

Observaciones prácticas sobre el cálculo del balance de agua en el suelo

J. Tuñón, I. Morell y N. S. Ferriols

Departamento de Ciencias Experimentales. Universitat Jaume I (Castellón); colom@exp.uji.es; morell@exp.uji.es

RESUMEN. El balance de agua en el suelo es una operación básica para evaluar la recarga a los acuíferos, y sobre todo para la planificación de riegos y gestión en general de los recursos hídricos. Estos balances se pueden determinar con gran exactitud en parcelas experimentales, donde se determina indirectamente la evapotranspiración. La medida de la humedad en el suelo es un parámetro que no siempre se puede controlar adecuadamente, lo que obliga a realizar los balances entre periodos en los que se suponga que no hay variación de la humedad del suelo. La evapotranspiración calculada de este modo no difiere mucho de la que se obtiene si se hace el balance considerando las variaciones de humedad, pero se cometen grandes errores en esta estimación cuando los periodos no están escogidos correctamente. Por tanto, es imprescindible conocer el estado de humedad del suelo y, sobre todo, escoger bien los periodos en los que realizamos el balance. Con estas consideraciones, se ha determinado el valor de la evapotranspiración para un periodo de observación de 15 meses en la Plana de Castellón, resultando que el valor obtenido es del 92%, lo que contrasta notablemente con la cifra del 80% que se venía utilizando para los cálculos del balance. También se ha determinado que el retorno de riego es prácticamente nulo.

ABSTRACT. Water soil content is one of the most important parameters for estimating the groundwater recharge, furthermore in the irrigation and in the water resources management systems. Experimental sites have been very good tools to estimating the water balance, where evapotranspiration is indirectly determined. Soil moisture content is not always available data. To avoid it we determinate the water balance for periods in which water content does not vary. The actual ET in this way calculated is similar than if soil moisture content is taken into account, nevertheless this estimation is not right if the temporal rank is wrong. And so, soil moisture content is necessary to be measured, and you must make a correct choose of the balance start time. We have determinate the evapotranspiration in 15 months period in the Castellon plain aquifer (Eastern Spain), found that the actual ET in the Castellon plain is 92%, higher than the used estimations, and the recharge from irrigation losses are negligible.

1.- Introducción.

Uno de los objetivos de los balances de agua en el suelo es cuantificar la recarga. La recarga es uno de los parámetros hidrogeológicos más complejos de determinar, ya que suele ser necesario utilizar métodos empíricos para la determinación de algunos de los parámetros que intervienen en su cálculo, como es el caso de la evapotranspiración que, en esencia, es un proceso altamente estocástico y muy sensible a las condiciones de contorno. Sólo la cantidad de lluvia se puede cuantificar directamente, aunque pueden esperarse grandes variaciones locales, tanto en valores absolutos como en intensidad de lluvia.

Por todo ello se hace necesario recurrir a lo que se han llamado métodos indirectos de determinación de la recarga. Estos métodos son los que utilizan las parcelas experimentales y, particularmente, los lisímetros (Lener, 1990) ya que se diseñan de forma que se anula la escorrentía, de modo que todo el agua que entra en el sistema queda para contribuir al relleno de los poros del suelo permitiendo la infiltración una vez superada la capacidad de campo. De forma que, como podemos medir la infiltración aforando el volumen de agua que ha percolado por el lisímetro, el resto de agua o ha quedado retenida en el suelo o se ha evaporado.

A pesar de la más que discutible representatividad espacial de los resultados obtenidos en parcelas experimentales (Morell, 1995; Gonzalo et al., 1995, Samper, 1997), al menos, permiten conocer y evaluar detalles del comportamiento hídrico que, evidentemente, pasan desapercibidos cuando se hacen aproximaciones teóricas o regionales.

Son destacables las aportaciones de los lisímetros como herramienta para la estimación de la evapotranspiración (Allen, 1990; Daame et al., 1993, 1995), y son ampliamente utilizados en zonas agrícolas o forestales para la planificación de riegos en diferentes ambientes del centro de Europa (Meissner, et al., 1998a) y Africa, (Jackson, 1999); incluso la planificación de regadíos en California, basada en cálculos en tiempo real (CIMIS), mediante un sistema automatizado de medidas en diferentes estaciones meteorológicas, está apoyado en medidas lisimétricas (Snyder y Pruitt, 1992).

En este trabajo se exponen los primeros resultados en una estación lisimétrica de la Plana de Castellón, en la que se persiguen dos objetivos, uno el cálculo de la

evapotranspiración, y otro el estudio medioambiental de las diferentes prácticas agrícolas en los cítricos de la Plana de Castellón, que con una superficie cultivada en torno a los 400 Km² supone el 85% de la superficie cultivada, que a su vez es el 80 % de la extensión total. Este uso de los lisímetros con fines medioambientales está muy bien ilustrado en diferentes trabajos procedentes del *UFZ Centre for Environmental Research*, de Leipzig-Halle en Alemania (Meissner, et al 1995, 1998 b, 1999, Seeger et al., 1997).

