

# EFFECTO DEL "SPECKLE" Y DE LA HETEROGENEIDAD DEL SUELO COMO FUENTES DE ERROR EN UN ESQUEMA BAYESIANO DE OBTENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO PARA DATOS SAR

**Barber M.<sup>1</sup>; Grings F.<sup>1</sup>; Perna P.<sup>1</sup>; Piscitelli M.<sup>2</sup>; Maas M.<sup>1</sup>; Jacobo-Berlles J.<sup>3</sup>; Karszenbaum H.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Astronomía y Física del Espacio (UBA – CONICET) - Grupo de Teledetección, Int. Güiraldes s/n (C1428ZAA), Pabellón IAFE, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina (mbarber@iafe.uba.ar);

<sup>2</sup> Universidad del Centro - Facultad de Agronomía - Cátedra de Conservación y Manejo de Suelos, República de Italia 780-Azul, provincia de Buenos Aires, Argentina (mpiscit@faa.unicen.edu.ar);

<sup>3</sup> Universidad de Buenos Aires - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Departamento de computación, Buenos Aires, Argentina (jacobob@dc.uba.ar).

## RESUMEN

La obtención de humedad del suelo a partir de imágenes SAR se ve siempre afectada por *speckle* e incertezas asociadas a los parámetros del suelo, lo cual impacta de manera negativa en la estimación de humedad del suelo. Con el fin de abordar tales problemáticas, en este trabajo se propone el uso de un estimador Bayesiano para humedad del suelo a partir de datos SAR polarimétricos. Este estimador incorpora naturalmente el modelo de dispersión electromagnética, el efecto del *speckle* y la heterogeneidad espacial del suelo. Como una ventaja comparativa respecto de otras opciones de inversión, el enfoque Bayesiano permite incorporar información previa acerca de la condición del suelo, mejorando el desempeño de la inversión.

Se presentan simulaciones numéricas donde se compara un enfoque tradicional de inversión provisto por Oh (2004) con el enfoque Bayesiano. El enfoque tradicional de Oh tiene una región acotada de validez, producto de su carácter semiempírico, lo que compromete seriamente su uso en una aplicación real de obtención de humedad. Los resultados indican que el método Bayesiano extiende la región de validez del modelo de Oh, al mismo tiempo que tiende a éste a medida que los efectos del *speckle* y de la heterogeneidad del terreno se vuelven despreciables, asegurando así un correcto comportamiento asintótico. Como parte del trabajo en curso, se está utilizando también como modelo directo (teórico) el IEM (*Integral Equation Model*) dentro del enfoque bayesiano.

Palabras clave: humedad del suelo, aplicaciones de radar, métodos Bayesianos, radares de apertura sintéticas, problemas inversos

## INTRODUCCIÓN

La humedad superficial del suelo juega un papel fundamental en la interacción entre la superficie terrestre y la atmósfera. Los radares de apertura sintética (*Synthetic Aperture Radar*, SAR) ofrecen la oportunidad de monitorear el contenido de humedad del suelo a diferentes escalas y bajo cualquier condición climática. Esto se debe a la conocida sensibilidad que presenta la señal retrodispersada a los parámetros del suelo, incluyendo, entre otros, la humedad del suelo. Los sistemas SAR polarimétricos son capaces de transmitir y recibir radiación linealmente polarizada en los planos horizontal (h) y vertical (v), relativos al plano de incidencia. De la interacción entre estas ondas y la superficie de interés resultan cuatro imágenes en intensidad: hh, hv, vh y vv (Oliver y Quegan 2004). Dentro de este marco, la obtención de humedad del suelo puede considerarse un problema de inferencia, donde se busca inferir o estimar la condición del suelo a partir de un conjunto de mediciones (hh,hv,vh,vv) e información auxiliar.

Sin embargo, la relación existente entre la señal retrodispersada y los parámetros del blanco no es directa en lo absoluto: aún no existen productos de humedad del suelo derivados de datos SAR. Esto tiene dos motivos principales: (1) el proceso de dispersión de las ondas que relaciona la retrodispersión con las propiedades del suelo (humedad, rugosidad, otros) son difíciles de modelar (Fung 1994) y (2) los parámetros de entrada de los modelos son difíciles de medir en campo (Western et al. 1999; Verhoest et al. 2008). Lo primero se relaciona con el sistema de formación de imágenes SAR mientras que lo segundo se relaciona con la heterogeneidad de los parámetros del suelo. Más aún, típicamente existen muchas combinaciones de parámetros de superficie que se corresponden con la misma medición SAR, es decir, se trata de un problema inverso mal condicionado.

Una de las limitantes en la obtención de humedad del suelo por medio de sistemas SAR es el desempeño insatisfactorio de los modelos inversos. Motivos para la discrepancia entre los parámetros del modelo y las observaciones incluyen errores del instrumento, heterogeneidad de la superficie del blanco, dificultad en medir los parámetros de rugosidad, otros.

