

# ESTIMACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN CHACRAS DE CORIA, MENDOZA, REP. ARGENTINA

Bustos, C. <sup>(1)</sup> y A. Cicero<sup>(2)</sup>

(1) Dir. De Agr. y Prev. de Contingencias, (2) Fac. de Cs. Agrarias U. N. Cuyo  
Argerich 677 (5501) Godoy Cruz Mendoza, Telefax 054-0251-4521753  
E. Mail [acicero@fca.uncu.edu.ar](mailto:acicero@fca.uncu.edu.ar)

## RESUMEN

Mediante este estudio, dentro del marco del convenio entre las instituciones participantes se propuso estudiar los valores diarios de la Evapotranspiración Potencial por el modelo de Penman - Monteith tomando como base la Localidad de Chacras de Coria, y evaluar el ajuste de dicho Modelo en la región, comparando con el dato de evaporación de Tanque tipo "A".

Se estimó la evapotranspiración potencial diaria por el método de Penman - Monteith según FAO, a partir de los datos de la Estación Agrometeorológica Chacras de Coria, de la Cátedra de Meteorología Agrícola de la Fac. de Cs. Agrarias de la U.N.Cuyo, ubicada en el Departamento Luján de Cuyo. a los 32° 59' de latitud Sur, 68° 52' de longitud Oeste y 920 msnm., aprovechando la larga serie de datos de evaporación de Tanque relevados sistemáticamente y disponibles para dicha Estación, que opera ininterrumpidamente desde 1959, por convenio con el Servicio Meteorológico Nacional.

Se utilizaron los datos diarios de temperatura media, heliofanía efectiva, humedad relativa, velocidad media del viento medida a 10 m de altura, y datos de tanque de evaporación. Tipo "A". En la ecuación para la estimación de la radiación global, se aplicaron los coeficientes ( $a=0.25$  y  $b=0.45$ ). propuestos por Frére y Popov, (1980).

Los valores de velocidad del viento fueron llevados al nivel de 2 m mediante la relación propuesta por Sutton (1953), y los datos de evaporación de tanque fueron transformados en valores de evapotranspiración potencial mediante la ecuación empírica propuesta por FAO. De tal manera se cumple con las normas utilizadas por FAO que adopta este modelo como el más racional y de uso comparativo.

Se ha podido observar un buen ajuste del modelo en los meses de setiembre ( $r = 0,84289865$ ) y octubre, ( $r = 0,86284135$ ) pero a partir del mes de noviembre la calidad del ajuste es menor, ( $r = 0,76694219$ ) y diciembre ( $r = 0,72079953$ ). Se propone continuar el estudio para buscar la razón de la diferencia aparentemente estacional del ajuste de los valores estimados y los de contraste a partir del Tanque.

Palabras clave: Evapotranspiración, Estimación, Penman Monteith, Mendoza

## INTRODUCCION

Los oasis productivos de la provincia de Mendoza se caracterizan por estar ubicados en zonas con importantes déficit hídricos en los meses de mayor necesidad de agua para los cultivos. La determinación correcta de la Evapotranspiración por medio de modelos de estimación es una necesidad permanente en todas las áreas cultivadas, pero su importancia se hace muy relevante en ambientes semiáridos o áridos como lo son las zonas irrigadas de las provincias del oeste argentino en particular Mendoza, si se pretende hacer una planificación racional del manejo del agua.

Los modelos que se han utilizado en el tiempo, han sido desarrollados en distintos lugares, cada uno con condiciones meteorológico-climáticas propias. Ortiz Maldonado (2001) recopila cartografía elaborada originalmente para todo el país por Burgos y Vidal (1951), con valores obtenidos usando el modelo de Thornthwaite (1948), Damario y Cataneo (1962) elaboran cartografía a nivel nacional utilizando el Modelo de Penman (1956) Berra y Ciancaglini (1979) utilizan el modelo de Blanney Criddle y confeccionan una cartografía mas detallada a nivel provincial con valores anuales y mensuales.

