

ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN OBSERVATORIOS TERMOMÉTRICOS. EL CASO DE ARAGÓN

María Luz HERNÁNDEZ NAVARRO y Miguel YETANO RUIZ

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio
Universidad de Zaragoza

Resumen: El objetivo de este trabajo es poder conocer la evapotranspiración de referencia, siguiendo el método de Blaney-Criddle FAO, a partir de los datos de las observaciones de temperatura. Para ello se ha calculado esta ecuación y la de Thornthwaite en 72 estaciones termométricas de Aragón. A partir de los 864 pares de datos generados se ha establecido una correlación lineal, obteniéndose un índice r^2 muy satisfactorio 0,9567. Se propone una ecuación para estimar la Eto Blaney-Criddle FAO a partir de la ET de Thornthwaite.

Palabras clave: Evapotranspiración, temperatura, Blaney-Criddle, Aragón.

Abstract: The objectif of this essay is to get to know the "evapotranspiration of reference", according to Blaney-Criddle FAO method, based on the donnes of temperature observations. In order to it, this equation and the one of Thornthwaite in 72 "Thermometrics seasons" in Aragón. A "lineal correlation" has been established out of th 864 pairs of generated donnes, and the satisfying result is an index of r^2 0'9567. We propose an equation to get the Eto Blaney-Criddle FAO, based on Thornthwaite's Thermometrical Seasons (TS).

Key words: Evapotranspiration, temperature, Blaney-Criddle, Aragón.

INTRODUCCIÓN

El agua, fuente de vida, es un bien escaso y uno de los principales motores de desarrollo económico y social. Aunque se trata de un recurso renovable, la Humanidad es cada vez más consciente de que puede agotarse, lo que conduce a una preocupación creciente por este bien, tanto por su cantidad como por su calidad. A la vez, el aumento de la demanda de agua por los sectores agrícola, industrial y urbano está obligando a un mayor esfuerzo por parte de la Administración, a los que ha de sumarse el de los usuarios que somos todos- para llevar a cabo la gestión integral de los recursos hidráulicos y para conseguir una utilización racionalizada. No en vano la Carta del

Agua del Consejo de Europa (Estrasburgo, 1968) establece, en diversos puntos, lo siguiente:

"Los recursos del agua dulce no son inagotables. Es indispensable preservarlos, controlarlos y, a ser posible, aumentarlos. (...). El agua constituye un patrimonio común cuyo valor debe ser reconocido por todos. El deber de economizarla y de utilizarla cuidadosamente compete asimismo a cada uno de los miembros de la comunidad".

En España la preocupación por el tema del agua, sobre todo en el sector primario, no es reciente. Según el Anuario de Estadística Agraria de 1993 en ese año se regaban en España unas 3.240.000 has, lo que supone el algo más de 16% de la superficie agraria útil, pero cuya producción, como indica BALTANAS (1995), supone más de la mitad del total agrario.

De toda la superficie regada algo más de 408.000 has pertenecen a la Comunidad Aragonesa, el 22.6% de la superficie cultivada, y la mayor parte de ellas se encuentran en zonas semiáridas, con pluviometrías escasas e irregularmente repartidas a lo largo de los distintos años. El uso eficaz de esta agua en los regadíos requiere un conocimiento lo más exhaustivo posible de la demanda que existe de la misma para ajustar los volúmenes de agua que se han de aportar a fin de establecer las dosis y duración de los riegos.

Pero no sólo por ello, sino por muchos otros factores ecológicos, económicos y sociales, el tema de los regadíos ha sido y sigue siendo fuente de inagotables debates, estudios y proyectos, todavía más dentro del marco de la política comunitaria en la que estamos inmersos. En la actualidad el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación está elaborando un Plan de Regadíos con tres objetivos fundamentales: la consolidación de los regadíos existentes que aún sufren problemas de abastecimiento de agua; la mejora y modernización de los regadíos; y, por último, la ampliación de la superficie regada.

Todo ello, entre otros aspectos y usos del agua, pone de manifiesto la necesidad de optimizar su utilización y gestión; esta línea de investigación ha sido cultivada prolíficamente desde ya muchos años por profesionales de distintas disciplinas, y ha dado como fruto la aparición de un abundante número de trabajos encaminados a conocer, de la forma más aproximada posible, cuál es la demanda real del recurso agua.

