

COEFICIENTES DE CULTIVO DE MAÍZ BASADOS EN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA PENMAN-MONTEITH

Aida I. Della Maggiora¹, Jesús M. Gardiol² y Andrea I. Irigoyen¹

INTRODUCCIÓN

El conocimiento del requerimiento de agua de un cultivo es un importante aspecto para la planificación agrícola. La necesidad de agua se puede representar por la evapotranspiración máxima (ETM), que se define como la cantidad de agua consumida por un cultivo que crece en una superficie extensa, sin limitaciones de agua y nutrientes y libre de enfermedades y plagas. Una de las formas comúnmente empleadas para su determinación es a través del producto entre la evapotranspiración de referencia (ET₀) y el coeficiente de cultivo (Kc) (Doorenbos y Pruitt, 1977; Allen et al., 1998). La ET₀ se puede obtener en función de variables meteorológicas y el Kc surge de la relación ETM/ET₀. Esta relación varía a través del tiempo y define una curva de cultivo. Curvas de Kc empíricas han sido desarrolladas por diferentes autores, empleando como escala de tiempo, los días desde emergencia (DDE), estados fenológicos, el porcentaje de tiempo a cobertura efectiva o la fracción de tiempo térmico (Sammis et al., 1985; Hattendorf et al., 1989, Amos et al., 1989; Allen et al. 1998; Gardiol et al. 2002). Doorenbos y Pruitt (1977) y Allen et al. (1998) sugieren Kc para diferentes cultivos y condiciones climáticas. Si bien estos valores se pueden emplear cuando no se dispone de datos locales, los autores enfatizan la necesidad de calibración para cada sitio. Para esto se deben realizar determinaciones a campo de ETM, ya sea por medio de lisímetros, métodos micrometeorológicos o balance de agua a partir de mediciones de humedad del suelo. Empleando este último método, Gardiol et al. (2002) determinaron los Kc de maíz a través de experiencias realizadas en Balcarce, utilizando como ET₀ el método de Penman (1948). Actualmente, se recomienda el método de Penman-Monteith como estándar para el cálculo de la ET₀ (Allen et al., 1998), por lo que se hace necesaria la determinación de nuevos Kc para cuantificar la ETM.

Este trabajo tiene como objetivos a) determinar los Kc de maíz a partir de la relación entre la ETM medida a campo y la ET₀ según Penman-Monteith, b) ajustar curvas de Kc en función de tiempo desde emergencia y fracción del total de la estación de crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las experiencias se realizaron durante tres campañas agrícolas (1993-94, 1994-95 y 1995-96), en la Unidad Integrada Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP-Estación Experimental Agropecuaria (INTA) de la localidad de Balcarce, Provincia de Buenos Aires (37°45' S y 58°18' W).

El ensayo fue conducido por el grupo de Ecofisiología de Cultivos de esta Unidad Integrada e incluía tres cultivos, de los cuales para este trabajo, se consideró solamente maíz (Dekalb 636). Las fechas de siembra fueron 19/10, 11/10 y 10/10 y las densidades de 81000, 85000 y 91000 plantas ha⁻¹ para las campañas 1993-94, 1994-95 y 1995-96,

respectivamente. La distancia entre líneas fue de 0.7 m en todos los años. El cultivo se desarrolló con adecuadas condiciones nutricionales e hídricas y libre de plagas y enfermedades. Se aplicó riego por aspersión para mantener un nivel de agua disponible en el suelo igual o superior al 50 %.

La ETM del cultivo se determinó a partir de mediciones de humedad en el suelo mediante el método gravimétrico (0-0,10 m de profundidad) y el de atenuación de neutrones (0,10-1,40 m). Se calculó la variación de almacenaje de agua (VA) en los intervalos de medición (3-4 días) y se determinó la ETM como precipitación (P) + riego (R) ± VA - drenaje (D). D se calculó como la lámina excedente del límite máximo. Se trabajó con tres repeticiones por cultivo.

