

VIII REUNION de BIOCLIMATOLOGIA

Separata de:

AVANCES SOBRE LA INVESTIGACION EN BIOCLIMATOLOGIA

REUNION CELEBRADA EN LA ESTACION
EXPERIMENTAL AULA DEI DE ZARAGOZA
Mayo, 1983

ESTUDIO CRITICO DEL BALANCE DE AGUA EN EL SUELO COMO METODO DE CALCULO DE LA ETR. EN CULTIVOS

A. Blanco de Pablos; F. Ribas ; M. Tapia y M. J. Cabello

(con la colaboración ténica de A. Rincón y M. Martín)

Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca del C.S.I.C.

RESUMEN:

En este trabajo se hace un estudio crítico del balance de agua en el suelo como método de cálculo de la evapotranspiración real en cultivos y comunidades vegetales, examinando las ventajas y los inconvenientes del método.

Para la experimentación se ha empleado una parcela de trigo a la que se divide según dos tratamientos de riego; una sin aporte de agua y otra con un aporte de 180 mm suministrados en dos períodos.

Se han determinado los flujos de drenaje y de capilaridad a través de la capa situada a 130 cm de profundidad, así como la evapotranspiración real de las dos subparcelas en el período comprendido entre el 25 de Mayo de 1.984 y el 27 de Julio de 1984.

Se ha calculado la producción de las dos subparcelas con distinto tratamiento de riego, relacionando los resultados con los valores de ETR obtenidos en cada una de estas.

SUMMARY:

In this work we make a critical study of the balance of water in the soil as a calculating method of the real evapotranspiration in crops and vegetables communities, examining the advantages and inconvenients of the method.

To make this experiment, we have used a plot of wheat which has been divided according to the two differents treatments of watering; one without any contribution of water at all, and other, watered with 180 mm supplied in two periods.

The flows of drainage and of capillarity through the layer situated at a 130 cm depth have been determined as well as the real evapotranspiration of the two subplots in the period that goes from the 25th of May 1984 to the 27th of July 1984.

The production of the two subplots with diferente treatments of watering has been measured.

INTRODUCCION:

Uno de los factores más importantes para el desarrollo de los vegetales y la producción de los cultivos, es la cantidad de agua que las plantas puede absorber del suelo. En condiciones naturales, este agua se repone mediante la lluvia, pero en muchas zonas, este aporte no es suficiente para satisfacer la demanda de la cubierta vegetal, convirtiéndose entonces en un factor limitante.

La cantidad de agua que una planta toma del suelo depende por una parte del contenido hídrico de este, así como de su capacidad de

cesión, por otra de la eficacia del sistema radical en la explotación del suelo y en la extracción del agua, y por último depende también de la demanda climática a la que están sometidas las plantas.

Esto hace que el estudio del consumo en agua de los cultivos (ETR) sea complejo, lo que ha llevado, durante cerca de 40 años de investigaciones, a numerosos trabajos de cálculo de la evapotranspiración, empleándose distintos métodos según parámetros climáticos o hidrológicos disponibles.

Estos trabajos realizados por agrónomos, climatólogos, ecólogos, etc... muchas veces siguen presentando problemas a la hora de interpretar los resultados, ya que a menudo estos son contradictorios o pocos precisos. Estos problemas son debidos unas veces a que el método subestima el papel de la planta y su fisiología dentro de la comunidad, otros subestiman algunos aspectos climáticos influyentes en los cultivos y en las respuestas de sus individuos.

Por otra parte existe la dificultad de pasar a un modelo general, que sea satisfactorio, a partir de una serie de medidas locales, pues a menudo es necesario aplicar estas técnicas en condiciones climáticas y agronómicas muy diferentes de las que se presentaron al desarrollar el modelo, por lo que es necesario una puesta a punto de los mismos antes de emplearlos.

Uno de los métodos más utilizados es el basado en el balance hídrico de los suelos (PUECH, 1972; ROYER et al. 1973; BLANCO DE PABLOS et al. 1974; GELFI, 1975; KATERJI, 1977; PAZ GONZALEZ, 1978; CUADRADO SANCHEZ et al. 1980; KALMS et al. 1981; PAZ GONZALEZ et al. 1981; VACHAUD et al. 1982; AZAM-ALI, 1983 entre otros).