En íntima relación con las necesidades de agua se encuentra el concepto de evapotranspiración¹ -como parte esencial del ciclo del agua-, que es el que permite saber cuál es el reparto temporal y espacial de la demanda hídrica climática. A partir de ahí, y del conocimiento de la disponibilidad de agua se puede realizar la estimación del balance hídrico para comprobar si las necesidades de agua quedan satisfechas, y en caso afirmativo con que probabilidad; o si existe déficit, y entonces calcular cuáles deben ser los aportes de agua de riego complementarios hasta satisfacer esa demanda. Este análisis posibilita una adecuada gestión de este recurso y la obtención de un rendimiento eficaz del mismo.

EL CONOCIMIENTO Y LA MEDIDA DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL COMO DEMANDA CLIMÁTICA DE AGUA

Es de sobras conocido que el buen funcionamiento de los mecanismos que rigen la vida vegetal se encuentra determinado por las disponibilidades hídricas, de manera que cuando éstas no llegan a satisfacer su demanda la actividad vegetativa disminuye pudiendo llegar incluso a paralizarse totalmente. Como se acaba de indicar, entre los diversos métodos que existen para determinar las necesidades de agua de las plantas, los más utilizados son los que se basan en el proceso de la evapotranspiración.

DOORENBOS y PRUITT, (1976) definen las necesidades de agua de un cultivo como la altura de agua necesaria para cubrir las pérdidas por transpiración y evaporación de un cultivo libre de enfermedades y creciendo en campos grandes, con abundante agua y abono, sin condiciones restrictivas de suelo y obteniéndose la producción potencial bajo las condiciones de crecimiento dadas. La cantidad de agua que las plantas pueden absorber del suelo depende de factores climáticos, edáficos y biológicos, que son: el contenido hídrico del suelo, la capacidad de cesión de agua del suelo, la eficacia del sistema radical de las plantas y la demanda climática, representada por medio del concepto de evapotranspiración potencial.

Si bien todos estos factores interactúan en el proceso, unos tienen mayor peso específico que otros, dependiendo de la escala temporal o espacial considerada. Cuando nos movemos dentro del período diario, o bien a la escala de la parcela, resulta de suma utilidad el conocimiento de las características hidrodinámicas del suelo, por lo que los factores físicos y climáticos tienen la misma importancia. Ahora bien, cuando el objetivo es el establecimiento de las necesidades hídricas a la escala de la decena de días, el mes o el ciclo vegetativo completo y en un espacio mayor, la

¹Ya sea la evapotranspiración potencial (ETP) o evapotranspiración de cultivo (ET_{cultivo}).

demanda de agua queda condicionada, fundamentalmente, por las condiciones climáticas.

Lo mismo podemos decir cuando el suelo está bien provisto en agua y las condiciones de cultivos son las adecuadas. La cantidad de agua evapotranspirada depende entonces de las condiciones climáticas. Se admite, por tanto, como norma general que el clima como interacción de un conjunto de variables -insolación, temperatura, humedad y viento- es uno de los factores más relevante que determinan el volumen de las pérdidas de agua por evapotranspiración.

De todas formas no es sencillo conocer cuáles son los valores de la evapotranspiración. Existen dos formas de aproximarnos a su conocimiento: la realización de medidas directas o la estimación mediante la aplicación de fórmulas empíricas, haciendo intervenir un mayor o menor número de variables.

La medida directa de la evapotranspiración se realiza mediante el balance de agua de la superficie cultivada. Los métodos más usuales son los siguientes²:

- a) Medidas con lisímetro. Es el dato más fiable que existe, ya que en él la medida se realiza por pesaje de un tanque cuya cubeta está rellena de tierra y suele contener un cultivo, por lo que las condiciones son las más similares a las de una parcela. Una ligera variación sobre este sistema es el que proporciona el evapotranspirómetro, cuya diferencia con el anterior es que este último mantiene una lámina constante de agua. El número de lisímetros instalados es muy escaso y las series de observación suelen ser muy cortas y poco continuadas.
- b) Medidas con tanque de evaporación. Estos son recipientes llenos de agua -sin tierra ni cultivo-, sobre los que también se realiza la medida por pesaje, pero esta vez sólo de la evaporación, como su nombre indica. La evapotranspiración se obtiene transformando estos datos por medio de la aplicación de un coeficiente que varía en función de las condiciones ambientales que rodeen al tanque. A pesar de sus limitaciones resultan útiles para predecir las necesidades de agua de los cultivos; no en vano es uno de los cuatro métodos propuestos por la FAO para conocer la evapotranspiración de referencia (ET^o).
- c) Medidas con evaporímetro Piché. Son las más abundantes, puesto que este método es el menos costoso de instalación y mantenimiento y suele estar presente en un número más abundante de observatorios del

²Cada uno de estos aparatos de medida están bien descritos en DOORENBOS Y PRUITT (1976).

