

M. Barber¹, M. Maas¹, P. Perna¹, F. Grings¹, D. Dadamia², H. Karszenbaum¹

¹ Grupo de Teledetección Cuantitativa, Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE-CONICET-UBA), Buenos Aires, Argentina. Email: mbarber@iafe.uba.ar.

² Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), Buenos Aires, Argentina. Email: ddadamia@conae.gov.ar.

ABSTRACT

La respuesta SAR (*Synthetic Aperture Radar*) de un suelo agrícola está determinada principalmente por dos parámetros: la humedad y la rugosidad. La obtención de dichos parámetros del suelo a partir de imágenes SAR se ve siempre afectada por ruido "speckle" (presente en toda imagen SAR) e incertezas asociadas a tales parámetros, lo cual impacta negativamente en la exactitud de las variables estimadas. En este trabajo se propone un método Bayesiano que incorpora la heterogeneidad de los parámetros del suelo y el ruido speckle como fuentes de incerteza en la estimación. Dicho método Bayesiano (1) requiere únicamente un modelo directo, (2) da como resultado un estimador óptimo para la humedad y rugosidad del suelo y su error, (3) puede incorporar tantas fuentes de incerteza como se requiera y (4) puede incluir información previa de manera sistemática.

Dentro de este enfoque Bayesiano se obtuvo una estimación de humedad m_v y rugosidad del suelo normalizada ks ($k=2\pi/\lambda$, $\lambda=23\text{cm}$), a partir de una imagen SAR. Para evaluar su desempeño se lo comparó con un procedimiento de minimización tradicional y ambos, a su vez, con datos de campo.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está compuesta por un conjunto de 20 parcelas agrícolas en el Centro Espacial Teófilo Tabanera (CETT), próximo a Falda del Carmen, Córdoba (Fig. 1). Las parcelas presentan varios tratamientos que dieron como resultado diferentes condiciones de rugosidad y consecuentemente diferentes "esperadas" (información previa). El suelo se encontraba seco debido a la ausencia de precipitaciones en los 60 días previos al trabajo de campo.



Fig 1. Imagen Google Earth de las 20 parcelas agrícolas donde se obtuvo la humedad del suelo y la rugosidad a partir de imágenes SARAT.