El objeto del presente trabajo es realizar un estudio crítico de un método de cálculo de evapotranspiración a partir del balance hídrico del suelo, mediante el uso combinado de tensiómetros y una sonda de neutrones, con el fin de determinar las ventajas y los inconvenientes

que presenta el método, aclarando algunos puntos de vista en cuanto a la aplicación de esta técnica en el campo de la Agronomía y de la Ecología.

FUNDAMENTO TEORICO

Existen tres métodos que permiten calcular la ETR por medio de un balance hídrico.

El primero, llamado método del plano de flujo nulo, se basa en la determinación del máximo en la curva del perfil de carga hidráulica, que corresponde a la situación del plano en que el flujo es nulo:

$$dH/dZ = 0$$

Donde H es la carga hidráulica

Z es la profundidad

Para calcular la ETR sería suficiente determinar la variación en el contenido en agua por encima de dicho plano, en un tiempo determinado.

Este método tiene el inconveniente de que sólo se puede aplicar si el plano de flujo nulo se encuentra por debajo de las raíces, ya que si no se cometería el error de no considerar el agua extraída por estas en la porción de suelo situado por debajo de dicho plano.

El segundo método se basa en la determinación del flujo que pasa a través de un nivel de referencia Z_f , situado por debajo de la zona radical del cultivo.

Si entre dos instantes, t_1 y t_2 , la variación en el contenido en agua del suelo entre los niveles Z_0 y Z_f es S , la consumición total de agua sería:

$$ETR = P - \Delta S - q_f \Delta t$$

Donde:

$$q_f = -K_{(\theta Z_f)} \cdot (dH/dZ)_{Z_f}$$

P representa el aporte de agua mediante lluvia o riego.

$\frac{q_f}{z_f}$ es el flujo que pasa por el plano situado en el nivel z_f

$K_{(\theta z_f)}$ es la conductividad hidráulica en el nivel z_f , para el contenido en agua de la capa (θ) . $\frac{dH}{dz}_{z_f}$ es el gradiente de carga hidráulica en el nivel z_f .

Este método exige el conocimiento previo de la conductividad hidráulica (K) en el nivel z_f , así como el gradiente de carga hidráulica (dH/dz) en el mismo nivel, por lo que es necesario realizar la caracterización hidrodinámica del suelo antes de comenzar los cálculos de evapotranspiración por este método.

El tercer método está basado en la ecuación de conservación de la masa en una capa de suelo de espesor Δz .

Si entre dos tiempos t_1 y t_2 la variación del contenido en agua de esa capa es ΔS , este término viene determinado por la cantidad de agua extraída por las raíces (R) en esa capa y la diferencia entre la cantidad de agua que sale y entra en la misma en el intervalo de tiempo. por tanto:

$$-\Delta S = R + (q_2 - q_1) \cdot \Delta t$$

O bien:

$$R = -\Delta S - (q_2 - q_1) \cdot \Delta t$$

Con lo que:

$$ETR = \sum_{z=0}^{z=f} R$$

La determinación de la extracción radical en cada capa (R) exige, pues, el cálculo de los flujos en los límites de la capa (q_1 y q_2). Esto se consigue mediante la aplicación de la ley generalizada de Darcy:

$$q = -K_{(\theta)} \frac{dH}{dz}$$

Por tanto, para la determinación del flujo que pasa por cada nivel, es necesario el conocimiento previo de la conductividad hidráulica, para el contenido en agua de ese momento y a ese nivel, así como

del gradiente de carga hidráulica a la misma profundidad.

MATERIALES Y METODOS

La experiencia se ha realizado sobre un cultivo de trigo (Triticum aestivum L.) variedad Anza, en una parcela de la Vega Salmantina perteneciente al C.S.I.C.

La siembra se efectuó el 9 de Marzo de 1984, con una densidad de semilla de 18 Kg/Ha y con una distancia entre cada línea de 20 cm.

