Rev. Bras. Agrometeorologia, v. 15, n.1, p.59-68, 2007
Recebido para publicação em 29/06/06. Aprovado em 05/03/07.

ISSN 0104-1347

Efecto de enmiendas orgánicas en mezclas con suelo sobre la pérdida de agua por evaporación

Effect of organic amendments in mixes with soil on the loss of water by evaporation

I. Mormeneo[1]; M. Aguirre[2]; J. Roncoroni[2] y R. Santamaría[3]

Resumen: La utilización de suelos en mezclas con enmiendas se convierte en la principal y más importante limitante del cultivo en macetas. Con el tiempo las mezclas, suelo y enmiendas, se compactan, la infiltración de agua disminuye y hay pérdida de capacidad de aireación. Un balance entre micro y macroporos es fundamental, debido a que los primeros son los responsables de retener el agua del suelo y los segundos de la circulación de los gases factores importantes para la obtención de plantas de calidad. El objetivo de este trabajo fue determinar la pérdida de agua por evaporación en macetas que contienen mezclas de suelo con diferentes enmiendas naturales a partir del estado de saturación y en condiciones de invernáculo. Se desarrolló un ensayo con trece tratamientos y cinco repeticiones durante dos ciclos en el año 2005. Se utilizaron macetas plásticas de 700 cm³ de volumen. Las mismas se llenaron con mezclas de suelo y cuatro enmiendas naturales: compost de residuos verdes, compost de cáscara de girasol, cáscara de girasol entera y orujo de la industria olivícola, en proporciones del 25, 50 y 75 % de enmienda. Como testigo se utilizó 100 % de suelo. El valor de evaporación se obtuvo a partir de lecturas diarias por diferencias de peso. Se registró la temperatura del suelo, del ambiente y la humedad relativa del aire. Como control de las condiciones de la atmósfera se utilizó la evaporación del evaporímetro Piche. A 10 días de comenzado el ensayo, luego de alcanzada la humedad equivalente, las mezclas con enmiendas sin compostar: cáscara de girasol entera y orujo en la proporción 25% suelo: 75% enmienda. mostraron la menor evaporación acumulada atribuible a los cambios de porosidad total. Las mezclas con las proporciones 50% enmienda. y 25% enmienda no alcanzaron a disminuir la evaporación en valores significativos en relación al suelo. La temperatura fue similar en el interior de todas las mezclas, por lo cual no incidió particularmente en la tasa de evaporación. No se observó una relación entre macroporosidad de las mezclas y cantidad de agua evaporada al finalizar los ensayos.

Palabras clave: enmienda orgánicas, evaporación, riego, cultivos protegidos.

Abstract: The use of soils mixed with amendments has been one of the major problems for bedding plants. Along the time substrates start to become more compact, causing reduction of water infiltration and aeration. The balance between micro and macro pores is fundamental, once the first are responsible for water retention and the second for the air circulation, both being important factors in order to obtain plants of quality. The objective of this study was to determine the loss of water by evaporation in greenhouse from containers with soil and several amendments, starting from soil water saturation point. Plastic containers of 700 cm³ were filled with mixes of soil and four natural amendments: compost of vegetable residues, compost of sunflower hull, whole sunflower hull and marc of olives in the percentage of the 25, 50, 75 amendment. The control was soil without amendments. The evaporation was obtained by the difference of daily weight reading. Soil and air temperature and relative humidity were also measured. Evaporation of a Piche evaporimeter was used as a reference of atmospheric water demand. After ten days from the beggining of the essay, after reaching the equivalent soil moisture, the treatments amendments hull of sunflower and marc of olive in the proportion 25% suelo:

[1] Agrometeorología. Dpto. Agronomía. UNSur. San Andrés 800, Altos de Palihue, (8000) Bahía Blanca, Argentina. E-mail: mormeneo@criba.edu.ar
[2] Propiedades Físicas de Suelos y Sustratos. Dpto. Agronomía. UNSur San Andrés 800, Altos de Palihue, (8000) Bahía Blanca, Argentina. E-mail: maguirre@criba.edu.ar.
[3] Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC). UNSur San Andrés 800, Altos de Palihue, (8000) Bahía Blanca, Argentina. E-mail: rsanta@criba.edu.ar

75% amendment showed the smaller cumulative evaporation due to changes of their porosity. The mixes with the proportion of 50% amendment and 25% amendment did not diminish the evaporation significantly when compared with the control (soil without amendments). It was not observed any relationship between macro porosity of the mixes and water evaporation

Key words: organic amendments, soil evaporation, watering, protected crops.

Introducción

La producción de plantas en macetas o contenedores se puede llevar a cabo utilizando sustratos o mezclas de suelo con enmiendas, dependiendo del tipo de producción, de la capacidad económica del productor, y de la disponibilidad a bajo costo de materiales orgánicos producidos a partir de recursos naturales presentes en la biodiversidad de cada ambiente (CARRIJO *et al.*, 2002, DE ANGELIS, 2004).

La utilización de suelos en mezcla con enmiendas se convierte en la principal y más importante limitante del cultivo en macetas. Con el tiempo las mezclas se compactan, hay disminución en la infiltración de agua y pérdida de capacidad de aireación. Un balance entre micro y macro poros es fundamental, debido a que los primeros son los responsables de retener el agua del suelo y los segundos de la circulación de los gases, factores importantes para la obtención de plantas de calidad. La no corrección de estos problemas, puede crear un entorno en que las raíces estén expuestas a fluctuaciones muy marcadas de disponibilidad hídrica.

