

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL DE MAIZ CON BAJA DENSIDAD DE SIEMBRA

Leonardo Serio (1), Jesús Gardiol (1) y Aida Della Maggiora (2)

(1) Depto. de Ciencias de la Atmósfera, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA
Ciudad Universitaria, Pabellón II, 2° piso (1428) Buenos Aires, Argentina
e-mail: serio@cw.at.fcen.uba.ar

(2) Unidad Integrada Facultad de Ciencias Agrarias UNMdP - EEA INTA Balcarce, Argentina

Abstract

Modelling evapotranspiration (ET) of agricultural crops planted with low plant density needs the application of two-layer models, that represent turbulent transport processes occurring at plant canopy level and soil surface. A combination equation, which describes ET in terms of controlling resistances associated with plant transpiration and soil evaporation, was applied to ET calculation on a low plant density maize crop. Leaf area index (LAI) reaches a maximum value of 1.5. Modeled ET was contrasted with ET data obtained by means of soil water balance, starting at 30 days after emergence. Estimated and observed ET agree well; maximum daily absolute deviation was 1.1 mm.

Key words: maize, evapotranspiration, sparse crop.

INTRODUCCION

La transferencia de agua desde el sistema planta-suelo hacia la atmósfera se produce mediante el proceso de evapotranspiración (ET), el cual incluye la evaporación (E) de agua del suelo y la transpiración (T) en las plantas.

Cuando se trata de estimar la ET de cultivos ralos, que no cubren totalmente el suelo, las componentes de evaporación y transpiración pueden alcanzar magnitudes similares. En esos casos, es necesaria la utilización de modelos de dos capas (Shuttleworth y Wallace, 1985; Sellers et al., 1986; Norman et al., 1995; Zhan y Kustas, 1996), a fin de tener en cuenta los intercambios energéticos que se producen en el tope de la cobertura vegetal y en la superficie del suelo. Serio et al. (1998) compararon el desempeño de un modelo de dos capas con la ecuación de Penman-Monteith (Monteith, 1965), a lo largo de la mayor parte del ciclo de un cultivo de maíz, concluyendo que cuando el índice de área foliar (IAF) era menor que 4, la suma de las componentes E y T resultó una mejor aproximación para el cálculo de ET.

El objetivo de este trabajo es evaluar la aplicación de un modelo de dos capas para el cálculo de ET, en condiciones potenciales, de un cultivo de maíz con baja densidad de siembra, que no alcanzan a cubrir totalmente el suelo.

MATERIALES Y METODOS

La experiencia de campo se realizó en la Unidad Integrada Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata - Estación Experimental Agropecuaria INTA de la localidad de Balcarce, Provincia de Buenos Aires ($37^{\circ} 45'S$, $58^{\circ} 18' W$), sobre un suelo argiudol típico, durante la campaña agrícola 1995/96. La fecha de siembra fue el 10 de octubre y la densidad de 22000 plantas/ha, aproximadamente la cuarta parte de la densidad de siembra óptima del lugar. Se trabajó con un híbrido de maíz, Dekalb 636, de amplio uso en la región. Los datos meteorológicos corresponden a la Estación Agrometeorológica del INTA Balcarce.

El cultivo se desarrolló bajo óptimas condiciones nutricionales e hídricas y libre de plagas y enfermedades. Se aplicó riego por aspersión para mantener un nivel de disponibilidad de agua en el suelo igual o superior al 50 %, nivel que, según Doorenbos y Kassam (1979), resulta seguro para el normal desarrollo de un amplio rango de cultivos en diferentes tipos de suelo.

Con la finalidad de cuantificar la evapotranspiración máxima del cultivo se instalaron tubos de acceso para sonda de neutrones en cada una de las tres parcelas experimentales. Las mediciones de humedad del suelo se realizaron a intervalos de 2 a 5 días, empleando el método gravimétrico entre 0 y 10 cm y el de dispersión de neutrones entre 10 y 160 cm de profundidad, utilizando un equipo Troxler modelo 4300. Las observaciones se realizaron cada 10 cm en la capa de 0 - 40 cm y cada 20 cm entre 40 y 160 cm. La fenología del cultivo se determinó según Hanway y Ritchie (1982). Las observaciones fenológicas, índice de área foliar y altura de las plantas se realizaron tres veces por semana, en seis plantas por parcela. Los valores observados de IAF y altura fueron promediados y se realizó una interpolación entre las fechas de medición. El IAF máximo alcanzado fue de 1,5.