Se instalaron dos tubos de acceso para la sonda de neutrones hasta una profundidad de 1,55 m, a 10 m uno de otro, con el fin de poder realizar medidas del contenido en agua en dos zonas distintas, con diferente tratamiento de riego.

Al lado de cada tubo, se colocó un equipo de tensiómetros con 6 manómetros de mercurio, situados a 20, 40, 60, 80, 100 y 140 cm. de profundidad, con el fin de poder seguir la variación de los perfiles de carga hidráulica durante la experimentación.

En las proximidades del cultivo, a un metro de altura, se colocó un pluviómetro para poder seguir la cantidad de agua aportada mediante la lluvia, a lo largo del tiempo.

Esta variedad de trigo, que es de regadío, se desarrolló bajo condiciones de importantes aportes de agua, debidos a la lluvia, hasta los primeros días de Junio, lo que motivó que no se pudiera terminar de montar los aparatos de medida hasta el 24 de Mayo.

El 25 de este mismo mes se comenzaron las medidas, cuando el cultivo tenía una altura de 40 cm, registrándose durante todo el tiempo que duró la experiencia las siguientes precipitaciones:

Del 28/05 al 01/06	6,6 l/m ²
Del 01/06 al 04/06	11,5 l/m ²
Del 04/06 al 08/06	6,7 l/m ²
Del 11/06 al 15/06	6,0 l/m ²
Del 15/06 al 19/06	10,5 l/m ²

Del 19/06 al 26/06	14,5 l/m ²
Del 26/06 al 29/06	7,5 l/m ²

Se instalaron otros tres pluviómetros a la altura del cultivo, cerca de uno de los grupos de tensiómetros, con el fin de poder medir el agua aportada mediante riego para el tratamiento húmedo. Así mismo se colocó un aspersor, con un contador de agua de una precisión de un litro. Durante la comprobación del funcionamiento del sistema, se añadió al cultivo 9,25 l/m² el día 18 de Junio. A dicha subparcela la denominaríamos P-2, mientras que a la que no recibió aporte de agua mediante riego denominaríamos P-1.

Se realizaron dos aportes importantes de agua en la subparcela P-2. El primero de 80 l/m² en el período comprendido entre el 29 de Junio y el 2 de Julio, y el segundo de 100 l/m² en el período comprendido entre el 13 y el 17 de Julio.

Previamente al ensayo, se realizó una caracterización hidrodinámica del suelo, obteniendo la ecuación de la conductividad hidráulica con respecto al contenido en agua, para la capa situada a 130 cm de profundidad, siendo esta:

$$K = 0,03 \text{ Ln}\theta - 0,039$$

Se efectuaron medidas de carga hidráulica con los tensiómetros a las distintas profundidades y en las dos subparcelas los días 25 y 28 de Mayo, 1, 4, 8, 11, 15, 19, 26 y 29 de Junio y los días 2, 5, 10, 13, 17, 20, 23 y 27 de Julio, con lo que se pudo obtener los perfiles de carga hidráulica y su evolución a lo largo del tiempo. A partir de estos resultados se calculó el gradiente de carga hidráulica en los tiempos medios entre dos medidas consecutivas.

Con el empleo de una sonda de neutrones CPN-501 DR se pudo medir el contenido en agua de las capas situadas a 10, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95, 105, 115 y 130 cm de profundidad, tanto en la subparcela P-1 como en la P-2. Estas medidas fueron realizadas los mismos días que las de carga hidráulica. Esto permitió obtener los perfiles hídricos de las dos subparcelas.

Con estos resultados se calculó la variación del contenido total de agua en la capa de suelo comprendida entre los 130 cm de profundidad y la superficie, en los períodos comprendidos entre dos medidas consecutivas.

Con el fin de poder hallar el valor del flujo de agua a través de la capa situada a 130 cm de profundidad se utilizó la ecuación de la conductividad hidráulica obtenida para esa nivel, para el contenido en agua de la capa, así como los valores del gradiente de carga hidráulica para esa profundidad.

