

APROXIMACION, POR EL METODO DE THORNTHWAITE, AL CALCULO DE INFILTRACION DE LLUVIA UTIL

María Elena Montaner Salas

Departamento de Geografía. Universidad de Murcia

Eduardo Sánchez-Almohalla Serrano

Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras

RESUMEN

Este trabajo pretende aproximar el cálculo de la infiltración de lluvia útil mediante la aplicación del método de Thornthwaite utilizando datos de temperatura y precipitación diarios en lugar de mensuales ya que en una región donde las precipitaciones caen concentradas en pocos días, los valores medios difuminan las lluvias que, sin embargo, se infiltran.

Asimismo, se ha tratado de ajustar la reserva útil del suelo, factor fundamental para poder calcular la evapotranspiración real y una vez obtenida ésta, la lluvia útil.

Se han utilizado los datos de varios años hidrológicos de la estación n.º 217 de la Red Pluviométrica Nacional, Totana Presa del Paretón y se ha supuesto el hecho ficticio de una plantación de cítricos en su área de influencia con el fin de llegar a un balance lo más aproximado posible.

Sin embargo, no hay que olvidar que sólo mediante el establecimiento de parcelas experimentales se podrá llegar a unos resultados que se acerquen más a la realidad.,

Palabras clave: lluvia útil, evapotranspiración, parcelas experimentales.

ABSTRACT

This paper tries to work out an approximate estimate of useful rain infiltration, applying for purpose the Thornthwaite method, that is, using daily temperature and rainfall data instead of monthly ones; because in regions where there are heavy rainfalls during a few days, average results would minimize the rain that does infiltrate, in spite of low average results.

We have also tried to determine the amount of water actually absorbed by the soil, which is a basic factor to be able to calculate the real evapotranspiration, and

afterwards the useful rain.

We have used the data of several hydrological years taken from the National Red Pluviométrica, Totana Presa del Paretón: we used an hypothetical citrus plantation in order to achieve an approximate hydric balance.

However, we must bear in mind that only the setting up of experimental plots will achieve results that are nearer to reality.

Key words: useful rain, evapotranspiration, experimental plots.

1. INTRODUCCION

Murcia es una región cuyos acuíferos están sobreexplotados en su práctica totalidad, de ahí el interés del tema de estudio ya que de estas aguas depende gran parte de su economía, basada en una agricultura rentable y con diversidad de cultivos.

En el balance hídrico que se realiza en cada acuífero para conocer sus recursos medios anuales, aparece un parámetro de gran importancia y difícil cuantificación, como es la infiltración de lluvia útil.

Los métodos que actualmente se utilizan para su cálculo han sido concebidos para conocer las necesidades hídricas de los cultivos y su extrapolación al ámbito de la hidrogeología, al no tener en cuenta algunas de las peculiares características de los terrenos que constituyen los acuíferos, como la inexistencia de suelo o el poco desarrollo de éstos y otras relacionadas con su capacidad de retención, tiende a subestimar la infiltración.

Por tanto se pueden estar manejando cifras de sobreexplotación superiores a las reales con lo cual las medidas encaminadas a la ordenación de dichos acuíferos pueden ser demasiado restrictivas para los usuarios al estimarse un ritmo más rápido en el agotamiento de las reservas.

Además, el método de Thornthwaite, el más usado, utiliza para el cálculo de la evapotranspiración valores medios mensuales de temperatura y precipitación difuminando así las lluvias que se producen en corto espacio de tiempo y que, sin embargo, contribuyen en gran medida a la infiltración¹.

Aunque la bibliografía sobre el tema advierte que los cálculos deben hacerse con valores diarios en climas áridos y semiáridos, lo cierto es que en la práctica se utilizan datos mensuales por lo que no se ha puesto de manifiesto el porcentaje de error que ello supone.

¹ Las experiencias que permitieron la puesta a punto de dicho método fueron realizadas en zonas húmedas y con abundantes lluvias de Estados Unidos por lo que su aplicación a regiones áridas o semiáridas hace que aumenten considerablemente los errores (Israelsen y Hansen, 1965).