2.- Descripción de la parcela experimental.

La parcela experimental está situada en los terrenos pertenecientes a la Estación Depuradora de Aguas Residuales de la ciudad de Castellón de la Plana (Figura 1).

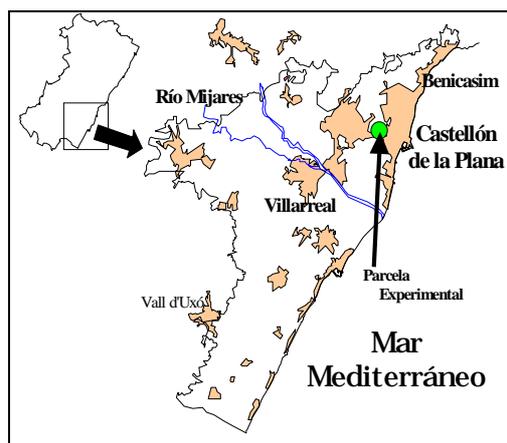


Fig. 1. Situación de la parcela experimental en la Plana de Castellón.

Tabla 1. Operaciones realizadas y equipamiento en cada lisímetro.

Lisímetro	Agua de riego	Cítrico	Fertilización	Equipamiento
1	ARD	NO	NO	TP
2	AP	NO	NO	TP
3	ARD	NO	NO	TP
4	ARD	NO	NO	TP
5	ARD	NO	SI	TP, CT
6	ARD	SI	SI	TP, CC, CT
7	ARD	SI	NO	TP, CC
8	ARD	SI	Lodos	TP, CC
9	AP	NO	SI	TP, Sondas TDR, Tensiómetros
10	AP	SI	Lodos	TP, CC
11	AP	SI	NO	TP, CC
12	AP	SI	SI	TP, CC
13	AP	NO	SI	TP
14	AP	NO	NO	TP
15	NO	NO	NO	TP
16	AP	NO	NO	TP
17	Saturación constante	NO	NO	TP

ARD: Agua residual depurada; AP: Agua de pozo; TP: Tube probe; CT: Cápsulas de teflón; CC: Cápsulas cerámicas tipo Soil Moisture.

Como ya se ha comentado, se trata de una experiencia de riego en diferentes condiciones que tiene como objetivo conocer algunos aspectos de interés como el cálculo de la evapotranspiración y, por tanto de la recarga, pero también el estudio del tránsito de contaminantes agrícolas y la reutilización de aguas residuales.

Para alcanzar estos objetivos instalamos dieciséis lisímetros de 1 m³ de capacidad y uno de unos 3.8 m³. Se trata de lisímetros de pared rugosa impermeabilizada sintéticamente, con fondo de grava silíceo para facilitar el drenaje. En las paredes de los lisímetros instalamos un reborde interno de PVC para reducir pérdidas debidas a flujos preferenciales por las paredes.

Las obras de construcción comenzaron en julio de 1996 y los lisímetros se terminaron de rellenar en febrero de 1997. El relleno se realizó con el material arcilloso-limoso (24% de arcilla, 27% de limos y 49% de arenas) extraído de la

misma parcela entre 20 y 80 cm de profundidad, una vez tamizado y pesado. Se procuró que el grado de compactación del suelo fuese lo más homogéneo posible y, a su vez, semejante al de las condiciones naturales. Una vez rellenos los lisímetros fueron sometidos a riego durante un año hasta que se alcanzaron pautas de comportamiento hídrico más o menos regulares.

Esencialmente, la experiencia consiste en reproducir las prácticas agrarias del entorno, esto es, riegos con una dotación de 5000 m³/ha/año, cada 21-25 días, dependiendo de las condiciones climatológicas, y fertilizaciones con sulfato amónico, fosfato biamónico y fosfato potásico, en marzo, mayo y julio. Los cítricos son de la variedad *Citrus Sinensis*, y se plantaron en marzo de 1998 con 2 años. En la Tabla 1 se especifican algunas condiciones de cada lisímetro y las operaciones realizadas

Con los lisímetros podemos medir todas las variables del balance hídrico excepto la evapotranspiración, que la deducimos indirectamente cerrando el balance. Las entradas de agua se conocen ya que los riegos los controlamos, aplicando exactamente 50 litros por metro cuadrado, y para controlar las entradas por lluvias hemos instalado una estación meteorológica automatizada con la que medimos otra serie de parámetros climatológicos con los que expresaremos empíricamente el valor de la evapotranspiración medida en los lisímetros. Las salidas están también controladas aforando el volumen que sale por lisímetro. Para medir la variación de volumen almacenado se instalaron tensiómetros y sondas TDR fijas en el lisímetro 9, y tubos Trime en cada lisímetro para la realización de perfiles de humedad con una sonda TDR móvil, con una profundidad de 1 m, y también hemos instalado tubos Trime de 2 y 3 metros de profundidad fuera de los lisímetros con el que comparamos los valores obtenidos en los lisímetros. El nivel piezométrico en esta zona está a 260 cm de profundidad.