Así mismo se estimó la producción de las subparcelas con distinto tratamiento de riego, relacionándolas con las respectivas ETR.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la tabla N° 1 pueden apreciarse los valores obtenidos de la conductividad hidráulica, gradiente de carga hidráulica, flujo e incremento del contenido hídrico en la capa situada a 130 cm de profundidad, en los períodos de tiempo comprendidos entre dos medidas consecutivas, para la subparcela P-1 (a) y para la P-2 (b). Estos valores se encuentran junto a los de evapotranspiración en mm.

Se puede observar que la conductividad hidráulica es superior en la subparcela P-1 que en la P-2, esto es debido a que las cantidades de agua registradas por la sonda a esa profundidad también son superiores durante todo el tiempo de medidas. Teniendo en cuenta que la parcela es de gran homogeneidad y que justo a ese nivel se produce en la subparcela P-2 un incremento en la densidad seca; de 1,45 a 1,7, se puede deducir que en el campo de integración de las medidas por parte de la sonda se encuentra alguna piedra que disminuye los valores de la cantidad de agua, y por tanto de la conductividad hidráulica.

En la figura N° 1 (a y b) podemos ver representadas las ETR (mm/día) obtenidos como media diaria de los valores calculados para cada intervalo entre medidas consecutivas, tanto para la subparcela P-1 como para la P-2.

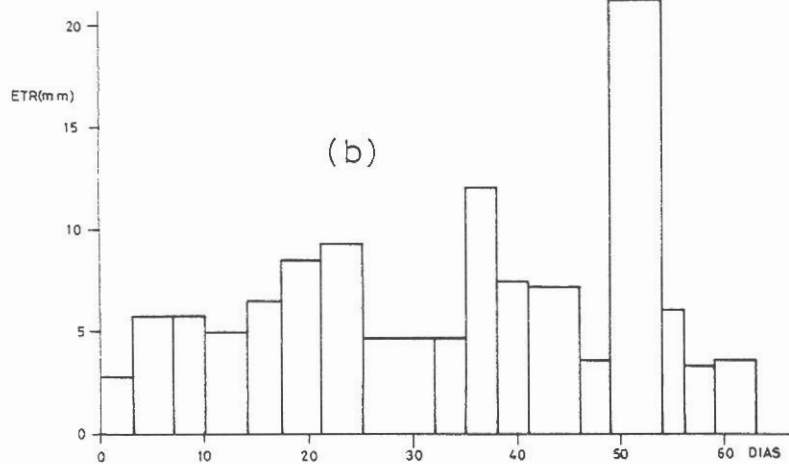
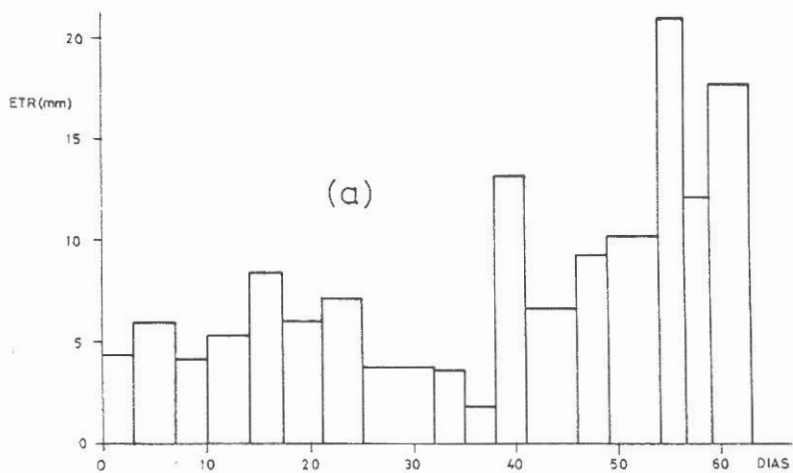


Fig. N° 1. Medias diarias de evapotranspiración para cada intervalo de medidas: a) tratamiento sin riego. b) tratamiento con riego.

