

USO DE LISÍMETROS PARA LA MEDICIÓN DE LA EVAPORACIÓN DE AGUA EN DOS MANEJOS DEL SUELO

C.A. PURICELLI¹ y E. WEIR¹

Recibido: 17/07/02

Aceptado: 21/11/02

RESUMEN

Utilizando 4 lisímetros del tipo "de relleno", de 170 cm de profundidad y sin tabla de agua, se midió la evaporación del suelo. La experiencia fue hecha durante 710 días en Marcos Juárez (Cba); se realizaron 34 mediciones pareadas de dos manejos de suelos: a) suelo desnudo y b) "colchón" de residuos de maíz, usando el test de "t".

La evaporación fue ligeramente mayor en el suelo desnudo con relación al suelo cubierto solo (80% probabilidad) ello ocurrió especialmente en el primer año (90% probabilidad). La evaporación en ambos tratamientos de manejo tuvo una tendencia en el tiempo que se ajustó según ecuaciones logarítmicas (ln); ellas fueron positivas, teniendo pendientes comunes.

El "colchon" de residuos no resultó suficientemente eficaz para reducir las pérdidas de evaporación desde el suelo.

Palabras clave. Evaporación del suelo, manejo del suelo, lisímetros.

WATER EVAPORATION MEASUREMENTS USING LYSIMETERS FOR TWO SOILS MANAGEMENT

SUMMARY

Soil evaporation was measured with four lysimeters box, filled-in type, 170 cm depth, and without static water table. Experience was conducted at Marcos Juárez (Cba.), lasting 710 days; they were tested 34 times two paired treatments: a) bare soil, b) stubble mulched soil (corn residues) using "t" test.

Soil evaporation was slightly larger for bare than mulched soil only (80% probability level) and particularly for first year experience (90% probability level). Evaporation time tendency for both treatments were adjusted to logarithmic (ln); they were positive function, having common slopes.

Stubble mulch was not enough efficient to reduce soil evaporation losses.

Key words. Soil evaporation, soil management, lysimeters.

INTRODUCCIÓN

Los lisímetros son equipos utilizados con distintos fines: a) Determinación de la evapotranspiración de las plantas; b) Estudio de los componentes del ciclo del agua del lugar; c) Estudio del líquido percolado a través del perfil del suelo, particularmente para nutrientes o agentes contaminantes del terreno.

Los escasos estudios informados en la Argentina se orientaron a medir la evapotranspiración de algunos cultivos (Luque, 1968; Puricelli *et al.*,

1976/77; Rosell y Donnari, 1980; Totis 1992, Díaz y Weir 1986, Weir y Díaz 1983) y también de la evaporación del agua del suelo durante el barbecho en los dos primeros trabajos citados.

Del punto de vista tecnológico, el manejo del agua en los barbechos entre cultivos tiene enorme importancia en la producción agropecuaria argentina, que se realiza en su casi totalidad bajo secano (sin riego).

Disponiendo en la EEA Marcos Juárez de cuatro

¹Estación Experimental Agropecuaria del INTA, EEA Marcos Juárez Cas. Correo 21 2580 Marcos Juárez Cba.).

cajas lisimétricas, se formuló la hipótesis que la evaporación tenía relación con el manejo del suelo, se postuló que la evaluación sería precisa en lisímetros al anularse las pérdidas por escurrimiento superficial (run-in, run-off); ellas normalmente ocurren trabajando en parcelas convencionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los lisímetros utilizados en el trabajo se ubicaron a 32° 41' de latitud sur y 62°07' de longitud oeste, a 112 metros sobre el nivel del mar y en terreno plano. Cada lisímetro tiene 10 m² de superficie y 170 cm de profundidad; son del tipo "de relleno" ("filled in"), sin capa de agua y fueron descriptos en un trabajo anterior (Puricelli *et al.*, 76/77); el suelo utilizado fue un Argiudol típico, serie Marcos Juárez.