2. CONCEPTO Y BREVE DESCRIPCION DEL METODO DE THORNTHWAITTE

Para el cálculo de la evapotranspiración² se han utilizado diversos métodos de los cuales destacamos los de Blaney-Criddle, Turc, Penman y Thornthwaite basados en el empleo de fórmulas que relacionan la *evapotranspiración potencial* (ETP) con factores climáticos de diferente grado de dificultad en su obtención — temperatura, precipitación, radiación solar incidente, velocidad del viento, etc.— y otros dependientes del tipo de cultivo, clases de suelo, agua disponible, rendimiento de las cosechas, etc. Por considerarlos suficientemente conocidos no se cree necesario dar una explicación detallada.

Sólo se describirá con cierto detalle el de Thornthwaite por ser el normalmente aplicado en hidrogeología para el cálculo de infiltración de lluvia útil que se ha considerado como constitutiva de los recursos renovables de un acuífero.

Este calcula un *índice de calor mensual* (i) a partir de las temperaturas medias diarias del aire, según la fórmula:

$$i = (t/5)^{1.514}$$

obteniendo el *índice de calor anual* (I) como la suma de los doce valores del índice de calor mensual para meses teóricos de 30 días y 12 horas diarias de sol.

A partir de estos datos propone la siguiente fórmula:

$$ETP = 1.6(10 t/I)^a$$

donde:

ETP = Evapotranspiración potencial mensual no corregida en mm/día

t = Temperatura media mensual en °C

I = Índice de calor anual

a = Función compleja de I igual a

$$675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 1.972 \times 10^{-5} I + 0.49239^3$$

Los valores de la ETP obtenidos han de corregirse en función de la duración del mes y el número de horas de insolación teórica, variables en relación a la latitud en que se encuentra la estación meteorológica que ha suministrado los datos⁴.

² La evapotranspiración es el resultado del proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso y, directamente o a través de las plantas, vuelve a la atmósfera en forma de vapor. En consecuencia resulta ser la suma de dos fenómenos. evaporación y transpiración (Custodio y Llamas, 1983).

³ L. Serra propuso, en la Asamblea General de la Asociación Internacional de Hidrogeología Científica celebrada en Roma en 1954, simplificar este polinomio a la siguiente expresión $a = 0.161 + 0.5$.

⁴ El desarrollo matemático es muy laborioso pero la utilización de ordenadores simplifica notablemente el cálculo.

La ETP calculada constituye el valor máximo de agua que estaría sometida a este proceso de existir cantidad suficiente en el terreno.

La *evapotranspiración real* (ETR) se calcula a partir de tres factores, dos ya conocidos, la ETP y la pluviometría y uno nuevo que se denomina *reserva útil del suelo* (RU). Dicha reserva útil es el volumen de agua útil⁵ que puede retener un terreno por unidad de superficie y hasta la profundidad en que el fenómeno de capilaridad es posible. Su valor se expresa en milímetros por metro de profundidad y por unidad de superficie y varía según el tipo de suelo. Constituye el dato más débil del cálculo, al no disponer de suficientes medidas de campo que permitan asignar valores representativos a cada zona en que se aplique el método⁶.

No obstante, el Plan Hidrológico Nacional (1984) ofrece datos de los diferentes tipos de suelo de la cuenca del Segura (cuadro 1).

CUADRO 1. Datos analíticos de los tipos de suelo de la Cuenca del Segura

Tipos de suelo	Profundidad (m)	Permeabilidad (cm/h)	Agua %	Util (m ³ /ha)
Aluviales	0'99	5'4	28'20	279'2
Salinos	0'99	4'8	26'36	260'9
Pardo calizos	0'80	5'2	27'55	220'4
Tierras pardas	0'68	7'0	24'40	166'0
Litosuelos	0'00	0'0	0'00	0'0
Serosems	1'21	8'0	27'10	327'9
Serosems pardo calizos	1'30	2'8	27'70	360'2
Margo yesosos sobre Keuper	0'57	5'1	29'40	167'6
Pedregosos	0'97	8'0	28'80	280'0
Arenosos	0'52	68'8	6'45	33'0