Tanto el modelo de Thornthwaite, desarrollado para zonas cálidas y húmedas, que en el ambiente de la Provincia en general, subestima, como Blanney Criddle desarrollado para zonas cálidas y secas, y que aparentemente sobreestima, tienen una importante componente empírica, mientras que Penman al hacer intervenir en el modelo mayor cantidad de variables medidas, es considerado un modelo más racional y de uso en mayor cantidad de circunstancias. Por ello FAO la adoptó como modelo de referencia en 1975.

Un panel de expertos convocado por FAO en 1990, recomendó cambiar el concepto de evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) y revisar los procedimientos de cálculo ya que se encontró que la ecuación de Penman adoptada por FAO en 1975 (Doorembos y Pruitt, 1975) frecuentemente sobreestima (Allen, et. Al, 1994). Según algunas investigaciones, esa sobreestimación puede estar asociada a errores en el cálculo de la función viento, en el déficit de tensión de vapor y en el cálculo de la radiación neta de onda larga.

FAO (2002) lo ha considerado el método oficial de uso comparativo a nivel mundial, y publica los datos estimados de muchas estaciones de todo el mundo, en World Wide Agroclimatic Database (2002).

Cicero et al. (2004), y Ortega et al. (2000), publican la estadística meteorológica completa de Chacras de Coria y en especial de evaporación de tanque tipo "A".

El objetivo de este trabajo es evaluar la performance de la ecuación de Penman – Monteith según FAO (PM) en Chacras de Coria – Provincia de Mendoza, mediante la comparación de los datos diarios del tanque clase A (convertidos a datos diarios de  $ET_0$  según la metodología propuesta por FAO) con los datos diarios estimados para los meses de mayor demanda de agua de los cultivos. Se ha tomado como testigo la localidad de Chacras de Coria por contar con una serie de datos completa, y de evaporación de tanque suficientemente largas, para poder correr el modelo y para su comparación.

## MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron datos promedios diarios de temperatura, humedad relativa y velocidad de viento registrada a 10 m de altura, heliofanía efectiva y datos de evaporación obtenidos en un tanque tipo A, pertenecientes a la Estación Agrometeorológica Chacras de Coria (32° 59' Sur, 68° 52' W, 921 m snm) ubicada en la Facultad de Ciencias Agrarias de la U.N.Cuyo, provincia de Mendoza para el período 1966 – 1976 correspondiente a los meses de setiembre - marzo.

Se calculó la  $ET_o$  diaria por el método de Penman-Monteith según FAO (Allen et al., 1998)

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 \mu_2)}$$

donde:

- $ET_o$ : evapotranspiración de referencia [ $mm \text{ day}^{-1}$ ],
- $R_n$ : radiación neta en la superficie del cultivo [ $MJ \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ],
- $G$ : densidad del flujo de calor en el suelo [ $MJ \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ],
- $T$ : temperatura del aire [ $^{\circ}C$ ],
- $\mu_2$ : velocidad del viento registrada a 2 m de altura [ $m \text{ s}^{-1}$ ],
- $e_s$ : presión de vapor de saturación [ $kPa$ ],
- $e_a$ : presión de vapor [ $kPa$ ],
- $e_s - e_a$ : déficit de presión de vapor de saturación [ $kPa$ ],
- $\Delta$ : pendiente de la curva de presión de vapor [ $kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$ ],
- $\gamma$ : constante psicrométrica [ $kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$ ].

Los valores de velocidad de viento fueron llevados al nivel de 2 m mediante la relación propuesta por Sutton, 1953. El Flujo de calor en el suelo fue estimado según la ecuación propuesta por Wright y Jensen, 1972.

Los datos diarios de evaporación de tanque fueron convertidos a datos diarios de  $ET_o$  mediante la siguiente expresión (Cuenca y Jensen, 1988):

$$ET_o = K_p E_{pan}$$

donde:

- $ET_o$ : evapotranspiración de referencia [ $mm/day$ ].
- $K_p$ : coeficiente del tanque.
- $E_{pan}$ : evaporación de tanque [ $mm/day$ ].

