

ARTÍCULO ORIGINAL

Coeficiente de evaporímetro para la programación del riego

Coefficient of pan evaporimeter for the irrigation scheduling

Camilo Bonet Pérez¹; Oscar Brown Manrique² y Carmen Duarte Díaz³

RESUMEN. En el uso del evaporímetro como método para la programación durante la operación de los sistemas de riego se ha logrado gran experiencia en Cuba debido a su sencillez y factibilidad de aplicación en las condiciones de la producción; los más recientes estudios sobre la evapotranspiración de los cultivos recomiendan la aplicación del método basado en la evapotranspiración de referencia (ET_o), la cual se obtiene a partir de una fórmula sugerida por expertos de la FAO y elaborada por Penman-Monteith, sin embargo, se considera que el método del evaporímetro es aceptable para el cálculo de la evapotranspiración de referencia siempre que se utilice en condiciones apropiadas. El empleo del método del evaporímetro implica la determinación de un coeficiente de evaporímetro (K_p), el cual es valorado a partir de la información disponible sobre la evapotranspiración de referencia (ET_o) estudiada por el Instituto de Meteorología y la evaporación de evaporímetro (E_{pan}) medida en condiciones experimentales durante el estudio de la evapotranspiración del cultivo de la piña; asimismo, se estudia también el coeficiente de evaporímetro con el empleo de la metodología sugerida por la FAO en base a las condiciones de instalación del evaporímetro, la humedad relativa y la velocidad del viento; como resultado del estudio por ambas vías se obtienen valores de K_p que difieren entre sí, sugiriéndose el empleo de los valores obtenidos con el empleo de la información de ET_o ya conocida, los cuales resultaron de 0,58 para el período seco y 0,65 para el período húmedo.

Palabras clave: Evaporación, programación del riego, evaporímetro.

ABSTRACT. In the use of pan evaporimeter in the irrigation scheduling during the operation of the irrigation systems great experience has been achieved in Cuba due to its simplicity and application feasibility in the agricultural practice; recent studies related to the crop evapotranspiration have recommended the application of the method based on the reference evapotranspiration (E_{to}), which can be obtained with the use of the formula suggested by experts of the FAO and elaborated by Penman-Monteith, however, it is considered that the method of the pan evaporimeter is acceptable for the calculation of the E_{to} whenever it is used under appropriate conditions. The use of pan evaporimeter method implies the determination of an evaporimeter coefficient (K_p), which is valued starting from the available information about the E_{to} that have been studied by the Meteorology Institute and the evaporation from the pan evaporimeter (E_{pan}) measure under experimental conditions during the study of the pineapple evapotranspiration; it is also studied the K_p using the methodology suggested by FAO according to the installation conditions of the pan evaporimeter, the relative humidity and the speed of the wind; as a result of the study using the two ways, were obtained values of K_p which are different, being suggested the employment of the values which have been obtained using the information of E_{to} precedent, this values were 0,58 for dry season and 0,65 for rain season.

Keywords: Evaporation, irrigation scheduling, pan evaporimeter.

INTRODUCCIÓN

El uso del evaporímetro clase A adquiere un gran impulso como método para la determinación del momento de riego de

los cultivos agrícolas en Cuba a partir de la década del 70, como base de lo que entonces se llamó el pronóstico de riego por el método bioclimático. El principio de dicho método se basó en la relación entre la evaporación de un evaporímetro

Recibido 25/10/10, aprobado 30/01/12, trabajo 04/12,

¹ M.Sc., Investigador, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric Carretera de Fontanar, km. 2½, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba, Teléf.: (53) (7) 645-1731 y 645-1353, e-mail.: camilo@eimanet.co.cu

² Dr.C. Profesor Titular, Universidad de Ciego de Ávila. Provincia Ciego de Ávila, Cuba.

³ Dr.C. Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola.

y la evapotranspiración del cultivo a través de un coeficiente llamado coeficiente bioclimático, característico para cada cultivo y fase de desarrollo.

La fundamentación del método estuvo basada en el hecho de que las variables climáticas que actúan sobre la evapotranspiración del cultivo (temperatura, velocidad del viento, radiación solar, humedad relativa), lo hacen también sobre una superficie libre de agua, de manera que si puede establecerse la relación entre ambos factores mediante un coeficiente, puede entonces utilizarse la información obtenida mediante la evaporación para pronosticar la evapotranspiración del cultivo (Doorenbos & Kassan, 1979).

Estudios realizados en Cuba por Rey *et al.* (1979) permitieron comprobar que el método del evaporímetro se ajustaba mejor a nuestras condiciones climáticas que otros métodos empíricos.

