

Modelado del contenido de agua en el suelo para un cultivo de maíz (zea mays)

Dra. María I. Gassmann(1), Dr. Jesús M. Gardiol(1), Lic. Leonardo Serio(2)

(1) Dpto. de Cs. de la Atmósfera y los Océanos - Facultad de Cs. Exactas y Naturales – Universidad de Buenos Aires
Piso 2 – Pabellón 2 – Cdad. Universitaria – C1428EHA – Bs. As. –Argentina
gassmann@at.fcen.uba.ar

(2) Cátedra de Climatología – Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires

ABSTRACT: Soil water content balance models have great applications from the agronomic point of view and also as part of a sub-model for weather and climate modeling. The aim of this work is to apply a soil water balance model and prove its efficiency in a maize crop environment. Two different methodologies are used in the evaluation of the evapotranspiration term. The first one proposed a parallel resistance arrangement to represent the latent heat flux from both the soil surface and the crop leaves in the canopy layer. The second one used the parameterization proposed by the United Nations Food and Agricultural Organization (FAO), based on the crop coefficient (Kc) and the maximum evapotranspiration obtained from the Penman-Monteith equation. Generally, it is observed that the model perform suitably daily prediction of soil water content in the treatments, requiring as input data solely an appropriate description of the soil type, crop type, seed practice and daily values of precipitation and irrigation amounts. Predictions of soil water content using the LAI methodology tend to overestimate observations, while predictions with the Kc methodology tend to produce underestimation of the observed values.

KEYWORDS: soil water content, surface runoff, evapotranspiration, crop coefficient, leaf area index, soil water balance model

1. INTRODUCCIÓN

Los modelos de estimación del contenido de agua en el suelo son de utilidad para realizar un uso eficiente y racional del agua y en el manejo apropiado de cultivos que redunde en una mayor productividad. Otro aspecto importante al determinar el contenido de agua en el suelo es estudiar el balance de energía en la interfaz suelo - atmósfera, ya que uno de los términos que presenta ciertas dificultades en su parametrización es el flujo de calor en el suelo. Además de la complejidad para la estimación adecuada de la conductividad térmica, debido a la composición física del suelo, se le agrega el hecho de que este parámetro es dependiente del contenido de agua en la capa de suelo considerada y de la temperatura, así como también del tipo de cobertura vegetal.

Existen dos metodologías principales para modelar el contenido de agua en el suelo: el modelo de balance volumétrico (Rao et al., 1988, 1990; Hajilal et al., 1998) y el modelo dinámico (Lee y Abriola, 1999; Wilderotter 2003). El primero es el más difundido ya que presenta la ventaja de ser más sencillo, necesita poca cantidad de datos de entrada y puede ser utilizado a escala local.

Basándose en el modelo conceptual simple de balance volumétrico de agua en el suelo, sugerido por Panigrahi y Panda (2003), se realizó su adaptación para su aplicación en un área experimental con cultivo de maíz (*Zea mays*) en el área de Balcarce, Prov. de Buenos Aires utilizándose para el cálculo de la evapotranspiración máxima del cultivo dos metodologías.

2. MATERIALES y MÉTODOS

2.1 Datos experimentales

El modelo simple de balance se aplicó para simular el contenido de agua durante el desarrollo de un cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la zona de Balcarce, provincia de Buenos Aires (Argentina). Los datos fueron obtenidos a partir de trabajo de campo realizado en la Unidad

Integrada Facultad de Ciencias Agrarias (Universidad Nacional de Mar del Plata)-Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria. El modelo se aplico desde el 27/11/1998 hasta el 1/3/1999. Se aplicaron dos tratamientos diferentes, uno en condiciones de contenido de agua en el suelo controlado (RRRC), cubriéndose el suelo con un polietileno de 100µm de espesor. Al otro se le permitió el ingreso de precipitación (RRRD), que en la campaña fue de 93,1 mm. Para ambos tratamientos se uso riego por goteo con el objeto de mantener el cultivo en condiciones potenciales de agua. Para el caso de RRRC se aplicaron 320 mm y RRRD 225 mm. Las mediciones de contenido de agua en el suelo fue obtenido cada dos a tres días por los métodos, el gravimétrico en los primeros 10 cm y luego dispersión de neutrones hasta completar el perfil. Las observaciones fenológicas se realizaron cada 6 días y las mediciones de índice de área foliar (LAI) fueron seis durante toda la campaña.

