

BALANCE DE AGUA EN EL SUELO CON PRECIPITACIÓN ESTIMADA A PARTIR DE SENSORES REMOTOS

FERNÁNDEZ LONG MARÍA ELENA¹, YANINA GARCÍA SKABAR², LORENA FERREIRA² Y LILIANA SPESCHA¹

¹ M. Sc., Jefe de Trabajos Prácticos, Cátedra de Climatología Agrícola. Facultad de Agronomía, UBA, Buenos Aires, Argentina. Tel (0054) 11 4524 8074, flong@agro.uba.ar

² Dra, Servicio Meteorológico Nacional, Argentina.

³ Dra., Servicio Meteorológico Nacional, Argentina.

⁴ Ing. Agr. Prof. Adjunto, Cátedra de Climatología Agrícola. Facultad de Agronomía, UBA.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011 – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

RESUMEN - En el cálculo del balance hidrológico, la precipitación es la variable de mayor peso. En la Argentina existen muy pocas estaciones operativas que miden precipitación y están distribuidas en forma heterogénea. Las precipitaciones de verano son típicamente convectivas y no siempre son captadas con las estaciones de superficie. Por tal motivo las estimaciones de precipitación a través de sensores remotos representan una alternativa adecuada para dar una respuesta a dicha problemática. Se generó un modelo de balance hidrológico a partir de estimaciones de precipitación obtenidas a través de sensores remotos, que permita captar la gran variabilidad espacial del contenido de agua en el suelo disponible para los cultivos. El modelo fue capaz de captar la precipitación de sistemas convectivos que no fueron detectados con observaciones convencionales. Se realizó el seguimiento de la campaña de maíz 2009/2010 con los balances hidrológicos estimados a partir de datos de sensores remotos y datos de superficie, demostrando que en las regiones con baja densidad de estaciones, la incorporación de información satelital genera una notable mejora en la asociación de los datos del balance hidrológico con los datos de rendimientos.

Palabras clave. Balance Hidrológico, modelo, estimaciones CMORPH.

SUMMARY - For the water balance calculations, precipitation is one of the most critical input variables for such calculations. In Argentina there are few meteorological stations that measure precipitation. They are distributed irregularly, leaving large areas of productive land without information. Particularly, summer precipitations are typically convective and are not always well represented by the available surface stations. For this reason precipitation estimates through remote sensing represent a suitable alternative to this problem. The aim of this study is to generate a water balance model using rainfall estimates from the remote sensing, that better represents the large spatial variability of the soil water content available for the crops. The purpose of this model is to provide a decision tool in real time for the decision makers. The model developed was able to capture the convective systems contribution to precipitation that were not detected by surface conventional network. For the 2009/2010 corn campaign, the water balance calculations using rainfall estimates from remote sensing data and surface data were compared. Results shows that in regions with low density of pluviometrical stations, the incorporation of satellites data generates a great improvement in the relation between the crop yields and the water balance.

Keywords. Water balance, model, CMORPH estimates

INTRODUCCIÓN - La estimación del contenido de agua en el suelo ha sido motivo de estudio de numerosos autores (Thornthwaite y Mather, 1955; Allen *et al.* 1998; Senay 2008). En el cálculo del balance hidrológico, la precipitación es la variable de mayor peso. En la Argentina existen alrededor de 120 estaciones meteorológicas que funcionan en forma operativa. Estas estaciones no se encuentran distribuidas en forma homogénea, quedando grandes regiones agrícolas sin información disponible (Ver mapa 1). La lluvia es una variable discontinua y presenta una gran variabilidad, tanto espacial como temporal. En particular, las precipitaciones de verano son típicamente convectivas, lo que hace que el área que representa una medición puntual tenga aún, una representatividad menor.

En los últimos años se han desarrollado diversas técnicas para estimar precipitación acumulada en base a sensores remotos combinados con información de pluviómetros (Joyce *et al.*, 2004; Huffman *et al.*, 2007). Uno de los mayores avances en este campo, fue la incorporación en varios satélites de sensores en microondas pasivas que permiten obtener mejores estimaciones de la tasa de precipitación (Kidd *et al.*, 2003). En particular una de las estimaciones que hace uso de esta nueva tecnología es el CMORPH (Climate Prediction Center Morphing Technique) (Joyce *et al.*, 2004). Estos datos han sido validados para el sudeste de Sudamérica, observándose que el CMORPH captura adecuadamente los eventos de precipitación como así también existe una buena relación en la intensidad relativa de los mismos. No obstante, se observa una sobreestimación de los valores acumulados para la mayoría de los eventos (Ruiz, 2009). El objetivo de este trabajo es generar un modelo de balance hidrológico a partir de estimaciones de precipitación obtenidas a través de sensores remotos, que permita captar la gran variabilidad espacial del contenido de agua en el suelo disponible para los cultivos.