En la evolución de la ETR se registran dos períodos separados. El primero comprende hasta el día 2 de Julio, en que se observan prácticamente las mismas tendencias de los valores, pero con un desplazamiento temporal, adelantándose en un período de medida la subparcela P-1 sobre la P-2. También se observa en los últimos días de la experiencia una fuerte diferencia entre las dos subparcelas. Esta se debe a las distintas cantidades de agua aportada por las capas inferiores del suelo, deducidas para las dos subparcelas según los datos obtenidos.

DAUDET y VALANCOGNE (1976) señalan ya la importancia que pueden tener en el balance hídrico los flujos de drenaje o ascensión por capilaridad. En el presente trabajo se han obtenido unos valores casi despreciables de drenaje, 0,394 mm para la subparcela P-1 en todo el ciclo de medidas y 5,6 mm para la subparcela P-2 durante el mismo tiempo. Esto se debe a que aunque durante el ensayo ha habido aportes de agua por lluvia, esta se presentó distribuida a lo largo del tiempo, con cantidades inferiores a las evapotranspiradas por el cultivo.

Los valores del flujo ascendente por capilaridad son mucho más altos, 244,54 mm obtenidos para la subparcela P-1, lo que representa un 49,8 % de la evapotranspiración total de todo el ciclo de medidas, y 17,9 mm para el mismo período en la subparcela P-2, lo que supone un 4 % de la evapotranspiración total.

Estos valores tan altos de aporte de agua por flujo capilar no son fáciles de obtener en el campo, pero hay que tener en cuenta que el suelo donde se desarrolló la experiencia está situado a unos 150 metros de distancia del río Tormes y que el nivel del suelo en el cultivo no sobrepasa los dos metros de altura respecto al nivel de las aguas de éste, por lo que las capas que están inmediatamente por encima del nivel freático se encuentran constantemente con una gran cantidad de agua. Así cuando se produce una fuerte extracción, como el presente caso, el flujo ascendente por capilaridad es de gran importancia.

También hay que tener en cuenta el hecho de que la zona de influencia y la rapidez de respuesta son muy distintas para los tensiómetros que para la sonda de neutrones, por lo que no se debe tener en consideración los valores aislados de un período de medida únicamente, sino considerar la ETR media de un ciclo de medidas largo, o la ETR acumulada durante ese período de mayor duración.

En la figura N° 2 se puede observar la comparación de la ETR acumulada durante todo el período de medidas, notándose una mayor evapotranspiración en la subparcela P-2 que en la P-1 hasta los últimos días de medidas, en los que los valores alcanzados por la P-1 sobrepasan ampliamente los de la segunda.

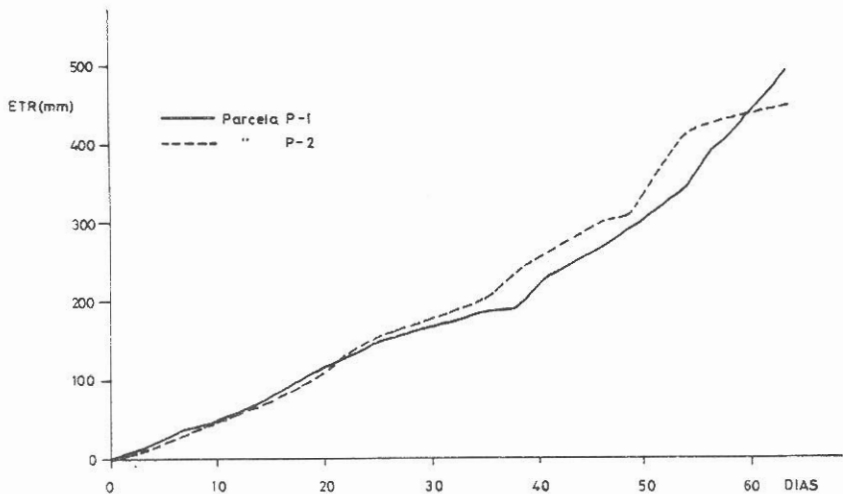


Fig. N° 2. Comparación de las evapotranspiraciones acumuladas, según los dos tratamientos de riego.

Los mayores incrementos de la P-2 sobre la P-1 se presentan en los períodos comprendidos entre el 29 de Junio y el 2 de Julio, y entre el 13 y el 17 de Julio, coincidiendo con las dos aplicaciones de riego en la subparcela P-2.

