

Validación de datos de humedad de suelo SMOS en la región pampeana argentina

Raúl Rivas^{1,2}, Raquel Niclós³, Vicente Santos García³, Carolina Doña³, Vicente Caselles³, Mauro Holzman^{1,4}, Martín Bayala^{1,2}, Facundo Carmona^{1,2}, Dora Ocampo^{1,2}, Marc Thibeault⁵ y Alvaro Soldano⁵

¹ Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires

² Instituto de Hidrología de Llanuras (UNCPBA, CIC, MA), República de Italia 780, (B7300) Azul, Buenos Aires, Argentina

³ Universidad de Valencia, Departamento de Ciencias de la Tierra y Termodinámica, Moliner 50, 46100 Burjassot, Valencia, España

⁴ Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica – CONICET

⁵ Comisión Nacional de Actividades Espaciales, Av. Paseo Colón 751, (1063) Buenos Aires, Argentina.

Mail de contacto: rivas@rec.unicen.edu.ar

RESUMEN

En el presente trabajo se describe la validación del producto de humedad de suelo SMOS (Soil Moisture Ocean Salinity, nivel 2, versión 5.51) que provee la Agencia Espacial Europea, en la región pampeana argentina. La región para la validación de datos fue seleccionada por presentar condiciones llanas y una gran extensión con cobertura vegetal de baja altura, ideales para la validación de datos SMOS (obtenidos a partir de microondas pasivas). Para la validación se realizaron mediciones en 4 áreas de agricultura extensiva (área 1: -32.982N, -62.505E; área 2: -32.510N, -62.788E; área 3: -32.024N, -63.692E y área 4: -37.315N, -58.868E, WGS84), en las que se midió la humedad de suelo con sensores ThetaProbe ML2x y Stevens Hydra Probe II SM. Las mediciones con las sondas se realizaron a 5 y 6 cm de profundidad y fueron calibradas en el laboratorio del Instituto de Hidrología de Llanuras con muestras no disturbadas colectadas en campo. Las comparaciones entre las medidas de terreno y los datos del producto SMOS mostraron un RMSE de 0,05 m³.m⁻³, indicando la utilidad de éstos para aplicaciones hidrológicas a escala de grandes cuencas.

Palabras clave: SMOS, Validación, humedad de suelo, región pampeana.

ABSTRACT

This work describes the validation of the SMOS soil moisture product (Soil Moisture Ocean Salinity, level 2, version 5.51) provided by the European Spatial Agency, on the Pampean region of Argentina. In the study area, there are suitable conditions for SMOS data validation, such as great plains and short vegetation coverage. In 4 areas with extensive agriculture (area 1: -32.982N, -62.505E; area 2: -32.510N, -62.788E; area 3: -32.024N, -63.692E and area 4: -37.315N, -58.868E, WGS84) soil moisture was measured with ThetaProbe ML2x and Stevens Hydra Probe II SM sensors. The measurements were taken at 5 and 6 cm depth. Then they were calibrated in the laboratory of Instituto de Hidrología de Llanuras with undisturbed soil samples. The comparison between field measures and SMOS data shown errors smaller than 10%, indicating the usefulness of SMOS soil moisture products for great basins hydrology studies

Keywords: SMOS, validation, soil moisture, pampean region.

Introducción

El conocimiento de la humedad del suelo (SM) en áreas extensas es cada vez más requerido en diferentes aplicaciones ambientales y en particular en hidrología y en gestión de recursos hídricos. Diversos estudios se han desarrollado durante los últimos 20 años para estimar la SM de los primeros centímetros

de la superficie terrestre a partir de sensores a bordo de misiones de satélite que permiten conocer: la temperatura emisiva de la superficie, la retrodispersión radar y la temperatura de brillo con microondas (Merlín et al., 2008). La precisión de los métodos de estimación depende de la conexión física que se puede lograr entre la señal captada por el sensor en diferentes dominios espectrales y el contenido

de agua del suelo, en lo que incide también la resolución espacial y temporal del sensor. Se ha demostrado que el vínculo físico existente entre la temperatura de brillo en banda L y la humedad de suelo superficial es más fuerte que en alta frecuencia y tiene una relación más directa que la observable a partir de datos de retrodispersión y datos térmicos (Wagner et al., 2007).

SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) es el primer satélite dedicado al estudio de la SM que utiliza la banda L (sensor MIRAS, frecuencia 1.41 GHz) para estimar la humedad de suelo cada 3 días a 40 km de resolución a nivel mundial. El radiómetro MIRAS (Microwave Imaging Radiometer with Aperture Synthesis) presenta alta sensibilidad en microondas a la SM cercana a la superficie con una resolución espacial de aproximadamente 10 a 500 veces más gruesa que los sistemas de microondas (activo) y los ópticos. Por ejemplo, con la banda L de apertura sintética y los ópticos - emisivos (ej. ASTER) se puede lograr una resolución espacial alta (100 m) que permite el análisis a nivel de parcela. Sin embargo las observaciones de radar y ópticos tienen ciclos de repetición mensual con productos de alta resolución y semanal, de resolución media. En el dominio

óptico los datos de alta resolución se adquieren actualmente con un ciclo de repetición de 16 días (Landsat 8, sensor LDCM). Actualmente los sensores ópticos MODIS (1 km) operan con resolución espacial media con un periodo de revisita de 1-2 días para cubrir toda la tierra. El sensor AQUARIUS utiliza banda L (opera a una frecuencia de 1.41 GHz), a bordo de la plataforma SAC/D, opera con una resolución entre 76 y 156 km, y 7 días de resolución temporal y permite la estimación de la humedad de suelo de los primeros cm al igual que SMOS (aunque difieren los sistemas de captura entre uno y otro).

En cuanto a los datos captados por SMOS, los productos SM_OPER/REPR_MIR_SMUDP2 han sido validados en diversas regiones del mundo y no así en la Región Pampeana Argentina (RPA) (Fig. 1). La RPA tiene condiciones óptimas para la validación de los productos SM de SMOS por: i) es una región llana con pendientes menores al 1 %; y ii) existen áreas extensas con monocultivos de baja altura. La validación de datos en una región amplia como la RPA aportará importantes avances tanto para la misión SMOS como también para la misión SAC/D, que persigue similares objetivos.

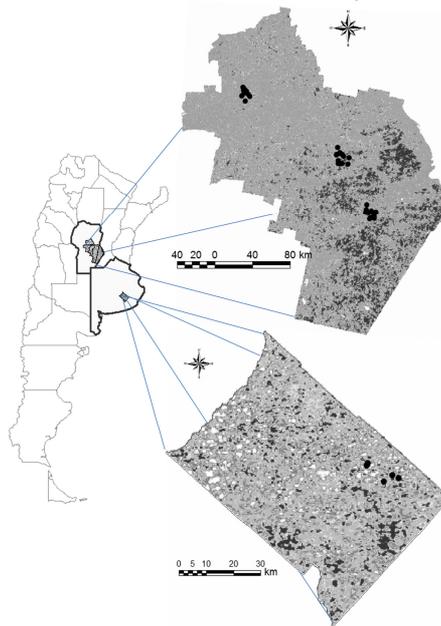


Figura 1. Zonas de validación en la RPA.

Diversas metodologías pueden ser utilizadas para la validación, entre las que se incluyen estimaciones desde tierra, estimaciones satelitales y productos derivados de modelos hidrológicos (ver Merlín et al., 2008). El presente trabajo se centra en mediciones realizadas en la superficie terrestre apoyadas por estimaciones desde satélite. La validación de datos siempre ha sido un reto para los diferentes sensores y en particular lo es para la SM con microondas pasivas debido a la disparidad entre las medidas proporcionadas por el satélite y las medidas realizadas con sensores in situ. Las mediciones de SM realizadas en tierra se localizan en puntos que normalmente representan 0.0025 m^2 , mientras que los radiómetros a bordo de satélite proporcionan un valor integrado para un área de mayor extensión ($\sim 225 \text{ km}^2$ para la máxima estimación de SMOS). De esta manera, para la validación es necesario considerar las variaciones físicas a escala puntual (propiedades locales de los suelos) y de distintas unidades geográficas (suelo, cubierta vegetal y topografía) del área de estudio.