2.2 Descripción del Modelo

El modelo propone la división del perfil del suelo en dos capas: la zona de raíces activa, donde las planta absorben el agua del suelo y la zona de raíces pasivas, que se determina hasta la profundidad de máximo crecimiento, que depende de la profundidad del perfil del suelo. En la primera zona el balance de agua necesita como datos de entrada, una vez determinadas las características del suelo y su manejo, la precipitación, irrigación y evapotranspiración máxima del cultivo, como resultado se obtiene el almacenaje, la escorrentía y la percolación.

La ecuación del modelo para un día es:

$$SWC_i Ra_i = SWC_{i-1} Ra_{i-1} + P_i + Ir_i + \Delta Ra_i SWCO_{i-1} - Pe_i - EVTr_i - Rf_i \quad (1)$$

donde i es el contador de días después de la siembra, SWC es el contenido de agua en el suelo en la zona de raíces activas (mm/cm), $SWCO$ es el contenido de agua en el suelo en la zona de las raíces pasivas (mm/cm), Ra es la profundidad de las raíces activas (cm), P es la precipitación (mm), Ir es el riego (mm), ΔRa es la variación de la profundidad de las raíces activas (cm), Pe es la percolación de la zona de raíces activas (mm), $EVTr$ es la evapotranspiración real del cultivo (mm) y Rf es la escorrentía (mm).

Existen términos dentro de esta ecuación que deberán ser estimados a partir de parametrizaciones utilizando distintas metodologías, algunas de ellas sugeridas por la Food and Agricultural Organization (FAO) of United Nations (UN) (Allen et al, 1998).

2.3 Estimación de la evapotranspiración real del cultivo

La evapotranspiración real fue estimada a partir de la evapotranspiración máxima del cultivo, utilizándose dos métodos. Uno de ellos el propuesto por Gardiol et al (2003) que estima la evaporación del suelo y la transpiración máxima separadamente. Este es un modelo de dos capas basado en la teoría de las resistencias, proponiendo un esquema paralelo que representa el flujo de calor latente desde el suelo y la cobertura vegetal. Referiremos a esta metodología como "LAI", ya que la determinación de MET es función del índice de área foliar (LAI).

El otro método es el recomendado por la FAO (Allen et al, 1998) que corresponde a lo propuesto por Penman-Monteith para el cálculo de la evapotranspiración potencial (PET). La evapotranspiración máxima del cultivo (MET) se estimo a partir del coeficiente de cultivo (Kc) según la expresión:

$$MET = K_c PET$$

El coeficiente Kc fue obtenido, a partir de experiencias de campo, para el área de Balcarce (Della Maggiore y otros, 2003). De ahora en más nos referiremos a esta metodología como " Kc ".

Para la estimación de la evapotranspiración real del cultivo, a partir de MET , se utilizó la siguiente expresión:

$$ETV_i = \frac{(SWC_i - WP)}{(1 - p)(FC - WP)} MET_i \quad \text{si } AW < (1 - p)(FC - WP)$$

$$ETV_i = MET_i \quad \text{si } AW \geq (1 - p)(FC - WP)$$

siendo WP el punto de marchitez para el cultivo utilizado y definimos a agua disponible a $AW = SWC_i - WP$. El coeficiente p es el factor de reducción de agua del suelo, que depende del tipo de cultivo y de la evapotranspiración máxima en el intervalo de tiempo en consideración. Se consideró que en los períodos inicial y final de la evolución del cultivo las condiciones del suelo se mantienen hasta con un 50% del total de agua útil, mientras que en los períodos de máximo crecimiento ese valor se desplaza al 65% alrededor de floración.

3. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

A partir de las ecuaciones propuestas se calcularon los valores diarios de contenido de agua en el suelo en la columna de 100 cm de profundidad. Se utilizaron los datos observados de riego y precipitación. Si bien la siembra se realizó a mediados de Octubre, las simulaciones comienzan a fines de Noviembre. Para el primer día de simulación se utilizó como información inicial el valor de cantidad de contenido de agua en el suelo observado.

Debido a que el método LAI permite obtener la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas por separado, sólo para la parcela RRRD se utilizó la evapotranspiración simulada por esta metodología. Para la parcela RRRC únicamente se utilizó la información de transpiración, ya que la cobertura con polietileno inhibió el proceso de evaporación del suelo. En la metodología K_c existirá una sobreestimación de la evapotranspiración para los casos RRRC, en los primeros estadios de crecimiento vegetativo hasta que la vegetación cubra prácticamente toda la superficie del suelo ($LAI > 4$), luego la evaporación del suelo estaría prácticamente inhibida.

En las Figs. 1 y 2 se observan las simulaciones correspondientes a cada tipo de manejo de riego y a la parametrización de la evapotranspiración máxima utilizada. Los valores graficados corresponden al promedio obtenido en la columna de suelo considerada (perfil de suelo con raíces activas y raíces pasivas). La respuesta del modelo resulta apropiada, ya que en todos los casos la columna muestra una buena respuesta frente a los ingresos de precipitación y/o riego. Debido a que el mantenimiento de las condiciones potenciales de agua se realizó únicamente para la columna de suelo 0-60 cm, se observa tanto en la Fig. 1 como en la Fig. 2 que la columna considerada (100 cm) varió sus condiciones, de manera tal que en RRRD, por ejemplo, al final del experimento las condiciones de la columna dejaron de ser potenciales para un 50% del agua útil. Además en ambos casos, la metodología LAI para la obtención en MET resultó mejor que la sugerida por FAO (K_c). Durante el desarrollo vegetativo el modelo sobreestima el contenido de agua en el suelo, mientras que para el período reproductivo el modelo subestima el contenido de agua en la columna de suelo.

Con el objeto de validar la bondad del modelo, se utilizó la metodología propuesta por Wilmott (1982). La Tabla 1, presenta los resultados obtenidos para los diferentes estadísticos.

De acuerdo con los resultados, se puede observar que hay una variabilidad en la capacidad predictiva del modelo para cada uno de los tratamientos utilizados. Los resultados del $RMSE$ indican que, en promedio, los errores para cada uno de los casos son bajos, resultando con mayores errores el RRRD, para MET obtenido por el método LAI, mientras que los mayores errores se encuentran en RRRC y RRRD para el método K_c .

Estos resultados se ven reforzados al analizar los valores del $NMSE$ que indican que estos promedios de errores son relativamente bajos en comparación al promedio de las variables analizadas.

Estadísticos	<i>RRRD</i>	<i>RRRC</i>	<i>RRRD(*)</i>	<i>RRRC(*)</i>
<i>RMSE</i>	0.0715	0.0370	0.1010	0.1278
<i>NMSE</i>	0.0006	0.0002	0.0012	0.0019
<i>MBE</i>	0.0449	0.0038	-0.0023	0.0432
<i>RMSEs</i>	0.0441	0.0058	0.0651	0.0738
<i>RMSEn</i>	0.0605	0.0366	0.0773	0.1044
<i>d</i>	0.957	0.980	0.928	0.859
<i>FB</i>	0.0129	0.0013	-0.0033	0.0149
<i>r</i> ²	0.899	0.972	0.887	0.768

Tabla 1: Valores de los estadísticos para las diferentes parcelas con manejo de riego. Método de estimación de la evapotranspiración real (*ETV*): modelo de resistencias (Gardiol et al, 2003) y Penman-Monteith (Allen y otros, 1998). (*RMSE*: error cuadrático medio; *NMSE*: error cuadrático medio normalizado), *MBE*: Error medio sesgado, *RMSEs*: error medio sesgado sistemático, *RMSEn*: error medio sesgado no sistemático, *d*: índice de concordancia, *FB*: error fraccional, *r*²: coeficiente de determinación).