Las cifras totales de ETR son de 491,05 mm para la subparcela P-1 y 447,88 mm para la P-2, lo que corresponde a una media diaria para todo el período del ensayo de 7.794 mm para la subparcela P-1 y 7,109 mm para la P-2. Esto supone un 8,79 % de menor evapotranspiración para la subparcela P-2 que para la P-1.

En cuanto a las ventajas encontradas en el empleo de este método en el cálculo de la evapotranspiración, respecto a otros, es que se registran medidas directas de la cantidad de agua que hay en el suelo y su variación en el tiempo; el método se basa en medidas reales de pérdida o ganancia de agua por el sistema.

Este es un método que permite calcular la ETR sin un tratamiento matemático complejo, una vez conocida la curva de la conductividad hidráulica, a una profundidad superior a la alcanzada por las raíces, con respecto a la cantidad de agua presente en ese nivel.

No es necesario hacer un gran número de medidas; es suficiente con tomar los datos de la cantidad de agua por capas, y de la carga hidráulica a distintos niveles, cada pocos días, para poder hallar los valores de la ETR de un período largo, como puede ser un ciclo anual de una comunidad vegetal o el desarrollo de un cultivo.

Es un método que permite conocer las condiciones hídricas de los suelos en los que se desarrollan los cultivos, así como la capacidad de cesión de agua de estos a las plantas, teniendo en cuenta, también, las pérdidas por drenaje y los aportes por flujo capilar, por tanto las necesidades de riego de los cultivos (MONTONNET, 1979), información que se pierde en otros métodos como los basados en el balance de energía o en el empleo del porómetro.

Una derivación de este método es utilizado en agricultura. No hay que olvidar que, a partir de las cargas hidráulicas, podemos hallar directamente la succión (MORENO et al., 1982), que es la presión con que el suelo retiene el agua a la profundidad donde está colocado el tensiómetro. De esta manera, colocando una serie de tensiómetros en un campo de cultivo, podemos saber fácilmente si el suelo a una determinada profundidad se encuentra cerca de la capacidad de campo, o por el contrario si se encuentra en un estado en el que las raíces tienen dificultad para conseguir el agua necesaria para el buen desarrollo de la planta.

A pesar de lo anteriormente expuesto, el método del balance hídrico presenta algunos inconvenientes en cuanto a su aplicación:

No puede ser empleado en el cálculo de la evapotranspiración de cortos períodos de tiempo; el poder de resolución de la sonda de neutrones es de aproximadamente tres días (AZAM-ALI, 1983), incluso en períodos de tiempo ligeramente superiores, el error que se puede cometer no es despreciable, por tanto no se puede emplear en trabajos donde se necesite seguir la evolución de la ETR a lo largo del día, perdiéndose información del estado fisiológico de las plantas en cada momento.

Así mismo, salvo raras excepciones en que se pueda localizar el plano de flujo nulo, y este se mantenga a una profundidad superior que la alcanzada por las raíces, durante todo el tiempo de experimentación, es necesario el conocimiento previo de la curva de conductividad hidráulica, con respecto a la cantidad de agua de la capa, a una profundidad superior de la alcanzada por las raíces, ya que es necesario conocer los flujos de drenaje y de capilaridad y no es suficiente con el conocimiento de las variaciones del contenido en agua.

Por otra parte, los tensiómetros necesitan un mantenimiento constante cuando las cargas hidráulicas son elevadas, ya que el paso del agua por las bujías porosas termina por vaciar los mismos, con lo que dejan de medir. Así mismo, si la carga hidráulica es muy fuerte, es co-

mún la penetración de burbujas de aire en el tubo que comunica el mercurio con el agua, por lo que pueden modificar la medida. Por tanto, hay que revisar el funcionamiento correcto de los tensiómetros unas horas antes de realizar las lecturas, ya que si hay que ponerlos a punto, estos tardan un tiempo medianamente largo en equilibrarse y dar la medida correcta.

