

ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA CON EL MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH EN BALCARCE

A. I. Della Maggiora (1); J. M. Gardiol (2); A. I. Irigoyen (1) y L. Echarte (1).

(1) Unidad Integrada Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP) - Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce C.C. 276 - (7620) Balcarce, Buenos Aires, Argentina. Tel. (0266)-20313-21039-22040/41/42 FAX: (54)-266-21756.

(2) Departamento de Ciencias de la Atmósfera, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA).

SUMMARY

The objective was compare and calibrate the Penman-Monteith method with the evapotranspiration of an irrigated fescue crop as reference, to verify its aptitude at Balcarce. The fescue evapotranspiration was determined from soil water depletion in 5 - 10 days intervals, obtained with the neutron scattering method. The measurement were realized from November to April of 1991-92, 1992-93, 1993-94. Statistics suggested by Willmott (1982) were calculated to evaluate the performance, with a good behavior for Balcarce conditions, including some advantages compared with Penman (1948)

Key words: reference evapotranspiration, Penman-Monteith method, fescue evapotranspiration

INTRODUCCIÓN

La evapotranspiración (ET) es un componente esencial del balance de agua del suelo y su conocimiento es de gran importancia para diferentes fines, entre ellos, para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, diseño y manejo de sistemas de riego, simulación del rendimiento de los cultivos y estudios hidrológicos.

La adopción del concepto de evapotranspiración de referencia (ET_0) como paso para el cálculo de la ET de los cultivos, propuesto por Doorenbos y Pruitt (1977), ha sido ampliamente aceptado. La ET_0 considera la ET de un cultivo que crece en un ambiente en el cual las ecuaciones de ET se han calibrado y representan las pérdidas de agua en condiciones no limitantes de humedad del suelo (Hatfield, 1990).

Diferentes formas y tipos de ecuaciones se citan en la bibliografía para estimar la evapotranspiración de referencia (ET_0), en general, no son válidas para todas las condiciones climáticas sin una calibración local. Por esta razón es necesario probar los métodos de uso generalizado en cada lugar y si es necesario calibrarlos o desarrollar nuevos métodos para lograr estimaciones más precisas y ajustadas a los valores reales.

Para las condiciones de Balcarce (Pcia. de Bs.As.) se han evaluado 4 métodos de estimación de ET_0 para intervalos entre 5-10 días, de los cuales el de Penman (1948) resultó el más adecuado (Della Maggiora, 1996). Sin embargo no se incluyó en dicha evaluación el método de Penman-Monteith, el cual ha sido recomendado por los revisores de las guías para determinar los requerimientos de agua de los cultivos de la FAO (Pereira y Smith, 1989; Smith et al., 1991 citados por Allen et al., 1994) como el método de ET_0 primario para la definición de la evapotranspiración del cultivo de referencia y para la determinación de los coeficientes de cultivo.

Con la finalidad de comprobar la aptitud de este método para las condiciones de Balcarce se planteó como objetivos del presente trabajo: a) verificar el ajuste del método de Penman-Monteith, utilizado como patrón la evapotranspiración de un cultivo de fescua regado, b) comparar su performance con el de Penman (1948).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las observaciones meteorológicas y las mediciones de campo se realizaron en la Unidad Integrada Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP - Estación Experimental Agropecuaria (INTA) de la localidad de

Balcarce, Pcia. de Buenos Aires (-37.75° de latitud y -58.3° de longitud).