Una vez calculada la ETR podemos conocer la *lluvia útil* (LI U) mediante la ecuación:

$$LI U = P - ETR$$

que tiene dos componentes, escorrentía (E) —superficial e hipodérmica— e infiltración (IF). La escorrentía pasa a formar parte de los cursos de agua **superfi-**

5 *Agua útil* es la cantidad de agua que un suelo puede ceder a las plantas. Su valor máximo se denomina *capacidad de campo* y el mínimo *coeficiente de marchitamiento*.

6 Normalmente en hidrogeología los valores de RU utilizados son 0, 25, 50, 75 y 100 mm.

ciales y la infiltración a engrosar la reserva útil (agua eficaz) y, completada ésta, sigue su recorrido hasta alcanzar un acuífero (agua profunda).

3. CONCEPTOS BASICOS SOBRE LA INFILTRACION

El agua caída sobre la superficie del terreno se ve sometida a procesos que la devuelven a la atmósfera (evaporación-transpiración), la hacen discurrir por el terreno (escorrentía) o penetrar en él (infiltración). En este último proceso el agua queda retenida en el suelo o sigue su descenso hasta alcanzar un acuífero, pasando esa fracción a formar parte de lo que se denominan *recursos renovables* del mismo.

Los factores que influyen en la velocidad de infiltración son variados y entre ellos destacan el espesor de la lámina de agua sobre el suelo, la temperatura de ambos y la estructura, textura y contenido de humedad del terreno.

Israelsen y Hansen (1965) dan unos valores medios de permeabilidad en cm/h de acuerdo con la textura del suelo; son los siguientes:

Arenosos	J (2'5-25'5)	Franco-arcillosos	0'8 (0'25-1'5)
Franco-arenosos	2'5 (1'3-7'6)	Arcillo-arenosos	0'25 (0'03-0'5)
Francos	1'3 (0'8-2'0)	Arcillosos	0'5 (0'01-0'1)

(*) Los intervalos normales se consignan entre paréntesis.

La velocidad de infiltración puede conocerse mediante medidas realizadas en parcelas experimentales o con la ayuda de índices, determinados sobre **yetogramas**, que permiten estimar el tiempo que el agua, en su descenso, está sometida al proceso de evapotranspiración⁷.

El volumen infiltrado se calcula para períodos de larga duración (un mes o un año). Custodio y Llamas (1983), citan una fórmula empírica aplicada con éxito en regiones semiáridas, del tipo:

$$IF = \alpha(P-P_0)$$

en la que

7 En suelos escasamente desarrollados o poco profundos (**zonas de afloramientos o subafloramientos** calcáreos de un acuífero) la velocidad de infiltración jugará un importante papel como regulador de la escorrentía.

En efecto, al ser pequeño el valor de RU del suelo, ésta se completa rápidamente y permite la infiltración profunda a través de las fracturas de la roca subyacente.

IF = Infiltración en mm/año

α = Coeficiente adimensional característico de la cuenca

P = Precipitación sobre la cuenca en mdaño

P_0 = Valor en mm/año característico de la cuenca⁸

El volumen anual infiltrado representa un porcentaje muy variable de la precipitación anual. Experiencias realizadas en la cuenca de La Vanne (París) dan valores entre el **12 y 23%** de la pluviometría anual; en el delta del río Llobregat entre el **12 y 56%** y en zonas cársticas de Hungría entre el **7 y el 70%**. Para el sureste costero, y por observaciones hechas en diversas cuencas, se ha estimado que el valor de la infiltración se sitúa entre el **20 y 26%** de la precipitación mensual a partir de **40 mm** en el primer mes tras un período seco y de **25 mm** en los meses sucesivos (Thauvin, **1975**).

Otro aspecto a considerar en el volumen total infiltrado es el excedente de riego, cantidad poco variable respecto al volumen aplicado y que se estima en un **10%** en riegos por aspersión y próximo al **25%** en riegos a pie.