La producción estimada a partir de 100 espigas de cada subparcela dió como resultado 160,75 gr para la subparcela P-1 y 172,56 gr para la subparcela P-2, lo que corresponde a una producción de 10,8 toneladas por hectárea y 11,59 toneladas por hectárea respectivamente, que representa un 6,8 % de menor producción para la P-1 que para la P-2.

La obtención de estas producciones tan altas puede ser debida a las buenas condiciones de humedad y abonado a las que ha estado sometido el cultivo durante todo su desarrollo, indicado esto también por los valores de evapotranspiración obtenidos en las dos subparcelas.

Las diferencias en la producción entre los dos tratamientos no son grandes. Aunque la subparcela P-2 ha recibido dos tratamientos de riego en días distintos, la subparcela P-1 ha recibido un mayor aporte de agua mediante flujo capilar, llegando a superar en los últimos días de medidas la cantidad de agua evapotranspirada en la P-1 a la evapotranspirada en la P-2. Por todo esto pensamos que la pequeña diferencia de producción se debe más bien a algún error de muestreo u otros factores no controlados en el trabajo.

CONCLUSIONES

Del estudio realizado del método de cálculo de la evapotranspiración real a partir del balance hídrico se deduce que, es un método que presenta grandes ventajas cuando se tiene que determinar los valores de este parámetro en largos períodos de tiempo, proporcionando información del contenido hídrico del suelo, a distintas profundidades, lo cual permite hallar la extracción radical por capas. La información también de las necesidades de riego del cultivo o la comunidad vegetal.

Este método no puede ser empleado en estudios donde sea necesario calcular la evapotranspiración en cortos períodos de tiempo, debido a que las velocidades de respuesta en los tensiómetros y en la sonda de neutrones no es la misma, teniendo que considerarse los valores obtenidos en períodos de al menos 15 días.

No proporciona ninguna información sobre el estado fisiológico de la parte aérea de la planta, por lo cual, es necesario aplicar otras técnicas cuando se necesite relacionar los valores de evapotranspiración con variables intrínsecas a la planta.

Los valores de evapotranspiración obtenidos según los dos tratamientos de riego son elevados, no apreciándose grandes diferencias entre ellas, por lo que se deduce que el cultivo ha estado en ambos casos en buenas condiciones de alimentación hídrica durante todo el desarrollo. En el tratamiento sin riego estas condiciones se consiguen mediante el aporte de agua por flujo capilar.

Relacionando las producciones obtenidas en las dos subparcelas con los valores de evapotranspiración según los dos tratamientos de riego, se desprende que las pequeñas diferencias encontradas se deben a algún error de muestreo u otros factores no controlados.

TABLA N° 1

VARIACION DE K, GRAD. H, Q, S Y ETR EN LA SUBPARCELA P-1

(a)

Z = 130 cm.

DIAS	K mm/h	Grad. H %	Q mm/h	Incr.S mm	ETR mm.
00-03	.072	.025-	.002	13.100-	12.970
03-07	.072	.012-	.001	17.000-	23.504
07-10	.072	.012-	.001	1.100-	12.528
10-14	.072	.012-	.001	14.700-	21.304
14-17	.071	.000	.000	25.400-	25.400
17-21	.071	.000	.000	18.100-	24.100
21-25	.071	.000	.000	17.700-	28.200
25-32	.071	.102	.007-	10.900-	26.576
32-35	.071	.331	.024-	1.600-	10.828
35-38	.070	.842	.059-	.400	5.264
38-41	.069	1.837	.127-	30.300-	39.444
41-46	.068	2.934	.199-	9.300-	33.180
46-49	.068	4.133	.284-	7.600-	27.832
49-54	.068	5.613	.382-	4.800-	50.640
54-56	.067	7.055	.473-	19.000-	41.704
56-59	.067	9.077	.608-	6.900	36.876
59-63	.066	11.112	.733-	.300-	70.705

VARIACION DE K, GRAD. H, Q, S Y ETR EN LA SUBPARCELA P-2

(b)

Z = 130 cm.