Para la estimación de  $K_p$ , se utilizó la ecuación propuesta por FAO para zonas con suelo desnudo y poco desarrollo agrícola, descripción que coincide con las características del suelo en la cual esta instalado el tanque tipo A.

$$K_p = 0.61 + 0.00341 \times RH_{mean} - 0.000162 \times \mu_2 \times RH_{mean} - 0.00000959 \times \mu_2 \times FET + 0.00327 \times \mu_2 \times \ln(FET) - 0.00289 \times \mu_2 \times \ln(86.4 \times u_2) - 0.0106 \times \ln(86.4 \times \mu_2) \times \ln(FET) + 0.00063 \times [\ln(FET)]^2 \times \ln(86.4 \times \mu_2)$$

donde:

- $\mu_2$ : velocidad del viento registrada a 2 m de altura [ $m/s$ ].
- $RH_{mean}$ : humedad relativa media diaria (%)
- $d$ : distancia cubierta por el suelo desnudo en las proximidades del tanque (en este caso  $d = FET = 1000 \text{ m}$ )

Para la evaluación del modelo se utilizaron los estadísticos propuestos por Willmot (1982).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra las medidas cuantitativas obtenidas de la aplicación del modelo de PM para la estación Chacras de Coria. Se observa que para el mes de setiembre la ETo media estimada es sensiblemente menor que el promedio de los valores observados, lo que indica una ligera subestimación. Al analizar los valores de ordenada al origen y pendiente de la recta de regresión (a,b) se observa que esa subestimación se corresponde con valores altos de Eto. En la tabla 2 se observa que PM presenta bajos errores de estimación para valores comprendidos entre 2 y 8 mm, pero para valores superiores a 9, la fórmula subestima. Los valores de  $r^2$  y Cc muestran un buen ajuste de la fórmula para este mes.

**Tabla 1: Valores estadísticos de la Eto observada y estimada por la ecuación de Penman – Monteith según FAO para Chacras de Coria – Mendoza.**

Mes	E obs	E est	D obs	D est	N	a	b	MAE	Cc	$r^2$
Set	3.6	3.4	1.3	1.2	330	0.86	0.71	0.58	0.80	0.67
Oct	4.7	4.5	1.4	1.3	341	0.76	0.91	0.58	0.80	0.73
Nov	5.7	5.6	1.8	1.7	330	0.69	1.63	0.79	0.74	0.55
Dic	6.4	6.1	1.7	1.4	341	0.61	2.13	0.82	0.71	0.50
Ene	6.2	5.9	1.7	1.2	341	0.52	2.69	0.83	0.69	0.48
Feb	5.3	4.9	1.5	1.2	331	0.58	1.85	0.76	0.75	0.56
Mar	3.7	3.6	1.3	1.0	341	0.69	1.0	0.51	0.86	0.74

donde:

E obs: evapotranspiración de referencia observada media.

E est: evapotranspiración de referencia estimada media.

D obs: desvío estandar de la Eto observada.

D est: desvío estandar de la Eto estimada.

N : número de casos.

a: pendiente de la ecuación de la recta de regresión.

b: ordenada al origen de la ecuación de la recta de regresión.

MAE: error absoluto medio.

Cc: coeficiente de Correlación.

$r^2$ : coeficiente de regresión.

Las estadísticas obtenidas para el mes de octubre son similares a las obtenidas para el mes de setiembre, aunque con valores más altos de  $r^2$ . Se considera que la ecuación de PM presenta un buen ajuste para este mes con una tendencia a subestimar para altos valores de Eto.

Los meses de noviembre y diciembre presentan buenos coeficientes de correlación, pero se incrementa el MAE y desciende el  $r^2$ , lo que indica una mayor dispersión de valores. La fórmula subestima a partir de los 9 mm de Eto (Tabla 2).