El consumo de agua del cultivo se determinó con el método utilizado por Gardiol et al. (1997). Este se basa en la variación de almacenaje de agua del suelo, sumando las lluvias y el riego y descontando el drenaje, cuando la lámina actual de agua en el suelo supera el límite máximo. La cantidad de agua incorporada por riego se cuantificó realizando mediciones de humedad antes y después de cada aplicación.

El modelo de ET empleado calcula las componentes de evaporación del suelo (E) y transpiración de las plantas (T), según el esquema de la figura 1.

Las componentes E y T se calculan a partir de expresiones obtenidas siguiendo la teoría de Monteith (1965), aplicada a la distribución de resistencias del esquema de la figura 1. De esta forma,

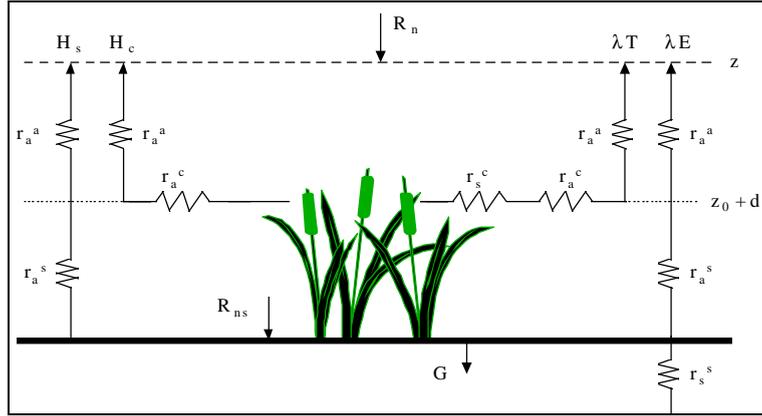


Figura 1. Representación esquemática del modelo para los flujos de energía en un cultivo de cobertura parcial. H_s y H_c son, respectivamente, las componentes del flujo de calor sensible del suelo y del cultivo; λT y λE son las componentes de transpiración y evaporación del flujo de calor latente; R_n y R_{ns} son los flujos de radiación neta en el tope de la cobertura y en la superficie del suelo; G es el flujo de calor en el suelo.

$$\lambda T = \frac{\Delta(R_n - R_{ns}) + \rho c_p D / (r_a^c + r_a^a)}{\Delta + \gamma[1 + r_s^c / (r_a^c + r_a^a)]} \quad (1)$$

$$\lambda E = \frac{\Delta(R_{ns} - G) + \rho c_p D / (r_a^s + r_a^a)}{\Delta + \gamma[1 + r_s^s / (r_a^s + r_a^a)]} \quad (2)$$

donde:

λ = calor latente de vaporización

T = flujo de vapor proveniente de la cobertura vegetal (transpiración)

E = flujo de vapor proveniente del suelo (evaporación)

R_n = radiación neta en el tope de la cobertura vegetal

R_{ns} = radiación de neta en la superficie del suelo

G = flujo de calor en el suelo

ρc_p = capacidad calorífica del aire

γ = constante psicrométrica

Δ = pendiente de la curva *presión de vapor de saturación vs. temperatura*

D = déficit de presión de vapor

r_a^a = resistencia aerodinámica entre la cobertura vegetal y la altura de medición

r_a^c = resistencia de capa límite de los elementos que componen la cobertura vegetal

r_s^c = resistencia estomática de la cobertura vegetal

r_a^s = resistencia aerodinámica entre el suelo y la cobertura vegetal

r_s^s = resistencia superficial del suelo.