DIAS	K mm/h	Grad. H %	Q mm/h	Incr.S mm	ETR mm.
00-03	.066	.050-	.003	8.400-	8.184
03-07	.067	.047-	.003	16.600-	22.912
07-10	.067	.050-	.003	3.400-	14.662
10-14	.066	.024-	.002	13.500-	20.008
14-17	.066	.000	.000	19.600-	19.600
17-21	.066	.000	.000	27.700-	33.700
21-25	.066	.000	.000	7.300-	37.050
25-32	.066	.178	.012-	15.700-	32.216
32-35	.065	.522	.034-	3.900-	13.848
35-38	.065	.166-	.011	43.000	36.108
38-41	.064	.612-	.039	24.600-	21.792
41-46	.063	.077-	.005	36.500-	35.600
46-49	.063	.561	.035-	7.900-	10.420
49-54	.063	.242	.015-	4.400-	106.400
54-56	.062	.421-	.026	13.200-	11.952
56-59	.062	.038-	.002	9.700-	9.556
59-63	.062	1.228	.080-	6.200-	13.880

BIBLIOGRAFIA

- AZAM-ALI, S.N. (1983). Seasonal estimates of transpiration from a millet crop using a porometer. *Agric. Meteorol.*, 30, 13-24.
- BLANCO DE PABLOS, A; GARMENDIA IRAUNDEGUI, J. (1974). Balance hídrico realizado en el mismo campo de experiencias de secano, con y sin cultivo. *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*.
- CUADRADO SANCHEZ, S. y BLANCO DE PABLOS, A. (1980). Caracteres físicos y balance hídrico de suelos de la zona cerealista de la Cuenca del Duero. *An. Edaf. Agrobiol.*, 39, 563-581.
- DAUDET, F.J. et VALANCOGNE, Ch. (1976). Mesure des flux profonds de drainage ou de remontées capillaires leur importance dans le bilan hydrique. *Ann. Agron.*, 27, 165-182.
- GELFI, N. (1975). Influence des conditions d'alimentation hydrique et azotée sur l'efficiencia de l'eau et la production chez le soja. (Variet  AMSOY). Tesis doctoral Universidad de Toulouse.
- KALMS, J.M.; VACHAUD, G. et VAUCLIN, M. (1982). Etude méthodologique de l'alimentation hydrique de deux variétés de riz pluvial   l'échelle d'une parcelle. *Agronomie.*, 2, 871-883.
- KATERJI, N.B. (1971). Contribution a l'etude de l'evapotranspiration réelle du blé tendre d'hiver. Aplicacion a la resistencia du covert en relation avec certains facteurs du melieu. Tesis doctoral Universidad de Par s.
- MONTONNET, P. (1979). Un système de irrigation automatique des cultures: principe et simulation théorique. *Agric. Meteorol.* 1, 25-40.
- MORENO, F; VACHAUD, G. y MARTIN ARANDA, J. (1982). Caracterización h dridin mica de un suelo de olivar. Fundamento teórico y m dre todos experimentales. (En prensa).

- PAZ GONZALEZ, A. (1978). Aplicación de un programa de simulación mediante diferencias finitas al cálculo del balance y perfiles hídricos de un suelo de pradera. Avances sobre la Investigación en Bioclimatología. (C.S.I.C.), 207-223.
- PAZ GONZALEZ, A. y DIAZ FIERROS, F. (1981). Evapotranspiración real de un cultivo de Lolium perenne en Santiago de Compostela durante el período 1969-1975. Avances sobre la Investigación en Bioclimatología. (C.S.I.C.), 463-481.
- PUECH, J. (1972). Etude expérimentale de la disponibilité de l'eau pour les vegetaux sur differents types de sols. Tesis doctoral. Universidad de Toulouse.
- ROYER, J.M. and VACHAUD, G. (1973). Comparison between direct measurements and evaluation of evapotranspiration from natural terrains. Annual Fall Meeting (A.G.U.).
- VACHAUD, G; VAUCLIN, M; IMBERNON, J.; PIERI, C; DANCETTE, C et DIATTA. (1982). Etude des pertes en eau et en matieres minerales sous culture considerant la variabilité spatiale du sol. XII Congrès International de Sciences du Sol. New Dehli.