Instituto Nacional de Meteorología, en caseta. Sus medidas permiten conocer la cantidad diaria de agua evaporada. Para conocer la evapotranspiración potencial es necesario realizar una serie de transformaciones de los datos, lo que hace que, a pesar de que en la mayoría de los casos sea la única medida directa de la que se dispone, en realidad la información que proporciona sea muy poco significativa. Por ello es necesario que los datos de partida sean muy fiables, puesto que en cada manipulación se pierde exactitud. Es necesario tener en cuenta que los datos procedentes del evaporímetro Piché son una indicación muy indirecta de la evapotranspiración, que representan esencialmente la componente advectiva, ligada a la velocidad del viento y al déficit de saturación del aire (ANTONIOLETTI, 1986).

Dada la dificultad para obtener medidas directas de evapotranspiración se han desarrollado fórmulas empíricas para su estimación a partir del empleo de variables climáticas, cuyo uso está muchísimo más extendido que el de las anteriores. De cualquier modo, siempre que se dispongan de todos los parámetros necesarios para el cálculo, una buena estimación es más aconsejable que una medida dudosa.

Existen múltiples sistemas de cálculo de la evapotranspiración, desde el más sencillo de Thornthwaite hasta el de Penman, pasando por los de Turc, Blaney-Criddle, método de la radiación-FAO, Jensen-Haise, Hargreaves, Papadakis, Perfil, Bowen, Linacre, Priestly-Taylor, González Quijano o Seco y otros³ Es necesario tener en cuenta que la mayor parte de estos métodos fueron diseñados en unas condiciones climatológicas, edáficas y de cultivo determinadas, a menudo muy diferentes de las propias a las que luego se aplican. Por ello resulta imprescindible calibrar la exactitud de las fórmulas antes de utilizarlas en un nuevo conjunto de condiciones. Este es el trabajo que realizaron DOORENBOS y PRUITT (1976), por encargo de la FAO. Ellos sometieron a prueba las fórmulas más usuales contrastándolas con los datos medidos de evapotranspiración de distintas zonas geográficas y diversas condiciones climáticas. El método consistió en relacionar la magnitud y la variación de la evapotranspiración con uno o más factores climáticas. Se utilizaron como punto de comparación los datos de evapotranspiración de una cubierta de gramíneas, suponiendo que ésta está provocada en gran medida por las condiciones climáticas (lo que nos introduce en el concepto de evapotranspiración de referencia, ET^0). Los cuatro sistemas calibrados por ellos fueron el de Blaney-Criddle, Radiación, Penman modificado, y evaporímetro de cubeta.

³ La mayor parte de ellos están explicados en SÁNCHEZ TORIBIO (1992), DOORENBOS y PRUITT (1976) y HERNÁNDEZ (1992).

La elección de cualquiera de ellos, que son los más extendidos, está determinada por la disponibilidad de los parámetros climáticos disponibles. Las metodologías propuestas por Thornthwaite y González Quijano son las únicas aplicables cuando disponemos tan sólo de datos de temperatura. El método de Turc necesita además información precisa acerca de la radiación global y la humedad relativa media. El de Seco introduce como variables la temperatura y humedad relativa medias, y el recorrido diario del viento. El método de Blaney-Criddle hace intervenir en el cálculo medidas directas de temperatura y estimaciones cualitativas⁴ sobre insolación, humedad relativa del aire y velocidad de viento. Por último, el método propuesto por Penman combina temperatura media, humedad relativa media y máxima, insolación, radiación y velocidad del viento diaria, diurna y nocturna. Esta fórmula de cálculo ha de proporcionar resultados muy satisfactorios *a priori* puesto que integra la mayor parte de variables climáticas, si bien la dificultad de obtenerlas tiene como consecuencia el que no se pueda aplicar sino en los observatorios de primera categoría.