Se utilizó como patrón para evaluar los métodos de estimación de ETo, la evapotranspiración de un cultivo de festuca (ET_{Festuca}) bajo riego. La cual se determinó a partir de mediciones de humedad de suelo en cinco sitios dentro de un lote con festuca de 60 x 90 m, empleando la siguiente expresión (Jensen, 1973):

$$ET_{Festuca} = (\sum (\theta_1 - \theta_2)_i \Delta S_i + P + R - D) / \Delta t \quad (1)$$

siendo ET_{Festuca} = (∑ (θ₁-θ₂)_i ΔS_i+ P + R - D) / Δt (1) volumétricos en la primera y segunda fecha de la serie consecutiva de muestreos respectivamente [m³.m⁻³], ΔS es el espesor de cada capa de suelo, [mm], R es el riego [mm], medido con pluviómetros ubicados al lado de cada tubo de acceso; P es la precipitación [mm], medida en el pluviómetro tipo "B", D es el drenaje, [mm], calculado como:

$$D = LA - L_{max} \quad (2)$$

cuando la LA (lámina actual) fue mayor que el L_{max} (límite máximo de almacenaje de agua del suelo).

Para la determinación del contenido de agua del suelo se empleó el método gravimétrico en los primeros 0.1 m de profundidad, expresando los valores obtenidos como humedad en volumen (θ), [m³ m⁻³]), según la siguiente ecuación:

$$\theta = h_p \cdot r_s \cdot 1/r_{ag} \quad (3)$$

siendo h_p la humedad en peso, [kg kg⁻¹], r_s la densidad aparente del suelo, [kg.m⁻³] y r_{ag} la densidad del agua, [kg.m⁻³].

Entre los 0.1 y 1.8 m de profundidad se realizaron mediciones con sonda de neutrones y los resultados se expresaron en humedad volumétrica de acuerdo a la siguiente ecuación de calibración (Suero y Travasso, 1988):

$$\theta = (0.3563 L/S) - 0.056 \quad (4)$$

siendo L = número de cuentas y S = valor estándar. La lámina de agua (LA), [mm] se obtuvo a partir de los datos calculados en (3) y (4) según:

$$LA = \theta \cdot \Delta S_i \cdot 1000 \quad (5)$$

siendo 1000 un factor para convertir unidades [mm. m⁻¹].

El contenido de humedad del suelo se determinó en intervalos entre 5 y 10 días y las mediciones se realizaron cada 20 cm hasta 180 cm de profundidad. La ET_{Festuca} se calculó a través de la expresión (1) con los valores de lámina de agua acumulada hasta 120 cm de profundidad en cada punto de medición. En esta capa se produjo el 90 % de la variación de almacenaje de agua.

La ET_{Festuca} utilizada en cada intervalo resultó del valor promedio de las cinco determinaciones.

El período de medición comprendió tres temporadas primavera-estivales (1991-92, 1992-93 y 1993-94) de las cuales se utilizaron 39 datos correspondientes a períodos alejados de lluvias o riegos. En esos períodos se calcularon para realizar las comparaciones, los valores promedio diarios de ET calculados con los métodos de Penman-Monteith y de Penman (1948).

Se utilizó la ecuación de Penman-Monteith-FAO (Allen et al., 1994), la cual considera un cultivo de referencia hipotético con una altura de 0.12 m, con una resistencia estomática de 70 s.m⁻¹ y un albedo de 0.23 expresada de la siguiente forma:

$$ET_{P-M} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{890}{T + 273} u(e_s - e)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u)} \quad (6)$$

donde: ET_{P-M} se expresa en mm, R_n es la radiación neta, [MJ.m⁻²], G es el flujo de calor en el suelo, [MJ.m⁻²], T es la temperatura del aire a 1.5 m de altura, [°C], e_s-e representa el déficit de presión de vapor del aire a 1.5 m de altura, [Hpa], u₂ es la velocidad del viento a 2 m de altura, [m.s⁻¹], Δ representa la pendiente de la relación temperatura-presión de vapor de saturación,

[KPa.°C⁻¹], γ es la constante psicrométrica, [KPa.°C⁻¹], 890 coeficiente expresado en [kg.K.KJ⁻¹] y 0.34 es el coeficiente de viento, [kg.K.KJ⁻¹].