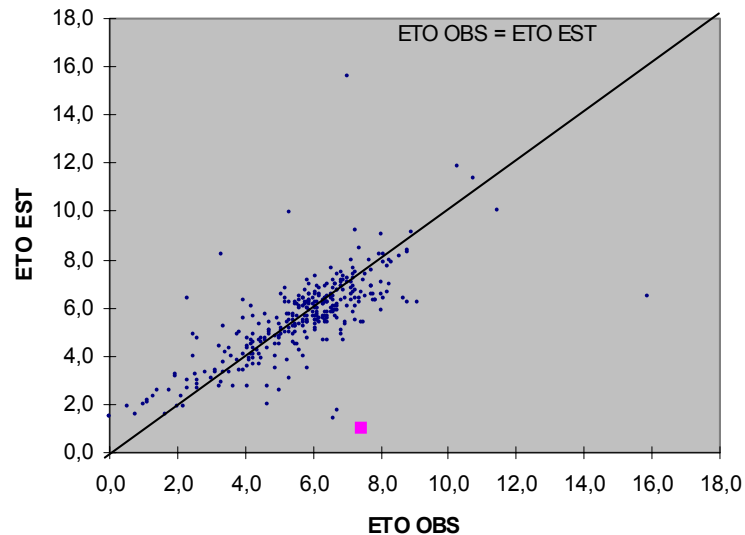
A partir de marzo, los estadísticos muestran valores similares a los obtenidos para los meses de setiembre y octubre, lo que indica un buen comportamiento de la fórmula para este mes.

Para los meses de enero y febrero la formula subestima a partir de los 8 mm. Los valores de  $r^2$  y MAE indican una mayor dispersión de datos.

**Tabla 2: Promedio del error de estimación entre la Eto calculada por la ecuación de Penman – Monteith según FAO y la Eto obtenida a partir de los datos de tanque, clasificados por rango de intensidad para el período setiembre - Marzo.**

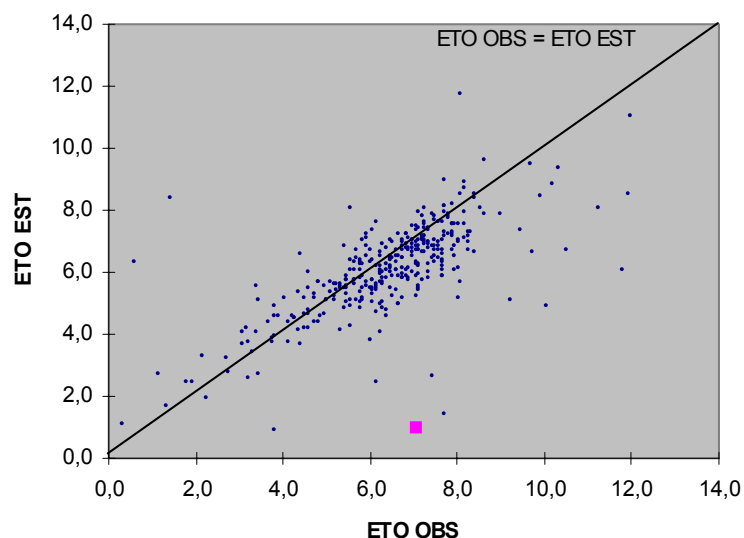
Intervalo	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene	Feb	Mar
1 - 1.9	2,0	0,5	0,9	0,3	0,9	0,9	0,5
2 - 2.9	0,3	0,2	0,9	0,4	0,3	0,5	0,1
3 - 3.9	0,4	0,1	0,6	0,3	0,8	0,2	0,1
4 - 4.9	0,3	-0,1	0,0	0,2	0,4	-0,1	-0,3
5 - 5.9	0,2	-0,3	0,0	-0,4	0,0	-0,3	-0,7
6 - 6.9	-0,4	-0,6	-0,4	-0,6	-0,3	-0,7	-0,8
7 - 7.9	-0,6	-0,9	-0,3	-0,6	-0,8	-1,0	-1,3
8 - 8.9	-0,6	-0,6	-0,9	-2,0	-1,4	-1,6	-1,7
9 - 9.9	-2,0	-0,5	-2,9	-2,8	-1,6	-3,5	-
10 - 10.9	-2,8	-	1,1	-3,3	-2,8	-8,3	-
11 - 11.9	-3,3	-	-1,4	-	-5,2	-	-
12 - 12.9	-	-	-9,4	-	-8,1	-	-