Tabla 1.- Variables que se introducen en el cálculo de la ETP según distintas metodologías.

METODO	TEMPERATURA	HUMEDAD	INSOL.-RADIA.	VIENTO
Blaney-Criddle	tm	HR mín	n/N	vel. media viento diurno
Turc	tm	HR media	rad. global	---
Penman diaria	tm	HR media	Rad.global	extrat.vel.media vel.media viento diurno vel. media
		HR máxima	n/N	viento nocturno
Seco	tm	HR media	---	recorrido medio viento diario
Thornthwaite	tm	---	---	---
G. Quijano	tm	---	---	---

La escala temporal utilizada también varía según los métodos. El método de Penman proporciona resultados óptimos para predecir las necesidades medias de agua

⁴ Si no existen medidas directas de estos tres parámetros.

de los cultivos en periodos de hasta 10 días. El método de Blaney-Criddle es preferible utilizarlos para periodos de tiempo mayores, un mes o más DOORENBOS y PRUITT (1976). En un trabajo anterior (HERNÁNDEZ, 1992) están comparados los resultados obtenidos de la aplicación de los diferentes métodos a escala temporal mensual y decenal en los observatorios del valle medio del Ebro y particularmente en el de Zaragoza Aeropuerto el único que dispone de todas las variables climáticas señaladas para cada método en la tabla anterior.

Parece interesante señalar en este momento que estos métodos adaptados por la FAO identifican el concepto de evapotranspiración potencial con el de evapotranspiración de referencia (E_t^o) debido a que el objetivo principal de esta organización al desarrollar esta metodología era conocer las necesidades hídricas de los cultivos. La FAO definió la E_t^o como el consumo de agua de una superficie extensa de hierba, uniforme, de 8 a 15 cm de altura, en crecimiento activo, sombreando la totalidad del suelo y bien provista de agua (DOORENBOS y PRUITT, 1976). A este concepto es, por lo tanto, al que se hace referencia en este trabajo, que se identifica con la evapotranspiración potencial.

ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN ARAGÓN: EL METODO DE BLANEY-CRIDDLE EN OBSERVATORIOS TERMOMÉTRICOS

Se han realizado bastantes trabajos previos sobre estimación de la ETP, tanto referidos Aragón (DE LEÓN y ot., 1976, 1987; FORTEZA, 1985), como en el conjunto del Valle del Ebro (LISO y ASCASO, 1969⁵) o en España (ELÍAS CASTILLO y RUIZ BELTRÁN, 1977; ALMARZA, 1984) por citar algunos de los más conocidos. Estos estudios han aplicado el método de Thornthwaite, basado en la temperatura, como ya se ha señalado, puesto que es el parámetro más observado, mientras que se dispone de muchas menos mediciones de viento, insolación, o humedad.

Pero frente a este método, los de Penman y de Blaney-Criddle dan resultados muy satisfactorios, pues permiten conocer la evapotranspiración potencial con una aproximación entre el 5 y el 10% (SEGUIN, 1975). No obstante, para aplicarlos a la escala de trabajo temporal mensual es particularmente útil la ecuación de Blaney-Criddle, los primeros son más adecuados para la escala decenal. En este sentido se ha de indicar que existe una tendencia creciente a tomar la evapotranspiración potencial obtenida por el método de Blaney-Criddle como referencia para la estimación de las

⁵ Es el primer trabajo de síntesis que se realizó para toda la Cuenca del Ebro y constituye una aportación de inestimable utilidad y punto de referencia obligado, tradicionalmente, para todos los estudiosos del clima.

necesidades de agua de los cultivos (FACI y MARTÍNEZ, 1991) no sólo porque proporciona resultados muy aceptables sino también porque es un método muy rentable en relación variables utilizadas-estimaciones obtenidas. Además ofrece resultados muy similares a los de medición directa por medio de un tanque de evaporación clase A, instalado en el Servicio de Investigación Agraria (Campus de Aula Dei, Zaragoza) de la Diputación General de Aragón (HERNÁNDEZ, 1992).

