

Haydee Karszenbaum <sup>1</sup>; Francisco Grings <sup>1</sup>; Cintia Bruscantini <sup>1</sup>; Federico Carballo <sup>1</sup>; Diego de Abelleira <sup>2</sup>; Marcela Piscitelli <sup>3</sup>; Rachid Rahmoune <sup>4</sup>; Paolo Ferrazzoli <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE), Ciudad Universitaria Pabellón IAFE, Buenos Aires, Argentina. haydeek@iafe.uba.ar;

<sup>2</sup> Instituto de Clima y Agua, INTA, Castelar, Pcia de Buenos Aires; Argentina;

<sup>3</sup> Universidad Nacional del Centro, Facultad de Agronomía, Pcia. de Buenos Aires, Argentina;

<sup>4</sup> Tor Vergata University, DISP, Roma, Italia.

## MARCO CONCEPTUAL

Las mediciones de humedad del suelo en grandes extensiones es crucial en el mapeo y monitoreo de la distribución de agua en superficie a escalas regionales y continentales.

Esto produjo una demanda para el desarrollo de sistemas en microondas pasivas y activas.

Un radiómetro (sistema pasivo) mide la emisión natural de la superficie terrestre mientras que un radar de apertura sintética (microondas activas) (SAR) se utiliza para transmitir señales hacia una superficie y medir la señal dispersada por el medio.

Las características principales de los sistemas en microondas pasivas son la alta sensibilidad radiométrica, la alta frecuencia temporal (días) y la baja resolución espacial (decenas de km).

El fundamento detrás de la obtención de humedad del suelo utilizando microondas pasivas está basado en:

➤ la sensibilidad de la permitividad del suelo a la cantidad de agua líquida presente.

➤ cómo la permitividad del suelo, condiciona la propagación y atenuación de las ondas electromagnéticas.

➤ existen modelos empíricos de la constante dieléctrica para distintos suelos como función del contenido volumétrico de la humedad (mv) para distintas frecuencias que van entre 1.4 y 18 GHz.

Este trabajo pone el foco en el análisis de productos humedad del suelo obtenidos por distintos algoritmos (distintas estrategias).

El objetivo es generar un esquema de monitoreo de deficit/excesos hídricos en zonas de vegetación basado en la utilización del producto humedad del suelo obtenido a partir de sistemas satelitales en microondas pasivas.

## INSTRUMENTOS

**AMSR-E:** Radiómetro de barrido cónico, frecuencias 6.9, 10.7, 18.7 GHz, (~40 x 70 Km, la resolución mejora para las frecuencias mayores), un único ángulo de incidencia (55°), 10 años de datos. Misión finalizada.

**SMOS:** Radiómetro de apertura sintética (resolución

~40 x 40 Km, banda L). Sensible a efectos de RFI. Capaz de sintetizar distintos ángulos. Misión actual

**Aquarius:** Radiómetro de barrido "Pushbroom". Tres haces 28.7°, 37.8° y 45.6°. Resolución espacial ~ 100 Km. banda L. También cuenta con un scatterómetro (banda L). Misión actual

## MARCO TEORICO

Para suelo desnudo, la temperatura de brillo (variable física que mide el sensor) medida está relacionada con el contenido de agua del suelo y la temperatura física de la capa emisora. Sin embargo, cuando la vegetación está presente, ésta puede atenuar o dispersar la radiación emitida por el suelo y también emite su propia radiación.

El desafío entonces es aislar la humedad del suelo de otros factores que influyen en las mediciones de la temperatura de brillo.

Para hacer esto, se han propuesto y desarrollado diferentes algoritmos de obtención de humedad del suelo. Sin embargo, todos ellos están basados en transferencia radiativa de orden cero (RT-0), donde la radiación emitida por la superficie observada por encima de un follaje puede expresarse en función de la temperatura de brillo de la siguiente manera:

$$Tb_p = Ts(1-r_p) \exp\left(-\frac{\tau}{\cos\theta}\right) + Tc(1-\omega) \times \left(1 - \exp\left(-\frac{\tau}{\cos\theta}\right)\right) \left(1 + r_p \exp\left(-\frac{\tau}{\cos\theta}\right)\right)$$

p es la polarización, Ts es la temperatura del suelo, Tc es la temperatura de la vegetación, rp es la reflectividad del suelo, θ es el ángulo de mirada, τ es la opacidad de la vegetación en el nadir, ω es el llamado "single scattering albedo" de la vegetación. La opacidad de la vegetación se define como τ = b VWC, donde b es un parámetro que depende del tipo de cobertura y VWC es el contenido de agua de la vegetación en kg/m2.