Un amplio rango de modelos directos, desde relaciones experimentales hasta modelos de primeros principios, han sido desarrollados con miras evaluar la dependencia que tiene la señal retrodispersada con los parámetros del suelo. Con respecto a los modelos semiempíricos, el enfoque habitual contempla describir el comportamiento promedio de la señal retrodispersada como función de los parámetros del suelo, ignorando la variabilidad respecto del valor medio y sus causas (Haddad et al., 1996). Esto resulta en que distintas estimaciones de humedad del suelo se corresponden con la misma medición de humedad en el terreno. Por otro lado, los modelos de primeros principios son derivados a partir de la teoría electromagnética. Entre ellos destaca el Integral Equation Model (IEM) de Fung (1994), el cual tiene un rango de validez extenso en términos de los parámetros del suelo. Sin embargo, este modelo es complejo y la relación entre los parámetros del suelo y la retrodispersión hace difícil llevar a cabo una inversión directa.

Adicionalmente, otro fenómeno perjudica la obtención de humedad del suelo basada en sistemas SAR: el *speckle*. El *speckle* puede considerarse un ruido multiplicativo que resulta en una apariencia moteada o “salpicada” de las imágenes SAR, produciendo una disminución en su contraste y por consiguiente en su calidad radiométrica (Lee et al., 1994). Este efecto indeseado es característico de las imágenes SAR y usualmente es reducido en una etapa de post-procesamiento promediando píxeles vecinos, a expensas de la resolución espacial. Este proceso de promediado se conoce como multilookeo (*multi-looking process*). No obstante, el proceso de multilookeo implícitamente supone que las propiedades dentro del área a promediar son constantes, lo cual normalmente no es el caso. En consecuencia, debe hallarse una solución de compromiso que contemple el proceso de multilookeo y la heterogeneidad del terreno presente.

En los enfoques clásicos mencionados arriba, el modelo de inversión y de *speckle* se consideran como problemas independientes cuando de hecho forman parte del mismo problema de inversión. En este trabajo analizamos una metodología Bayesiana de obtención de parámetros del suelo, con énfasis en la humedad y basada en Barber (2012), la cual incorpora de manera natural el *speckle* y la heterogeneidad del terreno como fuentes de incerteza que degradan el valor de salida predicho por los modelos directos. Este enfoque Bayesiano permite investigar la incerteza total en la estimación de humedad del suelo como función del número de looks y de la variabilidad de los parámetros de rugosidad, este último asociado a la heterogeneidad del terreno. Dos modelos directos se emplean en la simulación: el modelo de Oh (Oh, 2004) y el IEM (Fung, 1994). El desempeño de cada modelo se cuantifica mediante la comparación de los parámetros obtenidos con respecto a los parámetros de entrada de la simulación. Finalmente, este trabajo se encuadra dentro de la actual misión SAR SAOCOM de CONAE y dentro del AO “Monitoreo de condición hídrica en suelo agrícolas: trabajo de campo y simulaciones para validación de datos de humedad de SARAT-SAOCOM”.

## RESULTADOS

En las Figuras 1 y 2 se presentan resultados de la simulación. En la Figura 1 se presenta una comparación entre la inversión provista por el modelo de Oh y el modelo Bayesiano. El parámetro invertido es la humedad del suelo ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) y se presenta en términos de curvas de nivel (trazo grueso, modelo Bayesiano; trazo fino, modelo de Oh) para los distintos valores posibles de  $hh$  y  $vv$ , para un  $hv$  fijo ( $hv=-23\text{dB}$ ). El área sombreada representa la región de validez del modelo de Oh. La simulación se realizó con un número de *looks* igual a 3 y un ángulo de incidencia  $\theta=35^\circ$ . Como validación, las marcas “+” indican los valores exactos calculados a partir del modelo directo de Oh.

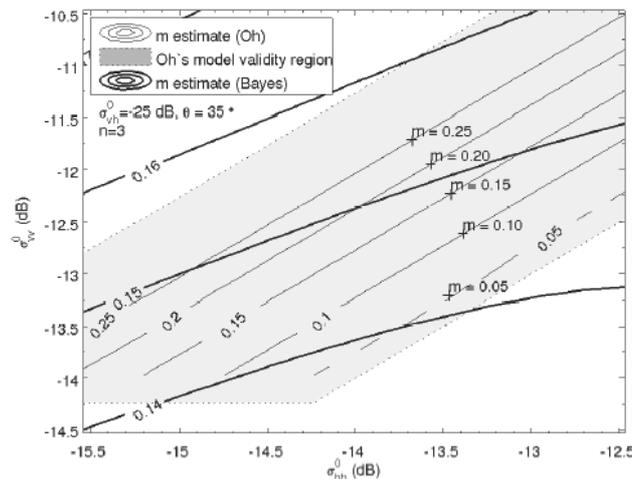


Figura 1. Comparación entre la humedad del suelo estimada a través del modelo de Oh (línea de trazo fino) y del enfoque Bayesiano, en unidades de  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  (línea de trazo grueso). Como validación, las marcas “+” indican los valores exactos calculados a partir del modelo directo de Oh.