Dos de las cajas lisimétricas se mantuvieron con suelo desnudo y otros dos cubiertas con una capa de rastrojo de maíz de $\pm 14 \text{ Mg ha}^{-1}$ durante todo el experimento, el control de malezas fue absoluto durante todo el desarrollo de la misma (710 días), entre el 5/4/76 y el 26/3/78 y se realizó manualmente, con remoción sólo superficial del suelo, para minimizar las pérdidas de agua por evaporación.

No se regó el área "buffer" alrededor de los lisímetros, que se mantuvo libre de malezas con labranzas mecánicas.

El cómputo de la evaporación se realizó a partir de la clásica ecuación simplificada del ciclo hidrológico:

$$\text{LLUVIA} + \text{RIEGO} = \text{PERCOLACIÓN} + \text{EVAPORACIÓN} \\ (\text{todo en mm})$$

El experimento se inició llevando el suelo a capacidad de campo mediante riego; a partir de ese "día cero" después de lluvias importantes, se midió la percolación o se volvió a llevar el suelo a capacidad de campo para calcular, por diferencia, la evaporación.

Se consideró nulo el escurrimiento superficial, pues la altura de los bordes de las cajas lisimétricas superan los 10 cm, impidiendo el desplazamiento del agua sobre el terreno.

La evaporación de un cuerpo de agua se estimó mediante un tanque tipo "A", colocado sobre el terreno (no enterrado) en la estación meteorológica a 200 m aproximadamente de los lisímetros y durante 599 días; los valores se corrigieron por el factor 0,6, el coeficiente K_p de Doorembos y Pruitt (1984), obtenido en función de las características del lugar y se utilizaron en un modelo estadístico predictivo.

Los datos de evaporación (mm día^{-1}) se interpretaron con métodos estadísticos convencionales que se indicaron en cada caso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según Custodio y Llamas (1975), la evaporación es un fenómeno de la superficie del suelo ó de los cuerpos de agua, que depende de distintos factores: viento, presión del aire, cantidad de vapor en la atmósfera.

Dos factores lo limitan (Tschapek, 1966): a) El suministro de agua y b) El suministro de calor.

Teóricamente, puede estimarse groseramente la evaporación de un lugar a partir de la radiación global recibida. En el caso de Marcos Juárez, con valores medios de radiación según Díaz y Masiero (1980) de $374 \pm 153 \text{ Langleys día}^{-1}$ ($15,6 \pm 6,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) la evaporación de un cuerpo de agua, llegaría en condiciones ideales de cálculo a $6,93 \text{ mm día}^{-1}$, es decir, $2.529 \text{ mm año}^{-1}$, considerando un valor de vaporización de $2.260,87 \text{ J}$, ó 540 g cal por cm^3 de agua.

En el caso del suelo, éste se calienta más que el agua y en estado de saturación las pérdidas de agua serán importantes; pero al disminuir el suministro de agua, la evaporación disminuirá notablemente y en suelo seco será casi nula, con lo cual la evaporación, diferirá en magnitud, de la de un cuerpo de agua.

Los datos experimentales globales obtenidos en el estudio se sintetizaron en el Cuadro N° 1.

Cuadro N°1. Ciclo del agua en lisímetros para dos manejos de suelo.

Manejo suelo	Aportes (mm)		Salidas (mm)		N° Días	Evaporación media (mm día ⁻¹)
	Lluvia	Riego	Percolación	Evaporación		
Desnudo	2.500,1	277,87	783,1	1.994,87	710	2,8097
%	90	10	28,2	71,8		
Cubierto	2500,1	255,62	764,66	1.991,06	710	2,8043
%	90,7	9,3	27,7	72,3		

Las pérdidas por evaporación fueron globalmente el 72% de los aportes (lluvias + riego). Los valores medios diarios representaron aproximadamente el 40% de la evaporación teórica para un cuerpo de agua, según se calculó previamente. Su magnitud fue agrónomicamente importante. Puede suponerse que, al no haber sido posible regar el área "buffer" de los lisímetros, la evaporación fue sobrestimada. Pero un trabajo previo realizado en el mismo suelo por Puricelli y Legasa (1975) informó pérdidas por evaporación más drenaje, en suelo desnudo, de 3,012 mm día⁻¹ como valor promedio de 587 días de medición, es decir, bastante similares a los aquí presentados.

