

# CALIBRACIÓN DE MODELOS DE ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DE GIRASOL PARA SU APLICACIÓN AL CÁLCULO DEL ALMACENAJE DE AGUA DEL SUELO

Aída Della Maggiora<sup>1</sup>, Andrea Irigoyen<sup>2</sup>, Juan Pablo Monzón<sup>3</sup>, Jesús Gardiol<sup>4</sup>

**ABSTRACT** - Two models to estimate sunflower actual evapotranspiration (ETR) according to water availability were calibrated. One of the models considers ETR equal to maximum evapotranspiration (ETM) when soil water is readily available. If soil is drying below a critical value (UC), it is assumed that ETR/ETM ratio is a linear function of the water depletion. The other one considers that ETR/ETM ratio is an exponential function of the water availability and includes a c constant, which require calibration. Soil water balances were calculated as: rainfall- ETR  $\pm$  soil water depletion, using the proposed models. Ten levels of critical value (UC) and c constant were tested against observed soil water content and actual evapotranspiration values. Estimated data are compared with experimental data over 2004-2005 season growing. Best performance was obtained for 0.7 level of critical value and 0.3 for c constant of linear and exponential models, respectively.

## INTRODUCCIÓN

Los balances de agua del suelo calculados a partir de la precipitación y la evapotranspiración, representan una herramienta útil para la planificación agrícola. En condiciones de suelo húmedo, el método más común para determinar la evapotranspiración es a partir del producto entre la evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>) y el coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>), que representa la evapotranspiración máxima (ETM). En condiciones de suelo más seco, la evapotranspiración real (ETR) se reduce respecto de la ETM y es necesario incluir una función que describa dicha reducción de acuerdo al agua disponible en el suelo. En la bibliografía se cita una gran variedad de funciones que tratan de representar este efecto (Doorenbos y Kassan, 1979; Ritchie, 1972; Shaozhong *et al.*, 2000; Poulouvassilis *et al.*, 2001). Para las condiciones de clima y suelo de Balcarce se han calibrado modelos de estimación de ETR de maíz en función del agua disponible (AD) aplicando una reducción lineal (Della Maggiora *et al.*, 2003) y exponencial (Della Maggiora *et al.* 2004). Es de interés realizar la calibración y evaluación de modelos ETR en función del agua disponible para otros cultivos.

El presente trabajo tiene como objetivo calibrar dos modelos de estimación de la evapotranspiración real de girasol para su aplicación en el cálculo del almacenaje de agua en un Paleudol petrocálcico de Balcarce (Argentina).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los modelos de evapotranspiración real (ETR) a calibrar son los siguientes:

**I. Modelo Lineal** : La forma de cálculo es la siguiente:

a) Si el  $ALM_{(i-1)}$  es  $\geq$   $ALM_{UC(i)}$ ,

$$ETR_i = ETM = ET_{0i} K_{c_i} \quad (1)$$

$ALM_{(i-1)}$  es lámina de agua en el suelo al tiempo (i-1),  $ALM_{UC}$  es la lámina de agua en el suelo al umbral crítico

(UC). El UC representa el valor a partir del cual la ET relativa (ETR/ETM) se reduce linealmente hasta el límite mínimo.

b) Si el  $ALM_{(i-1)}$  es  $<$   $ALM_{UC}$

$$ETR_i = ET_{0i} K_{c_i} UC^{-1} FAD_i \quad (2)$$

$$FAD_i = (ALM_{(i-1)} - ALM_{LMin}) / (ALM_{LMax} - ALM_{LMin}) \quad (3)$$

$ALM_{LMax}$  y  $ALM_{LMin}$  son las láminas de agua del suelo al límite máximo y mínimo, respectivamente.

Se calculó el balance de agua para diez umbrales críticos expresados como fracción del agua disponible remanente (0,1 a 1,0).

**II. Modelo exponencial**: La ETR en el tiempo i se estimó a partir de la  $ETM_i$ , corregida por una función exponencial del agua del suelo (Poulavasilis *et al.*, 2001), según:

$$ETR_i = ETM_i \exp(c((ALM_{i-1} - ALM_{LMax}) / (ALM_{i-1} - ALM_{LMin}))) \quad (4)$$

donde c es una constante que introduce un ajuste al decrecimiento de la relación ETR/ETM de acuerdo a las condiciones de clima, suelo y cultivo. Se calculó el balance de agua para diez valores de c (0,1-1,0).