En estado de saturación todos los macroporos están llenos de agua; en estado no saturado a capacidad de campo, el agua contenida en los macroporos se ha perdido por acción de la gravedad y a partir de ese punto la pérdida de agua de los capilares de menor tamaño se produce por extracción del vegetal o bien por transpiración. Si bien la pérdida de agua está condicionada fundamentalmente por la evaporación propia de cada cultivo, nuestro trabajo se basó en el supuesto que las mezclas de suelo con enmiendas orgánicas disminuirían el potencial de evaporación del sustrato por un cambio en la distribución del tamaño de poros, lo que contribuiría a la interrupción del ascenso capilar del agua.

El objetivo de este trabajo fue determinar la tasa de evaporación y los cambios producidos en algunas propiedades de un suelo arenoso por el agregado de enmiendas orgánicas en condiciones de invernáculo.

Materiales y Métodos

Este trabajo se desarrolló en invernáculo en dos períodos, durante los meses de mayo y octubre de 2005. Los contenedores utilizados fueron macetas plásticas de 700 cm^3 de volumen. Se efectuaron mezclas de suelo y enmienda según las proporciones descriptas en la Tabla 1. Las enmiendas utilizadas fueron cuatro: 1) compost de residuos verdes, 2) compost de cáscara de girasol, 3) cáscara de girasol entera y 4) orujo de la industria olivícola. El testigo contenía 100% de suelo de textura arenosa.

Se empleó un diseño completamente al azar con 13 tratamientos y cinco repeticiones (incluido el testigo). Se preparó una cantidad de 600 cm^3 de la mezcla enmienda-suelo para cada repetición e igual cantidad de suelo para el testigo. Para cada mezcla y el suelo se determinó densidad real (δr) calculada a partir del contenido de cenizas, como porcentaje referido a materia seca (ANSORENA MINER, 1994), densidad aparente (δap) inicial y al finalizar el ensayo, porosidad total a partir de los valores de densidad aparente y real y capacidad de almacenamiento a humedad equivalente (CAHE) con la centrífuga universal a pF 3,

Si bien las técnicas de medición de evaporación a campo utilizan instrumental automático o evaporímetros que miden la pérdida de agua desde una superficie libre, en función de la radiación, viento, temperatura y humedad relativa del aire, determinando coeficientes para esos ambientes (DOORENBOS y PRUITT, 1977), en nuestro caso por tratarse de ensayos en macetas, la pérdida de agua por evaporación se determino por diferencia de peso. Asimismo se midió la evaporación con un evaporímetro Piche.

Al inicio del ensayo las macetas se regaron hasta saturación, y luego de percolar durante 24

Rev. Bras. Agrometeorologia, v. 15, n.1, p.59-68, 2007

horas se pesaron diariamente hasta peso constante. Simultáneamente con la determinación de la pérdida de agua, se tomó la temperatura de las mezclas con un termómetro digital de resolución ± 0,5°C. Un segundo ensayo se realizó con las mismas muestras, homogeneizadas previamente para eliminar una posible estratificación de los diferentes componentes. Además se llevó un registro continuo de temperatura y humedad relativa del aire utilizando un termohigrógrafo.

Resultados y Discusión

La capacidad de retención es la cantidad máxima de agua capilar retenida por el suelo, a un pF aproximado de 3, equivalente a una atmósfera y corresponde a la microporosidad del suelo (DUCHAUFOUR, 1978)

Es deseable que la mayor cantidad de agua disponible de un sustrato se encuentre entre pF 1 y 2, lo cual no significa que la planta no pueda seguir extrayendo agua a succiones superiores a pF 2, como lo hace en los suelos, pero cuanto más elevada sea la fuerza de succión que deba ejercer la planta, mayor será el gasto energético del proceso (ANSORENA MINER, 1994).

En nuestro ensayo consideramos por lo tanto que la evaporación del suelo y sus enmiendas es importante sólo en el rango comprendido entre saturación y pF 3. Lo consignado como evaporación el primer día del ensayo podría atribuirse a un remanente de agua gravitacional, ya que en los suelos la humedad a capacidad de campo se considera luego de 24 o 48 horas posteriores al estado de saturación.

Tabla 1. Combinación de las diferentes enmiendas en volumen.

25% Suelo	50% Suelo	75% Suelo
+ 75% compost de residuos verdes	+ 50% compost de residuos verdes	+ 25% compost de residuos verdes
+ 75% compost de cáscara de girasol	+ 50% compost de cáscara de girasol	+ 25% compost de cáscara de girasol
+ 75% cáscara de girasol entera	+ 50% cáscara de girasol entera	+ 25% cáscara de girasol entera
+ 75% orujo	+ 50% orujo	+ 25% orujo

Tabla 2. Densidad real, densidad aparente inicial y final, porosidad total inicial y final y capacidad de almacenamiento a humedad equivalente (CAHR) (pF 3) del testigo y sus mezclas.

Tratamientos	δreal (gr cm^{-3})	δap inicial (gr cm^{-3})	δap final (gr cm^{-3})	Porosidad total (%)		CAHE (pF3) (% Vol)
				Inicial	final	
100 % S	2,65	1,12	1,35	57,7	50,0	9,92
25%S+75% ct-res-veg	2,25	0,53	0,77	76,4	65,7	21,23
50%S+50% ct-res-veg	2,47	0,77	1,14	68,8	53,8	15,63
75%S+25% ct-res-veg	2,54	0,90	1,25	64,5	50,8	11,93
25%S+75% ct-cás-gir	2,33	0,50	0,94	78,5	59,6	15,50
50%S+50% ct-cás-gir	2,48	0,74	1,07	70,2	56,8	17,83
75%S+25% ct-cás-gir	2,55	0,98	1,25	61,6	50,9	12,55
25%S+75% cás-gir-ent	1,95	0,37	0,39	81,0	80,0	16,11
50%S+50% cás-gir-ent	2,20	0,60	0,86	73,8	60,9	10,37
75%S+25% cás-gir-ent	2,55	0,89	1,20	65,1	52,9	10,92
25%S+75% oru	2,05	0,54	0,68	73,6	66,8	19,41
50%S+50% oru	2,34	0,78	1,02	66,6	56,4	13,61
75%S+25% oru	2,53	0,97	1,25	61,6	50,6	11,97

CAHE: Capacidad de almacenamiento a humedad equivalente (pF3) en % Vol.