Efecto del manejo del suelo sobre la evaporación

Es conocido que la cobertura de residuos puede mejorar la eficiencia de acumulación de agua en el suelo por la disminución de la evaporación (Unger y Stewart, 1983); a su vez, la eficiencia hídrica aumenta para un mayor espesor del "colchón" (Unger y Parker, 1976). Trabajando con microlisímetros en Bushland, Tx., Steiner (1989), verificó pérdidas similares donde se usó cobertura ("no tillage") y con suelo labrado ("sweep tillage"); los valores llegaron a 8mm día⁻¹. Aase y Tanaka (1987) en el área de Great Plains, tampoco hallaron diferencias hídricas entre manejos. Si bien de acuerdo al Cuadro N° 1, globalmente no hubo diferencias de evaporación entre manejos, el análisis de las 34 mediciones pareadas realizadas en los 710 días de trabajo arrojó otras conclusiones. Mediante el test de "t" (centrado) se estudiaron las diferencias entre medias de tratamientos totales y del primer y segundo año por separado. Las diferencias entre los valores medidos totales entre los Cuadros N° 1 y 2 se deben al método de cálculo usado en cada caso.

Cuadro N° 2. Diferencias en evaporación (mm día⁻¹) entre tratamientos y su significancia (test "t") según el período de estudio.

Período de estudio	N° de períodos	Medida y desvío		"t" calculada	Significancia
		desnudo	cubierto		
Total	34	2,89 ± 0,50	2,70 ± 0,58	1,501	al 80%
1er. año	16	2,69 ± 0,37	2,33 ± 0,42	1,880	al 90%
2do. año	18	3,1 ± 0,63	3,0 ± 0,73	0,222	N.S.

Globalmente, las diferencias entre manejos difirieron al 80%. Pero analizando por separado la cobertura para controlar la evaporación resultó más eficiente en el primer año que en el segundo; atribuyéndose ese diferente comportamiento entre períodos a la mayor evaporación y menor precipitación (102,3 mm menos) ocurridas en el segundo año. En ambientes húmedos, la cobertura no anula la evaporación, sino que sólo puede reducirla, siendo el espesor del "colchón" un aspecto clave para disminuir drásticamente la evaporación cuando alcanzó los 5 cm de espesor (Steiner, 1989; Kemper *et al.*, 1994). Su efecto, según experiencias anteriores (Puricelli y Legasa, 1975) fue principalmente sobre la humedad contenida en los primeros 40 cm del perfil del suelo.

Relación entre la evaporación del suelo y un tanque tipo "A"

Desde tiempos lejanos se está buscando un modelo que explique y prediga la evaporación en sistemas de manejo conservacionistas. En realidad, quizás por simplicidad se comenzó a trabajar con suelos desnudos. Así Veihmeyer y Brooks (1954) mostraron que había pobre correlación entre la evaporación del suelo y del tanque tipo "A". Los modelos modernos usan el balance de energía (Lascano y Van Bavel, 1986; Evett *et al.*, 1994). Aparentemente, la capacidad predictiva se consigue para períodos cortos de tiempo -algunos días- por lo que el tema no parece resuelto, si bien se conocen los factores a considerar (temperatura, radiación, velocidad del viento y características hidráulicas del suelo).

En este trabajo y sobre 599 días de mediciones se analizó por correlación la evaporación en el tanque tipo "A" (eje y) y la del suelo (eje x), ambas en mm/día según un modelo logarítmico (ln); los resultados se incluyen en el Cuadro N°3 y muestran una pobre relación, particularmente para el suelo desnudo. Pero los valores medios diarios de evaporación (mm días⁻¹) fueron bastante similares entre sí, e inferiores a la evaporación del tanque "A" (2,916 ± 1,48).