Dado que los resultados del método ideado por Blaney-Criddle se consideran muy satisfactorios, resulta muy interesante su uso en los trabajos de análisis de las necesidades de agua; lo que además facilita la posibilidad de comparación con mayor número de observatorios en los que únicamente es necesario disponer de medidas directas de temperatura, puesto que el resto de variables introducidas (humedad, insolación y velocidad del viento) pueden ser estimadas.

De todas formas, como ya se ha indicado, tampoco están muy generalizadas las observaciones de los parámetros climáticos necesarios para este cálculo, por lo que resultaría muy conveniente poder conocer los valores de la evapotranspiración a partir de la temperatura, que es el elemento climático más frecuentemente observado, lo que es el principal objetivo de este trabajo.

La metodología seguida ha consistido en el cálculo de la evapotranspiración de referencia por medio de los métodos de Thornthwaite que sólo requiere conocer la temperatura- y Blaney-Criddle FAO en las estaciones de Aragón en las que ha sido posible, y la posterior comparación entre las dos ecuaciones por medio del establecimiento de correlaciones lineales entre ambas. Este sistema ya ha sido utilizado por otros autores obteniendo resultados satisfactorios y buenos índices de correlación (SEGUIN, 1975, 1977; PEINADO, 1984; PRUITT, 1986; FACI, 1992, HERNÁNDEZ, 1992).

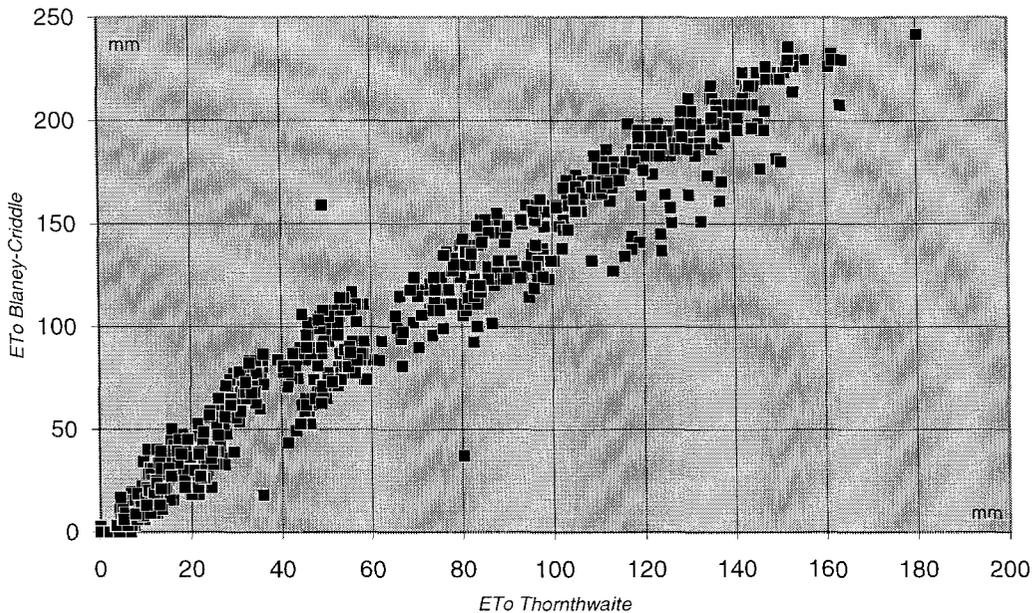
En la tabla 2 están expuestas las 72 estaciones de todo Aragón que se han tomado para las correlaciones.

Los datos de temperaturas medias mensuales de la mayor parte de las estaciones están tomados de DE LEÓN y cols. (1976, 1987) y de FORTEZA (1985). Para las estaciones de Jaca EMM, Huesca Monflorite, Calamocha, Caspe ENHER, Daroca Observatorio y Zaragoza Aeropuerto⁶ se han tomado además las series completas de temperaturas medias mensuales recogidas en la publicación de FACI y MARTÍNEZ COB (1991), cuyas series temporales están indicadas en la tabla 2 (estaciones números 67 a 72).

⁶ Son las denominadas estaciones completas, en las que hay observación de insolación, humedad y velocidad del viento.

A partir de la temperatura media mensual se ha calculado la evapotranspiración potencial según el método de Thornthwaite.