La lámina de agua correspondiente a un intervalo dado ( $Alm_i$ ), fue calculada según:

$$Alm_i = Alm_{i-1} - ETR_i - D_i + P_i + R_i \quad (5)$$

donde  $P_i$  es la precipitación acumulada en el intervalo considerado,  $R_i$  es la lámina de riego y  $D_i$  es el drenaje, determinado como la lámina de agua en exceso del  $Alm_{LMax}$ . Los balances se calcularon para 0,8 m de profundidad, considerando 376 mm m<sup>-1</sup> de  $Alm_{LMax}$  y el 57% de este valor, como  $Alm_{LMin}$ .

La evaluación del comportamiento de los modelos se realizó a partir de medidas de humedad de suelo bajo un cultivo de girasol. La experiencia se desarrolló durante la campaña 2004-05 en la Unidad Integrada Balcarce INTA-FCA, UNMdP (37°45' S y 58°18' W), Pcia, de Buenos Aires (Argentina). Las mediciones se realizaron a intervalos entre 3 y 8 días durante el desarrollo del cultivo (20/10-18/02), empleando el método gravimétrico (0-0,10 m) y el de atenuación de neutrones (0,10-0,80 m).

Se calculó la variación de almacenaje de agua ( $VA_i$ ) en los intervalos de medición y se determinó la  $ETR_i$  observada como:

$$ETR_i = P_i + R_i \pm VA_i - D_i \quad (6)$$

Los ajustes entre valores de ETR y lámina de agua estimados versus observados se evaluaron a través de ajuste por regresión ( $P < 0,05$ ), cuadrado medio de error (CME), CME no sistemático (CME<sub>s</sub>), raíz cuadrada del cuadrado medio de error (RCME) e índice de concordancia (d).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan estadísticos que permiten seleccionar el valor de umbral crítico en el modelo lineal que mejor representa los valores observados. El nivel 0,7 es el que produce el más alto

<sup>1</sup> Unidad Integrada Balcarce Facultad de Ciencias Agraria, UNMdP- EEA INTA E-mail: adellamaggiora@balcarce.inta.gov.ar

<sup>2</sup> Unidad Integrada Balcarce Facultad de Ciencias Agraria, UNMdP- EEA INTA E-mail: airigoyen@balcarce.inta.gov.ar

<sup>3</sup> Becario CONICET E-mail: jpmonzon1978@hotmail.com

<sup>4</sup> Depto. de Cs de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA) E-mail: gardiol@at.fcen.uba.ar

índice de concordancia (d), menor valor de RCME y mayor CMEns, tanto para almacenaje de agua del suelo (Figura 1 a) como para ETR (Figura 1 b). Asimismo, los datos de la Tabla 1 indican que el umbral 0,7 es el que produce el valor medio estimado de almacenaje de agua más cercano al observado y coeficientes de regresión no significativamente diferentes de los correspondientes a la recta ideal (b=1 y a=0). El valor de umbral crítico hallado para girasol resulta inferior al encontrado para maíz (Della Maggiora *et al.*, 2003) lo cual se corresponde con la menor sensibilidad de girasol a la reducción en el agua disponible (Doorenbos y Kassam, 1979, Andrade y Sadras, 2002).

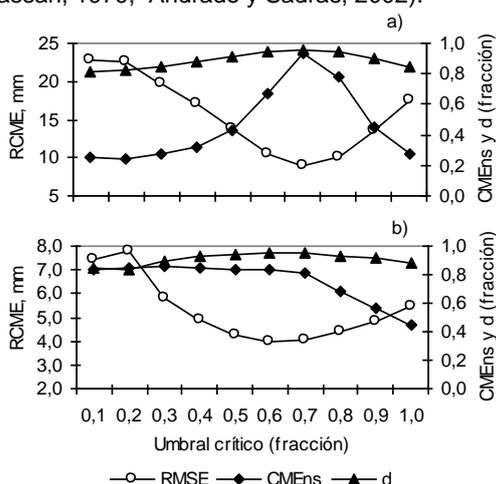


Figura 1. RCME, d y CMEns para a) almacenaje de agua del suelo y b) evapotranspiración real calculada según el modelo lineal con diferentes umbrales críticos.

Tabla 1. Comparación entre valores estimados y observados de almacenaje de agua (mm) empleando el modelo lineal (n= 63). Valor medio observado 227,8 mm.

