

EVAPORACION EN UN HAPLUSTOL ENTICO BAJO DOS SISTEMAS DE LABRANZA

J L DARDANELLI¹, O A BACHMEIER², H P SALAS¹, E F LOVERA¹, F NÚÑEZ VÁZQUEZ¹

¹Area de Recursos Naturales. INTA - EEA Manfredi. 5988. Manfredi, Córdoba. Argentina.

²Facultad de Ciencias Agropecuarias (UNCba). C.C. 509. 5000 Córdoba. Argentina.

EVAPORATION IN AN ENTIC HAPLUSTOLL UNDER TWO TILLAGE SYSTEMS

During a 18 days period, daily evaporation measures using minilyimeters, were made to establish the parameters of a functional model, which estimates the accumulated evaporation (EA), in two stages:

- Stage 1 (constant rate stage): $EA = E_o t$, for $t < t_f$

- Stage 2 (falling rate stage): $EA = K t^{1/2} - b$, for $t > t_f$

where: E_o : soil potential evaporation (mm), t : time (days), t_f : stage 1 duration (days),

K : slope of the regression EA vs. $t^{1/2}$, b : intercept.

Two treatments from an eight years tillage system on an Entic Haplustoll soil, for the biannual rotation sorghum-soybean, were considered: a) traditional tillage (LT), based on moldboard plow tillage, and b) reduced tillage (LR), soil superficially tilled after sorghum and soybean harvest. The experiment design included the following treatments: i) traditional tillage after sorghum (TSR), ii) traditional tillage after soybean (TS), iii) reduced tillage after sorghum (RSR), and iv) reduced tillage after soybean (RS). After installing the minilyimeters, the soil was irrigated until the upper limit of water storage. In RSR treatment, the accumulated evaporation during the stage 1 was significantly lower than the others (13,3 mm versus 17,7 mm). During stage 2 significant differences between tillage systems, were found. The EA fitted to the following equations:

$$EA \text{ (mm)} = 4,26 t^{1/2} - 3,52 \quad (r^2=0.71^{***})$$

in reduced tillage treatments (RSR and RS)

$$EA \text{ (mm)} = 7,69 t^{1/2} - 7,27 \quad (r^2=0.91^{***})$$

in traditional tillage treatments (TSR and TS). These different patterns are attributable to the surface stubble during stage 1, and to structure differences in the upper soil layer during the stage 2.

Key words: Evaporation models - Tillage systems - Minilyimeters - Sorghum - Soybean - Entic Haplustoll

INTRODUCCION

La difusión de los modelos de simulación para procesos que impliquen crecimiento de cultivos y balance de agua en el suelo han creado la necesidad de conocer los parámetros que definen el proceso de las pérdidas de agua por evaporación desde la superficie del suelo. Para ello se han empleado distintos modelos, tanto determinísticos como estocásticos, para calcular la evaporación a partir de suelo descubierto. La mayoría de ellos pertenecen al primer tipo y pueden ser categorizados como mecanísticos o funcionales. Los primeros son mas complejos y, dado que predicen la evaporación como una variable continua,

requieren de una mayor cantidad de información para completar su cálculo. Ejemplos de estos modelos son los de Lascano y Van Bavel (1983, 1986) para suelo desnudo y Lascano *et al.* (1987), para suelo cubierto con cultivo.

Los modelos funcionales tratan la evaporación de una manera más simple, ya que se basan en factores de capacidad, y realizan la estimación en una base diaria. Algunos de ellos son los desarrollados por Kanemasu *et al.* (1976), y Tanner y Jury (1976). Cualquiera de ellos que se emplee, implica cierto grado de pragmatismo que le brinde practicidad, al reducir el número de variables de ingreso. Por otra parte, los modelos ampliamente usados para simular crecimiento y desarrollo de cultivos, del tipo

CERES, separan la evaporación de la transpiración con una base diaria; por ello utilizan un modelo funcional, con datos fácilmente obtenibles, sin perder precisión en las estimaciones.

En una revisión efectuada por Ritchie y Johnson (1990), se comparan datos medidos por Lascano y Van Bavel (1986), con estimaciones obtenidas a partir de dos modelos, uno mecanístico y otro funcional. Sobre una base diaria, ambos modelos ofrecen el mismo grado de exactitud. El modelo funcional allí planteado, desarrollado por Ritchie (1972), considera que la evaporación de un suelo, inicialmente húmedo, tiene lugar en dos estadios:

i) la etapa de tasa constante (etapa 1), dependiente de la evaporación potencial del suelo; su límite superior (U) varía, según textura, entre 5 y 14 mm/día.

ii) la etapa de tasa decreciente (etapa 2), dependiente de la capacidad del suelo para suministrar agua hacia la superficie. Es gobernada por una función de la forma $K t^{1/2}$ (Baver *et al.* 1972).