El método de Penman (1948) se aplicó siguiendo el procedimiento utilizado por el Instituto de Clima y Agua de INTA Castelar, para el cálculo de la ET₀, que se publica en los boletines periódicos de las estaciones agrometeorológicas de acuerdo a la siguiente forma:

$$ET_p = \frac{\Delta}{\gamma + \Delta} \frac{R_n}{L_e} + \frac{\gamma}{\gamma + \Delta} 0.26(1 + 0.54 u)(e_s - e) \quad (7)$$

de onda corta y onda larga. El primero se determinó empleado un albedo de 0.2 y estimando la radiación global a partir de la heliofanía relativa según la expresión de Turc (1961). El balance de onda larga se determinó empleando la ecuación de Brunt (1934) citado por Chang (1977).

Para evaluar el ajuste se utilizaron gráficos de dispersión y los estadísticos sugeridos por Willmott, 1982.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la Figura 1 se puede observar que tanto el método de Penman-Monteith como el de Penman (1948), mostraron un patrón bastante similar, con un ordenamiento de los puntos a ambos lados de la recta ideal (1:1). El último presentó una mayor dispersión, especialmente para los valores que subestiman a la ET festuca.

En el Cuadro 1 se presentan los estadísticos sugeridos por Willmott (1982) para evaluar el ajuste de los modelos de predicción. Estos índices cuantitativos apoyan la interpretación realizada desde los gráficos. La evapotranspiración media para el cultivo de festuca (ET_{Festuca}) fue de 3.9 mm.d⁻¹ para los intervalos de 5 a 10 días durante los tres periodos primavera-estival considerados en este estudio. La ET media obtenida por los métodos de Penman-Monteith y de Penman (1948) resultaron 3 y 5 % inferiores a la media de la ET_{Festuca}, respectivamente.

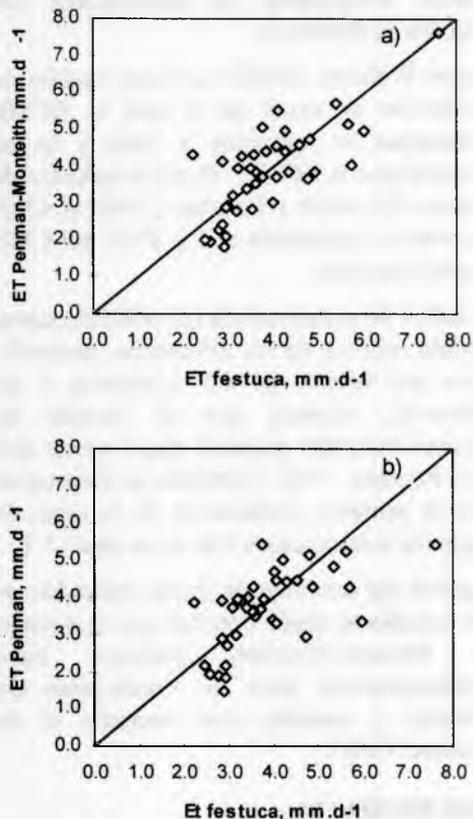


Figura 1: Relación entre la evapotranspiración estimada por el método de Penman-Monteith a) y Penman, 1948 b) con la ET del cultivo de festuca.

Los índices de las diferencias entre los valores estimados y de referencia representados a través del error absoluto medio (EAM) y la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RCME), presentaron valores más bajos a partir de las estimaciones con el método de Penman-Monteith, las cuales resultaron en base a la RCME 0.15 mm.d⁻¹ más ajustadas a la ET_{Festuca} que las estimaciones del método de Penman (1948).

El error de estimación de 0.79 mm.d⁻¹ de RCME hallado en este trabajo con el método de Penman-Monteith, resulta ligeramente más elevado que los errores estándar obtenidos por Jensen et al. (1990) de 0.77 mm.d⁻¹ para intervalos diarios y de 0.78 mm.d⁻¹ informados por Allen y Fisher (1990)

cuando compararon las estimaciones con medidas de lisímetros.