Cuadro N° 3. Correlación entre la evaporación del suelo y la del tanque tipo "A" y su significancia, para dos manejos del suelo, en mm día⁻¹.

Manejo del suelo	N° de casos	Evaporación x y desvíos	Correlación suelos vs tanque	
			coefic. (r)	signif. (anova)
Desnudo	27	2,83 ± 2,04	0,1926	Al 50 %
Cubierto	27	2,669 ± 2,03	0,2984	Al 75 %

Una posible explicación de la falta de correlaciones significativas responde a la alta variabilidad de los valores medios. Así los datos de evaporación media diaria (mm día⁻¹) en 34 períodos durante los 710 días de trabajo mostraron alta fluctuación (datos no presentados por su extensión). Una síntesis se incluye en el Cuadro N°4; observándose que el 70% de los casos se ubicaron en <4 mm día⁻¹; para ambos manejos.

Cuadro N° 4. Tabulación por número de casos, de las pérdidas diarias por evaporación, para dos manejos de suelo.

Intervalos (mm Día ⁻¹)	Número de casos	
	Desnudo	Cubierto
0-----1,99	10	10
2-----3,99	14	14
4-----5,99	5	5
6-----7,99	2	2
8-----9,99	1	1
Más de 10	2	2
Total	34	34

Tendencias de la evaporación en el tiempo

Los valores de evaporación media diaria correspondiente a cada manejo (eje y) se correlacionaron con el número de días acumulados (eje x), usándose modelos lineales, cuadráticos y logarítmicos. En el Cuadro N° 5 se presentaron los mejores ajustes obtenidos. La tendencia del fenómeno resultó creciente, para ambos manejos de suelo y las pendientes de las líneas (coeficiente b), no difirieron entre sí de acuerdo al test de "t" (t calculada=0,21025 para 64 grados de libertad). Por lo tanto, la evaporación no fue sensiblemente modificada por la cobertura.

Cuadro N° 5. Tendencias en el tiempo, de las pérdidas por evaporación y su significancia.

Manejo suelo	Desnudo	Cubierto
Días acumulados	710	710
Coef. correl. (r)	0,335	0,384
Signific. (anova)	Al 90%	Al 95%
Ecuación	$y=a+b \cdot \log. nX$	
	$Y=0,56339+0,001294 X$	$Y=0,44122+0,001483 X$

Se interpretó que estando cada lisímetro en capacidad de campo desde el comienzo del estudio, cada nuevo aporte hídrico estimuló la pérdida de agua por evaporación. En consecuencia, un barbecho demasiado largo, en Marcos Juárez, representa un uso ineficiente de las lluvias, ya que aquellas se perderán por percolación o evaporación; coincidiéndose así con resultados previos (Puricelli y Legasa, 1975).

CONCLUSIONES

La evaporación del suelo, medida en lisímetros sin capa de agua y durante 710 días en Marcos Juárez Córdoba (Argentina), mostró que:

- Alrededor del 72% del agua recibida (lluvias + riego) se perdió por evaporación. Los valores medios diarios de agua perdida representaron alrededor del 40% del potencial de evaporación del lugar.
- La evaporación para el suelo desnudo fue ligeramente mayor que en el suelo cubierto; las diferencias fueron estadísticamente significativas sólo al nivel del 80% según el test de "t"; las diferencias fueron significativas (90%) en el primer año de medición y no significativas en el segundo. En síntesis, la cobertura no redujo drásticamente la evaporación desde el suelo.
- La correlación entre la evaporación del suelo y la del tanque tipo "A" fue pobre, particularmente para el suelo desnudo. Se evidencian así las diferencias entre la evaporación de un cuerpo de agua y un suelo húmedo, que condujeron a no obtener un modelo predictivo útil de la evaporación
- La tendencia en el tiempo de la evaporación para los dos manejos estudiados se ajustó por regresión a una función logarítmica (ln) y fue creciente; las pendientes de ambas líneas de regresión fueron homogéneas. En el largo plazo, la evaporación no fue sensiblemente modificada, por la presencia de cobertura sobre el suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- AASE, J.K. and D.L. TANAKA. 1987. Soil water evaporation comparisons among tillage practices in the northern Great Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:436-440.
- CUSTODIO, E. y M.R. LLAMAS. 1975. Hidrología Subterránea. Tomo I. Capítulo 6,4: Evaporación y transpiración. Edic. OMEGA S.A. Barcelona (2 tomos: 2.359 pag. totales).
- DÍAZ, R.A. y B.L. MASIERO. 1980. Estimación de la radiación global a partir de la heliofanía. R.I.A.(INTA) 15 (1); 17-34.
- DÍAZ, R. y E. WEIR. 1986. Evapotranspiración potencial según estimaciones y mediciones en el sudeste de Córdoba.-p11- XI Congreso Argentino de la Ciencia de la Ciencia del Suelo. Neuquén Prov. Rio Negro.
- DOOREMBOS, J. y W.O. PRUITT. 1984.-Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 24-194 pp.
- EVETT, S.R.; A.D. MATTHIAS and A.W. WARRICK. 1994. Energy balance model of spatially variable evaporation from bare soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1604-1611.
- KEMPER, W.D.; A.D. NICKS and A.T. COREY.1994. Accumulation of water in soils under gravel and sand mulches.*Soil Sci. Soc.Am. J.* 58:56-63.
- LASCANO, R.J. and C.H.M. VAN BAVEL. 1986. Simulation and measurement of evaporation from a bare soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50 : 1127-1133.
- LUQUE, J.A. 1968. Observaciones lisimétricas en un suelo castaño oscuro de la región pampeana.*Rev. Investig. Agrop.* (INTA) Serie 3, 5 (1) : 1-11.
- PURICELLI, C.A. y A.LEGASA. 1975. Movimientos del agua edáfica en un suelo Brunizem .*Rev. Invest. Agrop.* (INTA) Serie 3, 12 (1) : 27-61.
- PURICELLI, C.; C. BARRIOS y B. MASIERO. 1976/77. Determinaciones lisimétricas de evapotranspiración en maíz y evaporación durante el barbecho para Marcos Juárez (Cba.) *Rev. Invest.Agrop.* (INTA) Serie 3, 13 (3) : 73-90.
- ROSELL, R.A. y M.A.DONNARI. 1980. Evaluación de requerimientos hídricos de cultivos empleando lisímetros. Public. 8vo.Certamen Bolsa de Com. de Rosario. 22pp.
- STEINER, J.L. 1989. Tillage and surface residue effects on evaporation from soils. *Soil Sci.Soc. Am. J.* 53: 911-916.
- TOTIS de ZELJKOVICH, L. 1992. Necesidades de agua de los cultivos de trigo y soja en la región de Pergamino Buenos Aires. Información N° 97 4pp. Est. Exp. INTA Pergamino. Buenos Aires.
- TSCHAPEK, M.W. 1966. El agua en el suelo. Consejo Super. de Invest.Cient. España 517 pp.
- UNGER, P.W. and J.J.PARKER. 1976. Evaporation reduction from soil with wheat, sorghum and cotton residues. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40 : 938-942.
- UNGER, P.W. and B.A. STEWART. 1983. Soil management for efficient water use :An overview. pp419-460 IN:
- TAYLOR, H.M. *et al.*, (edit.) Limitation to efficient water use in crop production. ASA, CSSA and S.S.S.A.
- VEIHMEYER, F.J. and F.A. BROOKS.1954. Measurements of cumulative evaporation from bare soil.*Trans. Amer. Geophys. Un.*, 35 (4) : 601-607.
- WEIR, E. y R.A. DÍAZ. 1983. Requerimientos hídrico máximos y coeficiente del cultivo del trigo en la Subregión Triguera II Norte. X Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata Prov. Buenos Aires.