Metodología

Para la validación se utilizaron estaciones fijas (modelo Hydra Probe II) en diferentes nodos y medidas puntuales de SM con sondas portátiles (modelo ThetaProbe ML2x Delta-T). Las medidas puntuales, con las sondas, se realizaron en transectos en parcelas con cultivos de soja y maíz. En cada transecto se tomaron 30 medidas (una cada 10 m) simultáneas al paso del satélite SMOS. Complementariamente, y con la finalidad de mejorar la precisión de las medidas, se tomaron cilindros con muestras de suelo no disturbadas para la calibración de las sondas Delta T en el laboratorio y la determinación de la densidad aparente. También se tomaron muestras gravimétricas para conocer la SM de cada punto. Para la calibración de las sondas de SM se humedecieron los cilindros a máxima capacidad donde previamente se había instalado una sonda. Se registró el peso del conjunto suelo-cilindro de forma periódica hasta alcanzar el peso mínimo del cilindro. Este correspondió al mínimo peso registrado y constante durante 3 días. Se repitió el proceso de secado dos veces a temperatura de laboratorio ($\sim 20 \text{ }^\circ\text{C}$) y posteriormente se envió a laboratorio la muestra para la estimación de la densidad.

Las parcelas seleccionadas para la validación corresponden a un área extensa con suelos y cubierta vegetal homogénea. Cada

área seleccionada representa 400 km^2 en las que se encuentran estaciones de SM de registro continuo de CONAE (provincia de Córdoba) y del IHLA (provincia de Buenos Aires).

En primer lugar, con imágenes de alta resolución (Landsat 7) de enero y febrero, se analizaron las zonas definidas para la validación con la finalidad de observar la homogeneidad espacial de la cobertura. Luego se definieron los caminos y los transectos de medición de SM. La campaña de medición se desarrolló entre el día 3 y el 23 de febrero de 2013, realizando 3 transectos por sitio y horario de muestreo. En cada zona considerada existen estaciones meteorológicas que permiten el seguimiento de precipitación, temperatura y humedad del aire y velocidad de viento.

Sensores utilizados y horarios de medida

Para la validación se utilizaron 5 sensores ThetaProbe ML2x Delta-T (adquiridos con fondos del proyecto CIUCISMOS) y 2 Hydra Probe II Stevens (aportados por CONAE durante dos días de campaña para el intercalibrado). Las primeras tienen un error de medición de $0,03 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ y pueden operar adecuadamente entre -10 y $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Les segundas tienen un error de medición de $0.015 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, operando adecuadamente entre -10 y $55 \text{ }^\circ\text{C}$.

Los horarios y fechas de paso de SMOS en la RPA para el periodo de desarrollo de la campaña se muestran en la Tabla 1. Cada medida se realizó durante una hora, siendo el horario central la hora de paso del satélite.

Área de validación

La campaña CIUCISMOS (Campaña internacional y uso coordinado de Infraestructura científico-tecnológicas para la evaluación del producto de humedad de suelo de la misión europea SMOS) se realizó en dos zonas de la RPA con predominio de agricultura (Fig. 1). En cuanto al clima, la zona de la provincia de Córdoba se caracteriza por una temperatura anual media de $18 \text{ }^\circ\text{C}$, con $23 \text{ }^\circ\text{C}$ en verano y $10 \text{ }^\circ\text{C}$ en invierno. La precipitación anual supera los 900 mm y la evapotranspiración potencial es de aproximadamente 850 mm anuales. Los suelos que dominan son los Hapludoles y Argiudoles.

Los cultivos dominantes son la soja en primer lugar y maíz con mucha menos representatividad. En cuanto a la zona del centro de la provincia de Buenos Aires, su clima se caracteriza por una temperatura media anual de $17 \text{ }^\circ\text{C}$, con $20 \text{ }^\circ\text{C}$ en verano y $10 \text{ }^\circ\text{C}$ en invierno. La evapotranspiración potencial es de

aproximadamente 700 mm anuales y la precipitación, de 1.000 mm. Los suelos dominantes son los Argiudoles típicos y los Hapludoles; poseen un horizonte superficial rico

en materia orgánica de textura media y un horizonte Bt de considerable espesor. Los cultivos dominantes son la soja y maíz y girasol en segundo lugar.

Tabla 1. Días y horarios de paso de SMOS sobre las áreas de estudio consideradas con el identificador de la imagen. Hora en UTC (-3 hora local en Argentina).