Los valores de evapotranspiración siguiendo la metodología propuesta por Blaney-Criddle FAO se han tomado del trabajo citado (FACI y MARTÍNEZ COB, 1991), quienes han estimado la fracción de insolación, humedad relativa mínima y velocidad del viento diario en m/s, necesarios para calcular la E_{to} y de los que no se dispone de medidas directas, fuera de las estaciones completas ya señaladas.



Fuente: I.N.M., Facci (1992). Elab. propia

Gráfico 1.- Correlación entre los métodos de Thornthwaite y Blaney-Criddle.

Con esto se ha conseguido 864 pares de datos entre los que establecer la correlación lineal. Los resultados obtenidos son muy satisfactorios. El índice r^2 entre los 864 pares de datos es 0,9567 y la ecuación resultante es la siguiente:

$$E_{to} \text{ Blaney-Criddle FAO} = 1,4089 E_{to} \text{ Thornthwaite} + 8,8375.$$

Tabla 2.- Estaciones utilizadas en el cálculo de la evapotranspiración (métodos de Thornthwaite y Blaney-Criddle FAO).

Nº ESTACION	Serietemp	nº años	Latitud	Longitud	Alt	EToThmm	EToBC mm
1 Almudévar	1934-70	37	42°01'45"	0°34'51"	390	720.6	1190.9
2 Argoné	1952-70	19	42°27'30"	0°23'29"	720	703.6	1121.0
3 Barbastro	1954-62	9	42°02'10"	0°07'29"	341	806.7	1288.5
4 Benasque CAC	1935-70	36	42°37'00"	0°31'24"	1440	621.6	1026.5
5 Binéfar Granja	1935-70	36	41°51'40"	0°18'02"	380	731.5	1104.2
6 Boltaña	1956-70	15	42°26'45"	0°04'04"	643	771.7	1215.4
7 Bono	1965-70	6	42°32'40"	0°44'09"	1063	623.8	1008.5
8 Candanchú	1952-69	18	42°47'20"	0°31'55"	1600	479.9	679.7
9 Canfranc Arañones	1936-69	34	42°44'50"	0°30'56"	1260	571.6	813.3
10 El Grado Pantano	1961-70	10	42°09'05"	0°14'04"	467	757.4	1218.3
11 Estadilla C. Arias	1944-70	27	42°01'52"	0°11'39"	393	789.2	1267.0
12 Fraga Las Balas CAC	1935-55	21	41°30'08"	0°12'24"	160	830.0	1272.8
13 Grañén M.Sodeto	1960-70	11	41°53'25"	0°15'11"	365	792.2	1303.6
14 La Almunia de S. Juan Sosa	1934-55	22	41°55'03"	0°15'57"	341	806.3	1285.0
15 La Puebla de Castro Presa	1935-55	21	42°07'27"	0°18'44"	649	753.0	1227.4
16 La Sotonera Pantano	1937-70	34	42°06'38"	0°39'36"	427	744.5	1218.2
17 Mediano Pantano	1934-70	37	42°18'47"	0°12'44"	504	731.8	1163.6
18 Monzón Azucarera	1935-68	34	41°54'50"	0°11'39"	279	799.2	1269.9
19 Pallaruelo de Monegros	1955-70	36	41°42'15"	0°12'31"	356	789.0	1270.1
20 Panticosa Balneario	1940-70	31	42°43'34"	0°14'01"	1184	539.4	767.4
21 Perarrúa	1940-70	662	42°16'00"	0°20'49"	517	700.6	1114.8
22 Puente de Montañana	1950-70	21	42°08'25"	0°42'01"	528	714.6	1139.4
23 Sabiñánigo	1940-70	31	42°30'56"	0°21'31"	790	653.8	944.0
24 Sallent de Gállego	1953-70	18	42°46'22"	0°19'47"	1305	575.0	840.6

