.3 Permitividad del suelo

L-MEB para relacionar la permitividad del suelo con parámetros del suelo se utiliza el modelo de Dobson *et al.* (1985), excepto para suelos arenosos secos.

2.2. Modelización de la vegetación

La vegetación atenúa la emisión del suelo y añade su propia contribución a la radiación emitida. A bajas frecuencias, estos efectos pueden aproximarse con un modelo simple de transferencia radiativa, el modelo τ - ω . Este modelo se basa en dos parámetros, el espesor óptico τ_P y el albedo de dispersión simple, ω_P .

Usando el modelo τ - ω , las emisiones globales proceden de dos medios, suelo y vegetación, para cada polarización **P**, de tal forma que la emisión está formada por tres términos: (1) emisión directa de la vegetación, (2) emisión de la vegetación reflejada por el suelo y atenuada por la cubierta vegetal y (3) emisión del suelo atenuada por la vegetación:

$$T_{BP} = (1 - \omega_P)(1 - \gamma_P)(1 + \gamma_P r_{GP})T_C + (1 - r_{GP})\gamma_P T_G$$
(6)

donde T_G y T_C son las temperaturas efectivas del suelo y de la vegetación, r_{GP} es la reflectividad del suelo, γ_P es el factor de atenuación. El último término puede calcularse a través del espesor óptico como:

$$\gamma_{\rm P} = \exp\left(-\tau_{\rm P} / \cos\left(\theta\right)\right) \tag{7}$$

 τ_P se expresa como una función del espesor óptico en el nadir, τ_{NAD} .

En L-MEB la temperatura efectiva T_{GC} , se expresa:

$$T_{GC} = A_t + (1 - A_t) T_G \operatorname{con} A_t = B_t (1 - exp(-\tau_{NAD}))$$

siendo $A_t \le 1$ (8)

 A_t y B_t relacionan el efecto estructural de la vegetación. El modelo L-MEB considera: temperatura, dispersión y atenuación de la vegetación, de forma que el espesor óptico total se deriva de:

$$\tau_P = \tau_{SP} + \tau_L + \tau_{IP} \tag{9}$$

donde τ_{SP} es el espesor óptico de la cubierta vegetal, τ_L es el espesor óptico de la vegetación por debajo de la cubierta y τ_{IP} es el espesor óptico debido al agua en el dosel de la vegetación. $\tau_{SP}(\theta)$ se expresa en 3 ecuaciones:

 $\tau_{S_NAD} = b'_S * LAI + b''_S$ (10) donde **b'**s y **b''**s dependen de la estructura de la vegetación, y $\tau_{SV}(\theta)$ y $\tau_{SH}(\theta)$ se expresan como:

$$\tau_{SH}(\theta) = \tau_{SNAD}[\sin^2(\theta) * tt_H + \cos^2(\theta)]$$
(11)

 $\tau_{SV}(\theta) = \tau_{S_NAD}[sin^2(\theta) * tt_V + cos^2(\theta)]$ (12)

donde los parámetros tt_V y tt_H se suman a la dependencia de τ_{SP} del ángulo de incidencia.

Las Eq. (11) y (12) permiten parametrizar $\tau_{SP}(\theta)$ para distintas configuraciones de la cubierta del suelo.

Los valores por defecto que vienen estipulados en el modelo son los medidos en la zona de la VAS (*Valencia Anchor Station*), en Utiel (Valencia).

Las características principales del suelo sobre el que se realizan las simulaciones son: arena 36%, arcilla 16,6%, densidad aparente 1.4 g/cm³, temperatura del suelo en superficie y profundidad: 290 y 285 K respectivamente, albedo en polarización horizontal y vertical 0,05 y θ =42,5° (ángulo nominal de SMOS).

3. RESULTADOS

a) Variación de la temperatura de brillo con SM. La figura 1 representa la variación de T_B frente a SM para diferentes valores de LAI en la banda L (1,4 GHz). En esta gráfica, se observa que para ambas polarizaciones T_B decrece si hay un incremento de SM.



