

COMPARACIÓN DE DOS MÉTODOS PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET_0) EN UNA ZONA SEMIÁRIDA DE VENEZUELA

Jorge López¹ y Mike Dennett²

RESUMEN

En la zona semiárida de Quíbor, estado Lara, en la región centro occidental de Venezuela, se estimaron los valores de evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0), concepto básico en el manejo del agua y la planificación del riego. Se utilizaron los métodos de Penman-Monteith y la tina de evaporación, sobre la base de datos climáticos de registro diario y decadal. Las estimaciones con ambos métodos en dos períodos (abril-julio y julio-noviembre, 2001) fueron comparadas y presentaron una correlación mayor a 75 y 80 % en cada caso respectivo. Los valores de ET_0 fueron muy similares para ambos métodos en el primer período, mientras que en el segundo los resultados de ET_0 fueron mayores para el método de la tina de evaporación. Al comparar los valores calculados del coeficiente de tina (K_p) con los valores tabulados se observó que en el primer período ambos K_p fueron similares, mientras que en el segundo período el K_p tabulado fue mayor que el K_p calculado. Los valores de K_p tabulados estuvieron relacionados con valores diferentes de velocidad del viento en cada época del año.

Palabras clave adicionales: Evaporación, Penman-Monteith, cultivo de referencia

ABSTRACT

Comparison of two methods for ET_0 calculation in the semiarid tropic of Venezuela

In the semiarid region of Quíbor, Lara State, in the central west zone of Venezuela, values of reference crop evapotranspiration (ET_0) were estimated, as a basic concept on water management and irrigation planning. The Penman-Monteith and pan evaporation methods were used on the basis of daily and ten day periods of climatic data. The estimations with both methods in periods one (April-July) and two (July-November) in the year 2001 were compared and showed a correlation higher than 75 and 80 %, respectively. The values of ET_0 were very similar in the first period while in the second period the ET_0 from pan evaporation method was higher. When comparing calculated and tabulated K_p values, it was observed that in the first period both K_p were similar, while in the second period the tabulated K_p was higher than the calculated K_p . The values of tabulated K_p table were associated to different values of wind speed in each of the two studied periods of the year.

Additional key words: Evaporation, Penman-Monteith equation, reference crop

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han realizado estudios de comparación entre métodos diferentes para estimar la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0) (Pire et al., 1998; Casa et al., 2000; Beyazgull et al., 2000). Así mismo, se han efectuado comparaciones con mediciones de campo (Malek, 1987; Allen et al., 1989) con el fin de decidir acerca de procedimientos prácticos y precisos para la estimación de ET_0 sobre la base de información climática; todo ello orientado a

obtener metodologías viables que mejoren el conocimiento de la demanda de riego en sistemas agrícolas.

En la zona semiárida de Quíbor, estado Lara, la demanda de riego ha sido usualmente estimada usando los registros de evaporación. También, en algunos estudios, han sido reportadas mediciones con lisímetros en el campo (CIDIAT, 1994; García, 2002).

Las limitaciones en cuanto a disponibilidad de registros completos de evaporación en toda la zona y la posible sobre estimación del método de

Recibido: Julio 23, 2004

Aceptado: Abril 29, 2005

¹ Dpto. Ingeniería Agrícola. Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Apdo. 400. Barquisimeto, Venezuela. e-mail: jorliam@yahoo.es

² Universidad de Reading, UK. e-mail: m.d.dennett@reading.ac.uk

la tina de evaporación (Pereira et al., 1995) resulta en estimaciones de evapotranspiración que pueden desviarse considerablemente de la realidad.

El objetivo de este trabajo fue comparar los resultados obtenidos de la aplicación de los dos métodos más usados en Venezuela para el cálculo diario y decadal de ET_0 en condiciones semiáridas. Así mismo se compararon los valores diarios calculados de coeficiente de tina (K_p) y los tabulados según Doorenbos y Pruitt (1997).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en la zona de Quíbor, estado Lara, a $9^{\circ} 56' 19''$ N y altitud de 700 msnm. El área es de topografía plana y relativamente homogénea en cuanto a condiciones climáticas. Los suelos son calcáreos, pesados, con textura arcillo limosa.

Para el cálculo de la ET_0 se utilizaron dos períodos cuya duración fue de 111 días en cada caso. Los dos períodos se desarrollaron entre abril y julio (Período 1) y de julio a noviembre (Período 2) del año 2001. Las estimaciones de ET_0 fueron hechas usando datos diarios y decadales (períodos de diez días consecutivos) para ambos métodos.

