

# EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA A PARTIR DE MODELOS CON MÍNIMO REQUERIMIENTO DE DATOS: ESTIMACIÓN DE VALORES MEDIOS MENSUALES PARA LA LOCALIDAD DE BALCARCE (ARG.)

Andrea I. IRIGOYEN<sup>1</sup>, Aída DELLA MAGGIORA<sup>1</sup> y Jesús M. GARDIOL<sup>2</sup>

## Introducción

La estimación de la evapotranspiración de referencia siempre resulta de interés, puesto que es indispensable para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos. A partir de la determinación de los requerimientos de agua, sus aplicaciones se extienden al cálculo de balance de agua, programación de riego, determinación de la eficiencia en uso de agua, entre las más importantes. El método de Penman-Monteith se ha postulado como estándar (Allen *et al.*, 1998). La principal ventaja es la consideración de la física del proceso, mientras que ofrece como desventaja la necesidad de disponibilidad de un volumen importante de información meteorológica. Este método ha sido evaluado para Balcarce por Della Maggiora *et al.* (1997), mostrando buena aptitud cuando se usó como patrón la evapotranspiración de referencia medida sobre un cultivo de festuca (*Festuca arundinacea*).

Es de interés poner a prueba un método de estimación con menor requerimiento de datos, tal como el desarrollado por Hargreaves y Samani (1985). Recientemente Droogers y Allen (2002) han encontrado una mejora en la estimación para valores medios mensuales, incorporando la precipitación mensual a la ecuación original de Hargreaves.

Los objetivos de este trabajo son a) evaluar el ajuste a escala mensual de los métodos Hargreaves-Samani y Hargreaves modificado por Droogers y Allen b) ajustar un modelo sencillo en caso de falta de ajuste de los anteriores.

La finalidad es la aplicación de métodos sencillos, para las situaciones en que las variables requeridas por Penman-Monteith no están disponibles, e incluso es difícil su estimación a partir de otras variables.

## Materiales y Métodos

Se calcula la evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>) a paso diario para la serie 1971-2000, con datos provenientes de la estación agrometeorológica de la EEA Balcarce INTA (37° 45' Lat. S y 58° 18' Long W.), según el modelo de Hargreaves y Samani (1985):

$$ET_{0\text{Harg}} = 0,0023 \cdot (T_m + 17,8) \cdot (DT)^{0,5} \cdot RTA$$

donde T<sub>m</sub> es la temperatura media mensual, DT es la diferencia entre temperatura máxima y temperatura mínima y RTA es la radiación teórica astronómica.

Se comparan los valores medios mensuales con los correspondientes a la estimación según el modelo de Penman-Monteith (ET<sub>0PM</sub>), de acuerdo a lo indicado en Allen *et al.* (1998).

Se calculan los valores de evapotranspiración (ET<sub>0</sub>) media mensual según el modelo propuesto por Droogers y Allen (2002)

$$ET_{0\text{Hargmod}} = 0,0013 \cdot 0,408 \cdot RTA \cdot (T_m + 17,0) \cdot (DT - 0,0123 \cdot PP)^{0,76}$$

donde RTA es la radiación teórica astronómica, T<sub>m</sub> es la temperatura media mensual, DT es la diferencia entre temperatura máxima y temperatura mínima y PP es la precipitación mensual.

La evaluación de los modelos se realiza a través de gráficos de dispersión, ajuste por regresión (P < 0,05) y la determinación de la raíz cuadrada del cuadrado medio de error (RCME) y el error absoluto medio (EAM) según:

$$RCME = (\sum (\text{estimado} - \text{observado})^2 / n)^{0,5}$$

$$EAM = |\sum (\text{estimado} - \text{observado})| / n$$

Se ajusta un modelo sencillo para valores medios mensuales, a partir de las mismas variables empleadas en el método modificado de Hargreaves (Droogers y Allen, 2002), considerando la serie 1971-1985. Los datos correspondientes a la serie 1986-2000 se emplean para la validación.