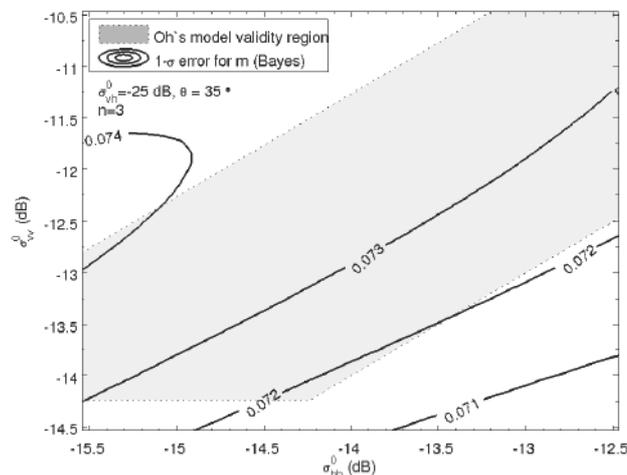


Figura 2. Curvas de nivel para el desvío estándar (un sigma) de la estimación de humedad del suelo mostrada en la figura 1. La inversión del modelo de Oh no tiene error ya que se considera al modelo perfecto y sin *speckle*.

Al usar el enfoque Bayesiano, los valores de humedad del suelo cubren por completo el espacio ( $hh, vv$ ). La alta dispersión de las curvas de nivel es consistente con un alto nivel de *speckle* (bajo número de *looks*).

La Figura 2 muestra curvas de nivel para el error a un sigma. Una inversión a partir del modelo de Oh no tiene error ya que se considera al modelo perfecto y sin *speckle*. A medida que el número de *looks* aumenta, las curvas de Bayes convergen a las curvas de Oh, mientras que el error disminuye significativamente (resultados no mostrados). En desarrollo se encuentra la implementación del modelo Bayesiano usando como modelo directo el modelo teórico IEM.

## CONCLUSIONES

La obtención de humedad del suelo a partir de datos SAR presenta dos fuentes principales de incerteza: la heterogeneidad del terreno y el efecto del *speckle*. Estas dificultades se abordan usando un enfoque Bayesiano, que modela estos dos fenómenos de manera rigurosa. Dicho enfoque: (1) únicamente requiere de un modelo directo, (2) calcula un estimador para la humedad del suelo con su error asociado y (3) puede incluir tantas fuentes de error como sea necesario.

Contrariamente al modelo de Oh, el cual es válido únicamente en una región acotada del espacio, el modelo Bayesiano provee una estimación de humedad para cualquier combinación (hh,vv,hv). Por consiguiente, el modelo Bayesiano posee la capacidad de incrementar la región donde la inversión es posible además de que provee una manera de cuantificar el error en la estimación de humedad.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a C. Notarnicola y a D. Dadamia por sus comentarios al respecto del modelo Bayesiano. Este trabajo se financió a través de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) (PICT 1203) y MinCyT-CONAE-CONICET proyecto 12 y del proyecto AO SAOCOM n°17.

## REFERENCIAS

- Barber, M., Grings, F., Perna P., Piscitelli M., Maas, M., Bruscantini, C., Jacobo Berlles, J. and Karszenbaum, H., 2011 (en prensa). Speckle noise and soil heterogeneities as error sources in a Bayesian soil moisture retrieval scheme for SAR data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*.
- Haddad, Z. S., Dubois, P. D. and van Zyl, J. J., 1996. Bayesian estimation of soil parameters from radar backscatter data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34(1), 76–82.
- Lee, J. S., Hoppel, K. W., Mango S. A. and Miller A. R., 1994. Intensity and phase statistics of multilook polarimetric and interferometric SAR imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32(5), 1017–1028.
- Oh, Y., 2004. Quantitative retrieval of soil moisture content and surface roughness from multipolarized radar observations of bare soil surfaces. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(3), 596 – 601.
- Verhoest, N. E. C., Lievens, H., Wagner, W., Alvarez-Mozos, J., Moran, M. S. and Mattia, F., 2008. On the soil roughness parameterization problem in soil moisture retrieval of bare surfaces from synthetic aperture radar. *Sensors*, 8, 4213–4248.
- Western, A. W., Grayson R. B., Bloschl G., Willgoose G. R. and McMahon T. A., 1999. Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices. *Water Resources Research*, 35(3), 797–810.
- Fung, A. K., 1994. *Microwave scattering and emission models and their applications*. Artech House, Norwood.
- Oliver, C. and Quegan S., 2004. *Understanding Synthetic Aperture Radar Images*. SciTech Publishing, Raleigh.