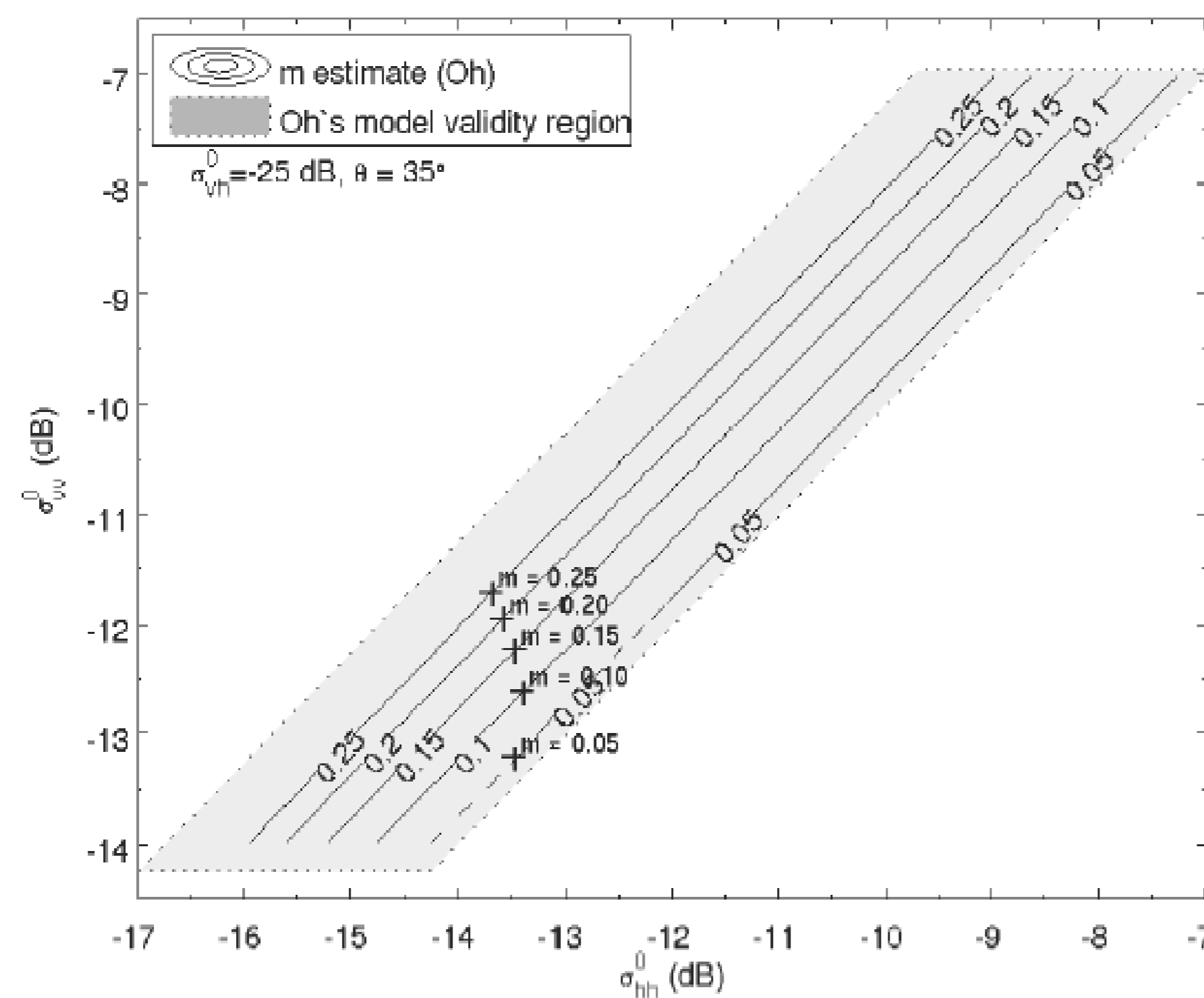
TIPO DE IMAGEN SAR

Imagen polarimétrica completa (canales HH, HV, VH y VV) en banda L adquirida por el sistema aerotransportado SARAT de CONAE.

ALGORITMO DE MINIMIZACIÓN TRADICIONAL

El modelo semiempírico de Oh [1] se invierte minimizando una función no lineal de m_v y ks , para algún conjunto de mediciones σ_{hh}^0 , σ_{vv}^0 y σ_{vh}^0 . El resultado se muestra en la Fig. 2 para el caso $\sigma_{vh}^0 = -25\text{dB}$.

Fig. 2. Obtención de m_v a partir del modelo de Oh. El área sombreada indica el rango de validez de la solución. El ruido speckle puede producir mediciones fuera de esta región, de ahí la importancia de modelarlo.



ALGORITMO BAYESIANO

El algoritmo Bayesiano (Ec. 1) consta de:

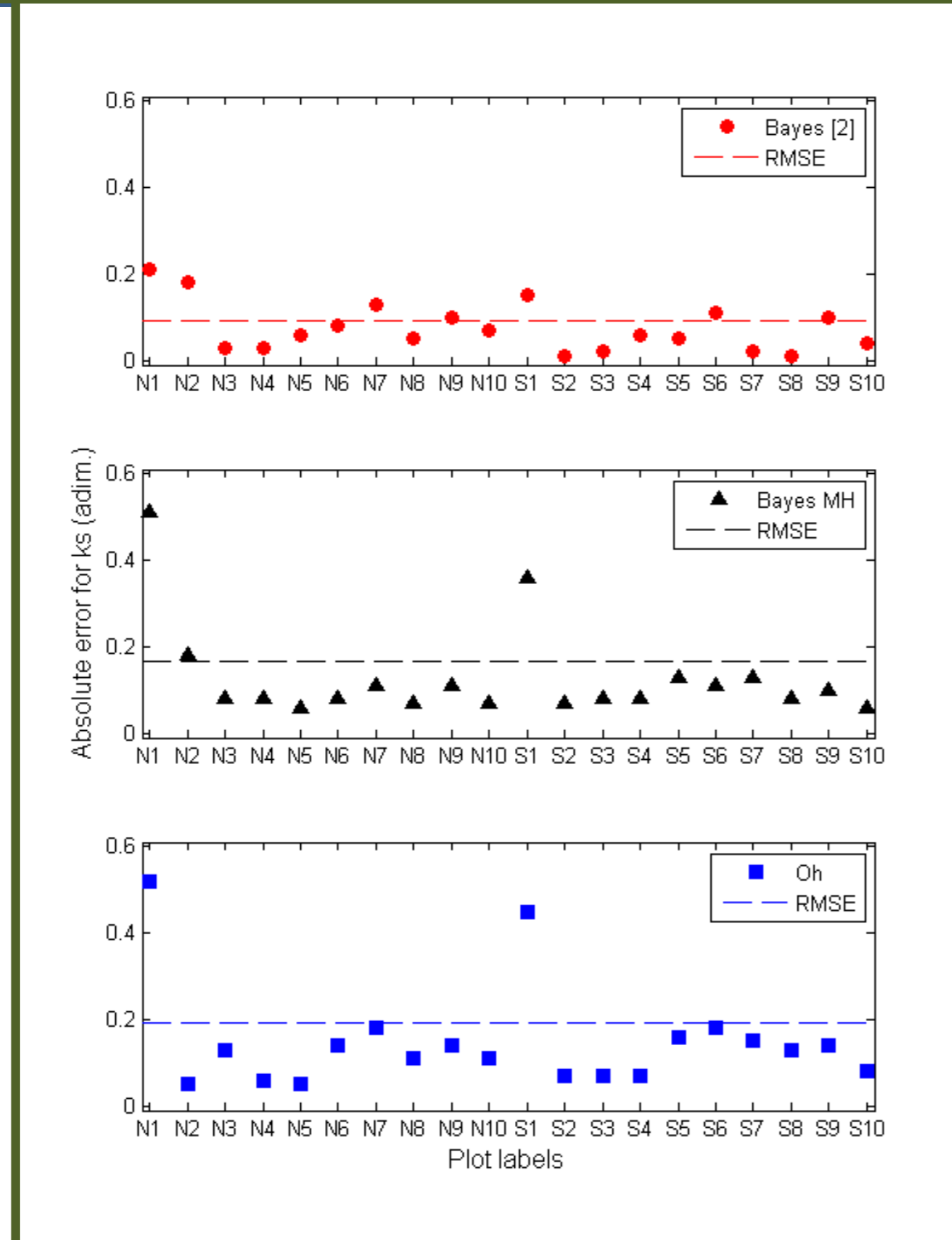
- Un "Posterior", el cual es la probabilidad condicional de medir m_v y ks dados σ_{hh}^0 , σ_{vv}^0 , σ_{vh}^0 (z_1, z_2, z_3 por simplicidad de aquí en adelante).
- Un "Likelihood", el cual involucra al modelo directo, la heterogeneidad del terreno y al modelo de speckle.
- Un "Prior", el cual incluye toda la información previa acerca de m_v y ks .
- La "Evidencia", la cual es un factor global de normalización.