Figura 1. Variación de T_B respecto de SM para diferentes valores de LAI en ambas polarizaciones.

b) Variación de la temperatura de brillo frente al LAI. En la figura 2, se observa como al aumentar el LAI, T_B aumenta hasta llegar a valores de LAI altos donde la contribución del suelo es casi nula.



Figura 2. Variación de T_B frente al LAI para diferentes valores de SM en ambas polarizaciones.

c) Variación de T_B frente al ángulo de incidencia (θ).



Figura 3. Variación de T_B frente a θ para distintos valores de LAI en ambas polarizaciones.

En la figura 3 se observa que para una polarización horizontal en banda L, T_B de un suelo con vegetación decrece para ángulos pequeños hasta $\theta = 40^{\circ}$, a partir del cual el valor de T_B empieza a aumentar. Sin embargo, para un suelo desnudo, el valor de T_B para polarización horizontal en banda L decrece conforme θ se va haciendo más grande, hasta valores muy bajos de T_B (~ 210 K) para 0~60°. En polarización vertical se observa como T_B crece según aumenta θ hasta los 60°. Aunque este aumento es mucho más brusco para suelos con valores de LAI más bajos, donde $T_B \operatorname{con} \theta$ próximos a 0° es del orden de 232 K y aumenta hasta los 278 K para $\theta \sim 60^\circ$, mientras que para suelos con altos valores de LAI, T_B alcanza los 270 K para $\theta \sim 0^\circ$ y aumenta hasta los 278 K en ángulos próximos a los 60°, la variación es mucho menor para suelos con vegetación que para suelos sin vegetación.

d) Variación de la rugosidad del suelo (h_{sol}) . Se considera una humedad del suelo del 25% obteniéndose un valor de T_B creciente para ambas polarizaciones, siendo mayor en el caso de polarización vertical.



Figura 4. Variación de T_B con la rugosidad del suelo (h_{sol}) desnudo en banda L para ambas polarizaciones y diferentes $\boldsymbol{\theta}$.

Para θ muy pequeños no hay casi variación de T_B entre polarizaciones, sin embargo al aumentar θ se observa como T_B con polarización V aumenta a medida que la

rugosidad es mayor, sin embargo T_B es menor para θ mayores si la rugosidad es pequeña, pero si el valor de la rugosidad es grande, T_B con polarización H es mayor que con polarización V para θ muy pequeños.

A mayor θ , mayor sensibilidad con la rugosidad, la variación de T_B es mucho mayor en estos casos, tanto en polarización V como H.

4. CONCLUSIONES

Del estudio realizado se concluye que en polarización V, T_B presenta siempre valores más elevados que en polarización H. L-MEB, permite realizar simulaciones de la variación de T_B con los principales parámetros del suelo: SM, θ , polarización y vegetación (LAI). Así mismo, también permite realizar simulaciones variando otros parámetros y características del suelo como la constante dieléctrica, composición del suelo, camino óptico, albedo,... Estas simulaciones han realizado conjuntamente a las presentadas en este trabajo, extrayendo las siguientes conclusiones:

- Al aumentar SM la T_B decrece en ambas polarizaciones.
- T_B aumenta al aumentar el LAI. Para valores muy altos de LAI T_B se satura debido a que la única contribución detectada es la de la vegetación.
- Si θ aumenta, y si se considera un LAI bajo, en polarización vertical T_B crece, y en polarización horizontal decrece hasta θ =45° a partir del cual T_B aumenta. Si el LAI aumenta, T_B en polarización V crece hasta un θ de 45°, para luego deflexionar según θ aumenta. En polarización H T_B aumenta hasta $\theta \sim 55^\circ$, para luego mantenerse cte.
- El incremento de la rugosidad del suelo, implica un incremento de T_B , siendo especialmente sensible para θ grandes, principalmente en polarización H.