4. ANALISIS DE LOS SUPUESTOS BASICOS EN LA APLICACION DEL METODO

El método de Thornthwaite parte, para su cálculo, de los siguientes supuestos:

- El período considerado es el año hidrológico, de octubre a septiembre.
- La temperatura y la precipitación se aplican como valores medios mensuales.
- La reserva útil del suelo, al comienzo del año hidrológico, es 0 y las variaciones de dicha reserva se deben exclusivamente al resultado del balance

$$P - ETR = \pm RU$$

La extrapolación de este método al cálculo de los recursos de un acuífero no tiene en cuenta una serie de hechos de cierta trascendencia:

- Las zonas climáticas áridas o con cierta tendencia a la aridez se caracterizan por temperaturas normalmente altas y un régimen **pluviométrico** irregular con lluvias de mediana y fuerte intensidad en corto espacio de tiempo.

Por ello, al utilizar valores medios mensuales las precipitaciones acaecidas en pocos días a lo largo del mes quedan difuminadas dentro de dicho valor medio y sometidas, en el cálculo, a una temperatura media normal-

⁸ GOLDSCHMIDT (1958/59) lo aplicó en Israel con valores $P_0 = 360$ mm/año y valores de α entre 0'78 y 0'87 en función de la cuenca estudiada.

mente elevada cuyo efecto es considerar evapotranspirables cantidades de agua que ya se han infiltrado. Hay que tener en cuenta, además, que las precipitaciones traen consigo, generalmente, un descenso de la temperatura.

- Durante el ciclo vegetativo los cultivos están recibiendo periódicamente volúmenes de agua por riego que tienden a satisfacer sus necesidades hídricas. En consecuencia, las lluvias coincidentes con épocas de riego pueden encontrar en su caída un terreno cuyo valor de RU estaría más próximo a la capacidad de campo que al coeficiente de marchitamiento. Lo que pone de manifiesto que la variación de la reserva útil del suelo no obedece exclusivamente al balance

$$P - ETR = \pm RU$$

Por lo tanto se daría la paradoja de que lluvias supuestamente evapotranspirables, en su práctica totalidad, estarían contribuyendo a completar la capacidad de campo y, a partir de ese momento, a la infiltración.

De hecho, salvo en el caso de fuertes precipitaciones que dan lugar a avenidas y que hacen innecesario el riego en fechas posteriores, la mayor parte de la lluvia caída con mediana y baja intensidad no provoca los mismos efectos sobre los cultivos por lo que el agricultor, en general, les sigue suministrando las dotaciones habituales.

A través del sistema de riego por goteo, cada vez más utilizado, se suministra a cada planta no sólo el agua sino los productos químicos necesarios para su mejor desarrollo. Ante las citadas lluvias, el agricultor se ve obligado al aporte de dichos productos por lo que debe seguir regando ya que la propia instalación de riego es el único sistema de transporte⁹.

5. COMPARACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA UNA MISMA ESTACION METEOROLOGICA UTILIZANDO DATOS DE TEMPERATURA Y PRECIPITACION MENSUALES Y DIARIOS

La estación número 217 de la Red Pluviométrica Nacional (Totana Presa del Paretón) se ha elegido con un solo criterio fijado de antemano, disponer de datos reales ya que sólo se pretende contrastar los diferentes resultados que se obtienen al aplicar el método de Thornthwaite de forma convencional o introduciendo matices como el uso de valores diarios de precipitación y temperatura y la variación de la reserva útil por efecto del riego.

⁹ En este sentido y desde un punto de vista puramente filosófico, deberían considerarse como recursos de un acuífero las lluvias que, por su intensidad, sustituyen al riego. El valor de estos recursos será igual al volumen de agua ahorrado y no extraído del acuífero.