Se llevó el registro de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar a 2 m de altura sobre el suelo, en una estación meteorológica automatizada (CR10X. Campbell Scientific), mientras que los registros de horas de brillo solar, lluvia y evaporación fueron hechos con instrumentos analógicos. Durante ambos períodos, la evaporación de tina fue medida a las 8:00 horas, sumando a este valor el registro de lluvia en los días con precipitación. En aquellos días en que las lecturas de tina fueron consideradas muy bajas (evaporación $< ET_0$ según Penman-Monteith) o muy elevadas ($> 12 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$, en comparación con los datos históricos de la zona) las mismas no se tomaron en cuenta para los cálculos.

La ET_0 diaria y decadal fue calculada usando los métodos de Penman-Monteith y de la tina de evaporación (FAO, 1990).

Para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia usando la ecuación Penman-Monteith se utilizaron promedios diarios y

decadales de velocidad de viento, temperatura y radiación solar, registrados en la estación automatizada. La insolación fue medida usando un heliofanógrafo y la mayor parte de los registros de horas de brillo solar fueron utilizados para estimar la radiación neta de onda larga incluida en la ecuación de Penman-Monteith. Los valores de radiación solar, durante el lapso 19-25 de abril del 2001 fueron estimados usando la ecuación de Ångström (FAO, 1990) que incluye datos de insolación diaria. Esto debido a datos faltantes de radiación en el registro del piranómetro durante ese lapso de tiempo.

Para el cálculo de ET_0 con el método de la tina de evaporación fue usado un coeficiente de tina diario (K_p tabulado) derivado del valor promedio de la velocidad del viento y la humedad relativa así como la condición del sitio donde se localizó la tina de evaporación en términos de distancia con respecto a zonas cultivadas, según la tabla presentada por Doorenbos y Pruitt (1997). Se utilizaron valores de 100 y 10 m de distancia entre el sitio de tina y el área cultivada en el período 1 y 2, respectivamente.

Por otra parte, se calcularon los valores de K_p diarios usando el cociente de la ET_0 diaria, obtenida ésta con la ecuación de Penman-Monteith y dividida por los valores diarios de evaporación durante cada período, y fueron luego comparados con los K_p tabulados (Doorenbos y Pruitt, 1997; Allen et al., 1998). La comparación de los valores de K_p se hizo mediante la ubicación de los pares de valores en un eje de coordenadas x, y, donde se trazó una línea recta de origen 0,0 representativa de la relación 1:1 entre las variables comparadas. Este método, propuesto por Pereira et al. (1995) para la misma comparación, permite conocer si existe sobreestimación o subestimación del valor de K_p según los puntos se ubiquen a un lado u otro de la línea.

El análisis de la información correspondiente a los valores de ET_0 se hizo mediante una regresión lineal simple entre los valores calculados por la ecuación de Penman-Monteith y el método de la tina respectivamente.

RESULTADOS

En el primer período (abril-julio) los valores diarios de ET_0 calculados por los métodos de Penman-Monteith y tina de evaporación muestran un coeficiente de correlación de 0,75 significativo

estadísticamente (Figura 1). El coeficiente de tina (K_p tabulado) varió entre 0,60 y 0,75 asumiendo una superficie de suelo desnudo, una distancia al área cultivada de 100 m en relación al sitio de tina y valores medios de humedad relativa y velocidad del viento de 66 % y $2,97 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente. Los valores totales de ET_0 calculados en este período mostraron una diferencia de 1 mm entre ambos métodos.

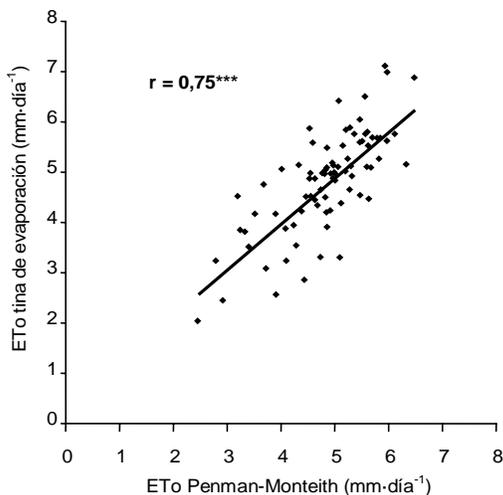


Figura 1. Valores diarios de ET_0 usando los métodos de Penman-Monteith y tina de evaporación en el período 1 (abril-julio 2001).