Las ecuaciones (1) y (2) son expresiones similares a la ecuación de Penman-Monteith (Monteith, 1965) aplicadas a la cobertura vegetal y al suelo, respectivamente. El significado físico de las resistencias es el de elementos reguladores en los procesos de transporte turbulento. De esta manera, r_a^c controla la transferencia entre las superficies de las hojas y el nivel dentro de la cobertura vegetal considerado como fuente/sumidero (z_0+d , en el gráfico 1). Los transportes verticales están controlados por dos resistencias: r_a^s actúa entre el suelo y z_0+d y r_a^a entre esta altura y el nivel de referencia sobre el cultivo. La resistencia superficial r_s^c representa el efecto conjunto de las resistencias estomáticas, mientras que la correspondiente al suelo, r_s^s , representa la resistencia al flujo de vapor que ofrece la capa superficial del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSION

La ET calculada por el modelo fue contrastada con la obtenida a partir de las mediciones de humedad en el suelo, realizadas entre la fase V4, 30 días después de la emergencia (DDE) y la madurez fisiológica del cultivo (145 DDE).

La radiación neta (R_n) se obtuvo como la diferencia de los balances de onda corta y larga en el tope de la cobertura vegetal. Para R_{ns} se consideró una atenuación exponencial de R_n con la profundidad dentro del cultivo en función del IAF (Farahani y Bausch, 1995). El flujo de calor en el suelo (G) fue parametrizado como el 20 % de R_{ns} (Shuttleworth y Wallace, 1985). La resistencia superficial del suelo (r_s^s) se obtuvo en función de la relación de saturación del suelo (Sellers et al., 1986; Farahani y Bausch, 1995). Para las demás resistencias se utilizó el método propuesto por Shuttleworth y Wallace (1985), teniendo en cuenta la variación de la cobertura vegetal, representada por el IAF, y la altura de las plantas.

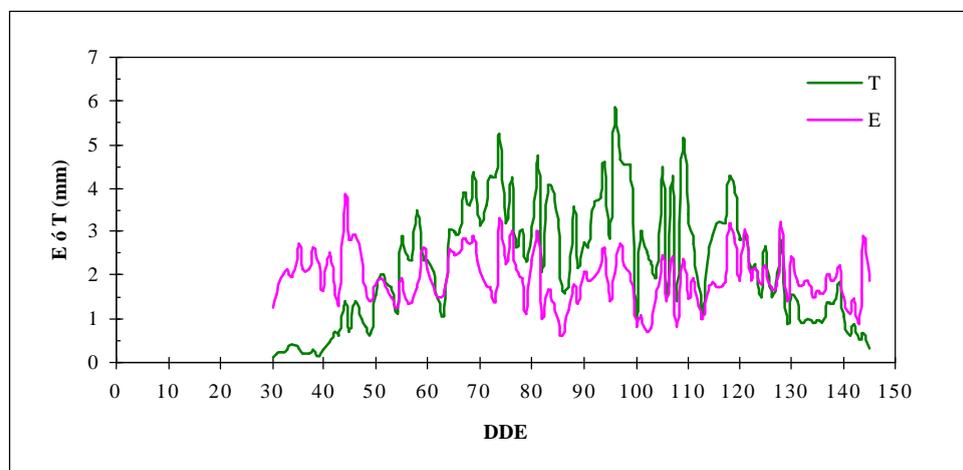


Figura 2. Valores diarios calculados de evaporación (E) y transpiración (T).

En la figura 2 se hallan representados los valores diarios de E y T obtenidos con el modelo. En ésta puede verse que la componente de evaporación del suelo es mayor que la transpiración 50 DDE; luego la situación se invierte. Sin embargo, a pesar del aumento de T, E se mantiene con un valor medio diario cercano a los 2 mm a lo largo de todo el ciclo del cultivo. Esto se debe a que el cultivo, con un IAF máximo de 1,5, no alcanza a cubrir totalmente el suelo y una parte importante de la radiación incidente llega al suelo, donde se transforma en energía disponible para la evaporación. La transpiración, calculada durante el período de mayor consumo de agua del cultivo, entre las fases V10 (60 DDE) y R4 (110 DDE), tuvo un valor medio diario de 3,5 mm.