En la Tabla 2 se presenta la densidad real, densidad aparente inicial y final, porosidad total inicial y final y capacidad de almacenamiento a humedad equivalente (CAHE - pF 3) del testigo y sus mezclas. Considerando que luego de dos ciclos de humectación, las enmiendas pueden sufrir un proceso de compactación con aumento de su densidad aparente, se incluye la porosidad total de las muestras una vez finalizado el ensayo.

Se puede apreciar que CAHE es proporcional a la cantidad de enmienda de compost de restos vegetales y orujo, no así a la de cáscara de girasol (Tabla 2). La mezcla con 75 % de compost de cáscara de girasol presenta menor CAHE que la de 50 % (15,50 vs 17,83 %) y las mezclas de cáscara entera de 50 % y 25 % tiene valores similares de CAHE. Este último comportamiento es dificil de explicar porque juegan las humedades equivalentes de los componentes: suelo, enmienda y mezclas y los cambios de porosidad del sistema.

Podemos considerar el valor de la macroporosidad como la diferencia entre la porosidad total (PT) y el valor de CAHE o microporosidad, con lo cual tendríamos un valor de macroporos máximo de 65 % (PT: 81,0 %- CAHE:16,11 %) para la mezcla 25% s: 75% e. de cáscara de girasol entera y un mínimo de 48 % para el suelo solo. No se observó una relación estadística entre los valores de macroporos y la evaporación acumulada a los 14 días de comenzado el ensayo (Figura 1). Nuestra relación difiere de los resultados de WITKOWSKA-WALCZAK (2000) que muestran que la evaporación desde la superficie de suelos arados decrece con el incremento del tamaño de agregados lo que genera una porosidad de mayor tamaño de poros.

En la Figura 2 se presentan los valores promedio de la temperatura del suelo y de las mezclas, en los dos períodos analizados, agrupando las mismas según la proporción de suelo que contienen. No se observaron diferencias (P> 0,05) de temperatura en el interior de las macetas entre las diferentes mezclas y el testigo, con desvíos de 2 °C ± 0,2° C. El coeficiente de variación fue del orden del 10 % en todos los casos.