Los resultados obtenidos en la explotación de los sistemas de riego durante muchos años dieron la razón a los autores del referido trabajo, el método resultó suficientemente práctico para ser introducido en las condiciones de nuestras unidades productivas.

Estudios realizados en distintos países condujeron a la recomendación por la FAO del método de Penman modificado para el cálculo de la evapotranspiración (Doorenbos & Pruitt, 1975), sin embargo, por su sencillez y factibilidad de aplicación, en la práctica productiva el método del evaporímetro siguió contando con la atención preferente de los especialistas vinculados a la explotación de los sistemas de riego en nuestro país.

Los avances en las investigaciones y la disponibilidad de cálculos más precisos sobre el uso del agua por los cultivos han indicado la necesidad de actualizar las metodologías para el cálculo de la evapotranspiración de los cultivos. En consulta de expertos realizada por la FAO en 1990 (Allen *et al.*, 2006). Se encontró que el método de Penman modificado producía sobreestimaciones del valor de la evapotranspiración, mientras otros métodos recomendados por la FAO, como los métodos de radiación, Blaney-Criddle y el método del tanque evaporímetro, mostraron una correspondencia variable con respecto a la evapotranspiración de un cultivo de referencia (Allen *et al.*, 2006).

El panel de expertos recomendó la adopción del método combinado Penman-Monteith como el nuevo procedimiento estándar para la determinación de la evapotranspiración de referencia. Respecto al método basado en el tanque evaporímetro, los expertos de la FAO plantean que aunque responde de una manera similar a las mismas variables climáticas que afectan la transpiración del cultivo, varios factores producen diferencias significativas en la pérdida de agua de una superficie libre evaporante y de una superficie cultivada, sin embargo, a pesar de la diferencia en los procesos ligados a la evaporación del tanque y la evapotranspiración de superficies cultivadas, la FAO considera que el uso de la evaporación del tanque para predecir la evapotranspiración de referencia para períodos de 10 días puede ser considerado confiable si se usa correctamente (Allen *et al.*, 2006).

Considerando la experiencia acumulada en nuestro país en el uso del tanque evaporímetro como método para la programación del riego, así como la sencillez de su empleo, resulta apropiada su utilización en aquellos casos en los cuales sea posible determinar los correspondientes coeficientes de tanque (Kp).

En la provincia de Ciego de Ávila se han realizado estudios que brindan la información decenal de la evaporación de evaporímetro, medida durante la evaluación de la evapotranspiración del cultivo de la piña (Bonet *et al.*, 2008). El cultivo de la piña posee una baja E_{Tc} por sus características morfológicas y fisiológicas pero utiliza muy eficientemente el agua que consume (Py *et al.*, 1987; Bartholomew *et al.*, 2002; Bartholomew *et al.*, 2003).

A partir de lo antes expuesto, se propuso el siguiente objetivo:

Determinar los coeficientes de evaporímetro (Kp) para su utilización en la programación del riego del cultivo de la piña en Ciego de Ávila.

MÉTODOS

Determinación del coeficiente de evaporímetro (Kp) a partir de los estudios precedentes sobre la evapotranspiración de referencia (E_{To}) y la evaporación medida en tanque evaporímetro (E_{pan})

La evaporación del tanque evaporímetro está relacionada con la evapotranspiración de referencia (E_{To}) por un coeficiente empírico derivado del mismo tanque:

$$E_{To} = E_{pan} \cdot K_p \quad (1)$$

donde:

E_{pan} -Evaporación del tanque evaporímetro (mm·d⁻¹);
K_p-Coeficiente del tanque evaporímetro.

A partir de estudios del Instituto de Meteorología realizados por Solano *et al.* (2003) se dispone de la información de la E_{To} decenal para el período experimental (1984–1987) y los valores de evaporación decenales medidos en tanque evaporímetro clase A durante la realización del estudio de la E_{Tc} del cultivo de la piña (Bonet *et al.*, 2008).

A partir de estos valores se determina el coeficiente de evaporímetro (Kp):

$$K_p = E_{To}/E_{pan} \quad (2)$$

Los coeficientes así obtenidos pueden ser establecidos para los períodos seco y húmedo característicos de nuestro país.

Determinación del coeficiente de evaporímetro (Kp) según la metodología FAO (Allen *et al.*, 2006)

Existen dos casos posibles de localización del tanque evaporímetro, según esté rodeado de cultivo o de suelo desnudo (Allen *et al.*, 2006).