La estimación de la evaporación acumulada (EA), de acuerdo con el modelo mencionado, se realiza mediante las siguientes relaciones empíricas:

$$EA = E_o t, \quad \text{para } t \leq t_f$$

$$EA = K t^{1/2} - b, \quad \text{para } t \geq t_f$$

donde: E_o : evaporación potencial del suelo,
 t_f : duración de la etapa 1,
 K : pendiente de la regresión EA vs $x t^{1/2}$,
 b : ordenada al origen.

Empíricamente, para distintos suelos, la etapa 2 es considerada dependiente de las propiedades hidráulicas del suelo y se le puede atribuir un valor promedio de $K=3,5 \text{ mm} \times \text{día}^{1/2}$ (Ritchie, Johnson 1990). Sin embargo, experiencias locales (Dardanelli *et al.* 1991), realizadas con minilímetros, muestran que un suelo sometido a un sistema de labranza reducida evapora menor cantidad de agua que un sistema convencional, durante los dos estadios de evaporación. Esto ocurre tanto en suelo desnudo como bajo cobertura vegetal, siendo las diferencias del orden del 25%. En estos experimentos no quedó claro si las diferencias fueron debidas a un efecto de residuos en superficie, a un cambio en la estructura superficial de suelo, ó a la interacción de ambos factores en la modificación de la evaporación.

Caracterizar los patrones de evaporación no sólo es importante para la aplicación de modelos, sino que permite definir con mas precisión el modo en que este proceso afecta el balance de agua del suelo, factor importante de productividad en una región semiárida como es el área central de Córdoba, (Argentina).

Dada la hipótesis que la evaporación puede responder a un modelo funcional, y que los parámetros del mismo

pueden ser afectados por el sistema de labranza empleado, se plantearon los siguientes objetivos para el presente trabajo:

a) establecer los parámetros de un modelo funcional de evaporación para un suelo Haplustol éntico bajo distintos sistemas de labranza.

b) verificar si existen diferencias en algunas de las etapas del proceso de evaporación, debidas al sistema de labranza y/o al cultivo antecesor.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi (31° 49' S, 63° 46' W), durante el mes de setiembre de 1991, sobre un suelo Haplustol éntico, mixto, méxico, térmico, perteneciente a la serie Oncativo (Tabla 1).

Se emplearon dos variantes de un ensayo de sistemas de labranza establecido en 1983 para la rotación bianual sorgo-soja:

a) labranza tradicional (LT): arado de rejas y vertederas como labor principal, y rastra de discos y dientes, y/o vibrocultivador, para las labores complementarias.

b) labranza reducida (LR): una labor de rastra de discos a 5 cm de profundidad, después de sorgo y soja. El control de malezas se realiza químicamente.

En ambas variantes los cultivos son escardados. Antes de iniciar el estudio, se realizaron los laboreos post-cosecha: labor de arado y posterior refinado del suelo con rastra de discos y dientes en la variante LT, y rastra de discos superficial en la variante LR.

Sobre cada variante de sistema de labranza, durante el barbecho a continuación de sorgo y soja, se instalaron 3 minilímetros de 10 cm de diámetro y 30 cm de profundidad. Para ello se extrajeron muestras de suelo con un cilindro calador de accionamiento hidráulico, provisto de una camisa de PVC que permitía sacar el suelo inalterado dentro de dicha camisa. El bloque inalterado fue devuelto a su lugar de origen, confinado en el recipiente de PVC, previo cierre de su base inferior con una tapa cribada para permitir el drenaje del exceso de agua.

Tabla 1: Datos analíticos del Haplustol éntico serie Oncativo.

Horizonte	A1	AC	Cca
Profundidad (cm)	0-23	23-53	53 a +
Materia orgánica (g Kg ⁻¹)	19,0	9,6	4,0
Arcilla, < 2 μ (%)	16,7	12,2	10,2
Limo, 2-50 μ (%)	68,7	71,1	71,9
Arena, 50-2000 μ (%)	16,5	16,1	15,8
Límite superior agua util++ (%)	27,0	24,3	21,5
Capacidad a la marchitez permanente ++ (%)	9,60	9,75	9,59
Densidad aparente (Mg m ⁻³)	1,20	1,21	1,20

+ Determinado en campo.