25 Santa Ana Pantano	1957-69	13	41°52'28"	0°34'44"	413	754.5	1203.0
26 Santa María de Belsué	1934-70	37	42°18'08"	0°20'51"	900	678.5	1117.6
27 Seira Barna	1935-70	36	42°28'40"	0°25'59"	815	634.6	1005.0
28 Sena Cagikorva	1956-65	10	41°43'50"	0°07'01"	270	801.7	1264.1
29 Villanova Presa	1944-70	27	42°32'25"	0°28'21"	982	620.0	980.3
30 Abejuela	1957-63	7	39°54'00"	0°54'11"	1167	677.6	1093.8
31 Alcañiz I.L.	1962-70	9	41°03'08"	0°07'38"	318	783.5	1233.5
32 Aliaga	1954-69	16	40°40'39"	0°41'53"	1105	590.1	929.3
33 Andorra C.Sotelo	1951-70	20	40°59'10"	0°26'51"	714	733.2	1184.7
34 Calanda	1943-57	15	40°56'20"	0°13'51"	466	814.4	1288.3
35 Caudé	1960-70	11	40°25'00"	1°11'11"	991	694.5	1077.8
36 La Puebla de Híjar	1954-70	17	41°13'32"	0°26'24"	254	793.0	1242.6
37 Luco de Jiloca	1953-65	13	40°59'18"	1°18'29"	938	686.5	1032.8
38 Mazaleón	1958-70	13	41°03'00"	0°06'19"	359	908.1	1388.5
39 Monreal del Campo	1944-70	27	40°47'20"	1°21'11"	939	657.3	968.7
40 Montalbán	1958-70	13	40°49'40"	0°47'31"	873	770.3	1126.9
41 Muniesa	1945-58	14	41°02'00"	0°48'36"	722	721.7	1126.9
42 Santa Eulalia del Campo	1944-70	27	40°34'30"	1°18'36"	984	670.2	1020.8
43 Teruel Instituto	1951-70	20	40°21'00"	1°06'11"	915	683.5	1053.8
44 Valmuel	1963-70	8	41°07'20"	0°12'51"	300	724.4	1132.1
45 Agramonte Sanatorio	1945-57	13	41°49'10"	1°49'19"	1090	617.5	1002.0
46 Alagón Azucarera	1962-80	19	41°46'07"	1°06'41"	235	776.8	1269.9
47 Aniñón de la Cañada	1951-71	21	41°26'45"	1°42'08"	729	720.9	1136.2
48 Ariza	1949-80	32	41°18'40"	2°03'21"	765	730.4	1145.1
49 Artieda	1941-80	40	42°35'17"	0°59'01"	652	689.1	1014.0
50 Bisimbre	1943-51	9	41°51'20"	1°26'36"	320	776.9	1239.1

51 Bujaraloz	1963-80	18	41°29'50"	0°09'06"	327	787.0	1254.9
52 Calatayud	1941-70	30	41°21'20"	1°38'31"	534	755.0	1154.2
53 Cariñena La Pardina	1956-80	25	41°20'20"	1°13'11"	496	748.1	1064.1
54 Epila	1941-72	32	41°36'30"	1°16'56"	336	781.9	1192.6
55 Escatrón	1947-80	34	41°18'00"	0°20'16"	143	838.4	1291.2
56 Gallur	1949-73	25	41°52'10"	1°19'01"	254	780.2	1242.7
57 Ibdés PFE	1965-69	35	41°13'00"	1°50'11"	742	670.0	1026.1
58 Luesia	1936-75	40	42°22'20"	1°01'11"	824	689.9	1078.0
59 Marracos	1961-80	20	42°05'20"	0°46'31"	416	733.7	1172.6
60 Moneva	1942-51	10	41°10'50"	1°19'56"	670	810.6	1209.0
61 Sos del Rey Católico	1939-71	33	42°29'50"	1°12'41"	653	736.2	1135.9
62 Terrer Azucarera	1937-80	44	41°19'30"	1°42'41"	561	753.9	1148.1
63 Valenzuela	1954-59	6	41°40'00"	1°04'11"	260	766.0	1276.4
64 Veruela	1951-65	15	41°48'45"	1°41'31"	700	688.4	1108.5
65 Zaragoza Cogullada	1944-71	28	41°41'23"	0°50'51"	200	796.9	1297.5
66 Zaragoza Observatorio	1931-80	50	41°38'50"	0°53'07"	250	794.6	1315.5
67 Huesca Monflorite	1970-90	21	42°05'00"	0°19'29"	542	747.1	1167.2
68 Jaca EMM	1971-88	18	42°34'41"	0°32'45"	820	659.3	828.2
69 Calamocha	1970-90	21	40°54'56"	1°17'37"	902	650.5	863.8
70 Caspe Enher	1972-81	10	41°14'36"	0°03'43"	122	775.9	1127.6
71 Daroca	1971-90	20	41°06'53"	1°24'33"	787	704.4	924.7
72 Zaragoza Aeropuerto	1970-90	21	41°39'43"	1°00'23"	240	793.8	1243.0