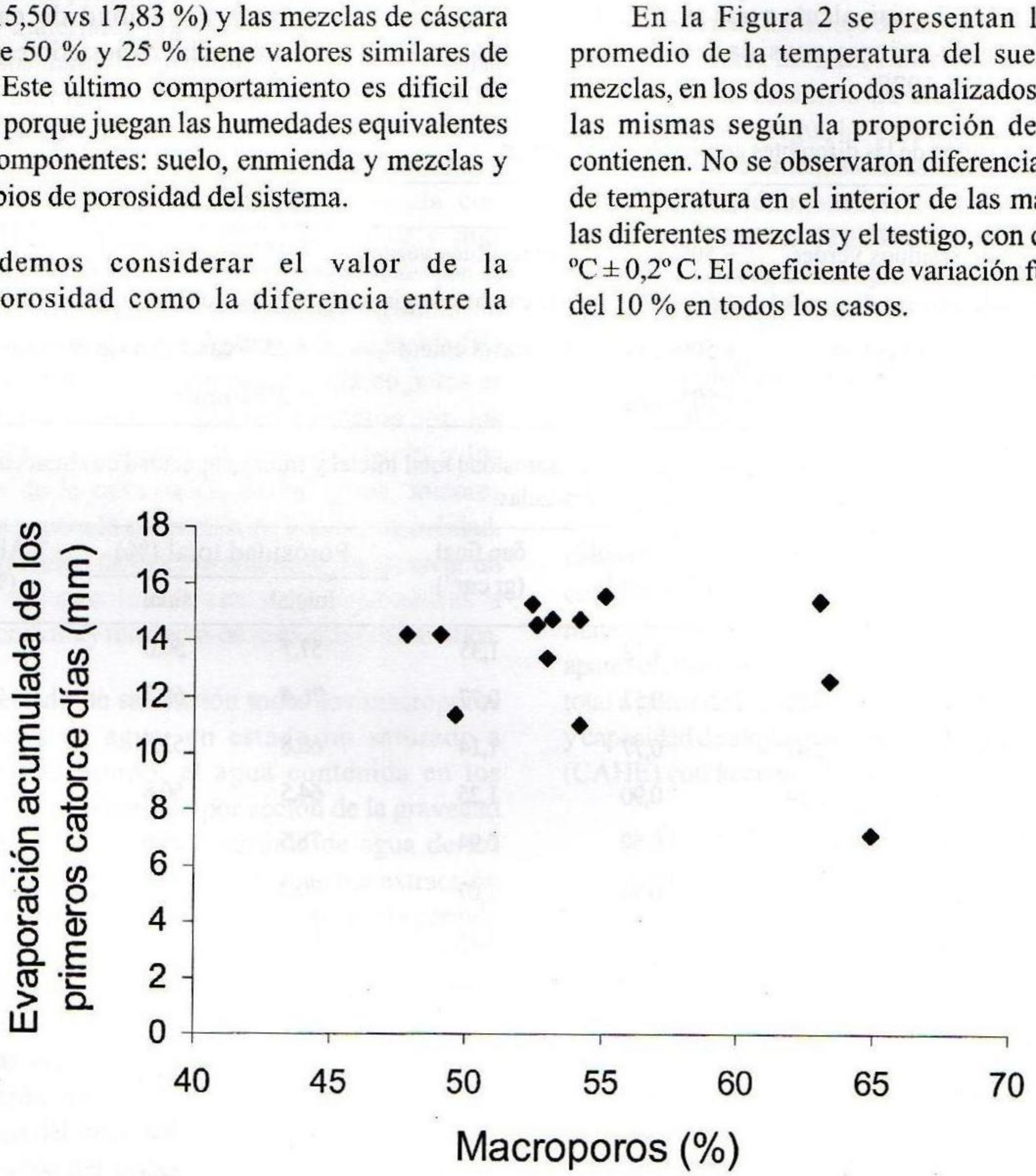

Figura 1. Relación entre la macroporosidad de todas las mezclas y la evaporación acumulada a los 14 días de iniciado el ensayo.

Rev. Bras. Agrometeorologia, v. 15, n.1, p.59-68, 2007

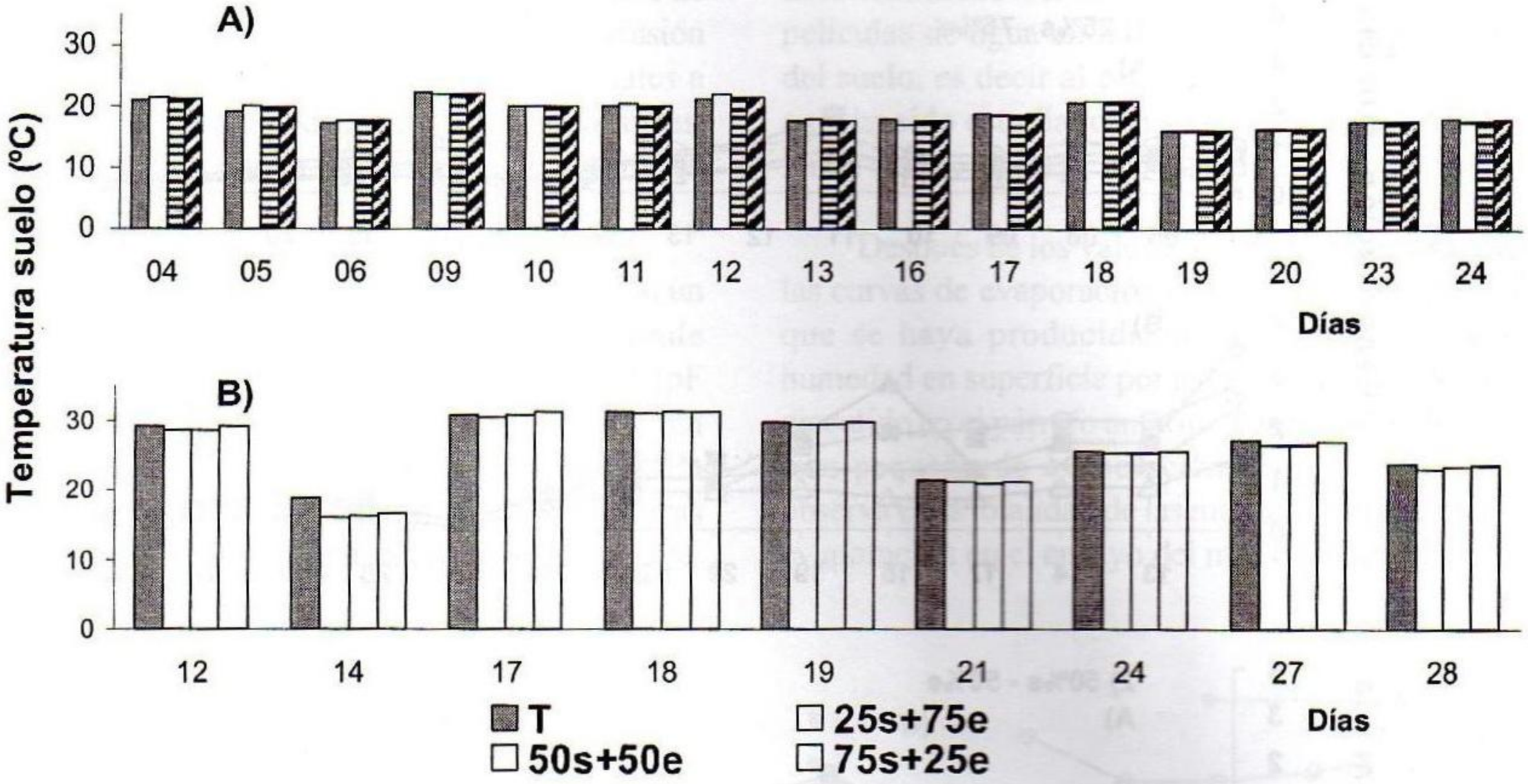

Figura 2. Temperatura media diaria en el interior de las mezclas y el testigo, A) mayo; B) octubre. Se carece de información en los días no consignados.

En octubre, la temperatura máxima del invernáculo no excedió de 38ºC y la mínima no descendió de 13ºC. La humedad relativa del aire se mantuvo entre 20 % y 75% como valores mínimos y máximos respectivamente.