En el segundo período (julio-noviembre), la comparación entre valores de la ET_0 derivados de los dos métodos mostró una mayor correlación ($r = 0,83$) estadísticamente significativa (Figura 2).

El K_p en este período estuvo entre 0,6 y 0,8, correspondiente a 10 m de distancia entre el sitio de la tina y el área cultivada más cercana y valores medios de humedad relativa y velocidad del viento de 67,5 % y $1,92 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente. En este período los valores totales de ET_0 mostraron un valor superior importante, en la comparación, para las estimaciones del método de la tina.

En el primer período, para la comparación de valores decadales, la diferencia entre los valores de la ET_0 Tina y ET_0 Penman-Monteith estuvo entre -0,17 y 0,55 mm y mostró mayores valores para la ET_0 Penman-Monteith en 63% de los valores (Figura 3).

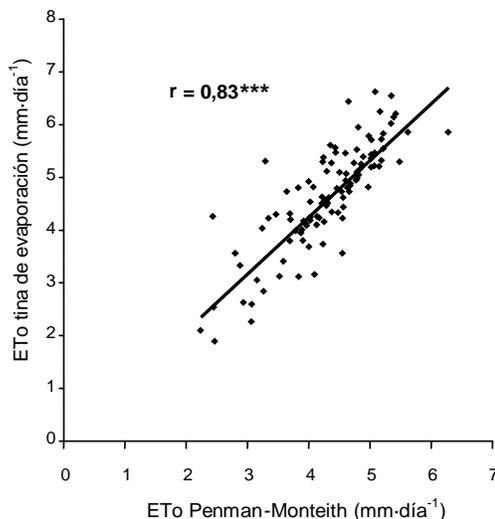


Figura 2. Valores diarios de ET_0 usando los métodos de Penman-Monteith y tina de evaporación en el período 2 (julio-noviembre 2001)

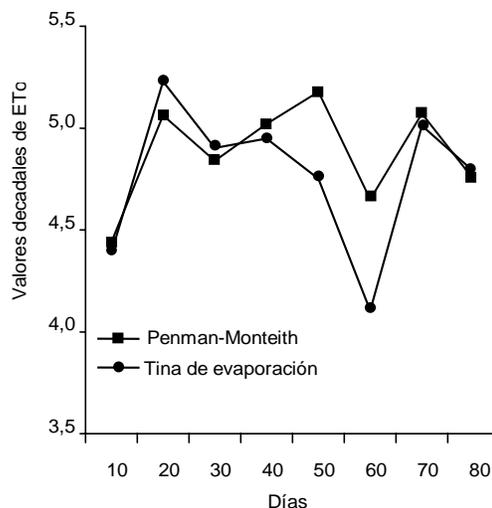


Figura 3. Valores decadales de ET_0 usando los métodos de la tina de evaporación y Penman-Monteith durante el período 1 (abril-julio 2001).

La misma comparación para valores decadales de la ET_0 en el segundo período mostró siempre mayores valores con el método de la tina de evaporación (Figura 4). El patrón seguido por la ET_0 en los dos métodos fue similar durante todo el período y la máxima diferencia entre valores fue de 0,41 mm.

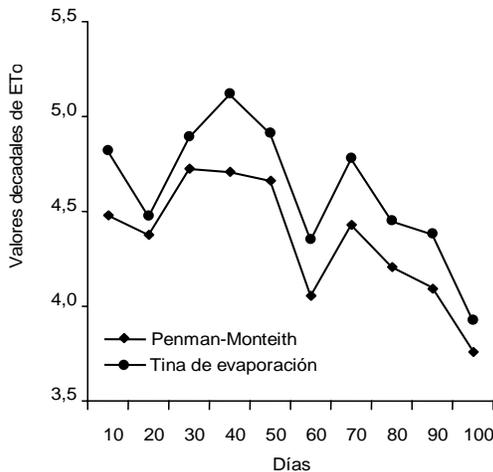


Figura 4. Valores decadales de ET_0 usando los métodos de la tina de evaporación y Penman-Monteith durante el período 2 (julio-noviembre 2001).