Según Willmott (1982) un buen modelo de predicción es aquél en el cual la RCME sistemática se aproxima a cero y la no sistemática a la RCME. Para los métodos de Penman-Monteith y Penman (1948) el CME sistemático representó el 7 y 29 % del CME respectivamente.

El índice de concordancia (d) utilizado como medida relativa de las diferencias promedio entre los valores de ET estimados y de referencia, muestra que el método de Penman-Monteith presentó mejor ajuste que el de Penman, 1948. Asimismo se observaron para el primero, coeficientes de la recta de regresión más cercanos a la recta ideal (1 1)

A partir del conjunto de datos utilizados en este estudio se puede concluir que el método de Penman-Monteith presenta buen comportamiento para las condiciones de Balcarce y ventajas con respecto al de Penman (1948)

BIBLIOGRAFÍA

ALLEN, R.G. and D.K. FISHER. 1990. Low cost electronic weighing lysimeter. *Trans. ASAE* 33(6):1823-1833.

ALLEN, R.G., M.E. JENSEN, J.L. WRIGHT and R.D. BURMAN. 1989. Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agron. J.* 81:650-662.

ALLEN, R.G.; M. SMITH; A. PERRIER and L.S. PEREIRA. 1994. Updated reference evapotranspiration definition and calculation procedures. Revision of FAO methodologies for crop water requirements. 36 p.

CHANG, J.1977. *Cimate and Agriculture*. Aldine publishing Company. Chicago. 304 p.

DELLA MAGGIORA, A. 1996. Estimación de la evapotranspiración. Aplicación para la programación de riego en el cultivo de papa. Tesis magister Scientiae. Fac. Ciencias. Agrarias. UNMdP. 115 p.

HATFIELD, J.L.1990. Methods of estimating evapotranspiration. In B.A. Stewart and D.R. Nielsen (eds.). *Irrigation of agricultural crops*. Agronomy N° 30 ASA, CSSA and SSSA. Wisconsin. USA pp. 435-475.

JENSEN, M.E., R.D. BURMAN, and R.G. ALLEN. 1990. *ASCE Manuals and reports on Engineering Practices* N° 70. Am. Soc. Civil Engrs. New York. 442 p.

PENMAN, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. London Proc. Ser. A.* 193: 120-146.

STEWART, J. 1983. A discussion on the relationship between the principal forms of the combination equation for estimating evapotranspiration. *Agric. Meteorol.* 30:111-127.

SUERO, E.E. y M.I. TRAVASSO. 1988. Determinación de humedad y densidad de suelos. Métodos de radiación. XII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Corrientes.

WILLMOTT, J.C. 1982. Some comments on evaluation of model performance. *Am. Meteorol. Soc.* 63:1309-1313.

Cuadro 1: Medidas estadísticas para evaluar el ajuste de los métodos de estimación de ET.

	ET _x	S	EAM	RCME	RCME _s	RCME _{ns}	a	b	d
ET _{Festuca}	3.9	1.1							
ET _{Penman-Monteith}	3.8	1.2	0.62	0.79	0.21	0.76	0.7	0.81	0.87
ET _{Penman (1948)}	3.7	1.0	0.72	0.94	0.51	0.82	1.48	0.58	0.78

ET_x = evapotranspiración media, S = desvío estándar de la media.

EAM = error absoluto medio, RCME = raíz cuadrada del cuadrado medio del error

RCME_s = RCME sistemático, RCME_{ns} = RCME no sistemático

d = índice de concordancia, a y b = coeficientes de la recta de regresión.

Los parámetros b y d no tienen unidades, los restantes se expresan en mm.d⁻¹.

Trabajo subsidiado por: Universidad Nacional de Mar del Plata, Universidad de Buenos Aires y EEA (INTA) Balcarce.