En la Figura 3 consideramos la evaporación en los diferentes tratamientos según la proporción de suelo en la mezcla. En la Tabla 3 se presentan las diferencia estadísticas entre los valores de evaporación diaria de las distintas mezclas. Podemos observar que las mezclas 25% s: y 75% e. de compost de restos vegetales, cáscara de girasol entera y orujo presentan valores de evaporación significativamente menores ($P \leq 0,05$) que el suelo, durante los días 13 al 17 de octubre. Las mezclas 50% s: 50% e. de cáscara de girasol entera y orujo presentan diferencias significativas con el testigo para los días 13 y 14 de octubre.

La evaporación diaría de todas las mezclas con proporción 75% suelo: 25% enmiendas, no presentan diferencias significativas con el testigo durante el ciclo evaluado.

Durante los primeros 14 días (25 de octubre), la evaporación acumulada (Tabla 3), fue significativamente mayor ($P \leq 0,05$) en la cáscara de girasol compostada (15,4 mm) y menor en la cáscara de girasol sin compostar (7,0 mm) para ambas proporciones de 25% suelo: 75% enmienda. La mezcla con restos vegetales compostados presentó un comportamiento errático durante los días 17, 18 y 19 con un valor de evaporación acumulado al final de ese período similar a la cáscara de girasol compostada.

En las mezclas con proporción 50% s: 50% e la evaporación acumulada al día 25 de octubre, se mantiene en el mismo orden que para 75% s: 25% e, sin diferencias significativas entre ellas ($P>0,05$). En esta última proporción los compost de restos vegetales y cáscara de girasol y cáscara de girasol entera presentan pérdidas similares de agua con un valor promedio de 14,5 mm. La menor pérdida se observa en la mezcla de suelo y orujo con 11,4 mm.

En las diferentes curvas de evaporación (Figura 3) se observan dos ciclos con un día de evaporación mínima (17/5 y 25/10). Mientra la humedad de la mezcla es superior a la capacidad de campo la evaporación es rápida; cuando el contenido de agua disminuye por debajo de la capacidad de campo, el agua circula cada vez más lentamente y los estratos superiores pierden más agua de la que reciben (HENIN et al., 1972). Esta pérdida de agua

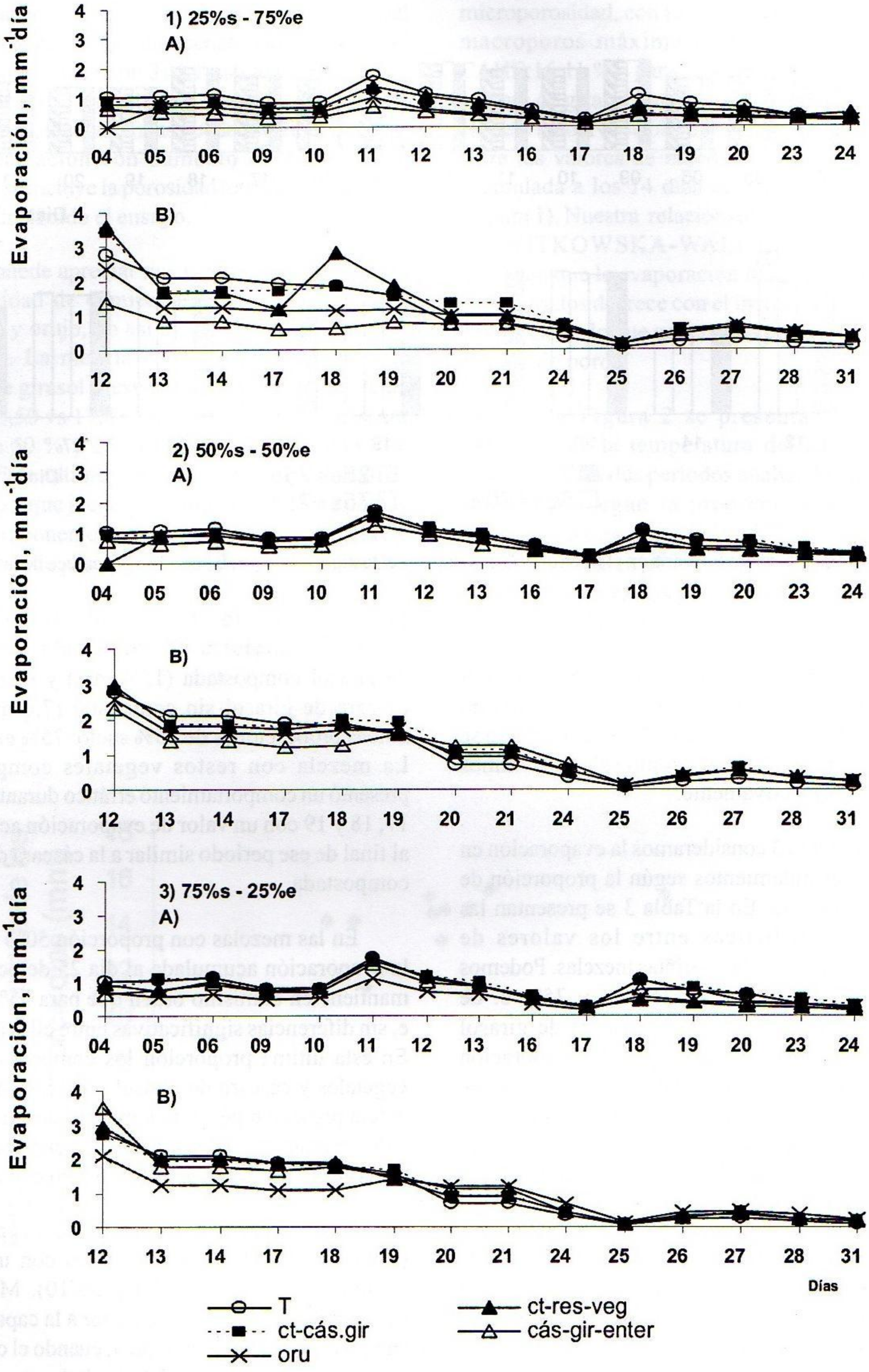

Figura 3. Evaporación diaria en las tres proporciones de suelo-enmienda para cada componente en las mezclas con suelo. A) mayo; B) octubre. (s: suelo; e: enmienda).