Hemos determinado en laboratorio la curva característica del suelo y ahora estamos realizando la curva de campo. Para ello hemos calculado la densidad aparente de cada lisímetro y calibramos la sonda TDR para nuestro suelo con muestras de la parcela. Con esta información podremos calcular la variación de volumen a partir de los datos tensiométricos, con registro continuo.

Los tensiómetros son del tipo SKT 600 que miden la tensión con traductor de presión y están conectados a un sistema de adquisición de datos Campbell. Estos tensiómetros están instalados a 10, 30, 50, 70 y 90 cm al igual que las sondas TDR fijas.

Las densidades aparentes obtenidas en cada lisímetro (Tabla 2) muestran una gran dispersión, siendo la densidad media de 1.64 g/cm³.

Tabla 2. Densidades aparentes del suelo en cada lisímetro.

Lisímetro	Densidad (g/cm ³)	Lisímetro	Densidad (g/cm ³)
1	1.50	10	1.48
2	1.62	11	1.67
3	1.61	12	1.66
4	1.69	13	1.59
5	1.78	14	1.86
6	1.81	15	1.65
7	1.43	16	1.73
8	1.68	17	1.58
9	1.60	Media	1.64

En la Figura 2 se muestra la calibración de la sonda TDR con la que se han realizado las medidas de humedad.

Las curvas de retención se han determinado en el Laboratorio de Suelos de la Universitat Politècnica de Catalunya. Los resultados experimentales se pueden ver en la Figura 3 donde hemos ajustado una curva teórica que cumple la ecuación de Van Genuchten:

$$S_r = (1 + (S / P_o)^{(1/1-\lambda)})^{-\lambda} \tag{1}$$

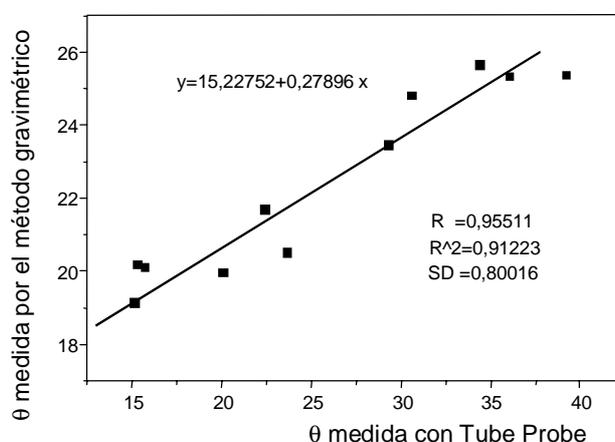


Fig. 2. Calibración de la sonda de humedad móvil TDR.

siendo S_r el grado de saturación, S la succión experimental, y P_o y λ parámetros de la ecuación de Van Genuchten ajustados por mínimos cuadrados y cuyo valor en nuestro caso son : $P_o = 3.22$, $\lambda = 0.2861$.

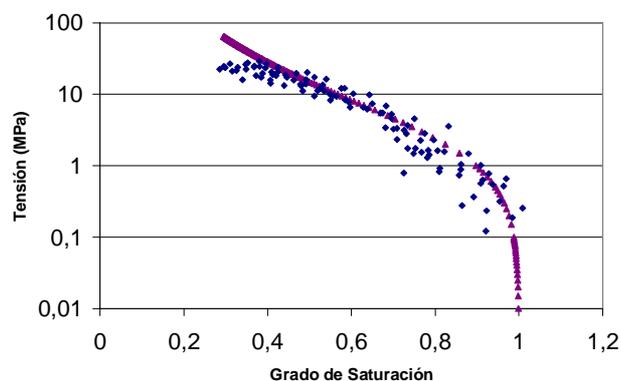


Fig. 3. Curva característica obtenida en el laboratorio para el suelo de la estación lisimétrica. Los puntos son las muestras medidas y la línea es la curva teórica de Van Genuchten

3.- Determinación experimental de la evapotranspiración.