Según el Plan Hidrológico Nacional, dicha estación se localiza en la zona Vc del Valle del Guadalentín que se define, desde el punto de vista edáfico, como una agrupación de: suelos aluviales, salinos y pardo-calizos (60%); serosems y pedregosos (20%); litosuelos (10%); serosems pardo-calizos (5%) y margo-yesos sobre Keuper (5%) que en conjunto representa los siguientes valores medios:

— Profundidad del suelo	0'85 m
— Permeabilidad	5 cm/h
— Agua útil	295 m ³ /ha ≈ 30 mm/m ²

La aplicación del método se ha llevado a cabo utilizando años de diferente pluviometría, dentro del período 1940141-1981182 (P=311 mm); muy por encima de la media anual (1974175, P=463 mm); algo superior a ella (1971172, P=372 mm); de similar cuantía (1967168, P=320 mm) y muy por debajo de la misma (1954155, P=211 mm).

Se ha utilizado en todos ellos una RU=30 mm, representativa de la zona en que se sitúa la estación meteorológica. Asimismo, para obtener mayor número de datos que apoyen las conclusiones, se han supuesto diferentes texturas y profundidades del suelo que permitan el uso de reservas útiles de 50 y 75 mm.

Para el cálculo de la escorrentía (E) e infiltración (IF) se adopta un convenio, frecuentemente utilizado en hidrogeología, que asigna a cada una de ellas el 75% y 25%, respectivamente, del superávit (SUP) que se produce una vez satisfecha la demanda de ETP y completada la RU del suelo.

La elección de estos porcentajes supone una generalización que introduce un nuevo factor de error en el cálculo. No obstante, este trabajo utiliza dicho criterio tanto al aplicar los datos mensuales como diarios, por lo que aparece como un error sistemático que no afecta a la diferencia entre los valores obtenidos en ambas aplicaciones.

Los resultados que ofrece el método de Thornthwaite para los distintos años y reservas útiles se reflejan en el cuadro 2.

El gráfico 1 pone de manifiesto el incremento en % que, sobre los valores obtenidos aplicando datos medios mensuales, representa la utilización de valores medios diarios; este incremento varía en función de la RU utilizada.

El escaso número de años considerado en los cálculos impide extraer conclusiones de carácter general, no obstante, parece existir una cierta proporcionalidad entre las infiltraciones calculadas para distintos valores de RU y la pluviometría total anual, en cada año. De igual forma, esa misma relación parece manifestarse entre los distintos años.

El tratamiento de los datos medios diarios para un período suficientemente representativo, 15-20 años, podría confirmar dicha relación.

Por el momento sólo se pretende poner de manifiesto la mejor aproximación a la realidad mediante un tratamiento adecuado de los datos, dentro de las limitaciones que el método conlleva.

La mayor precisión que aporta el uso de datos medios diarios de P y t se refleja en los altos porcentajes en que aumenta el volumen de agua infiltrada. Estos valores porcentuales alcanzan cotas más elevadas cuanto menor es la precipitación total del año, confirmando las limitaciones de este método, al

CUADRO 2. Resultados obtenidos utilizando valores medios mensuales y diarios

AÑO	DATOS	RU = 30 mm						RU = 50 mm						RU = 75 mm					
		P	T °C	ETP	ETR	DEF	SUP	E	IF	ETR	DEF	SUF	E	IF	ETR	DEF	SUP	E	IF
1974/	463	16'1	823	264	264	559	174	130'5	43'5	326	497	134	100'5	33'5	377	446	84	63	21
1975	*	*	818	254	564	564	210	157'5	52'5	301	516	155	116	39	347	471	113	84'7	28'3
1971/	372	15'6	800	300	500	500	72	54	18	320	480	52	39	13	343	457	27	20'3	6'7
1972	*	*	803	296	507	507	90	67'5	22'5	304	499	62	46'5	15'5	304	499	37'6	28'2	9'4
1967/	320	17'3	898'6	262'8	635'8	635'8	57'2	42'9	14'3	282'8	615'8	37'2	27'9	9'3	307'8	590'8	12'2	9'2	3
1968	*	*	899	235'5	663'5	663'5	101'7	76'3	25'4	258'4	407'1	61'2	45'9	15'3	291'2	372'3	34'2	25'7	8'5
1954/	211	18'1	922	173	749	749	38'1	28'6	9'5	193	729	18'1	13'6	4'5	211	711	0	0	0
1955	*	*	924'4	161'4	763'1	763'1	49'9	37'4	12'5	182'2	742'3	26'8	20'1	6'7	203'1	721'4	1'9	1'4	0'5

* Valores diarios.