03/02/2013	05/02/2013	07/02/2013	08/02	D 10/02	M 12/02
SMOS 68812 8:35-10:15	SMOS 68841 08:57-10:37	SMOS 68870 9:19-10:59	SMOS 68884 08:40-10:20	SMOS 68913 09:02-10:43	SMOS 68942 09:23-11:05
SMOS 68819 20:16-21:56	SMOS 68848 20:38-22:18	SMOS 68877 21:00-22:40	SMOS 68891 20:21-22:01	SMOS 68920 20:43-22:23	SMOS 68949 21:05-22:45
13/02/2013	15/02/2013	17/02/2013	18/02/2013	20/02/2013	23/02/2013
SMOS 68956 08:46-10:23	SMOS 68985 9:08-10:48	SMOS 69021 21:10-22:50	SMOS 69028 08:51-10:31	SMOS 69057 9:13-10:53	SMOS 69100 8:56-10:37
SMOS 68963 20:26-22:06	SMOS 68992 20:48-22:28		SMOS 69035 20:32-22:12	SMOS 69064 20:53-22:34	SMOS 69107 20:37-22:17

Resultados

Durante la campaña la SM en ambas áreas de muestreo varió entre 6 % y 37 % de acuerdo a los datos de laboratorio y de 5 % y 42 % para las medidas realizadas con las sonda Delta-T. Este amplio rango de datos permitió realizar la

validación en distintas condiciones de humedad del suelo. La Fig. 2 muestra las variables meteorológicas registradas en las estaciones Marcos Juárez y Tandil para el mes de febrero de 2013.

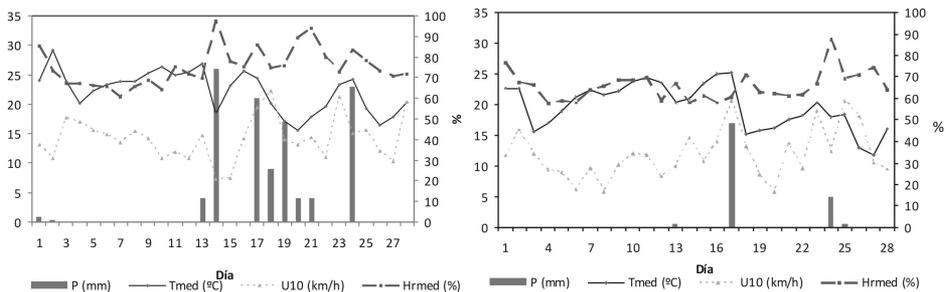


Figura 2. Comportamiento de las variables meteorológicas en las estaciones Marcos Juárez (izquierda) y Tandil (derecha).

En la zona correspondiente a la provincia de Córdoba las medidas de SM se realizaron en un suelo franco y en dos franco limoso y arcilloso, de acuerdo a la clasificación textural realizada en laboratorio. En el área del centro de la provincia de Buenos Aires (Tandil) el suelo es franco arcilloso (45 % de arcilla) de acuerdo a la clasificación textural del suelo realizada en la calicata de la estación de medidas del campus Tandil de la UNCPBA (Ocampo et al. 2012).

En cuanto al calibrado de las sondas para los diferentes suelos de la zona de validación,

los datos muestran un buen ajuste con un coeficiente de determinación superior a 0,95 y un RMSE de 0,05 m³.m⁻³. En la Fig. 3 se muestra el ajuste (medida de la sonda versus peso del cilindro) para la zona de la provincia de Córdoba en dos sectores de muestreo (identificados como Sol Negro y Bernardi por ser estaciones de registro continuo de SM).

Las funciones de ajuste halladas se aplicaron a las medidas de campo de las sondas y posteriormente se las comparó con los datos del producto SM de SMOS. Se observó

que existe una tendencia a la subestimación de valores de humedad para suelos con baja SM y una sobreestimación para suelos con alta SM (Fig. 4). Estos resultados preliminares, son

similares a los logrados por Sánchez et al. (2012) y Merlin et al. (2012).

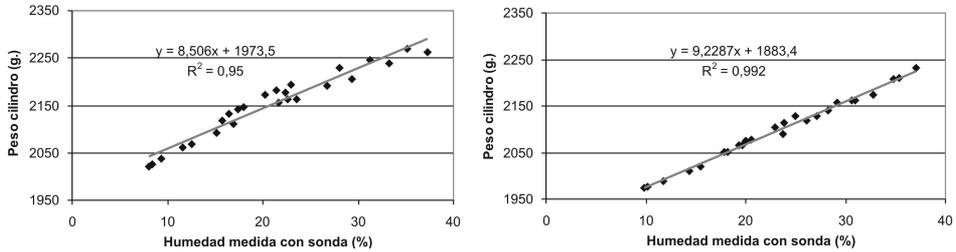


Figura 3. Calibrado de las sondas Delta-T en los puntos de muestreo Bernardi (izquierda) y Sol Negro (derecha), de la provincia de Córdoba.