++ Estimado a 1500 KPa.

Quedó establecido un experimento de cuatro tratamientos con tres repeticiones en un diseño completamente aleatorizado:

a) labranza tradicional después de sorgo (TSR); b) labranza tradicional después de soja (TS); c) labranza reducida después de sorgo (RSR); y d) labranza reducida después de soja (RS).

Una vez instalado el ensayo, se regaron los minilísimetros y su área circundante hasta saturar el suelo, se cubrió el conjunto con polietileno para evitar pérdidas por evaporación y se permitió, durante 3 días, la percolación del agua gravitacional. De esta manera, se alcanzó el límite máximo de agua útil (Tabla 1). A partir del cuarto día los minilísimetros fueron pesados diariamente. Para expresar la evaporación en mm se aplicó la siguiente ecuación:

$$\text{Evap. (mm)} = \frac{P_i - P_{i-1}}{d_w} \frac{1}{A}$$

donde: i = iésimo día
 P = peso del minilísimetro (g)
 d_w = densidad del agua (g mm^{-3})
 A = área del minilísimetro (mm^2)

Las mediciones se realizaron durante 18 días, en los que no se registraron precipitaciones. Se midió gravimétricamente la humedad superficial del suelo circundante, a fin de detectar posibles desvíos de la evaporación medida, debido a eventuales restricciones al libre flujo vertical (Ritchie, Johnson 1990). Se observó que las diferencias de humedad en el suelo circundante, en el período del ensayo, fueron similares a las observadas en los minilísimetros.

El conjunto de datos obtenidos, expresado como valores acumulados de evaporación, fue dividido en dos fases: etapa 1 y etapa 2 (Ritchie 1972), tomando en cuenta la fecha de un cambio significativo de pendiente en la evaporación acumulada (EA).

Para comparar los tratamientos en las etapas 1 y 2 se utilizó el análisis de la varianza (ANOVA) y se efectuaron contrastes ortogonales entre los tratamientos establecidos sobre distintas labranzas (TS+TSR versus RS+RSR) y entre antecesores dentro de cada sistema de labranza (TS versus TSR y RS versus RSR). Para comprobar la validez del modelo $EA = f(t^{1/2})$ en la etapa 2, se efectuaron ajustes a una recta de regresión.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1 se observa la evolución de la EA. Se puede apreciar que el patrón de comportamiento de este parámetro cambia apreciablemente al finalizar el cuarto día, indicando el final de la etapa 1. El ANOVA para la EA de esta etapa mostró la existencia de diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$). También se observaron diferencias al mismo nivel de significancia para los 14 días subsiguientes (etapa 2), los que fueron analizados separadamente.

En la Tabla 2 se observa el resultado de los contrastes ortogonales para las etapas 1 y 2 de evaporación. En la etapa 1, el primer conjunto de contrastes ortogonales, que fueron planteados *a priori*, sólo detecta como signifi-

cado el efecto de las labranzas. Sin embargo, observando la Figura 1 se advierte que el tratamiento RSR es el que influye para que se produzca esa diferencia. Por tal motivo, se aplicó un segundo conjunto de contrastes, a partir de los cuales se concluye que el tratamiento RSR es el único que muestra diferencias significativas ($P < 0,05$), con el resto.

Dado que la etapa 1 está definida como aquella principalmente dependiente de la demanda evaporativa potencial, se compararon los valores observados con la ETP calculada a partir de la fórmula de Penman (1948) y del tanque tipo A (Doorenbos, Pruitt 1986). Los resultados están expresados en la Tabla 3.

Se puede observar que la evaporación de los días 1 al 4 superan la ETP estimada con ambos métodos de predicción. En cambio, en el día 5 se confirma que el brusco cambio de comportamiento es independiente de la ETP y

Tabla 2: Resultados de los contrastes ortogonales planteados para las etapas 1 y 2 del experimento.