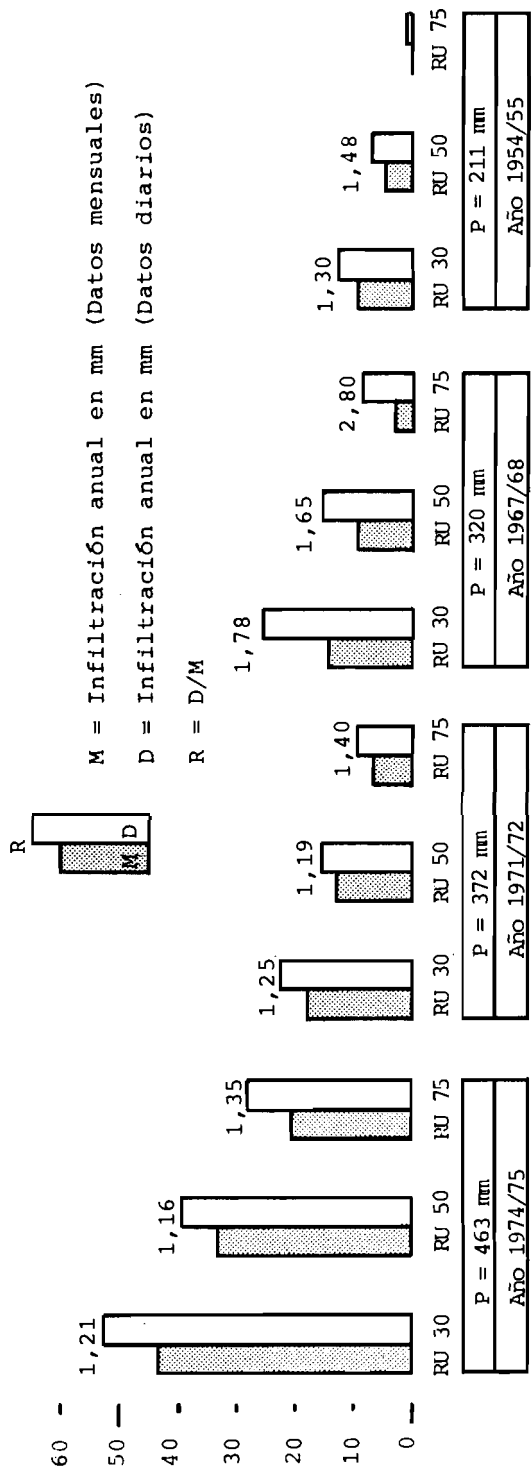


GRAFICO 1

menos, en su aplicación de datos medios mensuales de P y t en zonas áridas y semiáridas.

Por otro lado, para conocer el efecto que produciría el riego sobre la zona de estudio se ha supuesto la existencia de una plantación de cítricos en el área cubierta por la estación ¹⁰. Sus necesidades hídricas anuales, calculadas por el método de Blaney-Criddle, representan un total de 600 mm/m² equivalentes a una tasa de riego (AR) de 6.000 m³/ha/año que se aplican al cultivo en diez dosis distribuidas una cada mes, de marzo a octubre, exceptuando julio y agosto que reciben dos. Cada una de ellas aporta 60 mm/m²/mes que se suman a la precipitación.

Este criterio se ha aplicado al año medio representativo del período 1940141 - 1981182, obteniéndose un superávit de 125 mm que representan el 21% del volumen aportado por el riego y el 14% del binomio pluviometría-riego.

CUADRO 3. Efecto producido por el riego.