El consumo de agua fue cuantificado a partir de las mediciones del contenido de agua en el suelo. Por lo tanto, se dispuso de datos de ET observada a lo largo de períodos de distinta longitud. Con el modelo, la ET fue calculada como la suma de las componentes de evaporación y transpiración, y luego fue acumulada por períodos, coincidentes en longitud con los intervalos entre mediciones. La figura 3 muestra el diagrama de dispersión entre la ET calculada y la observada, acumuladas en cada uno de los períodos. La alineación de los puntos alrededor de la recta 1:1 indica que existe un buen acuerdo entre los valores estimados y las mediciones.

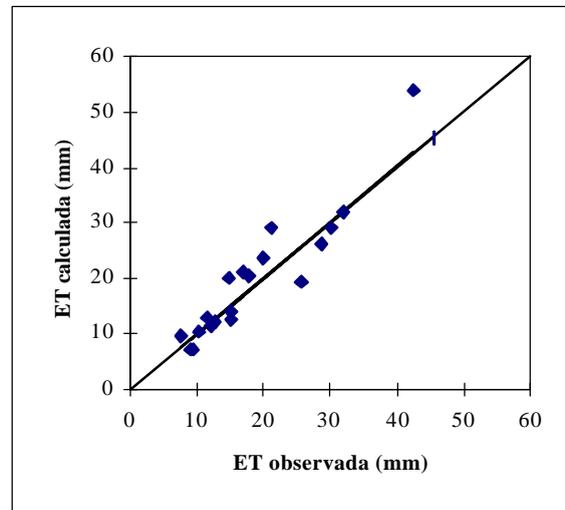


Figura 3. Diagrama de dispersión entre ET observada y calculada. La recta corresponde a la relación 1:1.

En la figura 4 se presentan las diferencias entre ET calculada y observada en cada período, divididas por la longitud del mismo, en función de los días transcurridos desde la emergencia. Esto es una medida del error medio diario cometido en cada período. Puede verse que el error absoluto no superó nunca el valor de 1,1 mm por día.

La ET acumulada a partir de los 30 días después de la emergencia fue de 398 mm, mientras que la calculada por el modelo fue de 420 mm, lo que corresponde a una sobreestimación

porcentual del 5 %. De la ET calculada, 235 mm (56 %) fueron atribuidos, según el modelo, a la transpiración de las plantas y los 185 mm restantes (44 %) a la evaporación desde el suelo. Farahani y Bausch (1995) obtuvieron porcentajes similares en la partición de ET con el modelo de dos capas de Shuttleworth y Wallace (1985) cuando el IAF de un cultivo de maíz era inferior a 2.

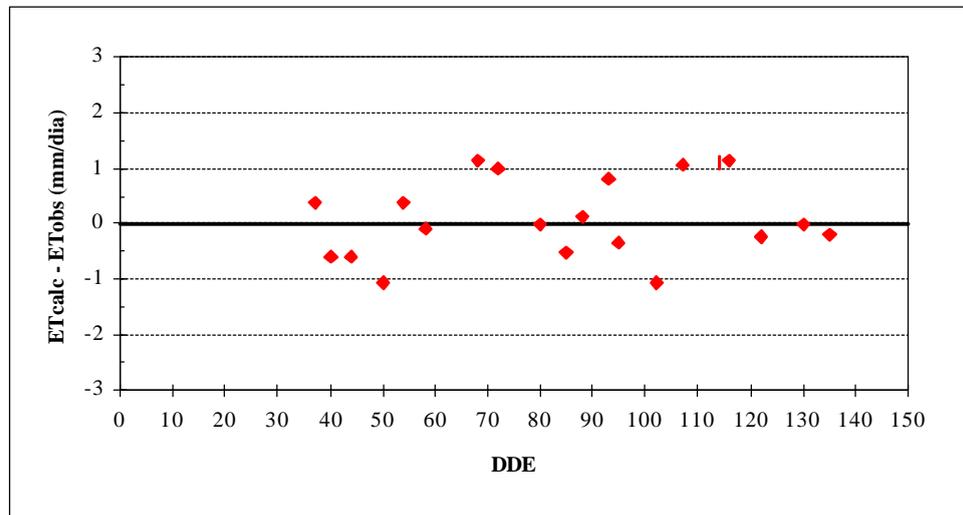


Figura 4. Diferencias entre ET calculada y observada en cada período, en mm por día, en función de los días transcurridos desde la emergencia (DDE).