La comparación de los valores de K_p calculados y los tabulados según Allen et al. (1998) mostró, para el primer período, una diferencia máxima de $\pm 0,36$ con media de $-0,03$ y desviación estándar de $0,10$. En este período el 52% de los días tuvieron un valor de K_p tabulado mayor que los valores calculados (Figura 5).

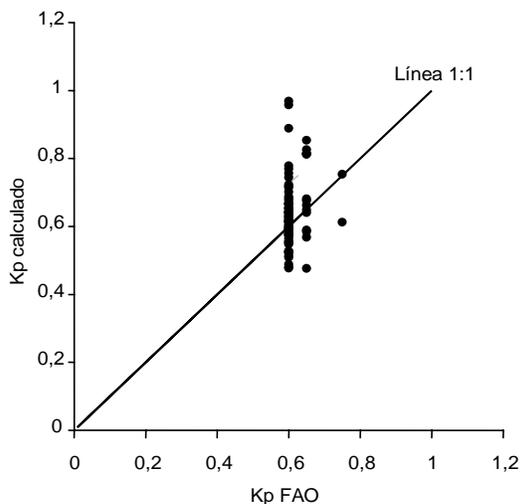


Figura 5. Relación entre el K_p tabulado y el K_p calculado durante el período 1 (abril-julio 2001).

En el segundo período, las diferencias entre los valores de K_p fueron similares al caso anterior con desviación estándar de $0,10$ correspondiente a una diferencia máxima de $\pm 0,33$ y media aritmética de $-0,03$. Sin embargo, el K_p tabulado

fue mayor que el calculado en el 70 % de los casos (Figura 6).

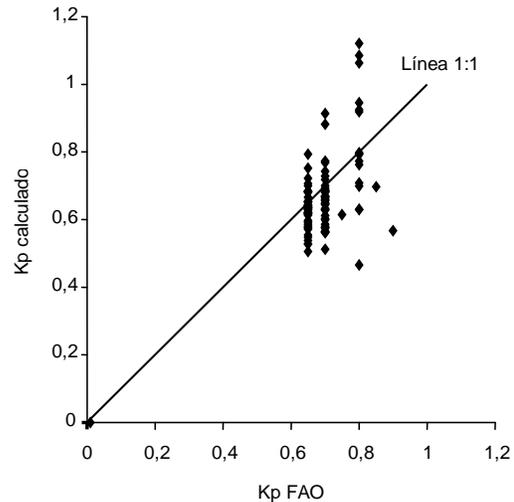


Figura 6. Relación entre K_p tabulado y K_p calculado durante el período 2 (julio-noviembre 2001).

DISCUSIÓN

En ambos períodos, durante algunos días en que se registró la precipitación, los valores diarios de evaporación de tina fueron menores que los de ET_0 calculados con la ecuación Penman-Monteith. Esto supone una subestimación de los valores de evaporación diaria así como de las estimaciones de ET_0 correspondientes al método de la tina. Dicha subestimación ha sido también señalada por Cohen et al. (2002) quienes la atribuyen al efecto de salpique del agua desde la tina hacia el suelo, en días con lluvia.

Durante el primer período, se observó un mayor porcentaje de días con valores mayores de ET_0 para las estimaciones con la ecuación de Penman-Monteith. Sin embargo, dicha diferencia entre valores totales calculados de ET_0 en el primer período fue de sólo 1 mm y no sugiere diferencias importantes entre los resultados con ambos métodos.

En el segundo período, entre julio y primeros días de noviembre de 2001, los cálculos diarios de ET_0 mostraron valores mayores en el 70 % del total de los días del período para el método de la tina de evaporación, en relación a la ET_0 obtenida con la ecuación de Penman-Monteith. La diferencia promedio mensual entre los valores

obtenidos con ambos métodos alcanzó 8,6 mm mientras que la diferencia total entre valores para todo el período fue de 27,9 mm, lo que coincide con la sobre estimación citada por Pereira et al. (1995) y Pire et al. (1998) para valores de ET_0 obtenidos con el método de la tina de evaporación.

Tomando en cuenta el valor de correlación mayor a 74 % obtenido entre los valores diarios de ET_0 usando ambos métodos, podría sugerirse el uso del método de la tina de evaporación siempre que exista confiabilidad en el registro de datos climáticos y mantenimiento del sitio de la tina, como señalan Alves et al. (1998) y Stanhill (2002).