Los datos presentados en este trabajo corresponden al periodo comprendido entre marzo de 1998 y mayo de 1999. El año 1998 fue climatológicamente anómalo ya que la precipitación registrada fue de 319,7 mm, apenas el 70% de la media anual que es de unos 450 mm (Montón y Quereda, 1997). Además, la mayor parte de las lluvias tuvieron lugar en los meses de invierno, y alguna tormenta de verano, pero las lluvias típicas que se producen en otoño y que son las que dan el mayor peso a las precipitaciones no se produjeron, esto junto con las elevadas temperaturas de este otoño (Figura 4) provocaron que se prolongara el periodo

de riegos hasta el 5 de noviembre de 1998. El siguiente riego lo realizamos de nuevo a primeros de marzo de 1999.

Se considera, en primera aproximación, que no varía la humedad. Como esta simplificación es sólo admisible para periodos en los que el estado inicial y final de humedad del suelo sean similares; por ejemplo para un balance anual, o después de un riego donde la saturación es máxima, hemos calculado el balance por periodos de riego, comenzando el balance el día después de cada riego, de manera que la variación total de humedad es prácticamente despreciable. Esto, sin embargo, plantea algunos problemas, como se pone de manifiesto en la discusión de los resultados.

Teniendo sólo en consideración las entradas de agua (riego más lluvia) y las salidas, se ha calculado la tasa de evapotranspiración para cada periodo. En la Tabla 3 se presentan los resultados de los lisímetros que tienen un comportamiento similar.

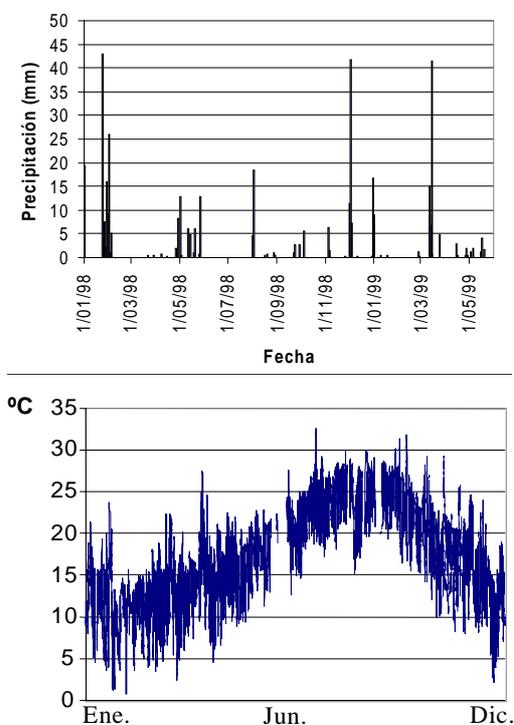


Fig. 4. Distribución de las precipitaciones en el periodo de estudio y evolución de las temperaturas para el año 1998 en la estación de Castellón (Fuente: INM- MMA. 1998)

El valor medio de la evapotranspiración es del orden del 92%, lo que implica que la infiltración eficaz es sólo del 8%, notablemente inferior a la que habitualmente se considera en los balances empíricos. Solamente en tres meses (noviembre, diciembre y enero) se registran valores bajos de la evapotranspiración. Esto implica que la única recarga al acuífero es la producida por las lluvias de los meses invernales, y que el retorno de riego es prácticamente inapreciable.

Resulta sorprendente la aparente ausencia de evapotranspiración en el mes de Noviembre, con valores de

cero en la tasa de evapotranspiración en la Tabla 3, cuyo significado real es que se produce un mayor volumen de agua lixiviada por los lisímetros que el agua que ha entrado en ellos, lo cual, sin duda, debe justificarse por una variación en el agua almacenada en el suelo.

En la Figura 5, que representa los valores obtenidos en la Tabla 3, se puede observar la evolución de los valores relativos de evapotranspiración durante el periodo de estudio. El hecho más destacable es que la recarga al sistema empieza a ser efectiva en noviembre, manteniéndose la tasa de evapotranspiración por debajo del 70 %, incluso en el máximo relativo de diciembre, que coincide con un mes de temperaturas relativamente elevadas cercanas a los 20°C y escasas precipitaciones. Sólo a finales de año y sobre todo en enero se producen importantes precipitaciones y un descenso acusado de las temperaturas, que dan el otro mínimo de evapotranspiración con valores del 30%. La evapotranspiración vuelve a ser máxima con los primeros riegos.

Las Figuras 6a,b,c muestran el comportamiento de cada uno de los lisímetros en comparación a la media. Las ligeras desviaciones observadas pueden ser debidas a factores tales como la presencia de cítricos en algunos de ellos (6, 8, 10, 11 y 12) y, sobre todo, a variaciones pequeñas pero significativas de la densidad aparente en cada uno de los lisímetros.