Rev. Bras. Agrometeorologia, v. 15, n.1, p.59-68, 2007

en superficie provoca un movimiento ascendente de la masa líquida por difusión capilar, pero esta difusión es insuficiente para llevar las capas superficiales a una humedad igual a la de las capas más profundas, lo que sólo se produce mediante un gradiente de potencial mátrico.

Cuando la superficie del suelo ha alcanzado un cierto grado de desecación, que corresponde sensiblemente al punto de marchitez temporal (pF 4,2), la variación de la humedad y del pF en profundidad deja de ser regular y se forma en la superficie una capa cada vez más seca, mientras que las capas profundas se desecan más lentamente. Este fenómeno correspondería a la ruptura de las películas de agua en la superficie de las partículas del suelo, es decir al cese de la difusión capilar, lo cual ha sido estudiado en suelos por HALLAIRE y Hillel (1953, 1980).

Después de los valores mínimos observados en las curvas de evaporación (17/5 y 25/10) es posible que se haya producido una recuperación de la humedad en superficie por ascenso capilar, según lo discutido en el párrafo anterior, con un segundo ciclo más pequeño de evaporación. Ese mecanismo se observa en la totalidad de las mezclas, con una menor evaporación en el ensayo del mes de mayo, dada las

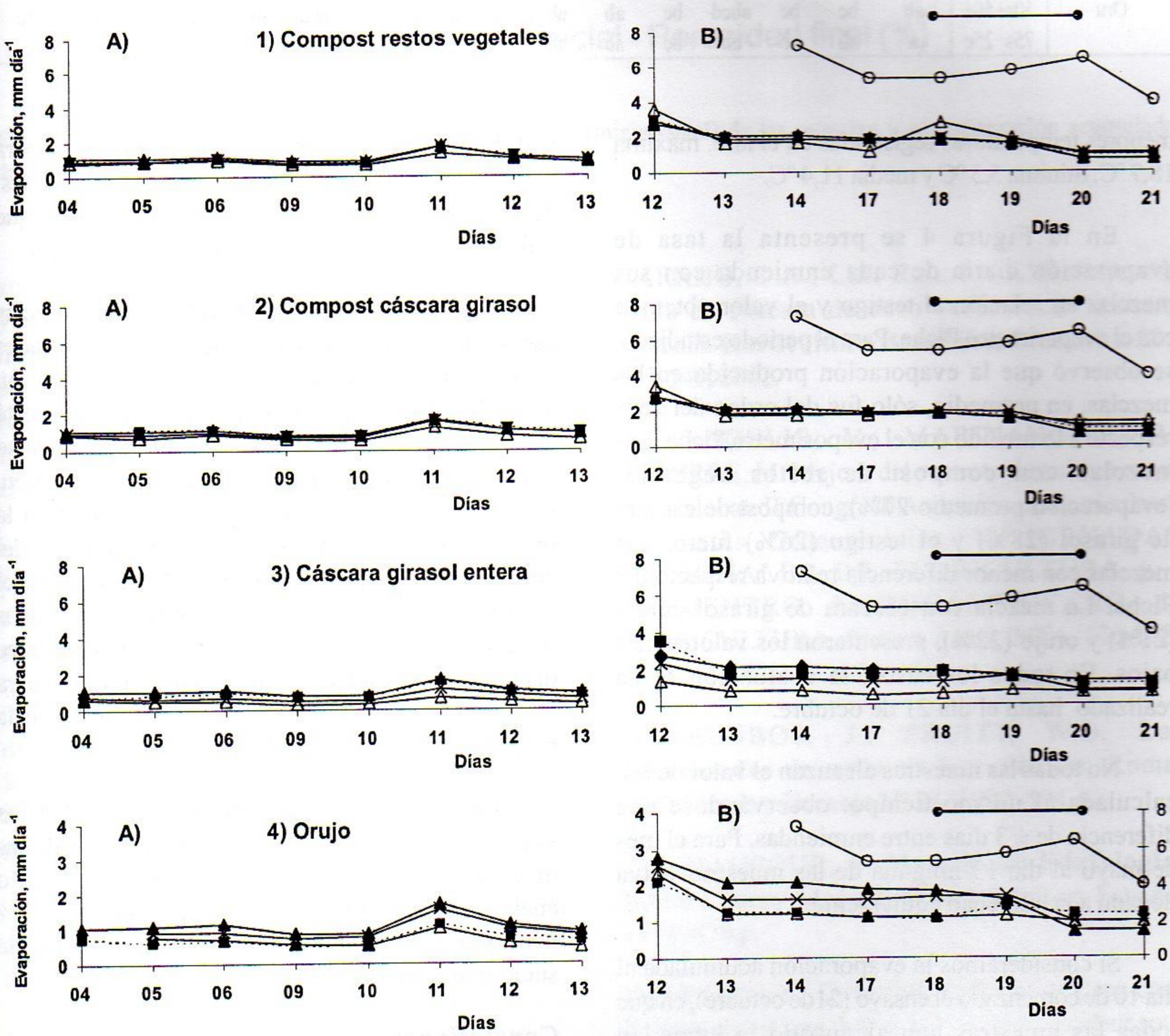

Figura 4. Evaporación diaria en las cuatro enmiendas y el testigo (T), en las tres proporciones de suelo-enmienda y en el Piche. A) mayo; B) octubre. (s: suelo; e: enmienda). Rango de días en que se alcanza la CAHE en octubre 2005.