Contraste	Tratamientos	P	
		Etapa 1	Etapa 2
Entre sistemas de labranza	TS+TSR vs RS+RSR	0,033	0,000
Dentro de sist. de labranza	TS vs TSR	0,321	0,339
	RS vs RSR	0,091	0,238
Entre TS, TSR y RS		0,396	
Entre RSR y el resto		0,016	

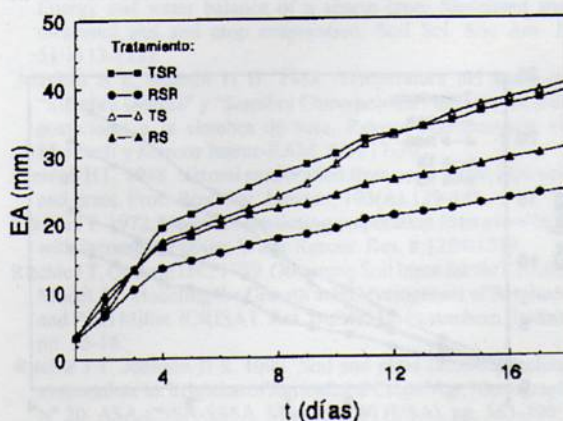


Figura 1: Evolución de la evaporación acumulada (EA) en el tiempo para los tratamientos: a) labranza tradicional después de sorgo (TSR); b) labranza tradicional después de soja (TS); c) labranza reducida después de sorgo (RSR); y d) labranza reducida después de soja (RS).

Tabla 3: Valores de ETP, velocidad del viento (V.V.) a 2 m y evaporación diaria (Ev) para los cinco primeros días del experimento.

Día	ETP	ETP	V.V.	Ev ⁽²⁾	Ev ⁽¹⁾
	T. "A"x Kp (mm día ⁻¹)	Penman (mm día ⁻¹)	a 2 m (km.h ⁻¹)		
1	2,5	2,0	10,1	3,3	3,2
2	3,2	2,3	10,0	4,8	3,2
3	4,1	3,8	19,8	5,0	3,9
4	5,4	4,6	17,5	4,6	3,0
5	-	3,7	18,7	1,7	1,1

(1) Media de Tratamientos TS, TSR y RS.

(2) Media del Tratamiento RSR.

de la influencia del viento. El límite superior de la etapa 1 (U) obtenido en los tratamientos TS, TSR y RS (17,7 mm), excede los umbrales máximos estimados por Ritchie y Godwin (1989) para la aplicación en modelos tipo CERES (15 mm en suelos franco-limosos); Jaffar *et al.* (In: Rosenthal *et al.* 1989), citan un valor máximo de 19 mm para un suelo franco-limoso.

De todas maneras, mediciones anteriores efectuadas en este suelo durante períodos estivales discontinuos (datos no mostrados) indicarían que un valor de U de 15 mm estaría más cerca de la realidad. En este experimento es posible que se haya producido alguna pérdida por percolación o restricciones al drenaje que podrían aumentar el valor de U (Ritchie, Johnson 1990). Por ello, para aumentar la precisión de U deberían efectuarse mediciones complementarias; sin embargo, para la aplicación de este parámetro a modelos de simulación corrientes, se considera aceptable el grado de certeza alcanzado.

La diferencia relativa entre el tratamiento RSR y los restantes estaría indicando la influencia del residuo de

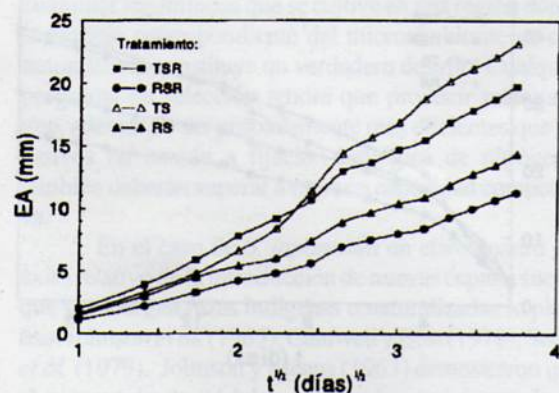


Figura 2: Evolución de la evaporación acumulada (EA) vs. $t^{1/2}$, en la etapa 2, para los tratamientos: a) labranza tradicional después de sorgo (TSR); b) labranza tradicional después de soja (TS); c) labranza reducida después de sorgo (RSR); y d) labranza reducida después de soja (RS).

sorgo en el balance térmico del suelo, efecto que no se evidencia después de soja, cuyo aporte de residuos es menor. En parcelas con tratamiento de labranza reducida se midieron 4600 kg ha⁻¹ de residuos a comienzos de la primavera, después del cultivo de sorgo, y sólo 2600 kg ha⁻¹ después de soja. Estos datos son promedios de cuatro años. La influencia de la cobertura con residuos sobre la disminución de la radiación neta del suelo ha sido demostrada (Enz *et al.* 1988). Por otra parte, Masiero y Marelli (1988) en un ensayo de labranzas efectuado en el doble cultivo trigo-soja, sobre un suelo Argiudol típico de textura franco limosa, compararon la temperatura de suelo a 5 cm de profundidad entre dos sistemas de labranza. Encontraron que, en los primeros días después de sembrada la soja, la temperatura media era 1 °C menor en labranza reducida que en labranza tradicional.