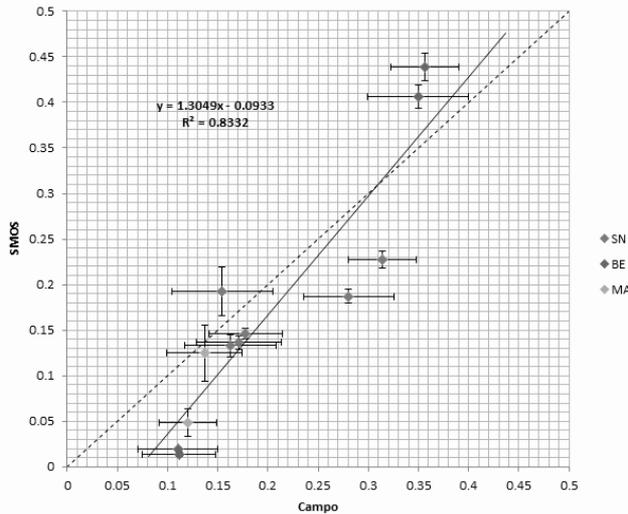


Figura 4. Comparación entre medidas de terreno y valores de SM obtenidos del producto SMOS.

Conclusiones

En este trabajo se presentaron los resultados preliminares de la validación del producto de humedad del suelo del satélite SMOS (Soil Moisture Ocean Salinity nivel 2, versión 5.51) en la región pampeana de Argentina. La calibración de las sondas utilizadas para la medición a campo para los suelos del área de estudio aseguró una correcta medición de los contenidos de humedad superficial del suelo (0-5 cm). Los resultados mostraron una alta correlación entre los datos de satélite y las mediciones a campo. Los mayores errores se observaron en condiciones extremas de humedad (suelos muy secos y muy

húmedos o saturados), sin embargo puede indicarse que SMOS estima adecuadamente el contenido de humedad del suelo en la región pampeana. Finalmente, se destaca la utilidad de los productos de humedad del suelo de SMOS para su utilización en estudios hidrológicos de grandes cuencas.

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó con fondos de los proyectos Validación de los datos SMOS-MIRAS en ambientes homogéneos y llanos-Instrumentación y muestreo de terreno; Campaña internacional y uso coordinado de Infra-estructura científico-tecnológicas para la evaluación del producto de humedad de suelo

de la misión europea SMOS (CGL2011-13579-E). Además queremos agradecer a las siguientes instituciones: CIC, ANPCyT, CONAE, Universidad de Valencia y CONICET.

Referencias

- Merlín, O., Rüdiger, C., Al Bitar, A., Richaume, P., Walker, J. and Kerr, H. 2012. Disaggregation of SMOS Soil Moisture in Southeastern Australia. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 50 (5): 1556-1571.
- Ocampo, D., Rivas, R., Silicani, M., Carmona, F., Holzman, M. y Mancino, C. 2012. Estimación de la fracción evaporativa a partir de registros de humedad de suelo y un lisímetro de pesada. VII Encuentro International Center for Earth Sciences (I-ICES 8), Mar del Plata, Argentina.
- Sánchez, N., Fernández, J. Scaini, A. and Pérez-Gutierrez, C. 2012. Validation of the SMOS L2 soil moisture data in the REMEDHUS network (Spain). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 50 (5): 1602-1611.
- Merlín, O., Walker, J. Chanbouni, A., Kerr, Y. and Wann. 2008. Towards deterministic downscaling of SMOS soil moisture using SMOS derived soil evaporative efficiency. *Remote Sensing of Environment* 112: 3935-3946.
- Wagner, W., Bloschl, G., Pampaloni, P., Calvet, J, Bizzari, B., Wigneron, J. and Kerr, Y. 2007. Operational readiness of microwave remote sensing of soil moisture for hydrologic applications. *Nordic Hydrology*, 38 (1): 1-20.