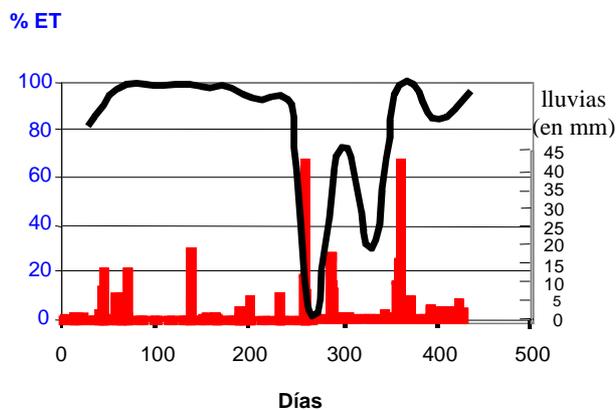


Fig. 5. Evolución de la ET media para los lisímetros y precipitaciones para todo el periodo.

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en el resto de los lisímetros, que han mostrado un comportamiento distinto (5, 7, 9 y 16) a pesar de que no se desvían apreciablemente de la media. El lisímetro 5 presenta flujos rápidos debido a que se tuvieron que quitar unas cápsulas de muestreo lo que dio lugar a flujos preferenciales que han tardado casi un año en desaparecer; en el lisímetro 7 los flujos rápidos pueden estar relacionados con el bajo valor de la densidad aparente; finalmente, el lisímetro 9 es el de mayor superficie.

En el lisímetro 16 no se han aplicado herbicidas y se ha permitido el desarrollo y persistencia de hierbas, por lo que

tiene vegetación casi permanente de manera que, incluso en la época invernal, los valores de evapotranspiración son los más elevados a pesar de que al inicio de la investigación,

Tabla 3. Valores de Evapotranspiración (%), sin considerar variación de la humedad.

Periodo	2	3	4	6	8	10	11	12	13	14	Media
6Mar-29Mar	77,9	74	77,1	77,7	91,2	85	79,8	77,2	84,4	70,7	79,5
30Mar-26Ab	99,8	98,2	98,4	94,5	94,2	97,5	93,4	93,5	100	91,8	96,1
27Ab-20My	100	99,7	100	99,4	99,5	100	99,7	99,7	100	100	99,8
21My-10Jun	100	100	100	97,4	97,6	97,2	99,4	99,7	100	96,7	98,8
11Jun-1Jul	100	99,9	100	98,5	100	98,2	94,5	99,1	100	99,9	99,0
2Jul-23Jul	100	100	100	99,7	90,9	93,8	98,9	99,1	100	99,8	98,2
24Jul-20Ag	100	100	100	98	88,5	98,5	99,5	97,3	99,8	99,6	98,1
21Ag-15Sep	100	100	977	86	89,4	92,6	98,5	95,3	92,6	82,1	93,4
16Sp-14Oct	99,8	97,9	99,1	87,3	88,9	92,8	98,1	89,6	86	83,1	92,3
15Oct-4Nov	97,6	100	98,3	82,7	90,8	96,1	99,6	80,5	68,2	80	89,4
5Nov-30Nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1Dic-31Dic	68	69,5	77,6	68,4	76,1	71,1	70,8	71,8	76,9	76,1	72,6
1En-31En	14,9	12,2	11,9	46,1	54,1	53,3	45,8	29,2	30,2	0	29,8
1Fb-1Mar	99	98,9	99,1	93,8	99,5	93,2	99,6	97,7	99,6	96,6	97,7
2Mar-12Ab	82,8	82	76,4	84,5	85,6	99,4	79,2	80,9	94,8	76,9	84,2
13Ab-18My	98,3	97,9	91	94,8	98,1	92	99,6	92,8	99,8	99,1	96,3
Media	94,0	93,5	93,3	89,9	91,9	93,8	93,3	90,4	92,2	88,2	92,1

Tabla 4. Valores de la ET (%) en los lisímetros 5, 7, 9 y 16 comparada con la media de los otros lisímetros.

Periodo	Media	Lis 9	Lis 16	Lis 5	Lis 7
6Mar-29Mar	79,5	83,7	56,7	80,9	79,9
30Mar-26Ab	96,1	93,6	70,6	93,9	89,1
27Ab-20My	99,8	99,9	100	100	98,9
21My-10Jun	98,8	99,7	92,5	98,6	99
11Jun-1Jul	99,0	99,5	100	97,9	99,1
2Jul-23Jul	98,2	97,8	97,9	95,0	99
24Jul-20Ag	98,1	94,8	99,2	94,6	97,6
21Ag-15Sep	93,4	97,7	83,8	93,1	100
16Sp-14Oct	92,3	93,3	96,3	96	94,1
15Oct-4Nov	89,4	78,9	94,6	92,6	96,5
5 - 30Nov-	0	0	100	0	0
1Dic-31Dic	72,6	74,6	100	97,3	78,6
1En-31En	29,8	100	100	79,1	91,0
1Fb-1Mar	97,7	100	98,6	96,8	99,8
2Mar-12Ab	84,2	83,1	92,2	96,6	97,2
13Ab-18My	96,3	98,2	93,2	99,4	97,4
Media		92,3	92,2	88,2	88,6

cuando no tenía hierbas, presentó tasas elevadas de infiltración. Este comportamiento pone de manifiesto que la existencia de hierbas, habitual en muchos campos de cultivo, incrementa notablemente la demanda de agua y dificulta el retorno de riego.