$$P(m, ks | z_1, z_2, z_3) = \frac{P_{Z_1 Z_2 Z_3}(z_1, z_2, z_3 | m, ks) P_{MKS}(m, ks)}{P_{Z_1 Z_2 Z_3}(z_1, z_2, z_3)} \quad (1)$$

Se emplearon dos maneras de calcular (1): La del trabajo Barber *et al.* [2], (llamada aquí método Bayesiano a secas) la cual explota el comportamiento analítico del modelo de Oh y una segunda que hace uso del método Metropolis-Hasting (MH) y asume a los canales HH, HV y VV decorrelacionados entre sí ($P_{Z_1 Z_2 Z_3} = P_{Z_1} P_{Z_2} P_{Z_3}$). Una vez calculado el posterior, se pueden escoger entre varios estimadores: la media, máxima verosimilitud, etc. La media se eligió para este trabajo.

RESULTADOS

Fig. 3. Diferencia absoluta entre ks estimado y el esperado por el prior. Se muestran los tres enfoques usados. Las líneas rayadas indican el error cuadrático medio de las estimaciones.



• Con respecto a la rugosidad, las estimaciones provistas por el método de minimización y el de Bayes MH concuerdan débilmente con aquellos valores de rugosidad esperados del tratamiento presente en las parcelas (tomado en cuenta en el prior).

• La estimación Bayesiana de m_v muestra menos dispersión que las estimaciones del método de minimización y de Bayes MH.

• Se obtuvo una correspondencia dentro del $0.06 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ de error entre el modelo Bayesiano y las mediciones *in-situ*.