Tabla 3. Resultados estadísticos de la comparación de valores medios de evaporación de cada día de todas las mezclas y testigo en el período del día 12 a 31 de octubre y valores acumulados al día 21 y 25 de octubre.

Tratamientos	mezclas	Fechas de muestreo															
		12	13	14	17	18	19	20	21	24	25	26	27	28	31	Ac-21	Ac-25
Testigo		ab	**a**	**a**	**a**	bc	ab	**b**	**b**	**d**	a	**d**	**d**	**d**	a	ab	abc
Res-Veg	25s+75e	a	bc	bc	cde	a	ab	**ab**	**ab**	a	a	**abc**	ab	a	a	**a**	**a**
	50s+50e	a	ab	ab	abcd	bc	**ab**	ab	ab	abcd	a	abcd	abc	abcd	a	ab	ab
	75s+25e	a	ab	ab	a	bc	ab	ab	ab	**cd**	a	**d**	bcd	cd	a	ab	ab
Ct-Cás-Gir	25s+75e	a	abc	abc	abcd	bc	ab	**a**	**a**	ab	a	**a**	ab	abc	a	ab	ab
	50s+50e	ab	ab	ab	abc	ab	**a**	ab	ab	abcd	a	abcd	ab	bcd	a	ab	ab
	75s+25e	ab	ab	ab	abc	bc	ab	ab	ab	**d**	a	**d**	bcd	cd	a	ab	ab
Cás-Gir-Ent	25s+75e	b	e	e	e	d	b	**b**	**b**	abcd	a	**abcd**	ab	abc	a	**d**	**d**
	50s+50e	ab	cd	cd	bcde	bcd	**ab**	a	a	a	a	abcd	abc	abcd	a	bc	bc
	75s+25e	a	abc	abc	abcd	bc	ab	ab	ab	**cd**	a	**bcd**	cd	cd	a	ab	ab
Oru	25s+75e	ab	d	d	de	cd	ab	**ab**	**ab**	abc	a	**ab**	a	ab	a	**c**	**c**
	50s+50e	ab	bc	bc	abcd	bc	**ab**	ab	ab	abcd	a	abcd	abc	abcd	a	abc	abc
	75s+25e	a	ab	ab	ab	bc	ab	ab	ab	**bcd**	a	**cd**	bcd	bcd	a	ab	ab

menores temperaturas registradas en el aire, máxima 18,7 °C, mínima 5,3 °C y media 11,4 °C.

En la Figura 4 se presenta la tasa de evaporación diaria de cada enmienda con sus mezclas en relación al testigo y el valor obtenido con el evaporímetro Piche. Para el período estudiado, se observó que la evaporación producida en las mezclas, en promedio, sólo fue del orden del 25% respecto a lo medido con el evaporímetro Piche. Las mezclas con compost de restos vegetales (evaporación promedio 27%), compost de cáscara de girasol (28%) y el testigo (26%) fueron las mezclas con menor diferencia relativa respecto del Piche. La mezcla con cáscara de girasol entera (21%) y orujo (22%), presentaron los valores más bajos. En todos los casos, la evaluación se ha realizado hasta el día 21 de octubre.

No todas las muestras alcanzan el valor de HE calculada al mismo tiempo, observándose una diferencia de ± 3 días entre enmiendas. Para el mes de mayo al día 13 ninguna de las muestras había llegado a la humedad equivalente.

Si consideramos la evaporación acumulada al día 10 de comenzado el ensayo (21de octubre), en que todas las muestras han alcanzado la humedad equivalente, se observa que las mezclas con enmiendas compostadas (Figura 4-B, 1 y 2) (Tabla 3) presentan valores similares sin diferencias significativas entre ellas y el testigo. En las enmiendas sin compostar (Figura 4-B, 3 y 4), en cambio solo las proporciones 25% s: 75% e. tuvieron menores evaporaciones, por lo que difieren con las otras proporciones y con el testigo.

Esto indica que el comportamiento de las mezclas suelo: enmienda está influenciado por las propiedades de esta última (Figura 5), donde la evaporación acumulada a los 10 días de comenzado el ensayo, está justificado en un 61% por la disminución de la porosidad total durante dicho período según la recta de regresión. La porosidad de las enmiendas sin compostar en la proporción 25% s: 75% e. se mantiene a través del ensayo, con una disminución entre 2 y 10 %. Por el contrario en las mezclas con enmiendas compostadas se observa una tendencia a la compactación que hace disminuir la porosidad de la misma hasta un 25 % para el caso de la mezcla con girasol compostado en la proporción de 25% s: 75% e.

Los coeficientes de variación (CV) para los valores diarios de evaporación del testigo y de las mezclas con enmiendas a través del período analizado, se mantuvieron dentro del rango: 16-23% con excepción de la mezcla de orujo con 75% de suelo que presentó un CV de 32%.