Por último, el lisímetro 15, que sólo recibe agua de lluvia, también presenta infiltración efectiva al acuífero (Tabla 5), lo cual refuerza la idea de que el retorno de riego es poco eficaz como mecanismo de recarga. De hecho, de los 219 litros de lluvia se recogieron casi 12 litros, lo cual implica el

5.5% de las entradas, mientras que la media del resto de los lisímetros es del 8%.

Tabla 5. Resultados del lisímetro 15.

Periodo	Lluvias (mm)	Salidas (mm)	ET (mm)	ET (%)	Infrac. (%)
dic-98	86,7	6,04	80,66	93,03	6,97
ene-99	8,3		8,3	100,00	0,00
feb-99	1,6		1,6	100,00	0,00
mar-99	68,9	11,458	57,442	83,37	16,63
abr-99	14,9		14,9	100,00	0,00
may-99	1,6		1,6	100,00	0,00

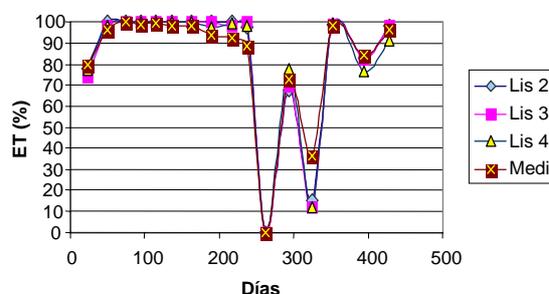


Fig. 6a. Evolución de la ET en los lisímetros 2, 3 y 4 con el valor medio obtenido para todos los lisímetros.

La Figura 7 muestra el comportamiento de cada de estos lisímetros en relación con la media obtenida para el resto de los lisímetros.

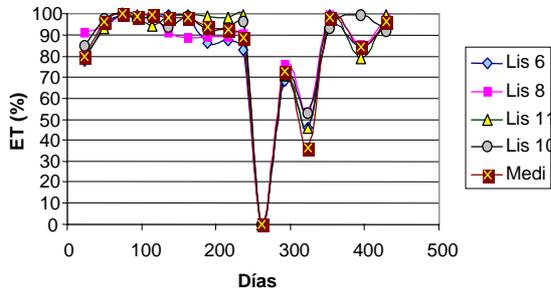


Fig. 6b. Evolución de la ET en los lisímetros con cítrico.

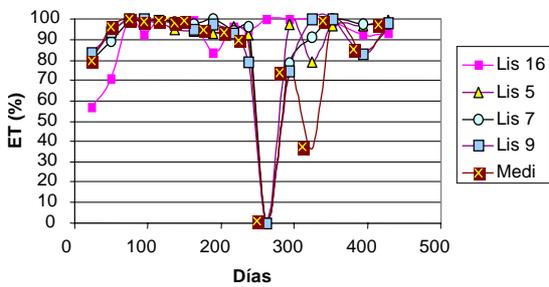


Fig. 6c. Evolución de la EVT en los lisímetros, 12, 13 y 14.

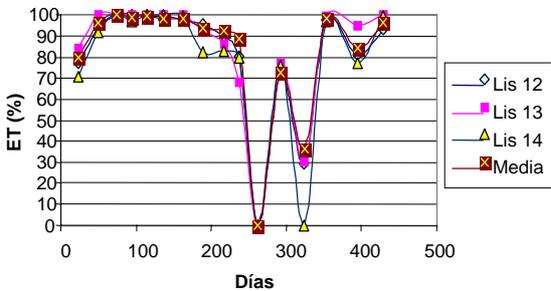


Fig. 7. Tendencia de la evapotranspiración en los lisímetros que presentan alguna diferencia con el resto.

4.- Corrección del cálculo de la evapotranspiración considerando la variación de humedad.