## Resultados y discusión

En la Figura 1 se puede observar la bondad de ajuste de los modelos evaluados. La estimación de la evapotranspiración de referencia según el modelo original de Hargreaves y Samani (1985) sobreestima casi todo el rango de valores medios mensuales. La aplicación del modelo propuesto por Droogers y Allen (2002) no resulta satisfactoria, puesto que manifiesta una marcada subestimación (alrededor del 50%) en todo el rango de valores. La RCME aumenta sensiblemente al aplicar este modelo (Cuadro 1). El error absoluto medio alcanza el 50% del valor medio observado que corresponde a 2,6 mmd<sup>-1</sup>. Si bien es esperable un progreso en la estimación por incorporación de la precipitación, para las condiciones de Balcarce, no resulta adecuado dicho ajuste. Droogers y Allen (2002) señalan que los mejores resultados se obtienen en zonas muy secas o muy húmedas.

Cuadro 1. Estadísticos empleados para evaluar el ajuste de los modelos Hargreaves (Harg) y Hargreaves modificado (Hargmod) para la estimación de valores medios mensuales de ET<sub>0</sub> (n=360).

Modelo	ET <sub>0</sub> mmd <sup>-1</sup>	a mmd <sup>-1</sup>	b	R <sup>2</sup>	RCME mmd <sup>-1</sup>	EAM mmd <sup>-1</sup>
Harg	3,2	1,13	1,13	0,98	0,63	0,54
Hargmod	1,3	0,10	0,49	0,97	1,55	1,34

<sup>1</sup> Unidad Integrada Fac. Cs. Agrarias UNMdP-EEA Balcarce INTA (Argentina)  
Email: [airigoyen@balcarce.inta.gov.ar](mailto:airigoyen@balcarce.inta.gov.ar)

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Naturales UBA (Argentina)

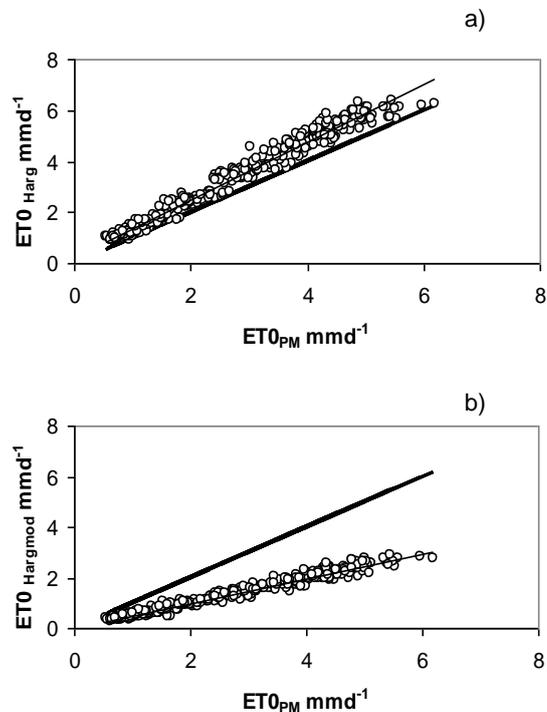


Figura 1. Ajuste de los modelos de estimación de la evapotranspiración de referencia  $ET_0$  a) según Hargreaves (1985) y b) según Hargreaves modificado por Droogers y Allen (2002). La línea gruesa representa la recta 1:1 y la línea delgada representa el ajuste por regresión ( $n=360$ ).