Esta formulación se utiliza en todos los algoritmos.

## ALGORITMOS ANALIZADOS (OBTENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO)

➤ **NASA(AMSR-E):** Se obtienen tres variables [1]: humedad del suelo (SM), contenido de agua de la vegetación (VWC) y Ts. Utiliza tres frecuencias y dos polarizaciones.

➤ **LPRM(AMSR-E):** Se obtiene humedad del suelo utilizando el índice de polarización (PI) acoplado con un modelo de superficie (LSM) [2].

➤ **USDA(AMSR-E):** Se trata de un algoritmo de polarización única (H) single channel algorithm (SCA) [3]: obtiene humedad del suelo. Se requiere como entradas VWC y Ts.

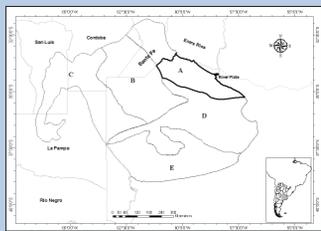
➤ **L2 SMOS Product:** el algoritmo utiliza un procedimiento iterativo basado en valores iniciales provistos por el modelo climático ECMWF [4]. Obtiene SM y la opacidad de la vegetación (Tau).

## ¿Con qué criterios evaluamos estos productos [5]?

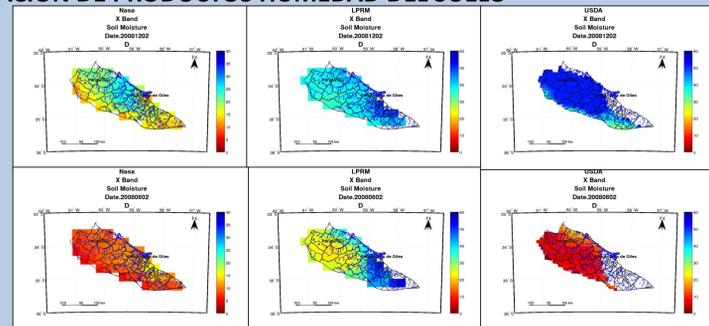
Considerando la diversidad de enfoques para obtener SM, la variabilidad espacio-temporal de las variables auxiliares (tamaño pixel), basamos nuestro enfoque en analizar las respuestas de SM a eventos de lluvia, valores de NDVI (MODIS) y el calendario de cultivos para tener en cuenta el efecto de la atenuación de la vegetación. En particular, nos focalizamos en el análisis de eventos extremos los que en general se acompañan de valores extremos también de SM que son consistentes con eventos de precipitación intensos y/o sequía.

¿Donde están los problemas y las diferencias entre los algoritmos? En los valores de los parámetros: b (dependencia con la polarización), ω (es válido?), h (varía con la frecuencia dando inconsistencias), en los datos auxiliares: mapa de uso y cobertura, modelos para pasar de NDVI a VWC, Ts, otros, y en las estrategias de retrieval.