RESERVA UTIL = 30 mm.										
MES	P mm.	AR mm.	ETP mm.	RU mm.	Δ _{RU} mm.	ETR mm.	DEF. mm.	SUP. mm.	E mm.	IF mm.
OCTUBRE	50	60	68	0	+30	68		12	9	3
NOVIEMBRE	29		28	30	0	28		1	0,7	0,3
DICIEMBRE	33		20	30	0	20		13	9,7	3,3
ENERO	25		20	30	0	20		5	3,8	2,2
FEBRERO	18		21	30	-3	21				
MARZO	27	60	39	27	+3	39		35	26,2	8,8
ABRIL	46	60	53	30	0	53		53	39,8	13,2
MAYO	31	60	85	30	0	85		6	4,5	1,5
JUNIO	15	60	119	30	-30	105	14			
JULIO	4	120	150	0	0	124	26			
AGOSTO	7	120	140	0	0	127	13			
SEPTIEMBRE	26	60	106	0	0	86	20			
VALOR ANUAL	P 311 mm.	AR 600 mm.	ETP 849 mm.			ETR 776 mm.	D 73 mm.	S 125 mm.	E 93,7 mm.	IF 31,3 mm.

¹⁰ Esta hipótesis de monocultivo es simplificada; en el caso real de que exista diversidad de cultivos, la aportación por riegos se calcula de acuerdo con los porcentajes que represente cada uno.

Estos porcentajes son atribuibles al efecto del riego ya que el año medio del período considerado no ofrece ningún exceso de agua al aplicarle el método de Thornthwaite con datos mensuales.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El método de Thornthwaite pese a sus limitaciones de aplicación en zonas climáticas como la estudiada, puede ser válido mediante el tratamiento adecuado de los datos termopluiométricos. Los años utilizados en este trabajo son representativos de una gama de valores de P que abarcan desde un año prácticamente seco hasta uno muy por encima del año medio. A cada uno de ellos se le ha aplicado el método con valores medios mensuales y diarios. En todos los casos el volumen de agua infiltrada es sensiblemente mayor al utilizar estos últimos. La proporción en que este aumento se produce es menor en los años con P superior a la media del período y oscila entre el 21-25% para $RU=30$ mm y 35-40% para $RU=75$ mm. Los años en que la pluviometría es próxima o inferior a la del año medio, el porcentaje de aumento es más acusado acercándose e incluso superando el 100% en función de la reserva útil considerada.

De igual forma al introducir en el cálculo, como complemento de la pluviometría, el agua aportada al suelo a través del riego se obtienen nuevos incrementos en el volumen infiltrado, que se concretan en un 5% del agua aplicada al cultivo a lo largo del año, como mínimo.

Los datos extraídos de bibliografía deben considerarse como orientadores, pero en ningún caso representativos de los terrenos que constituyen las áreas de infiltración de los diferentes acuíferos que existen en la región de Murcia, ni de las particulares condiciones climáticas que reinan en el área mediterránea peninsular.

Por ello, la línea de investigación a seguir para profundizar en el tema central de este trabajo pasa, ineludiblemente, por el establecimiento de parcelas experimentales que representen, lo más fielmente posible, las condiciones agroclimáticas y morfolitológicas de los principales acuíferos de la región, con el fin primordial, entre otros, de determinar el porcentaje de infiltración respecto a la pluviometría.

De lo contrario, cualquier tentativa que pretenda resolver la carencia actual de datos regionales mediante la extrapolación de otros, obtenidos en zonas de similares características o por procedimientos más o menos artificiosos y/o subjetivos, está abocada, desde el principio, a continuar una tradición de simples aproximaciones a la realidad, con lo que se seguiría ignorando la auténtica dimensión y posibilidades de los recursos renovables que se infiltran en los acuíferos, a través de las áreas permeables de esta región.