En el presente estudio se utilizó el primer caso, determinándose K_p a partir de: (Allen *et al.*, 2006).

$$K_p = 0,108 - 0,0286U_2 + 0,0422 \ln(\text{BORDE}) + 0,1434 \ln(\text{HR}_m) - 0,000631 [\ln(\text{BORDE})]^2 \ln(\text{HR}_m) \quad (3)$$

donde:

- U_2 - velocidad del viento a 2 m de altura ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$);
- BORDE - distancia del cultivo a barlovento (m);
- HR_m - humedad relativa media (%).

La información sobre las variables climáticas se muestra en la Tabla 2.

En este caso la información disponible sobre la velocidad del viento está referida a la altura de 1,5 m, por lo cual se hará el correspondiente ajuste para 2 m de altura utilizando la expresión: (Allen *et al.*, 2006).

$$U_2 = U_z \frac{4,87}{\ln(67,8Z - 5,42)} \quad (4)$$

donde:

- U_z - velocidad del viento a una altura determinada ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$);
- Z - altura a la cual se midió la velocidad del viento (m).

Los resultados obtenidos por ambas vías serán comparados y valorados para asumir los valores apropiados para nuestras condiciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Coefficiente de evaporímetro (K_p) a partir de estudios precedentes de E_{To} y E_{pan} .

La tasa evaporativa de los tanques de evaporación llenos de agua puede ser fácilmente obtenida. Los tanques propor-

cionan una medida del efecto integrado de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo de una superficie abierta de agua.

Aunque el tanque evaporímetro responde de una manera similar a los mismos factores climáticos que afectan la transpiración del cultivo, varios factores producen diferencias significativas en la pérdida de agua de una superficie libre evaporante y de una superficie cultivada. A pesar de ello, el uso de la evaporación para predecir la evapotranspiración para períodos de 10 días puede ser considerado confiable si se usa correctamente (Allen *et al.*, 2006).

Los valores decenales de E_{To} para el período 1984–1987 en la zona experimental muestran similar tendencia a los valores medios decenales de evaporación medidos en tanque evaporímetro clase A durante la etapa experimental en el mismo período (Tabla 1); esto permite concluir la factibilidad de obtener el coeficiente de evaporímetro (K_p) a partir de la relación entre la E_{To} y la E_{pan} .

Como resultado de la aplicación de esta relación se obtuvieron los siguientes valores de K_p :

- Período seco.....0,58
- Período húmedo.....0,65

Tabla No. 1. Resumen mensual de E_{Tc} , E_{To} y E_{pan} durante el período experimental

MES	1984			1985			1986			1987		
	E_{Tc}	E_{To}	E_{pan}									
Enero	1,55	2,80	5,71	2,74	2,96	5,72	2,54	3,19	5,29	2,55	2,92	5,94
Febrero	1,58	3,09	5,83	2,80	3,56	6,08	2,51	3,37	6,16	2,52	3,56	6,10
Marzo	1,71	4,01	6,28	2,80	4,91	7,45	2,45	4,46	7,30	2,50	4,02	6,51
Abril	2,45	4,78	7,62	2,70	4,75	7,14	2,50	5,66	7,91	2,50	4,99	7,22
Mayo	2,51	4,95	7,70	2,66	4,56	6,93	2,45	4,90	7,85	2,50	6,05	8,03
Junio	2,54	4,41	7,40	2,72	4,80	7,68	2,33	4,56	7,57	2,18	4,97	7,50
Julio	2,68	5,12	7,80	2,21	5,06	7,48	2,29	5,57	7,88			
Agosto	2,72	5,05	7,76	2,35	4,95	7,40	2,35	5,14	7,65			
Septiembre	2,79	3,93	6,46	2,44	4,30	7,01	2,44	4,96	7,32			
Octubre	2,80	4,02	6,60	2,57	4,04	6,13	2,46	4,07	6,84			
Noviembre	2,77	3,00	5,84	2,66	3,29	5,57	2,58	3,78	6,20			
Diciembre	2,85	3,08	5,90	2,56	2,70	5,28	2,78	3,14	5,73			

Coefficiente de evaporímetro (K_p) según metodología FAO

Considerando las condiciones de instalación del evaporímetro utilizado durante el experimento, la metodología FAO (Allen *et al.*, 2006) para la determinación del coeficiente de evaporímetro (K_p) plantea la utilización de la expresión (3).

Los valores de velocidad del viento y humedad relativa media son obtenidos de la información de las variables climáticas durante los años 1984–1987 (Tabla 2), en el caso de la velocidad del viento se hace la correspondiente adecuación de la información disponible en Cuba a 1,5 m de altura para 2 m de altura según se requiere en la expresión (4) recomendada en la publicación FAO–56 (Allen *et al.*, 2006).