Conclusiones

A 10 días de comenzado el ensayo, después de alcanzada la humedad equivalente, las mezclas con

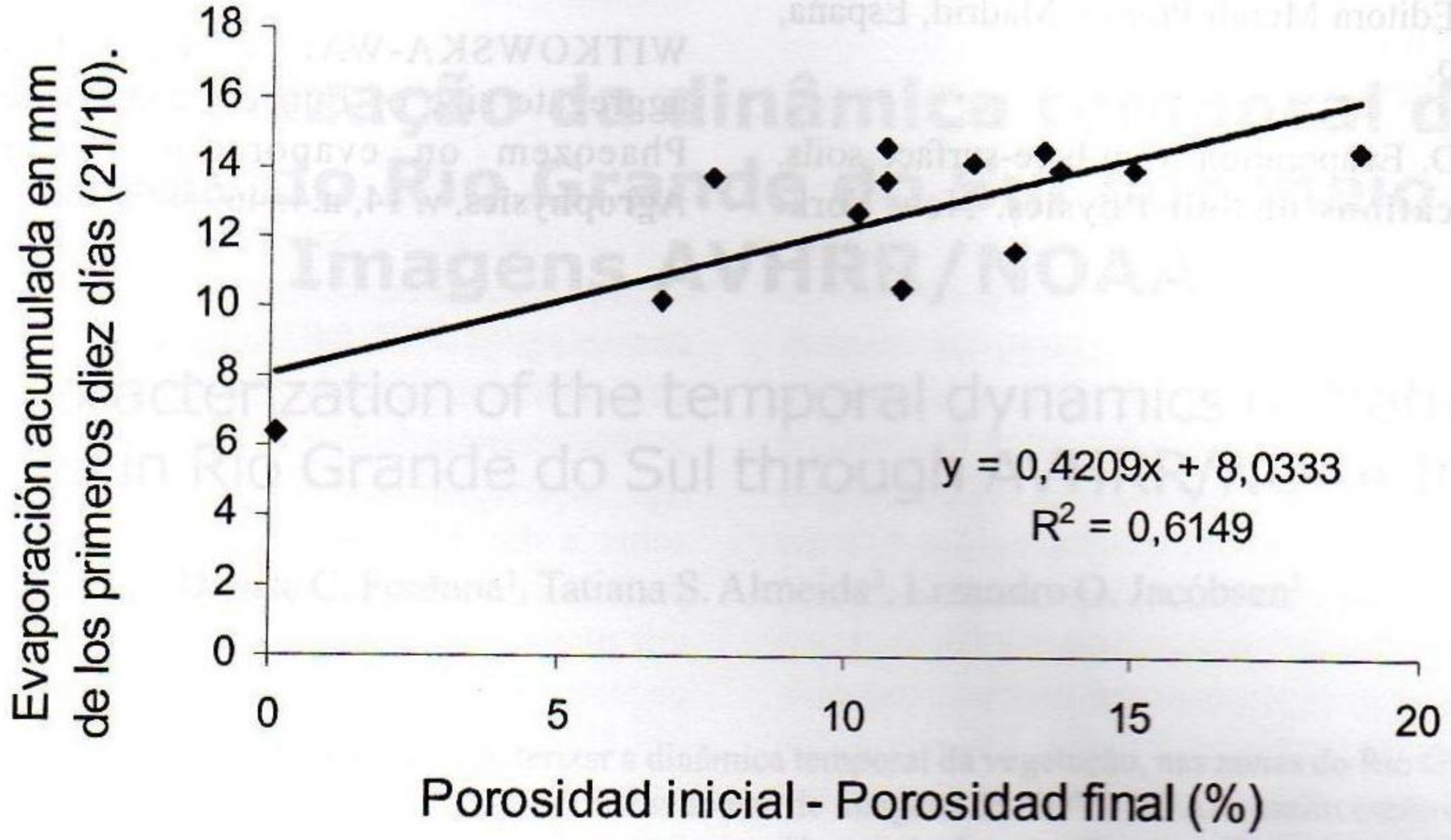

Figura 5. Relación entre la diferencia de porosidad total (inicial-final) de las mezclas y su evaporación acumulada durante los primeros diez días del ensayo.

enmiendas sin compostar: cáscara de girasol entera y orujo en la proporción 25% suelo: 75% enmiendas mostraron la menor evaporación acumulada. Esto se debe a que los cambios de porosidad total (calculados por medio de la densidad aparente) en la mezcla son mínimos, producto de las características intrínsicas del material.

Las mezclas con las proporción 50% enminedas y 25% enmiendas no alcanzaron a disminuir la evaporación en valores significativos en relación al suelo (testigo).

No existe una relación entre macroporosidad de las mezclas y cantidad de agua evaporada al finalizar los ensayos. La temperatura en el interior de las mezclas fue similar, lo que no incidió en la tasa de evaporación.

La evaporación producida en las mezclas, en promedio, sólo fue del orden del 25% respecto a lo medido con el evaporímetro Piche.

Referencias Bibliográficas

ANSORENA MINER, J. **Sustratos, propiedades y caracterización**. Editora Mundi-Prensa.1994.172 p.

CARRIJO, O.A.; LIZ, R.S.; MAKISHIMA, M. Fibra de cáscara de coco verde como sustrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20 , 533-540, 2002.

DE ANGELIS, V.; MARINANGELI, P.; AGUIRRE, M. Mejora del sustrato de cultivo en un vivero local. II Congreso Argentino de Floricultura y Plantas Ornamentales. VI JORNADAS NACIONALES DE FLORICULTURA y I ENCUENTRO LATINOAMERICANO de FLORICULTURA. Buenos Aires. INTA, 176-178, 2004.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma, FAO. Riego y Drenaje Nº 24, 1977. 194 p.

DUCHAUFOUR, P. **Manual de Edafología.** Editora Toray Masson, S.A. Barcelona España, 1978. 476 p.

HALLAIRE, M. Diffusion capillaire de l'eau dans le sol et répartition de l'humidité en profondeur sous sol nus et cultivés. **Annales d'Agronomie**, n.2, 143-244, 1953.