5. REFERENCIAS

CHOUDHURY, B. J., SCHMUGGE, T. J., & MO, T. 1982. *A parameterization of effective soil temperature for microwave emission*. Journal of Geophysical Research, 87(C2), 1301–1304.

DE ROSNAY, P., CALVET, J.-C., KERR, Y., WIGNERON, J.-P., LEMAÎTRE, F., ESCORIHUELA, M. J., MUÑOZ SABATER, J., SALEH, K., BARRIÉ, J., BOUHOURS, G., CORET, L., CHEREL, G., DEDIEU, G., DURBE, R., ED DINE FRITZ, N., FROISSARD, F., HOEDJES, J., KRUSZEWSKI, A., LAVENU, F., SUQUIA, D., WALDTEUFEL, P. 2006. *SMOSREX: A* long term field campaign experiment for soil moisture and land surface processes remote sensing. Remote Sensing of Environment 102 (2006) 377–389.

DOBSON, M. C., ULABY, F. T., HALLIKAINEN, M. T., EL-REYES, M. A. 1985. *Microwave dielectric behavior of wet soil- Part II: Dielectric mixing models.*

IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 23, 35–46.

EXPERT SUPPORT LABORATORIES, 2011. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the SMOS Level 2 Soil Moisture Processor Development Continuation Project. CESBIO, IPSL-Service d'Aéronomie, INRA-EPHYSE, Reading University, Tor Vergata University for Array Systems Computing Inc. 24th Jan 2011.

NJOKU, E. G. & LI, L. 1999. *Retrieval of land surface parameters using passive microwave measurements at 6–18 GHz*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 37(1), 79–93.

PELLARIN, T., KERR, Y. H. & WIGNERON, J.-P. 2006. *Global simulation of brightness temperatures at 6.6 and 10.7 GHz over land based on SMMR data set analysis.* IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 44(9), 2492–2505.

PELLARIN, T., WIGNERON, J.-P., CALVET, J.-C., FERRAZZOLI, P., DOUVILLE, H., LOPEZ-BAEZA, E., et al. 2003. Two-Year global simulation of L-band brightness temperatures over land. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41(9), 2135–2139.

RAJU, S., CHANZY, A., WIGNERON, J.P., CALVET, J.C., LAGUERRE, L., KERR, Y. 1995. Soil moisture and temperature near surface profile effects on soil microwave emission, Remote Sensing Environ.54:85-97.

ULABY, F. T., MOORE, R. K. & FUNG, A. K. 1981– 1986. *Microwave Remote Sensing — Active and Passive*, vol I, II, 1981–82, Addison-Wesley Publishing Company; vol III, 1986, Artech House, Norwood, MA.

WANG, J. R. & CHOUDHURY, B. J. 1981. *Remote* sensing of soil moisture content over bare fields at 1.4 *GHz frequency*. J Geophys Res, 86: 5277–5282.

WANG, J. R., O'NEILL, P. E., JACKSON, T. J., ENGMAN, E. T. 1983. *Multifrequency measurements of the effects of soil moisture, soil texture, and surface roughness*. IEEE Trans Geosci Remote Sens, GE-21(1): 44–51

WIGNERON, J.-P., LAGUERRE, L. & KERR, Y. 2001. Simple modeling of the Lband microwave emission from rough agricultural soils. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39(8), 1697–1707.

WIGNERON, J.-P., SHI, J. C., ESCORIHUELA, M.-J., CHEN, K.-S. 2006. *Modeling the soil microwave emission*. En MÄTZLER, P. ROSENKRANZ, W., BATTAGLIA, A., WIGNERON, J. P. (Eds.), *Thermal microwave radiationapplications for remote sensing* (pp. 276–287). London, UK: IEE Electromagnetic Waves.

WIGNERON, J.-P., KERR, Y., WALDTEUFEL, P., SALEH, K., ESCORIHUELA, M. -J., RICHAUME, P., et al. 2007. L-band Microwave Emission of the Biosphere (L-MEB) Model: description and calibration against experimental data sets over crop fields. Remote Sensing of Environment, 107(4), 639–655.