MATERIALES Y MÉTODOS - Se emplearon datos de evapotranspiración potencial (EP) obtenidos a partir de interpolaciones de los valores medios mensuales publicados por Murphy y otros (2008) estimados a través de la metodología de Penman-Monteith recomendada por la FAO (Allen *et al.*, 1998). Las constantes hídricas de los suelos, capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PM) fueron obtenidas a través de un consenso entre valores determinados experimentalmente a campo en el CIBIOM (Centro de Investigaciones Biometeorológicas) y estimaciones del INTA (Damiano y Taboada, 2000).

Se trabajó con dos bases de datos de precipitación, generando dos balances hidrológicos. En primer lugar, se utilizaron los datos de superficie de las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional (Figura 1). En segundo lugar, la precipitación estimada por el algoritmo CMORPH (NOAA Morphing Technique) (Joyce *et al.*, 2004) basado en el uso de microondas pasivas que resulta ser más exacta que otras estimaciones que utilizan exclusivamente la temperatura de los topes nubosos (Joyce *et al.*, 2004; Ebert, 2007). La resolución espacial de los datos es de 0,25 grados. Se trabajo con datos tri-horarios que luego fueron acumulados en 24 horas equivalentes al día pluviométrico.

La metodología de balance utilizada es la propuesta originalmente por Thornthwaite y Mather (1955), modificada luego por Forte Lay y otros (1995) la cual surge a partir de numerosos trabajos en los cuales se compararon mediciones realizadas a campo con resultados estimados (Forte Lay *et al.*, 1987; Troha y Forte Lay, 1990).

A partir de esto, se generó un programa en lenguaje FORTRAN que utiliza la información de precipitación, evapotranspiración potencial y las constantes hídricas de los suelos; y calcula diferentes variables de salida como: almacenaje de agua en el suelo, situación hídrica, evapotranspiración real, déficits, excesos, índice de satisfacción de agua, índice de agua en el suelo (IAS)

$$IAS = \frac{ALM}{CC} 100$$

Donde *ALM* almacenaje de agua en el suelo y *CC* capacidad de campo. Estas salidas pueden obtenerse en forma diaria, semanal, decádica o mensual, de manera de poder realizar un seguimiento del estado de los cultivos. En este trabajo se muestran solamente el índice de agua en el suelo obtenido mediante los dos balances.

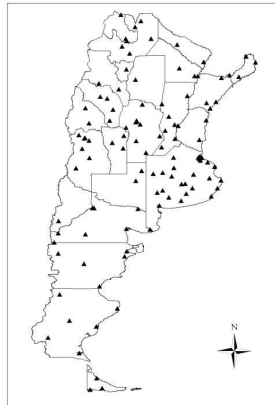


Figura 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas operativas del Servicio Meteorológico Nacional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN - La principal ventaja del balance hidrológico calculado a partir de las estimaciones de precipitación CMORPH, es la información espacial que genera. Durante el verano, las precipitaciones en el centro de la Argentina son principalmente de origen convectivo lo que produce una gran variabilidad espacial, haciendo que puedan registrarse fuertes lluvias en una localidad y a pocos kilómetros la cantidad observada sea mucho menor o nula. Por ejemplo el día 30 de enero de 2011 se registraron fuertes precipitaciones en el noreste de Córdoba, en una zona donde no existen estaciones meteorológicas. En Morteros 41 personas fueron evacuadas luego del aguacero que se desató en la ciudad. La lluvia hizo estragos en las viviendas más precarias. Según estimaron los Bomberos, “el agua habría ingresado a unas 1000 viviendas tras la lluvia de 200 mm” (Fuente: Coop. Serv. Pcos. Morteros). La estación del Servicio Meteorológico Nacional más cercana, Ceres Aero, registró para ese día 75 mm, menos de la mitad de lo registrado en Morteros. El balance de agua realizado a partir de las estimaciones CMORPH para esa fecha captó ese máximo como se observa en la Figura 2.

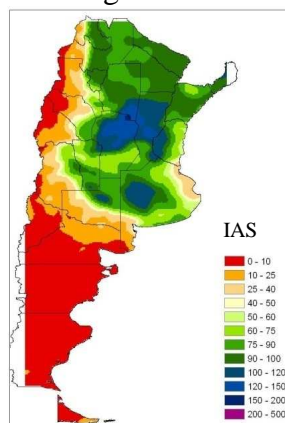


Figura 2. Índice de agua en el suelo (IAS) calculado a partir de las estimaciones de precipitación CMORPH para el día 30 de enero de 2011.