Hasta ahora hemos supuesto que no hubiera variación de la humedad en cada periodo, que puede ser aceptable para los periodos de riego, pero no para los periodos invernales, como pone de manifiesto el hecho de que en alguno de estos periodos las salidas de agua han sido mayores que las entradas, lo que presupone una variación notable del almacenamiento. Para corregir este error se han recalculado los valores de evapotranspiración (EVT) considerando todo el tiempo invernal como un solo periodo. La media así obtenida toma valores promediados de los dos mínimos que había en noviembre y enero y del máximo relativo que había

en diciembre. Como el valor de noviembre estaba camuflando un efecto de pérdida de agua por el lisímetro por variación de humedad, los valores muestran ahora otros comportamientos, como se puede observar en las Figuras 8 (a,b,c y d).

Para tener una idea cuantitativa de las diferencias que se pueden encontrar según la aproximación que se haga, en la Tabla 6 se muestran los valores medios anuales de evapotranspiración obtenidos en los lisímetros 4 y 6, que representan bien el comportamiento medio.

Tabla 6. Valores anuales medios de la evapotranspiración.

	Lisímetro 4	Lisímetro 6
ET	91.63	89.21
EVT (corregida)	90.65	88.05

Se observa que los valores obtenidos son significativamente inferiores y más si se tiene en consideración que esta variación media responde a una mayor tasa de infiltración en el periodo invernal.

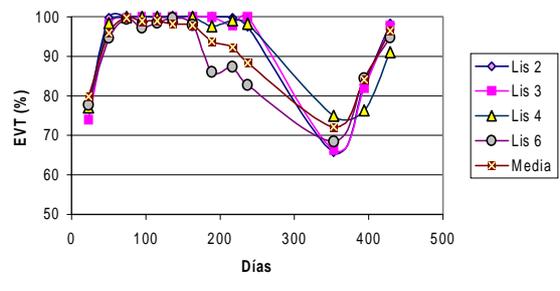


Fig. 8a. Evolución de los lisímetros 2, 3, 4 y 6 corregida

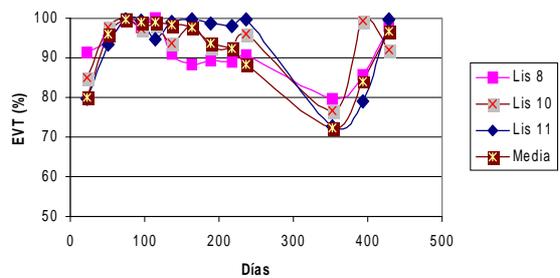


Fig. 8b. Evolución de la ET en los lisímetros con cítrico

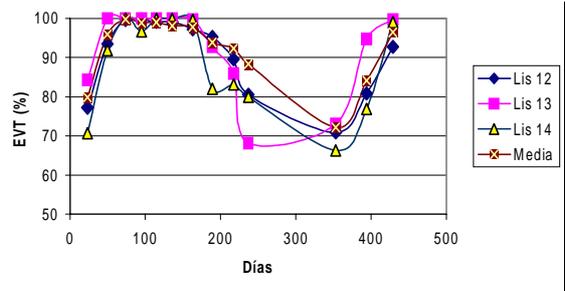


Fig. 8c. Evolución de la ET en los lisímetros 12, 13 y 14

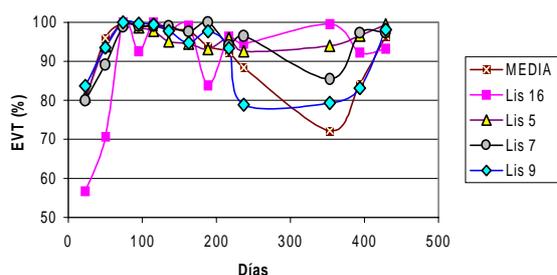


Fig. 8d. Evolución de los 5, 7, 9 y 16.

5.- Conclusiones.

La interpretación preliminar de los datos de entradas y salidas de agua obtenidos en los lisímetros permiten poner de relieve algunas observaciones prácticas que tienen interés hidrogeológico y que deben ser tenidas en cuenta para aproximarse a cálculos fiables de la tasa de recarga.

En primer lugar, es de destacar que, para el periodo considerado, la recarga no supera el 10% de las precipitaciones y que el retorno de riegos es prácticamente despreciable. Estos resultados contrastan severamente con las cifras habitualmente aceptadas para el acuífero de la Plana de Castellón en donde se suele estimar que la recarga es del orden del 20% de las precipitaciones y que el retorno de riego puede superar el 25%. Esta primera conclusión debería ser validada con una investigación más prolongada y que incluya diferentes condiciones climatológicas pero, en todo caso, obliga a replantear el modelo conceptual del balance hídrico del acuífero.