UC	Media estimada	a	b	R <sup>2</sup>
0,1	210,0	-113,32	1,42	0,86
0,2	210,2	-113,44	1,42	0,87
0,3	212,6	-94,94	1,35	0,87
0,4	215,0	-76,45	1,28	0,88
0,5	218,3	-56,49	1,21	0,88
0,6	222,6	-40,42	1,15	0,88
0,7	226,8	-24,70*	1,10*	0,87
0,8	232,3	-12,39*	1,07*	0,86
0,9	237,9	-0,13*	1,04*	0,84
1,0	242,8	18,60*	0,98*	0,82

a y b: coef. de regresión, R<sup>2</sup>: coef. de determinación

\* en a indica que no difiere significativamente de 0 (nivel 0,05)

\* en b indica que no difiere significativamente de 1 (nivel 0,05)

La evaluación realizada para la calibración del modelo exponencial muestra que el valor de c igual a 0,3 es el de mejor ajuste, ya que presenta el mayor valor de d, menor valor de RCME y mayor CMEns, tanto para almacenaje de agua del suelo (Figura 2 a) como para ETR (Figura 2 b). En esta última variable el CMEns para c igual a 0,3 es ligeramente menor al de 0,1 y 0,2. Los estadísticos de la Tabla 2 muestran la mayor coincidencia entre el valor medio estimado y observado de almacenaje cuando se aplica un valor de c igual a 0,3. Asimismo, los coeficientes de regresión resultaron cercanos a los de la recta ideal, aunque difirieron significativamente de los mismos.

El valor de c más ajustado para la aplicación del modelo exponencial en girasol resultó inferior al determinado para maíz (Della Maggiora *et al.* 2004), lo

cual representa la menor sensibilidad de girasol al secado del suelo, como se discutió anteriormente.

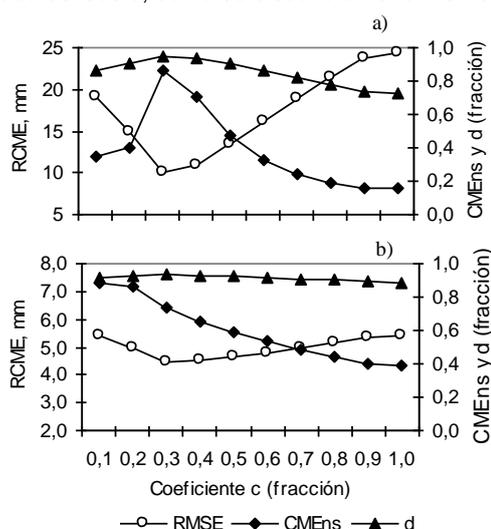


Figura 2. RCME, d y CMEns para a) almacenaje de agua del suelo y b) evapotranspiración real calculada según el modelo exponencial con diferentes coeficientes c.

Tabla 2. Comparación entre valores estimados y observados de almacenaje de agua del suelo (mm) empleando el modelo exponencial (n= 63). Valor medio observado 227,8 mm.

Coef. c	Media estimada	a	b	R <sup>2</sup>
0,1	214,4	-98,60	1,37	0,86
0,2	218,9	-90,47	1,36	0,89
0,3	228,6	-40,90	1,18	0,86
0,4	233,3	-18,77*	1,11*	0,85
0,5	237,5	0,22*	1,04*	0,84
0,6	241,0	17,61*	0,98*	0,82
0,7	244,1	34,30	0,92*	0,80
0,8	246,8	49,01	0,87	0,77
0,9	249,3	62,09	0,82	0,75
1,0	249,9	65,59	0,81	0,74

a y b: coef. de regresión, R<sup>2</sup>: coef. de determinación

\* en a indica que no difiere significativamente de 0 (nivel 0,05)

\* en b indica que no difiere significativamente de 1 (nivel 0,05)

Los dos modelos de ETR calibrados permitieron representar adecuadamente los valores observados de almacenaje de agua bajo cultivo de girasol en las condiciones experimentales de esta evaluación. Es necesario verificar su comportamiento con un conjunto de datos independientes para garantizar una aplicabilidad más general a las condiciones de clima y suelo de Balcarce.

## REFERENCIAS

- Della Maggiora *et al.* Rev. Arg. Agrom. 2 (2): 167-176, 2003.
- Della Maggiora, A.; A. Irigoyen; J. Gardiol; O. Caviglia; L. Echarte. 2004. X Reunión Arg. y IV Latinoam. de Agrometeorología. MdP.(Arg.), 2004.
- Doorenbos, J, y A, Kassam. FAO Irrig, and Drain. Paper N° 33, Rome, Italy, 193 pp, 1979.
- Poulouvassilis, M *et al.* Agric. Water Manag. 51:143-152, 2001.
- Ritchie, J.T. Water Resour. Res. 8: 1204-1213, 1972.
- Andrade, F. y Sadras, V. Edit. Médica Panamericana SA. Bs. As. Argentina, 2002.
- Shaozhong, K *et al.* Agric. Water Manag. 43: 1-14, 2000.