Una de las principales utilidades de los balances hidrológicos calculados a partir de las estimaciones de precipitación CMORPH, es la posibilidad de generar resultados en forma operativa, de manera de poder realizar el seguimiento de los cultivos a escala regional. En la Figura 4 se presentan los resultados de los balances CMORPH cada 10 días para el día 21 de diciembre de 2009 (Figura 3a), 1 de enero de 2010 (Figura 3b), 11 de enero de 2010 (Figura 3c) y 21 de enero de 2010 (Figura 3d). Para las mismas fechas se presentan en la Figura 4 los

balances convencionales, calculados a partir de las observaciones de las estaciones meteorológicas de superficie. Si bien los resultados son similares, se observan diferencias principalmente en las regiones que tienen una baja densidad de estaciones.

Por ejemplo, en la provincia de San Luis los balances CMORPH (Figura 3) en la campaña 2009/10 presentaban suelos con una muy buena disponibilidad de agua en todo el período crítico del maíz que va desde los últimos días de diciembre (Figura 3a) a los últimos días de enero (Figura 3d). Mientras que los resultados obtenidos con datos de superficie (Figura 4a), muestran para el norte y oeste de San Luis regiones con valores de IAS inferiores al 50 %. Estos valores determinarían una grave disminución del rendimiento. Gran parte de la variabilidad de los rendimientos en zonas con restricción de agua es atribuida al estrés hídrico padecido por los cultivos (Senay *et al.*, 2003), permitiendo de esta manera estimar el rendimiento de maíz sobre la base del balance hídrico, obteniéndose muy buenos resultados (Senay *et al.*, 2003; Frere y Popov, 1986). La campaña de maíz 2009/2010 en la capital de San Luis, departamento ubicado al oeste de la provincia, fue una de las mejores de los últimos años con rendimientos de 5500 kg/ha (SIIA, 2010) respondiendo a los resultados obtenidos con CMORPH.

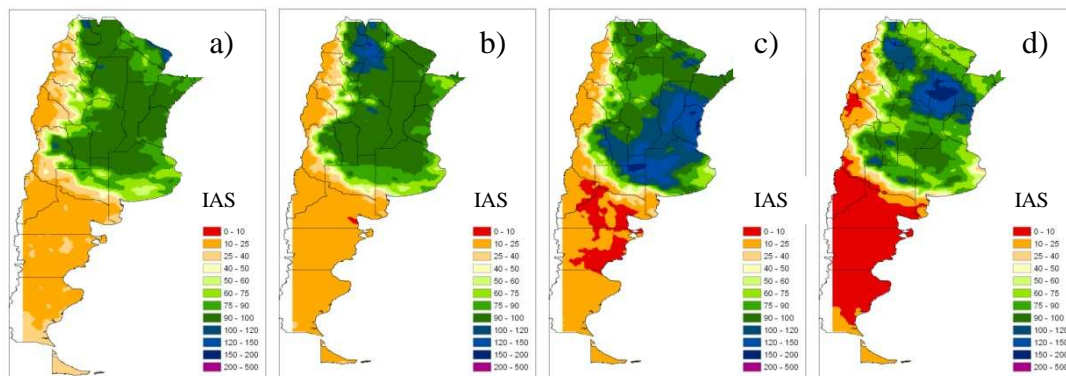


Figura 3. Índice de agua en el suelo (IAS) calculado a partir de las estimaciones de precipitación CMORPH para los días 21 de diciembre de 2009 (a), 1 de enero de 2010 (b), 11 de enero de 2010 (c) y 21 de enero de 2010 (d).

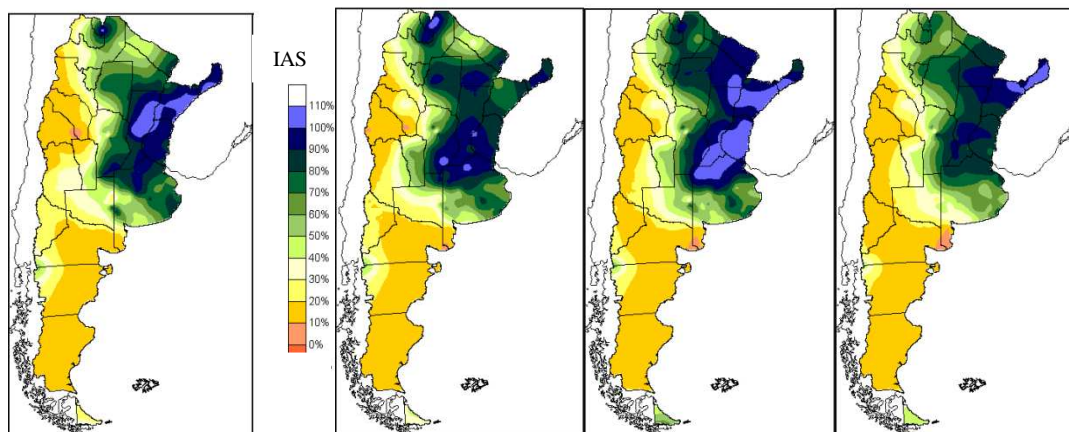


Figura 4. Ídem Figura 4 calculado a partir de los datos observados en estaciones de superficie.