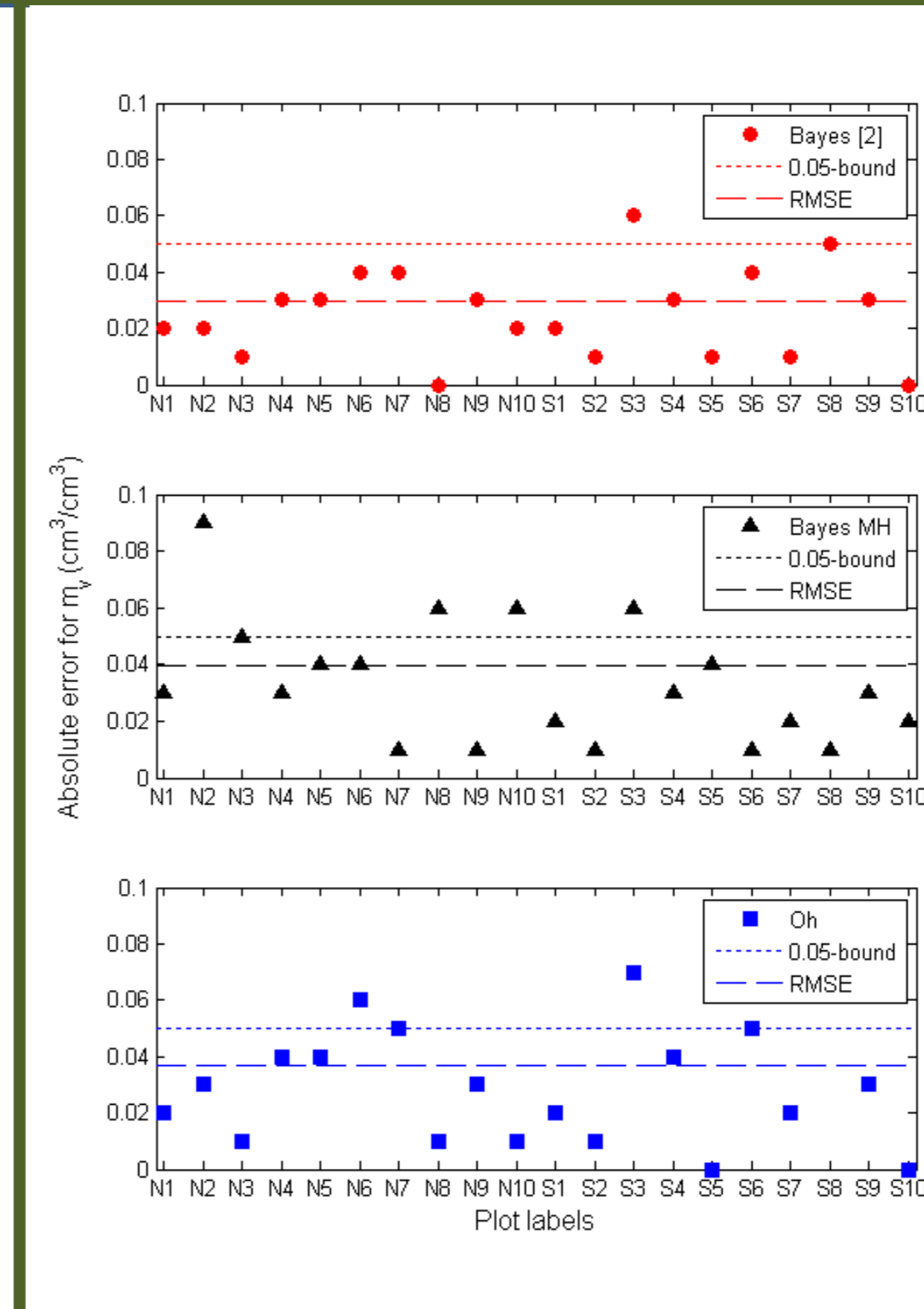


Fig. 4. Diferencia absoluta entre m_v estimado y las mediciones *in-situ*. Se muestran los tres enfoques usados. Las líneas rayadas indican el error cuadrático medio de las estimaciones. Las líneas punteadas indican un límite "deseable" de error de $0.05 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$.

Este trabajo se encuadra dentro de la misión SAR SAOCOM de CONAE y es financiada por el proyecto AO "Monitoreo de oferta hídrica de suelos del Partido de Azul con énfasis en uso agrícola: simulaciones, generación y validación de productos de los sistemas SARAT-SAOCOM", actualmente en desarrollo.

CONCLUSIONES

- El ruido speckle es responsable de las diferencias entre los estimadores provistos por el método de minimización y las mediciones *in-situ* (o la información previa para el caso de la rugosidad), ya que este método no lo toma en cuenta.
- El desempeño del modelo Bayesiano MH es intermedio entre el de minimización y el Bayesiano.
- El modelo Bayesiano presentado es adecuado para estimar la humedad del suelo y el parámetro de rugosidad a partir de una imagen SAR.
- Como trabajo futuro debe evaluarse el modelo Bayesiano sobre un suelo que posea un mayor rango dinámico de humedad.

[1] Y. Oh, "Quantitative retrieval of soil moisture content and surface roughness from multipolarized radar observations of bare soil surfaces," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 42, no. 3, pp. 596 – 601, Mar. 2004.
[2] M. Barber, F. Grings, P. Perna, M. Piscitelli, M. Maas, C. Bruscantini, J. Jacobo Berflles, H. Karszenbaum, "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, 2012. (In press)