Se han elaborado los gráficos correspondientes a la evaluación estadística, con la dispersión de puntos y su ajuste, para los valores de todos los meses considerados. La figura 1 muestra el correspondiente al mes de setiembre



**Fig. 1: Diagrama de dispersión entre Eto observada y estimada para el mes de setiembre**

De los gráficos restantes se confirma la mayor o menor dispersión comentada. Se incluye solo por razones de espacio el del mes de diciembre en la figura 2.



**Fig. 2: Diagrama de dispersión entre Eto observada y Estimada para el mes de diciembre**

## CONCLUSIONES

- El modelo de PM presenta un buen ajuste para los meses de setiembre, octubre y marzo.
- El período noviembre-febrero presenta menor ajuste en la estimación de Eto, debido en cierto grado a la gran variabilidad climática que afecta la región durante ese período.
- Existe una tendencia a la subestimación de la Eto a partir de los 8 mm.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R. G., Smith, M., Perrier, A., and Pereira, L. S.** (1994<sup>a</sup>). *An update for the definition of reference evapotranspiration*. ICID Bulletin. 43(2). 1-34.
- Allen, R. G., Pereira I., Rades D., Smith M.** (1998) *Crop Evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage paper 56. Rome Italy.
- Berra A.B., y Ciancaglini N.C.** (1979). *Mapas de Evapotranspiración Potencial de la provincia de Mendoza*. Cuaderno Técnico de IADIZA, N° 1, pp.1-27.
- Cicero A.R., Ortega A.M. y Silva D.** (2002). *Boletín Agrometeorológico de Chacras de Coria, 1987 a 2002*, - Publicación permanente de la Cat. de Meteorología Agr. de la Fac. de Cs. Agrarias de la U. N. de Cuyo, Mendoza, Argentina
- Doorenbos, J. and Pruitt, W. O.** (1975). *Guidelines for predicting crop water requirements*, Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 179 p.
- Cuenca y Jensen** (1988). Citado por Allen, R. G., Pereira I., Rades D., Smith M., 1998. FAO Irrigation and Drainage paper 56. Rome Italy.

- Damario E.A. y Cataneo C.L.** (1982). *Evapotranspiración Potencial de la República Argentina*, Rev. de la Fac. de Agronomía, 3 (2): 271-292.
- FAO-CLIM**, *World Wide Agroclimatic Database 2002*, Ed. World Wide Web.
- Ortega A.M., Cicero A.R. y Silva, D.** (2000). *Estadística Meteorológica de Chacras de Coria, Mendoza, Argentina*. Publicación de la Cat. de Meteorología Agr. de la Fac. de Ciencias Agrarias de la U. N. de Cuyo, Mendoza, Argentina.
- Ortiz Maldonado A.** (2001). *Distribución geográfica de los elementos meteorológicos principales y adversidades de Mendoza*. Publicación de Bodegas de Argentina, Ed. Triunfar, 160 pp.
- Pennman H. L.** (1963). *Vegetation and Hydrology*. Technical Communication 53 Commonwealth Bureau of Soils Harpenden. England. 123 pp.
- Sutton, O. G.** (1953). *Micrometeorology*. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York, United States of America. 333p.
- Willmott, C. J.** (1982). *Some Comments on the Evaluation of Model Performance*. Bulletin American Meteorological Society. 63:1309-1313.
- Wright, J. L. and Jensen, M. E.** (1972). *Peak water requirements of crops in southern Idaho*. J. Irrig. and Drain. Div., ASCE 96 (IR1): 193-201.