Los coeficientes de correlación entre la evapotranspiración  $ET_{PM}$  y las variables RTA, DT y PP son de 0,95, 0,82 y 0,21, respectivamente. A partir de estas variables se explora un modelo de ajuste local que resulta:

$$ET_0 = -0,30 + 0,0020 \text{ RTA} \cdot \text{DT} + 0,0012 \text{ PP}$$

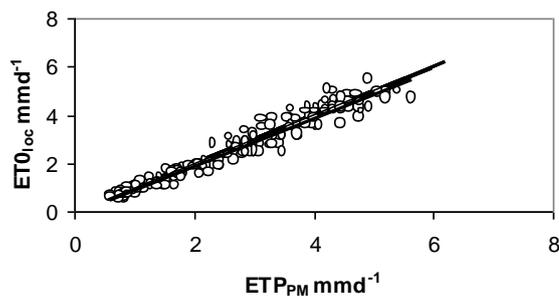


Figura 2. Ajuste del modelo propuesto para la estimación de la evapotranspiración de referencia  $ET_0$ . La línea gruesa representa la recta 1:1 y la línea delgada representa el ajuste por regresión ( $n=180$ ).

Se valida este modelo con datos de la serie 1986-2000. La bondad de ajuste se puede observar a través de la Figura 2. El ajuste por regresión resulta en una recta cercana a la relación 1:1, con un  $R^2$  de 0,95 (Cuadro 2). La RCME es de 0,33  $\text{mm d}^{-1}$  y el EAM es de 0,25, representando un 10% del valor medio observado. En el Cuadro 3 se presentan los RCME y EAM resultantes de la evaluación del modelo en cada mes, señalando un patrón estacional en los

errores de estimación. En los meses de verano, los EAM alcanzan los mayores valores, aunque no superan el 10% respecto al valor medio observado. En los meses de invierno los EAM disminuyen, pero representan mayores errores relativos. Esta información sugiere la posibilidad de una mejor performance a partir de una reparametrización que contemple la estacionalidad.

Cuadro 2. Estadísticos empleados para evaluar la performance del modelo ajustado localmente para la estimación de valores medios mensuales (n=180).

Modelo	ET0 mmd <sup>-1</sup>	a mmd <sup>-1</sup>	b	R <sup>2</sup>	RCME mmd <sup>-1</sup>	EAM mmd <sup>-1</sup>
Loc	2,6	0,21	0,96	0,95	0,33	0,25

Cuadro 3. Estadísticos empleados para evaluar en cada mes la performance del modelo ajustado localmente.

Mes	ET0 <sub>loc</sub> mmd <sup>-1</sup>	ET0 <sub>PM</sub> mmd <sup>-1</sup>	RCME mmd <sup>-1</sup>	EAM mmd <sup>-1</sup>
Ene	4,7	4,6	0,35	0,30
Feb	4,0	3,8	0,36	0,29
Mar	3,0	2,9	0,32	0,10
Abr	1,8	1,9	0,21	0,15
May	1,1	1,2	0,18	0,12
Jun	0,8	0,8	0,14	0,12
Jul	0,8	0,9	0,13	0,11
Ago	1,3	1,5	0,27	0,24
Set	2,0	2,3	0,39	0,35
Oct	2,7	3,2	0,49	0,45
Nov	3,7	4,1	0,40	0,33
Dic	4,5	4,7	0,43	0,32

## Conclusiones

Un modelo sencillo desarrollado a partir de variables de relativamente fácil disponibilidad como la temperatura máxima, temperatura mínima y la precipitación, representa una ventajosa alternativa para la estimación de la evapotranspiración. El alto grado de asociación entre las variables independientes y la evapotranspiración, sugiere la exploración de ajustes a menor escala de tiempo.

## Referencias bibliográficas

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S. RAES, D. y D. SMITH. Crop evapotranspiration. Guides for computing crop water requirements. FAO Irrig. Drain. Paper N° 56. FAO, Rome, Italy, 300 p, 1998.
- DELLA MAGGIORA, A.; GARDIOL, J.; IRIGOYEN, A. y L. ECHARTE. Estimación de la evapotranspiración de referencia con el método de Penman-Monteith en Balcarce. Rev. de la Fac. de Agron. Tomo 17 N° 1, 123-126, 1997.
- DROOGERS, P. Y R. ALLEN. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. Irrig. and Drainage Systems 16, 33-45, 2002.
- HARGREAVES, G Y Z. SAMANI. Reference crop evapotranspiration. Tech. N.J. Irrig. Drain. Eng, 1985.