CONCLUSIÓN

Debido a los resultados satisfactorios que proporciona el método de Blaney-Criddle FAO resulta adecuado utilizarlo para calcular la evapotranspiración potencial y necesidades de agua de los cultivos-, tanto por los valores que toma, muy similares a los de mediciones directas, como por su adecuación a la escala de trabajo

mensual. La principal dificultad con la que se tropieza es el desconocimiento de la insolación, la humedad y la velocidad del viento, tanto de mediciones directas como de estimaciones cualitativas. Esta cuestión puede verse superada, en parte, si se utiliza la ecuación propuesta en este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- ALMARZA MATA, C. (1984): *Fichas hídricas normalizadas y otros parámetros hidrometeorológicos*. I.N.M. 3 vols. Madrid.
- ANTONIOLETTI, R. (1986): *Contribution à l'étude du climat du Mont Ventoux*. I.N.R.A. Note interne 86/10, 42 p.
- BALTANAS GARCIA, A. (1995): El Plan Hidrológico Nacional. *El Campo*. Banco de Bilbao. 132, 227-233. Madrid.
- DE LEÓN, A. y ot. (1976): *Caracterización agroclimática de la provincia de Huesca*. Ministerio de Agricultura. 157 p + anexos. Madrid.
- DE LEÓN, A. (1987): *Caracterización agroclimática de la provincia de Zaragoza*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 157 p + mapas. Madrid.
- DOORENBOS, J. y PRUITT, W. O. (1976): *Las necesidades de agua de los cultivos*. Estudio FAO: riego y drenaje, 24, 194 p.
- ELÍAS CASTILLO, F. y RUIZ BELTRÁN, L. (1977): *Agroclimatología de España*. I.N.I.A.. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- ELÍAS CASTILLO, F. y CASTELLVÍ SENTÍS, F. (1996): *Agrometeorología*. Mundi-Prensa y M.A.P.A. 517 p., Madrid.
- FACI GONZÁLEZ, J. M^a y MARTÍNEZ COB, A. (1991): *Cálculo de la evapotranspiración de referencia en Aragón*. Diputación General de Aragón. Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes. Serie Estudios Agrarios, 115 p, Zaragoza.
- FACI GONZÁLEZ, J. M^a (1992): *Contribución a la medida y cálculo de la evapotranspiración de referencia (Eto) en Aragón*. Institución Fernando el Católico, 125 p, Zaragoza
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1995): *Manual de climatología aplicada*. Síntesis. Madrid. 285 p.
- FORTEZA DEL REY, M. (1985): *Caracterización agroclimática de la provincia de Teruel*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 144 p + mapas. Madrid.
- HERNÁNDEZ NAVARRO, M. L. (1992): *Climatología agrícola del valle medio del Ebro (sector central de la Depresión)*. Tesis doc. (inérita), Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, 1.351 p.

- LISO, M. y ASCASO, A. (1969): Introducción al estudio de la evapotranspiración. Clasificación climática de la cuenca del Ebro. *Ann. Est. Exp. Aula Dei*. vol 10 (1-2). XXV Aniversario, 507 p. Zaragoza.
- PEINADO SERNA, A. (1984): Comparación de medidas y estimaciones de evaporación. *Avances sobre la Investigación en Bioclimatología*. CSIC, 450-468.
- PRUITT, W.O. (1986): Traditional methods Evapotranspiration research priorities for the next decade. *1986 Winter Meeting Am. Soc. of Agr. Eng.*, 23 p.
- SÁNCHEZ TORIBIO, M.I. (1992): *Métodos para el estudio de la evaporación y la evapotranspiración*. Cuadernos Técnicos de la S.E.G., 3. Geofoma ediciones, 36 p. Logroño.
- SEGUIN, B. (1975): Etude comparée des methodes d'estimation d'ETP en climat méditerranéen du Sud de la France (région d'Avignon). *Ann. Agron.* 26 (6), 671-691.
- SEGUIN, B. (1977): Estimation de l'ETP en climat mediterranéen du Sud-Est de la France. Comparaison des méthodes à l'échelle régionale. *La Météorologie*. VI série, 11, 33-39.