BIBLIOGRAFIA

- AGUIAR, J.; SIMON, M. y FERNANDEZ, J. (1986): *Motril-1.055. Proyecto LUCDEME. Mapa de suelos escala 1:100.000*. Universidad de Granada. Ministerio de Agricultura. Madrid. 118 pp.
- ARENAS CUEVAS, M. (1972): *Aspectos de la utilización de aguas para riego*. E. N. Adaro. Madrid, s.p.
- (1979): «Evapotranspiración y evaporación.. *II Curso Práctico de Aguas Subterráneas*. Ministerio de Industria y Energía. Almería, s.p.
- CALVO GARCIA-TORNEJ, F. (1986): «Explotación y problemática de los acuíferos subterráneos», *Coloquio demanda y economía del agua*. Alicante. 21 pp.
- C.E.B.A.S. (1966): *Esiudio edafológico y agrobiológico de la provincia de Murcia*. Ed. Belmar. Murcia. 282 pp.
- CEREZUELA NAVARRO, F. (1977): *Esiudio de la evapotranspiración y microclimas de la vertiente mediterránea del sur do España*. Universidad de Málaga. 297 pp.
- CONESA GARCIA, C. (1984): *El poencial agrario de los suelos de Torre-Pucheco*. Ayuntamiento de Torre-Pucheco. Caja Provincial de Murcia. Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena. Murcia. 275 pp.
- CUSTODIO. E. y LLAMAS, M. R. (1983): *Hidrogeología subterránea*. Ed. Omega. Barcelona. 1.757 pp.
- DIAZ ALVAREZ, J. R. (1983): *Esrirdio del poencial de los suelos agrarios de la provincia de Almería*. Ministerio de Agricultura. Madrid. 323 pp.
- DOOREMBOS, J. y PRUITT, W. O. (1977): *Las necesidades de agua de los cultivos*. Estudio FAO. Riego y Drenaje. Roma. 193 pp.
- DOOREMBOS, J. y KASAM, A. H. (1980): *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos*. Estudio FAO. Riego y drenaje. Roma. 212 pp.
- ELIAS CASTILLO, F. y GIMENEZ ORTIZ, R. (1965): *Evupoiranspiraciones potenciales y balance de agua en España*. Ministerio de Agricultura. Madrid. 293 pp.
- ELIAS CASTILLO, F. y RUIZ BELTRAN, L. (1973): *Clasificación agroclimática de España*. Servicio Meteorológico Nacional. Madrid. 145 pp.
- (1977): *Agroclimatología de España*. Ministerio de Agricultura. Madrid, s.p.
- GOLDSCHMIDT, M. (1959): «On the water balances of several mountain underground water catchments in Israel and their flow patterns». *Hydrological paper* 4. Hydrological Service of State of Israel. Jerusalem.
- GOLDSCHMIDT, M. y JACOBS, M. (1958): «Precipitation over and replenihsment of the Yargon and Nahal Hatteninim underground catchments», *Hydrological paper* 3. Hydrological Service of State of Israel. Jerusalem.
- GRUPO REGIONAL DEL SEGURA (1984): *Plan Hidrológico Nacional. Esrirdio sohre evaluación de recursos hidráulicos superficiales e hidroeléciricos*. Tomo VIII. Informe síntesis. Tomo I. Caracterización fisiomorfológica. Tomo II. Climatología-pluviometría. Ministerio de Obras Públicas. Murcia. 392 pp.
- I.G.M.E. (1978): *Esiudio climatológico de las cuencas costeras de Alicanie*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, s.p.
- ISRAELSEN, O. y HANSEN, V. (1965): *Irrigation principles and practices*. Jonh Wiley & Sons. Nueva York. 396 pp.
- SENENT ALONSO, M. y LOPEZ BERMUDEZ, F. (1986): «Explotación de las aguas subterráneas en zonas áridas y semiáridas de España., *Coloquio demando y economía del agua*. Alicante. 19 pp.
- REMENIERAS, G. (1960): *L'Hydrologie de l'Ingenieur*. Eyrolles Editeur. París.
- THAUVIN HELIX, J. P. (1975): *Repartición de la lluvia mensual en sus distintos componentes en el sureste español*. E. N. Adaro. Madrid, s.p.