El Kc se determinó a partir de la relación entre ETM y la ET₀ para cada intervalo de medición. La ET₀ fue calculada según el método de Penman-Monteith siguiendo las guías de Allen et al. (1998). Se contruyeron curvas de Kc en función de días desde emergencia (DDE), fracción de días totales de la estación de crecimiento (FDEC) y fracción del tiempo térmico estacional (FTTe). Se realizaron los ajustes por regresión a partir de los valores de Kc obtenidos a igual fase fenológica en las tres campañas agrícolas. El tiempo térmico (TT) se determinó de acuerdo al método de Brown (1969) y la evolución fenológica según la escala de Ritchie y Hanway (1982).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan las curvas de Kc de maíz en función de DDE, FDEC y FTTe. Los ajustes obtenidos se indican en el Cuadro 1. La regresión resultó significativa (P < 0.05) en los tres casos. Los máximos valores de Kc se obtuvieron entre R1 y R2, alrededor de los 85 DDE, cuando transcurrió aproximadamente el 60 % de la estación de crecimiento (EC). Este resultado es consistente con lo informado por otros autores. Hattendorf et al. (1989); Samis et al. (1985) y Amos et al. (1989) hallaron los máximos Kc de maíz con una FTTe de 0,55, 0,59 y 0,65, respectivamente.

Cuadro 1: Polinomios de cuarto orden (Kc = a+bx+cx²+dx³+ex⁴) obtenidos al relacionar los Kc con DDE, FDEC y FTTe.

Variable X	a	b	c	d	e	R ²
DDE	0,35	2,5x10 ⁻²	1,3x10 ⁻³	1x10 ⁻⁵	4x10 ⁻⁸	0,91
FDEC	0,19	0,79	14,52	26,72	12,15	0,93
FTTe	0,14	1,91	9,36	19,66	9,10	0,91

Hay una estrecha asociación entre FDEC y FTTe (Figura 1), indicando que sería indistinto el uso de una u otra escala de tiempo para estimar los Kc (Cuadro 1) cuando interesa su determinación una vez finalizada la EC y se conoce exactamente su duración, tanto en días como en TT. Sin embargo, cuando se requiere la estimación de los Kc durante el transcurso de la EC, tendría ventajas el uso del

¹ Unidad Integrada Balcarce Facultad de Ciencias Agraria, UNMdP- EEA INTA
E-mail: adellamaggiora@balcarce. INTA.gov.ar

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

modelo en función de FTTe (Cuadro 1), ya que generalmente se puede conocer el TTe para cada híbrido y es relativamente constante. A diferencia del TTe el número de días de la EC es variable de acuerdo a las condiciones meteorológicas de cada año. Diversos autores han recomendado el uso de la FTTe para normalizar el desarrollo del cultivo de maíz y hacer más extrapolables los valores de Kc (Sammis et al., 1985; Amos et al., 1989; Hattendorf et al., 1989). Sin embargo, otros investigadores consideran que sería necesario el desarrollo de modelos de crecimiento basados en el índice de área foliar, porcentaje de cobertura u otros parámetros de la canopia para mejorar la posibilidad de transferencia de los Kc (Ritchie y Johnson, 1990; Medeiros et al., 2001).

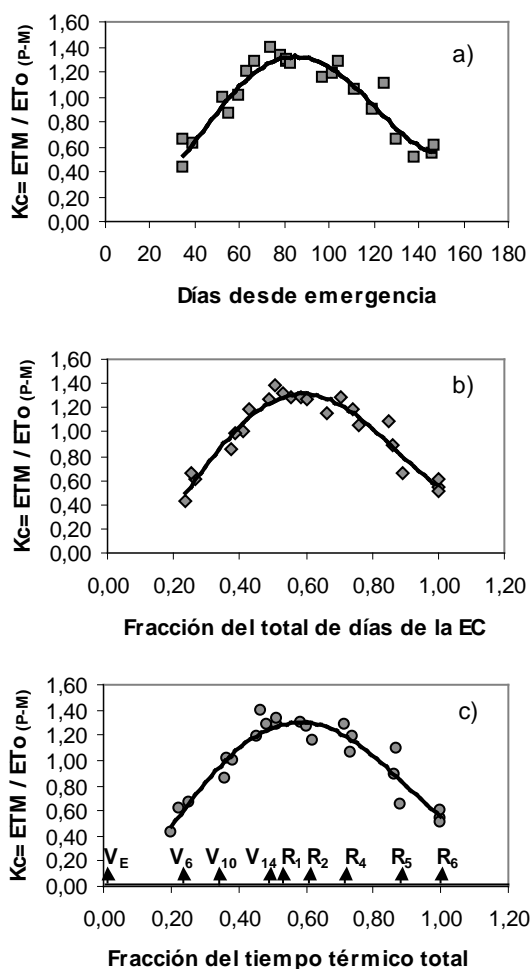


Figura 1: Curvas de Kc en función de a) días desde emergencia, b) fracción del total de días de la estación de crecimiento y c) fracción del tiempo térmico estacional, junto con estados fenológicos. Cada punto representa el valor medio de 3 repeticiones y se combinan datos de tres campañas agrícolas.