La evaluación estadística del modelo se realizó con los índices propuestos por Hanna (1989), aplicados sobre los valores medios diarios de ET en cada período. Los resultados fueron los siguientes:

<i>Coeficiente de correlación (R):</i>	<i>0.78</i>
<i>Porcentaje de datos en un factor de 2 (Fa2):</i>	<i>100</i>
<i>Error cuadrático medio (MSE):</i>	<i>0.511</i>
<i>Error cuadrático medio normalizado (NMSE):</i>	<i>0.030</i>
<i>Sesgo fraccional (FB):</i>	<i>-0.030</i>
<i>Desvío estandar fraccional (FD):</i>	<i>-0.010</i>

CONCLUSIONES

Se aplicó un modelo para calcular la evapotranspiración potencial de un cultivo de maíz sembrado en baja densidad. El cultivo no cubrió totalmente el suelo, alcanzando un índice de área foliar máximo de 1,5. La comparación con la ET observada, obtenida a partir del balance hídrico en el suelo, y el análisis estadístico permiten afirmar que el modelo resultó un buen estimador de la ET

potencial del maíz en las condiciones descriptas, desde los 30 después de la emergencia (fase V4) hasta la madurez fisiológica. Lamentablemente, no se dispuso de mediciones para validar la bondad de la partición entre las componentes de evaporación y transpiración. A pesar de ello, es evidente la importancia de tener en cuenta la evaporación, que en cultivos ralos puede tener similar magnitud que la transpiración.

BIBLIOGRAFIA

DOORENBOS, J. and A.H. KASSAM. 1979. Yield response to water. FAO. Irrigation and Drainage Paper N° 33. Rome, Italy.

FARAHANI, H.J. and BAUSCH, W.C., 1995. Performance of evapotranspiration models for maize - Bare soil to closed canopy. Trans. of the ASAE, 38: 1049-1059.

GARDIOL, J.M., IRIGOYEN, A.I., DELLA MAGGIORA, A.I. y SILVA, V., 1997. Patrón de extracción de agua de cultivos de maíz y soja en un argiudol típico de Balcarce. Rev. Facultad de Agronomía UBA, 17: 137-142.

HANNA, S.R., 1989. Confidence limits for air quality models, as estimated by bootstrap and jackknife resampling methods. Atmos. Environ., 23: 1385-1395.

HANWAY, J.J. and RITCHIE, S.W., 1982. How a corn plant develops. Iowa State Univ., USA. Special Report N°48, pp 17.

NORMAN, J.M., KUSTAS, W.P. and HUMES, K.S., 1995. Source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes in observations of directional radiometric surface temperature. Agric. For. Meteorol., 77: 263-293.

MONTEITH, J.L., 1965. Evaporation and environment. Symp. Soc. Exp. Biol. XIX, Cambridge University Press: 205-234.

SELLERS, P.J., MINTZ, Y., SUD, Y.C. and DALCHER, A., 1986. A Simple Biosphere model (SiB) for use within general circulation models. J. Atmos. Sci., 43: 505-531.

SERIO, L., GARDIOL, J. y DELLA MAGGIORA, A., 1998. Estimación de evapotranspiración del cultivo de maíz. X Congresso Brasileiro de Meteorologia / VIII Congresso da FLISMET. Brasilia, Brasil.

SHUTTLEWORTH, W.J. and WALLACE, J.S., 1985. Evaporation from sparse crops - an energy combination theory. Quart. Journal Roy. Met. Soc., 111: 839-855.

ZHAN, X. and KUSTAS, W.P., 1996. Modeling CO₂, water vapor and sensible heat fluxes over land surface using remote sensing data. 22nd Conference on Agricultural and Forest Meteorology. Atlanta, Georgia, USA.

Trabajo subsidiado por: Universidad de Buenos Aires y Universidad Nacional de Mar del Plata.