Los errores medios cuadráticos sistemáticos y no sistemáticos, indican que el modelo no produce por sí mismo una gran variabilidad en las predicciones, ya que no hay grandes diferencias entre los valores obtenidos excepto para *RRRC* (Tabla 1). El índice de concordancia muestra que la capacidad predictiva del modelo es adecuada, mientras que el desvío fraccional muestra que, en valores medios, el modelo los subestima. Los estadísticos muestran que la bondad del modelo que utiliza el método *LAI*, para la estimación del *MET*, es superior que el que utiliza la metodología *Kc*.

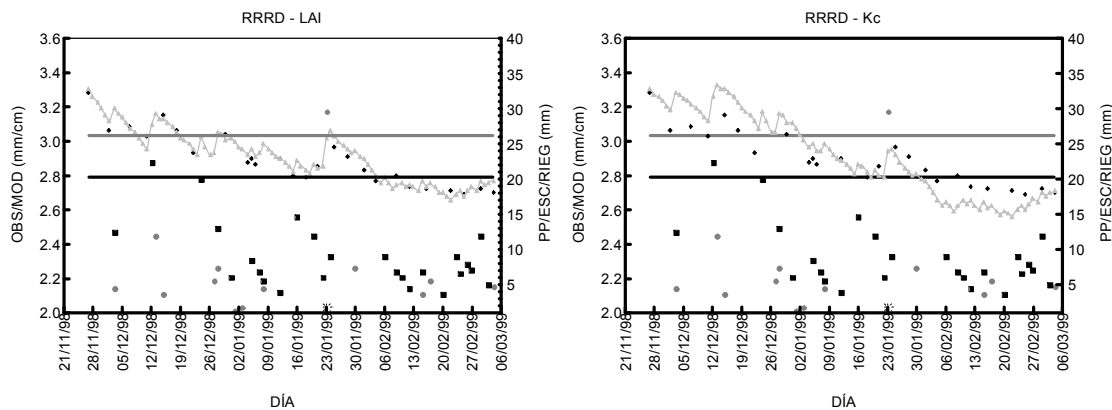


Figura 1: Simulación diaria del contenido de agua en el suelo para la columna 0-100cm. para la parcela descubierta (RRRD). a) Metodología *LAI*-, b) Metodología *Kc* - para estimar *ETM*. ° precipitación, * Escorrentía, ■ riego, ○ observaciones, — resultados del modelo, — 50% de agua disponible, — 65% de agua disponible.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se adaptó un modelo sencillo de balance de de contenido de agua en el suelo para la estimar este parámetro en una columna de 100 cm de profundidad para un cultivo de maíz para el área de Balcarce, ubicada en la zona sur de la Pampa Húmeda de la provincia de Buenos Aires en Argentina. El modelo fue aplicado bajo diferentes tratamientos, tanto de riego como de evaporación y contrastado con datos observados bajo esas condiciones de riego, precipitación y evapotranspiración. El modelo predijo adecuadamente la evolución del contenido diario de agua en la columna de suelo estudiada para todos los tratamientos de riego y de evaporación-transpiración (con o sin evaporación del suelo). Los errores de estimación analizados a través de diversos estadísticos demostraron que en general el modelo tiende a sobreestimar levemente los valores de contenido de agua en el suelo.