TABLA 2. Variables climáticas durante el periodo experimental

Humedad relativa media (%)												
Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1984	85	81	78	74	75	81	79	79	85	81	79	78
1985	77	72	70	72	77	77	79	81	85	83	82	86
1986	79	75	74	66	76	83	76	81	79	82	82	80
1987	77	75	78	66	70	77	77	78	84	86	84	82

Velocidad media del viento (km·h ⁻¹)												
Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1984	7,8	8,7	9,9	10,1	7,8	12,2	11,6	11,0	7,3	10,7	10,2	13,1
1985	10,2	17,0	18,5	15,7	10,3	6,6	8,5	7,2	7,1	8,1	10,4	8,3
1986	12,2	8,7	12,5	14,0	12,7	7,6	8,2	11,0	11,2	9,8	12,9	7,1
1987	10,7	15,1	13,1	13,9	14,8	11,4	12,3	9,1	4,9	9,8	11,8	13,7

Fuente: INSMET-CITMA, Estación Ciego de Ávila: 78346

En este caso se tiene:

- $Z = 1,5 \text{ m}$;
- $U_z = 2,97 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

La longitud del "BORDE" se estableció según las condiciones de la instalación del evaporímetro.

Los valores resultaron entonces:

- $HR_m = 78,4\%$;
- $U_2 = 3,21 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- BORDE = 100 m;
- Con los cuales se obtuvo un $K_p = 0,78$.

Plantea la publicación FAO-56 (Allen *et al.*, 2006): "El uso de las ecuaciones (FAO-56) puede no ser suficiente para incluir todos los factores ambientales locales que influyen sobre el valor de K_p y puede requerirse un ajuste local, para ello se recomienda realizar una adecuada calibración de E_{pan} con relación a la ETo calculada con el método FAO Penman-Monteith".

Los resultados obtenidos con la información de ETo y E_{pan} en el área de estudio difieren significativamente del valor de $K_p = 0,78$ obtenido por la fórmula recomendada por FAO (Allen *et al.*, 2006), así como de los valores obtenidos por Ber-

nal (1983), en el sur de la Habana que fueron de:

- Período seco.....0,83;
- Período húmedo.....0,87.

Consideramos no obstante que dada la alta confiabilidad de la información de ETo obtenida por Solano et al. (2003) según el método FAO Penman-Monteith recomendado por la comunidad científica internacional, y la alta correlación de los valores de evaporación medidos en evaporímetro con la ETo, los resultados obtenidos a partir de la relación entre ETo y E_{pan} deben ser asumidos para las condiciones de Ciego de Ávila.

CONCLUSIONES

Los coeficientes de evaporímetro (K_p) obtenidos pueden ser utilizados como una alternativa para posibles correcciones de la programación del riego del cultivo de la piña en las condiciones de Ciego de Ávila.

Se obtuvieron los siguientes valores:

- Período Seco.....0,58;
- Período Húmedo.....0,65.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.; J. DOORENBOS & L. MONTEITH: *Evapotranspiración del cultivo, Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, 298pp., Roma, Italia, Estudio FAO Riego y Drenaje, No. 56, 2006.
- BARTHOLOMEW C. P & K. G. ROHRBACH: "Pineapple cultivation in Hawaii", *Fruits and Nuts*, 7(1): 2-7, 2002.
- BARTHOLOMEW, D. P.; R.E. PAUL & K.G. ROHRBACH: *The pineapple: botany, production and uses* CABI. Publishing, Wallingford, UK, 2003.
- BERNAL, V. P.: Measured and Calculated Evapotranspiration in South Havana, *Advances in Evt. In National Conference on Advances in Evt.*, Dec. 16- 17, 1985, Chicago. 1983
- BONET, P. C.; I. ACEA & M. HERNÁNDEZ: "Evapotranspiration of pineapple in Cuba", *Pineapple News*, 15: June, 2008.
- DOORENBOS, J. & W. O. PRUITT: *Guidelines for predicting crop water requirements*, Irrigation and Drainage, Paper 24, 1975.
- DOORENBOS, J. & A.H. KASSAN: *Yield response to water irrigation and Drainage*, Paper 33, 1979.
- PY, C.; J. LACOEUILHE & C. TEISSON: *The pineapple, cultivation and uses*, 570pp., Editions G.P. Maisonneuve and Larose, Paris, 1987.
- REY, R. y L. DE LA HOZ: *Manual del régimen de riego de los principales cultivos de Cuba*. pp. 51-74, Habana, 1979.
- SOLANO, O.; C. MENÉNDEZ; R. VÁZQUEZ y J. A. MENÉNDEZ: "Estudio de la evapotranspiración de referencia en Cuba", Instituto de Meteorología, *Rev. Cubana de Meteorología*, 10(1): 33-38, 2003.