En la Figura 2 se observa la evolución de la EA versus tiempo^{1/2} para la etapa 2. Se advierte claramente que el sistema de labranza modula dos comportamientos diferentes, lo cual se corrobora por el resultado de los contrastes ortogonales (Tabla 2), sugiriendo que en esta etapa del proceso, dependiente de las condiciones del suelo, habría una importante influencia de los cambios físicos y químicos que produce el sistema de labranza en los primeros centímetros de la capa arable.

En las Figuras 3a y 3b se observan los ajustes a una regresión rectilínea, resultante de agrupar los datos de ambos cultivos antecesores según sistema de labranza. Los coeficientes de determinación de 0,91 y 0,71 indican la bondad de los ajustes obtenidos ($P < 0,001$); se observa una importante disminución de la pendiente de la recta en el caso de LR (Figura 3b).

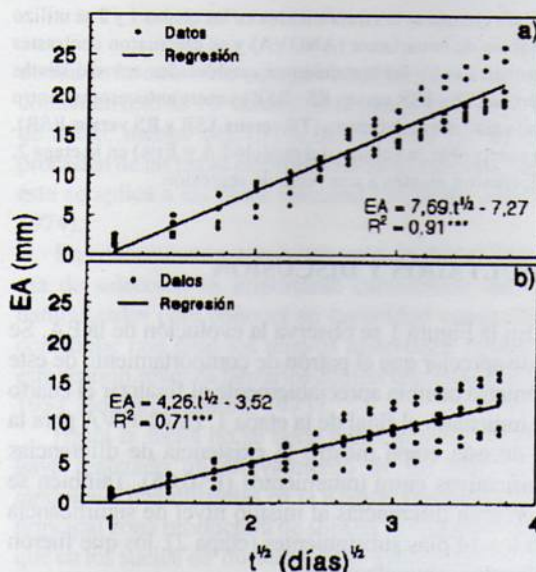


Figura 3: Ajuste a una recta de regresión para: a) tratamientos con labranza tradicional (TSR y TS); y b) tratamientos con labranza reducida (RSR y RS). Las pendientes de las rectas difieren significativamente a $P < 0,01$.

Si se comparan las pendientes obtenidas en este estudio con las que presentan Jaffar *et al.* y Ritchie, J.T. (In: Rosenthal *et al.* 1989) para diversos suelos, se observa que la pendiente determinada para los tratamientos TS y TSR (7,6 mm día^{-1/2}), supera al valor más elevado citado por dichos autores, que es de 5,1 mm día^{-1/2} para un suelo franco-arcilloso. En cambio, la pendiente calculada para los tratamientos RS y RSR (4,2 mm día^{-1/2}), se asemeja a la de suelos francos a franco-limosos, que citan los mismos autores.

Los valores de evaporación acumulada obtenidos en este trabajo pueden considerarse representativos de la realidad, dado que la sumatoria de la evaporación estimada en el suelo circundante, para el mismo período, fue similar. Es por eso que el valor considerado por Ritchie y Johnson (1990) de 3,5 mm día^{-1/2} como promedio, y empleado en los modelos tipo CERES, podría inducir a un error considerable en la estimación de la EA para un sistema de labranza tradicional, en períodos secos y con suelo desnudo.

Lo discutido anteriormente induce a pensar que en esta fase del proceso de evaporación, que es principalmente suelo-dependiente, el factor determinante de las diferencias observadas, sería el estado físico de la superficie evaporante. Dichas diferencias estarían causadas por el efecto acumulativo de los tratamientos de labranza durante un período de ocho años, y por los efectos de corto plazo sobre la distribución de agregados, y la disposición dentro del suelo de los residuos incorporados, inducidas por el laboreo. En relación a estos supuestos, cabe señalar que se observaron diferencias apreciables en el tenor de materia orgánica en los primeros 5 cm (2,1 % y 2,7 % para las variantes tradicional y reducida, respectivamente) y en el índice de inestabilidad de agregados (de Boodt, de Leenheer 1967), que fue de 2,39 y 1,25 para las variantes mencionadas.