CONCLUSIONES - Los resultados obtenidos incorporando en el balance de agua del suelo el uso de las estimaciones de precipitación con sensores remotos, permitieron representar el estado del agua en el suelo con un mayor detalle en cuanto a su distribución espacial.

En el presente trabajo se utilizaron estimaciones de precipitación CMORPH. Actualmente existen numerosos algoritmos para realizar estimaciones de precipitación, los cuales podrían ser implementados en trabajos futuros, realizando una comparación de los resultados con la finalidad de optimizar el balance hidrológico. Finalmente, cabe señalar la necesidad de realizar una verificación objetiva de la metodología avanzando en el estudio de las

correlaciones con los rendimientos de los cultivos, dándole robustez a la metodología empleada.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, R.G.; L.S. PEREIRA; D. RAES and M. SMITH. 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – *FAO irrigation and drainage paper 56*, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1998.
- DAMIANO, F. y M.A. TABOADA. 2000. Predicción del agua disponible usando funciones de pedotransferencia en suelos agrícolas de la Región Pampeana. *Ciencia del suelo* 18: 77-88.
- EBERT, E.E.; J.E. JANOWIAK and C. KIDD. 2007. Comparison of Near-Real-Time Precipitation Estimates from Satellite Observations and Numerical Models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 88: 47-64.
- FORTE LAY, J.A.; J.L. AIELLO, y J.KUBA. 1995. Software AGROAGUA Versión 4.0. Congreso Agrosoft`95. Juiz de Fora (Brasil). Octubre de 1995. Resumen publicado en revista Agrosoft`95. <http://www.agrosoft.com.br/eventos/agrosoft95/trabalhos.htm>.
- FRERE, M. and G.F. POPOV. 1986. Early agrometeorological crop yield forecasting. FAO Plant Production and Protection, Paper 73, Rome, 150 pp.
- HUFFMAN, G. J.; R.F ADLER; D.T. BOLVIN; G. GU; E.J. NELKIN; K.P. BOWMAN; H. YANG; E. F. STOKER; D.B. WOLFF. 2007. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *J. Hydrometeor.*, 8: 38-55.
- JOYCE, R. J.; J.E. JANOWIAK; P.A. ARKIN and P. XIE. 2004. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J. Hydrometeor.*, 5: 487-503.
- KIDD, C.K.; M.C. KNIVETON; M.C. TODD and T.J. BELLERBY. 2003 Satellite rainfall estimation using combined passive microwave and infrared algorithms. *J. Hydrometeor.*, 4: 1088-1104.
- MURPHY, G.M., R.H. HURTADO, M.E. FERNÁNDEZ LONG, L.A. SERIO, P.A. FARONI, S. MAIO, L.B. SPESCHA, I.E. BARNATAN. 2008. Atlas agroclimático de la Argentina. Ed. Facultad de Agronomía. 130 páginas.
- RUIZ, J.J. 2009. Evaluación de diferentes metodologías para la calibración de las estimaciones de precipitación CMORPH sobre Sudamérica. *Revista Brasileira de Meteorología*, 24(4): 473 – 488.
- SENAY, G.B.; VERDIN, J. P. 2003. Characterization of yield reduction in Ethiopia using a GIS-based crop water balance model. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 6, 687-692.
- SENAY, G.B. 2008. Modelling landscape evapotranspiration by integrating land surface phenology and a water balance algorithm. *Algorithms* 2008, 1, 52-68; DOI: 10.3390/a1020052.
- SIIA, 2010. Sistema Integrado de Información Agropecuaria, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina. (<http://www.sii.gov.ar/>)
- THORNTHWAITE, C.W. and J.R. MATHER. 1955. The water balance. *Publications in Climatology* VIII, (1):104 p. Drexel Inst. of Tech., New Jersey. USA.
- TROHA, A. y J.A FORTE LAY. 1990. Estimación de la humedad edáfica mediante distintos métodos de balance hidrológico diario. GEOACTA (AAGG). Argentina. Vol. Nº 17 (1): 69 78.