Finalmente, en la comparación entre los valores de K_p tabulados y los calculados se apreció la generalidad de la tabla presentada por Doorenbos y Pruitt (1977) para la estimación de K_p , al presentar un valor único correspondiente a un rango amplio de valores calculados, situación que fue reportada por Pereira et al. (1995) y constituye una de las debilidades de la mencionada tabla. Así mismo, aunque la sobreestimación de los valores de ET_0 por el método de la tina se evidenció mayormente en el segundo período, la correlación entre los valores de ET_0 de los métodos de tina y Penman-Monteith también fue mayor durante ese período. Esto fue debido a la sobrestimación de los valores de K_p tabulados durante el segundo período, en el lapso julio-noviembre, lo cual se relacionó con valores de velocidad de viento menores a los registrados en el primer período, entre marzo y julio ($1,9 \pm 0,34$ vs. $3,0 \pm 0,51$ $m \cdot s^{-1}$). Con valores menores al valor crítico tabulado de $2 m \cdot s^{-1}$ en el segundo período, los valores de K_p tabulados fueron mayores, mientras que en el primer período los valores de velocidad de viento mayores a $2 m \cdot s^{-1}$ determinaron menores valores de K_p . La influencia del viento como factor importante en el valor del K_p tabulado ha sido mencionada por Pereira et al. (1995), quienes mostraron la relación entre los bajos valores de velocidad de viento y los mayores valores de K_p tabulados.

CONCLUSIONES

La comparación entre los métodos para el cálculo de ET_0 , usando datos climáticos, mostró correlación significativa entre los valores en los dos períodos.

Existió una sobreestimación de la ET_0 calculada por el método de la tina en la segunda mitad del año, la cual estuvo relacionada con valores altos de los K_p tabulados, y éstos a su vez, asociados con valores bajos de la velocidad del viento.

LITERATURA CITADA

1. Allen, R. G., M. E. Jensen, J. L. Wright, y R. D. Burman, 1989 Operational estimates of reference evapotranspiration. *Journal of Agronomy* 81: 650-662.
2. Allen, R.G., L. Pereira, D. Raes y M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage paper No. 56, FAO, Rome, Italy, 300 p.
3. Alves, L., A. Perrier y L. Pereira, 1998. Aerodynamic and surface resistances of complete cover crops: How good is the big leaf. *American Society of Agricultural Engineers* 41: 345-351.
4. Beyazgul, M., Y. Kayam y F. Engelsman, 2000. Estimation methods for crop water requirements in the Gediz Basin of Western Turkey. *Journal of Hydrology* 299: 19-26.
5. Casa, R., G. Russell y B. Locascio, 2000. Estimation of evapotranspiration from a field of linseed in central Italy. *Agricultural and Forest Meteorology* 104: 289-301.
6. CIDIAT. 1994. Evaluación de métodos de riego en el Valle de Quíbor. Sistema Hidráulico Yacambú-Quíbor. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela. 149 p.
7. Cohen, S., A. Ianzetz, y G. Stanhill, 2002. Evaporative climate at Bet Dagan, Israel, 1964-1998. *Agricultural and Forest Meteorology* 111: 83-91.
8. Doorenbos, J. y W. O. Pruitt. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage. Paper 24. Roma. 194 p.
9. FAO. 1990. Report on the expert consultation

- of FAO guidelines for prediction of crop water requirements. Land and Water Development Division. Roma. 37 p.
10. García, Y. 2002. Determinación del requerimiento hídrico de la cebolla (*Allium cepa* L.) en condiciones edafoclimáticas del valle de Quíbor, Edo. Lara. Tesis. CIDIAT. Mérida. Venezuela. 67 p.
 11. Malek, E. 1987. Comparison of alternative methods for estimating ET_p and evaluation of advection in the Bajgab area of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology* 39: 185-192.
 12. Pereira, R., N. Villa Nova, A. Soares y V. Barbieri. 1995. A model for the class A pan coefficient. *Agricultural and Forest Meteorology* 76: 75-82.
 13. Pire, R., J. López, y R. Rodríguez, 1998. Evapotranspiración de la grama San Agustín (*Stenotaphrum secundatum*) en la zona de Tarabana, estado Lara. 44° Ann. Meeting Interamer. Soc. Trop. Horticulture. Barquisimeto, Venezuela. Abstract p. A-2.
 14. Stanhill, G. 2002. Is the class a evaporation Pan still the most practical and accurate meteorological method for determining irrigation water requirements? *Agricultural and Forest Meteorology* 112: 233-236.