En la Figura 2 se comparan las curvas de Kc de maíz empleando ET_0 Penman-Monteith, con la determinada por Gardiol et al. (2002), utilizando la ET_0 de Penman (1948). Las curvas siguen la misma forma, pero con la primera se logran valores de Kc más elevados, entre 5 y 6 % superior en el periodo de desarrollo máximo. Este resultado se puede explicar, al menos

parcialmente, porque las estimaciones de la ET_0 según Penman-Monteith resultaron, en general, con valores más bajos que las correspondientes al método de Penman (1948).

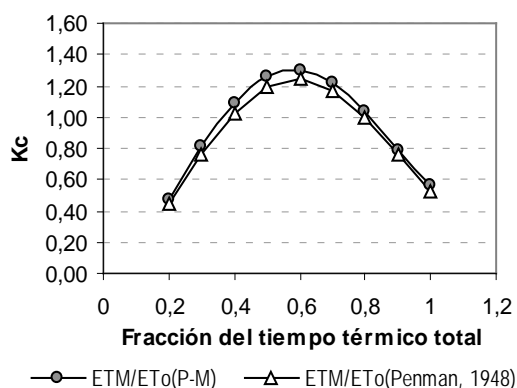


Figura 2: Comparación entre curvas de Kc de maíz obtenidas empleando ET_0 el método de Penman-Monteith (P-M) y el de Penman (1948).

Conclusiones

Los modelos obtenidos en este trabajo representan valores medios de Kc para el cultivo de maíz en las condiciones locales. Resultan útiles para la estimación de ETM en condiciones climáticas similares a las de Balcarce, cuando se dispone de datos de evapotranspiración de referencia según Penman-Monteith. Se recomienda el modelo en función de la fracción del tiempo térmico estacional por ser más versátil para representar el Kc de híbridos con diferentes ciclos y para aplicaciones tanto, operativas como de planificación.

Referencias bibliográficas

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S. RAES, D. y D. SMITH. Crop evapotranspiration. Guides for computing crop water requirements. FAO Irrig. Drain. N° 56. Italy, 300 p, 1998.
- AMOS, B., STONE, L.R.; BARK, L.D. Fraction of thermal units as the base for an evapotranspiration crop coefficient curve of corn. Agron. J. 81,713-716. 1989.
- BROWN, D.M. Heat unit for corn in Southern Ontario, Ontario Dep. of Agricultural and Food, Information Leaflet, 1969.
- MEDEIROS, G; ARRUDA, F.; SAKAI, E; FUJIWARA, M. The influence of crop canopy on evapotranspiration and crop coefficients of bean Agr. W. Manag. 49,211-224, 2001.
- DOORENBOS, J.; W. PRUITT. Crop water requirements. FAO. Irrigation and Drainage Paper N° 24. 124 p. Italy. 1977.
- GARDIOL, J.M.; DELLA MAGGIORA, A.; IRIGOYEN, A. Curvas de coeficientes de cultivo de maíz, girasol y soja. IX Reunión Argentina de Agrometeorología. Córdoba. 2002
- HATTENDORF, M.J., M.S. REDELFS, B. AMOS, L.R. STONE; R.E. GWIN.. Comparative water use characteristics of six row crops. Agron. J. 76: 229-235. 1988.
- PENMAN, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. R. Soc. London. Proc. Ser.A.193:120-146.
- RITCHIE, SW.;J.J. HANWAY. 1982. How a corn plant develops. Iowa State Univ. Coop. Ext. Serv. Spec. Rep. 48.
- RITCHIE, J.T.; JOHNSON, B.S. Soil and plant factor affecting evaporation. Stewart y Nielsen (eds).Irrigation of agricultural crops. ASA, CSSA, SSSA. Madison, WI.pp:364-390. 1990.
- SAMMIS, T.W. , MAPEL, C:L., LUGG, D.G., LANSFORD, R.R., MEGUEKIN, J.T. 1985. Evapotranspiration crop coefficients predicted using growing-degree-days. Trans. ASAE, 28, 773-780.