Para el cálculo experimental de la evapotranspiración se pueden encontrar diferencias significativas en función de que se tenga en cuenta o no la variación de humedad del suelo y, sobre todo, en función de la discretización temporal que se considere. Desde el punto de vista metodológico, y para periodos relativamente largos (meses o años), conviene escoger estados inicial y final de humedad semejantes, pero pueden quedar enmascarados eventos intermedios en los que se registren notables variaciones de humedad que repercuten de manera notable en los mecanismos y, por tanto, en la cuantificación de la recarga.

Por consiguiente, parece necesario disponer de medidas frecuentes de humedad que permitan conocer las respuestas hídricas del suelo a situaciones climáticas específicas y a la gestión del agua de riego. Sólo de esta manera es posible modelizar los mecanismos reales de recarga.

Referencias.

- Allen, S.I. 1990. Measurement and estimation of evaporation from soil under sparse barley crops in northern Syria. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 49. Pp 291-309.
- Daamen, C.C., L.P. Simmonds, y M.V.K. Sivakumar. 1995. The impact of sparse millet crops on evaporation from soil in semiarid Niger. *Agric. Water Management*. Vol 27. Pp 225-242.
- Daamen, C.C., L.P. Simmonds, J.S. Wallace, K.B. Laryea y M.V.K. Sivakumar. 1993. Use of microlysimeters to measure evaporation from sandy soils. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol 65. Pp 159-173.
- Gonzalo, J.M.; I. Antigüedad, C. Luengo y J.M. Sánchez-Pérez. 1995. Estudio de la zona no saturada en una parcela experimental en Arkaute (Araba). Problemática y resultados preliminares En: *Avances en la investigación en la zona no saturada*. Ed. Ser. Central de Publ. del Gobierno Vasco. Pp 409-420.
- I.N.M.-M.M.A. Datos meteorológicos de la estación de Almazora-Castellón del año 1998. Fuente: Instituto Nacional de Meteorología.
- Issar, A. y R. Passchier. 1990. Regional Hydrogeological concepts. En: *Groundwater recharge, A guide to understanding and estimating natural recharge*. Lerner, D.N., Issar, A.S., Simmers, I. (Eds.). I.A.H. pp 21-98.
- Jackson, N.A. y J.S. Wallace. 1999. Soil evaporation measurements in an agroforestry system in Kenya. *Agricultural and forest Meteorology Vol 94*, pp 203-215.
- Lener, D. 1990. Precipitation recharge. In: *Groundwater recharge, A guide to understanding and estimating natural recharge*. Lerner, D.N., Issar, A.S., Simmers, I. (Eds.). I.A.H. pp 111-148.
- Meissner, R., J. Seeger y H. Rupp. 1999a. Lysimeter studies in east germany concerning the influence of set aside of intensively farmed land on the seepage water quality. *Agriculture, ecosystems & environment, vol 67*, pp 161-173.
- Meissner, R., J. Seeger y H. Rupp. 1998b. Measuring environmental impacts of land use changes on water quality with lysimeters. From American Chemical Society Symposium series 669. *The lysimeter concept. Environmental behavior of pesticides. Chapter 12*, pp 163-176.
- Meissner, R., J. Seeger, H. Rupp y P. Schonert. 1995. Nährstoffaustrag bei der umwandlung von landwirtschaftlich genutztem grünland in einen golfrazen - ergebnisse aus lysimeteruntersuchungen. *Z. f. Kulturtechnik und landentwicklung* 36, pp 315-322.
- Meissner, R., J. Seeger, H. Rupp y P. Schonert. 1999. Estimating the effects of set-aside on water quality: scaling up of the lysimeter studies. *Land Degradation & Development, Vol. 10*, pp 13-20.
- Montón, E. y J. Quereda. 1997. *¿Hacia un cambio climático? La evolución del clima mediterráneo desde el siglo XIX*. Ed. Fund. Davalos Fletcher. 520 pp.
- Morell, I. 1995. Algunas consideraciones sobre la zona no saturada: problemática de estudio, tendencias y algunos ejemplos En: *Avances en la Investigación en la Zona no Saturada*. Ed. Serv. Central de Publ. del Gobierno Vasco. Pp 1-32.
- Samper, J. 1997. Métodos de evaluación de la recarga por la lluvia por balance de agua: utilización, calibración y errores En: *La evaluación de la Recarga a los Acuíferos en la Planificación Hidrológica*. Custodio, E.; Llamas. M.R.; Samper, J. (Eds.) pp 41-82.
- Seeger, J., R. Meissner, H. Rupp y P. Schonert. 1997. Reduzierung der stoffausträge durch ökologischen landbau? *BAL Gumpensteiner*, 7-8. April 1997, pp 95-99.
- Snyder, R. y W.O. Pruitt. 1992. Evapotranspiration data management in California. *Irrigation and drainage Session Porcedings/water forum'92*. Baltimore. August, 1992. Pp 128-133.