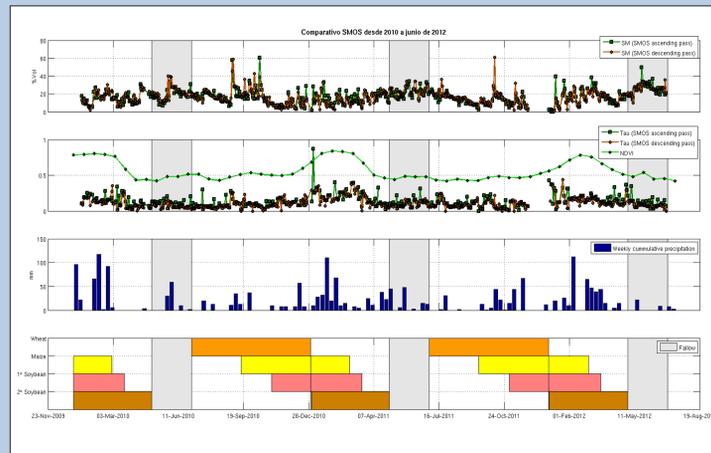
## PAMPA HUMEDA: COMPARACION DE PRODUCTOS HUMEDAD DEL SUELO



**Fig. 1.** Sub-regiones de Pampa Húmeda (Pcia de Buenos Aires): A: pampa ondulada, B: pampa interior plana, C: pampa interior oeste, D: pampa deprimida, E: pampa austral. El contorno negro indica la región estudiada.

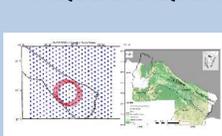


**Fig. 2.** Humedad del suelo (%) correspondiente a eventos extremos en Pampa ondulada según: NASA (con una escala diferente), USDA y LPRM respectivamente. Las figuras de arriba corresponden a un período de alta precipitación, las de abajo a un período seco. Si bien los tres algoritmos muestran diferencias significativas entre situaciones de seca y exceso, las diferencias entre algoritmos también son importantes (ver rangos dinámicos).

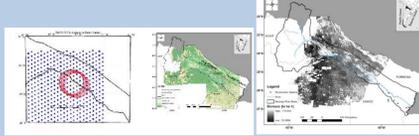


**Fig. 3.** Serie de tiempo (2010-2012) del producto humedad del suelo y espesor óptico de SMOS. Como datos de referencia se muestra la serie de NDVI (MODIS), datos de precipitación y el calendario de cultivos. Se puede ver como el espesor óptico acompaña el comportamiento de NDVI.

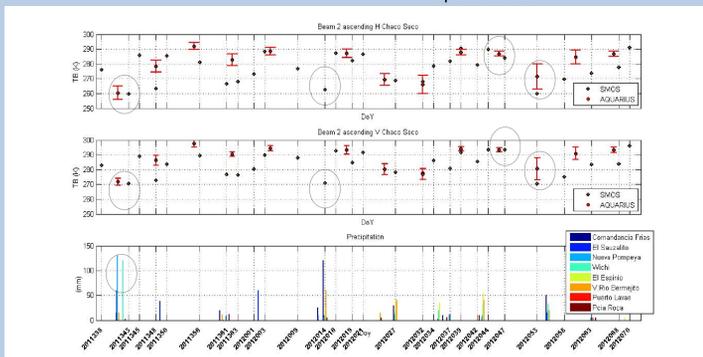
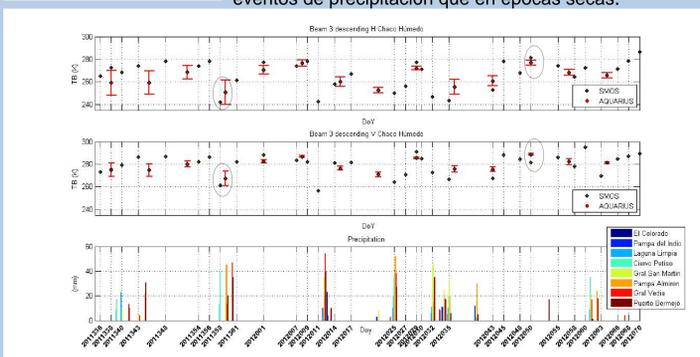
## PARQUE CHAQUEÑO: SMOS Y AQUARIUS (Tbv,h)



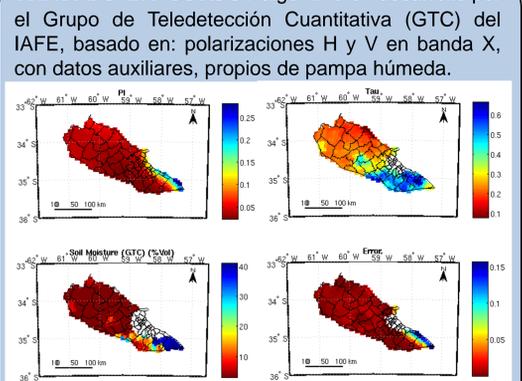
**Fig. 4.** Valores de temperatura de brillo (H y V) en la zona indicada en el mapa para SMOS y Aquarius. Para este último también se indican los desvíos. Se observan claramente los cambios en la temperatura de brillo en el caso eventos de lluvia aún para vegetación densa (efecto de la condición hídrica del suelo). Área heterogénea. De izquierda a derecha, se observan mayores desvíos en eventos de precipitación que en épocas secas.