Para la determinación de la evapotranspiración máxima (MET) se encontró que el modelo de resistencias propuesto por Gardiol et al (2003) predice mejor que el modelo de estimación sugerido por FAO (K_c). Por otra parte, las parametrizaciones utilizadas para los otros términos de la ecuación propuesta (1) parecerían ser las apropiadas para la configuración de sistema considerado en el experimento de la zona de Balcarce.

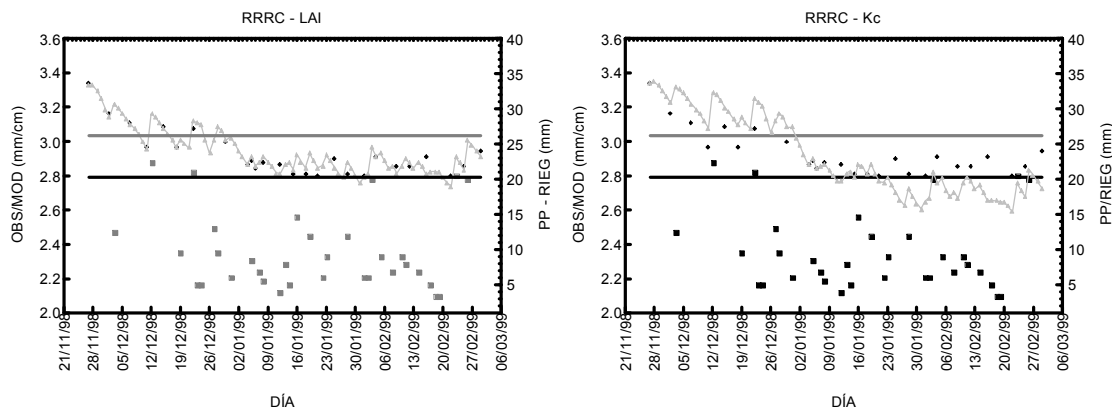


Figura 2: Simulación diaria del contenido de agua en el suelo para la columna 0-100cm. para la parcela descubierta (RRRC). a) Metodología LAI- b) Metodología Kc - para estimar ETM. * precipitación, * Escorrentía, ■ riego, ° observaciones, × resultados del modelo, — 50% de agua disponible, — 65% de agua disponible.

REFERENCIAS

- Allen R.G., L.S. Pereira, Raes D. and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56, Rome, Italy, (electronic document ISBN 92-5-104219-5).
- Della Maggiora, A.I., Gardiol, J.M., Irigoyen, A.I., 2003. Coeficientes de cultivo de maíz basados en la evapotranspiración de referencia Penman-Monteith. Proceedings of the XII Brazilian Congress of Agrometeorology, Santa María, Brazil (CD).
- Gardiol J.M., Serio L.A., Della Maggiora A.I. 2003. Modelling evapotranspiration of corn (*Zea mays*) under different plant densities. *Journal of Hydrology* 271:188-196
- Hajilal M.S., rao N.H. Sarma P.B.S. 1998. Planning intra-seasonal water requirements in irrigation projects. *Agricultural Water management* 37: 163-182
- Lee D.H, Abriola L.M. 1999. Use of the Richards Equation in land surface parameterizations. *Journal of Geophysical Research* 133,22:27529-27526
- Panigrahi B., Panda Sudhindra N. 2003. Field test of a soil water balance simulation model. *Agricultural Water Management* 58: 223-240
- Rao N.H., Sarma P.B.S., Chander S. 1988. Irrigation scheduling from a limited water supply. *Agricultural Water Management* 15: 165-175
- Rao N.H., Sarma P.B.S., Chander S. 1990. Optimal multicrop allocation of seasonal and interseasonal irrigation water. *Water Resources Res.* 26,4: 551-559
- Wilderotter O. 2003. An adaptative numerical method for the Richards equation with root growth. *Plant and Soil* 251, 2:255-267.
- Willmott, C.J., 1982. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 63, 1309-1313

Agradecimientos: Este trabajo de investigación fue realizado mediante el subsidio X-286/04 de la Universidad de Buenos Aires.