La suma de efectos de corto y largo plazo generaría, en los primeros cm de suelo, distinta distribución porcentual del tamaño de poros capaces de conducir agua hacia la atmósfera; el suelo bajo labranza reducida poseería una distribución de tamaños de agregados que generaría una mayor porosidad estructural. Esta actuaría como una restricción al flujo de agua hacia la superficie, en condiciones de insaturación, lo cual concuerda con lo afirmado por Bouma (1991).

En el sistema de labranza tradicional la conductividad capilar sería mayor, dado que el empaquetamiento más compacto de las partículas favorecería la continuidad de las películas de agua que las recubren, permitiendo un mayor escape de agua a través de la interfase suelo-atmósfera.

De acuerdo con esta experiencia, las mejores condiciones para preservar el agua del suelo de las pérdidas por evaporación se observan después del sorgo, en un sistema de labranza reducida. En esta situación, los valores de evaporación correspondientes a las etapas 1 y 2 se ven reducidos de manera significativa, lo cual concordaría

con la aseveración de Aase *et al.* (1987), quienes concluyen que la combinación más deseable para este fin la brindan los residuos en superficie y las prácticas que disminuyan la continuidad capilar.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de S Castellano (EEA INTA Manfredi), en el análisis e interpretación estadística de los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

- Aase J K, Tanaka D L. 1987. Soil water evaporation comparison among tillage practices in the Northern Great Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:436-440.
- Baver L D Gardner W H, Gardner W R. 1972. *Física de Suelos*. UTEHA. México. 529 p.
- Bouma J. 1991. Influence of soil macroporosity on environmental quality. *Adv. Agron.* 46:1-7.
- Dardanelli J L, Ateca M R, Edreira G, Zanvetto R E. 1991. Medición de la evaporación en suelo con dos sistemas de labranzas. *Actas Vª Reunión Argentina de Agrometeorología*. Vaquerías (Córdoba): 9 al 11-10-91. pp. 63-72.
- De Boodt M, De Leenheer L. 1967. West European methods for soil structure determinations. *The St. Faculty Agron. Sci. Ghent, Belgium.* 7:60-62.
- Doorenbos J, Pruitt W O. 1986. *Las necesidades de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje N° 24. Roma, Italia.
- Enz J W, Brun L J, Larsen J K. 1988. Evaporation and energy balance for bare and stubble covered soil. *Agric. and Forest Meteorol.*, 43:59-70.
- Kanemasu E T, Stone L R, Powers W L. 1976. Evapotranspiration model tested for soybean and sorghum. *Agron. J.* 68:569-572.
- Lascano R J, van Bavel C H M. 1983. Experimental verification of a model to predict soil moisture and temperature profiles. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:441-448
- Lascano R J, van Bavel C H M. 1986. Simulation and measurement of evaporation from a bare soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1127-1132.
- Lascano R J, van Bavel C H M, Hatfield J L, Upchurch D R. 1987. Energy and water balance of a sparse crop: Simulated and measured soil and crop evaporation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1113-1121.
- Masiero B L, Marelli H H. 1988. Temperatura del suelo en "Siembra Directa" y "Siembra Convencional" durante los días posteriores a la siembra de soja. *Revista Agropecuaria de Manfredi y Marcos Juárez-RAM.* 4(1):17-30.
- Penman H L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. London*, 193(A):129-145.
- Ritchie J T. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resour. Res.* 8:1204-1213.
- Ritchie J T, Godwin D C. 1989. Obtaining Soil Input for the CERES Model. In: *Modeling the Growth and Development of Sorghum and Pearl Millet*. ICRISAT. Res. Bull N° 12. Patancheru (India), pp. 16-18.
- Ritchie J T, Johnson B S. 1990. Soil and plant factors affecting evaporation. In: *Irrigation of Agricultural Crops*. Agr. Monograph N° 30. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI (USA), pp. 363-390.
- Rosenthal W D, Vanderlip R L, Jackson B S, Arkin G F. 1989. SORKAM: A Grain Sorghum Crop Growth Model. Texas Agric. Exp. St., College Station. Computer Software Documentation. Series MP 1669.
- Tanner C B, Jury W A. 1976. Estimating evaporation and transpiration from a row crop during incomplete cover. *Agron. J.* 68:239-243.