**Fig. 5.** Valores de temperatura de brillo (H y V) en la zona indicada en el mapa para SMOS y Aquarius. Para este último también se indican los desvíos. Área de bosque denso. Se observan respuestas muy similares en los dos sistemas en época seca.



## TRABAJO EN CURSO: algoritmo en desarrollo por el Grupo de Teledetección Cuantitativa (GTC) del IAFE, basado en: polarizaciones H y V en banda X, con datos auxiliares, propios de pampa húmeda.



**Fig. 6.** de izq a derecha. PI (2\*(Tbv-Tbh)/(Tbv+Tbh)), espesor óptico (Tau) (arriba), SM y error en el proceso de minimización (abajo). Correspondiente al 9 de junio de 2008 (época seca).

## CONCLUSIONES

La variables físicas (Tbv,h) que se miden desde un sensor remoto en microondas pasivas presentan alta sensibilidad a las condiciones hídricas del suelo. Sin embargo existen dificultades para la obtención de un producto operacional de humedad del suelo.

Si bien existen varios algoritmos y todos ellos parten de modelos de transferencia radiativa (RT0), los resultados que se obtienen son diferentes y no siempre consistentes con variables tales como precipitación y NDVI.

Estas divergencias tienen que ver con

- la estrategia del retrieval (una sola polarización, dos polarizaciones),
- los parámetros auxiliares que se utilizan (algunos de los cuales dependen de la estrategia) y
- los procedimientos de minimización.

En el IAFE se está trabajando para obtener un algoritmo operacional (GTC) válido para Pampa Húmeda basado en un enfoque que utiliza el índice de polarización. Este algoritmo se está desarrollando para datos AMSR-E, pero la idea es que una vez depurado se implemente para SACD/Aquarius (banda L) y Windsat (banda X).

En zonas de bosque, se observa una alta sensibilidad en banda L (Aquarius y SMOS) a las condiciones del suelo. En este tema, IAFE y Tor Vergata están trabajando en colaboración para el monitoreo de la condición hídrica en Parque Chaqueño.

## REFERENCIAS

[1] E.G. Njoku and S.K. Chan. 2006. "Vegetation and Surface Roughness Effects on AMSR-E Land Observations". Remote Sensing Environment 100(2): 190-199.

[2] M. Owe, R. de Jeu, and T. Holmes, "Multisensor historical climatology of satellite-derived global land surface moisture," J. Geophys. Res., vol. 113, no. F1, p. F01002, Jan. 2008.

[3] T. J. Jackson, M. H. Cosh, R. Bindlish, P. J. Starks, D. D. Bosch, M. Seyfried, D. C. Goodrich, M. S. Moran, and J. Du, "Validation of Advanced Microwave Scanning Radiometer Soil Moisture Products," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 48, no. 12, pp. 4256-4272, Dec. 2010.

[4] Y. H. Kerr, P. Waldteufel, P. Richaume, J. P. Wigneron, P. Ferrazzoli, A. Mahmoodi, A. Al Bitar, F. Cabot, C. Gruhier, S. Juglea, D. Leroux, A. Mialon, S. Delwart, "The SMOS soil moisture retrieval algorithm," IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, Vol. 50, pp. 1384-1403, 2012.

[5] H. Karszenbaum, F. Grings, F. Carballo, M. Salvia, R. Rahmoune, R. Bindlish, D. DeAbelleira, S. Veron, P. Mercuri, P. Ferrazzoli, T. Jackson, "Evaluation of passive microwave soil moisture products for monitoring soil condition extremes in the Pampas plains, Argentina", 2012. Enviado a IEEE TGRS.