

Dotaciones de riego máximas en las cuencas del Duero y del Tajo. Métodos Blaney-Criddle y Penman Modificados vs métodos de Penman Monteith

HERMINIO CASTILLO HERNANDO (*)
CARLOS NOTARIO BODELÓN (**)

RESUMEN Este artículo corresponde a la comunicación presentada a las XII Jornadas Técnicas sobre Riegos, celebradas en Pamplona los días 21 a 24 de junio de 1994.

Se pretende dar a conocer los resultados obtenidos en la determinación de dotaciones de riego máximas en las cuencas del Duero y del Tajo por los métodos propugnados por la FAO, el de Blaney-Criddle y el de Penman, Modificados, así como su comparación entre sí, y en relación a la nueva metodología Penman-Monteith, recientemente incorporada como "método combinado", que parece ser da valores más próximos a los valores reales de las dotaciones.

Los cuadros comparativos, de los valores de dotaciones tanto para la hectárea representativa de una zona regada determinada, como los valores medios o promedios de un grupo de cultivos en concreto, permiten establecer ciertas conclusiones, aunque no definitivas hasta no constatarlos en otras cuencas, como se está haciendo en la actualidad.

MAXIMUM IRRIGATION PROVISION IN THE DUERO AND TAJO BASINS. MODIFIED BLANEY-CRIDDLE AND PENMAN METHODS VS. PENMAN MONTEITH METHODS

ABSTRACT This article corresponds to the paper presented at the XII Technical Conference on Irrigation Systems, held in Pamplona from 21st to 24th June, 1994.

The aim is to communicate the results obtained in the calculation of the maximum irrigation provisions in the Duero and Tajo Basins by the methods proposed by the FAO, namely the Modified Blaney-Criddle and Penman methods, as well as the comparison between the two, and also the new Penman-Monteith methodology, recently incorporated as a "combined method", and which would seem to give the closest to the real provision values.

The comparative tables of provision values, both for the representative hectare of a given irrigated zone, and the mean or average values of a specific crop group, allow us to draw certain conclusions, although they shall not be definitive until they can be verified in other Basins, a task which is currently being carried out.

Palabras clave: Riego; Dotación de riego; Cultivo; Cuenca; España; Método.

1. INTRODUCCIÓN

El Centro de Estudios Hidrográficos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), organismo autónomo del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, viene realizando desde 1988, a través de

su División de Regadíos del Sector de Estudios y Planificación, trabajos relativos a la determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de las diferentes cuencas hidrográficas de España.

Estos trabajos pretenden poner al día los que también fueron elaborados en este Organismo en los años 60 y que tenían por título "Necesidades Hídricas de los cultivos en los planes de regadío integrados en la Cuenca del...", de contenido y objetivos similares.

Las metodologías empleadas, más depuradas, el acceso a información básica más amplia y fiable, el tratamiento más fluido de los datos a través de la informatización, etc., han permitido disponer de los resultados obtenidos para las cuencas del Guadalquivir, Segura, Sur y Guadiana. Al desarrollar los trabajos relativos a las dotaciones en las cuencas

Comunicación presentada a las XII Jornadas Técnicas sobre Riegos (Pamplona 21 a 24 de junio de 1994).

(*) Doctor Ingeniero Agrónomo y Economista. Jefe de la División de Regadíos del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (MOPTMA).

(**) Ingeniero Agrónomo. Jefe de Sección de la División de Regadíos del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (MOPTMA).

del Duero, con la metodología de Blaney-Criddle Modificado y Penman Modificado propugnados por FAO, surge en 1991, precisamente en las IX Jornadas Técnicas sobre Riegos que organizó nuestra AERYD en Granada entre los días 4 a 6 de junio, el tema de "Criterios para la actualización del Manual 24 de la FAO: Necesidades de agua de los cultivos".

El profesor L. Santos Pereira participó en dichas Jornadas exponiendo el tema mencionado anteriormente, como experto y colaborador en la elaboración del documento que se editó en febrero de 1991. Recogiendo esta innovación referente a los métodos de estimación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_c) y con objeto de contrastar los valores obtenidos con el "nuevo" método combinado denominado Penman-Monteih, el Centro de Estudios Hidrográficos ha añadido esta metodología a las empleadas hasta ese momento.

Por ello, los trabajos relativos a la cuenca del Duero (noviembre 1992) y a la cuenca del Tajo (marzo 1994) ya incluyen las tres metodologías Blaney-Criddle Modificado, Penman Modificado y Penman-Monteih. En un futuro inmediato —finales de 1995— está previsto tener ya elaborado con las tres metodologías, los trabajos relativos a las cuencas restantes y está en estudio la revisión de las cuencas del Guadalquivir, Segura, Sur y Guadiana que no contemplan esta nueva metodología, dado que su existencia y su recomendación por la FAO es muy posterior a la terminación de dichos trabajos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En realidad lo que se pretende en esta comunicación es dar a conocer, por un lado, los valores obtenidos por los tres métodos distintos, cada uno de los cuales tendrá su mejor aplicación en zonas o planes de diferentes características agroclimáticas. De otro lado, interesa que se sepan las desviaciones halladas entre los valores obtenidos para cada método, especialmente, la relativa a la comparación con el "nuevo" método de Penman-Monteih.

Además, cuando sea posible especialmente por la fiabilidad de los datos aportados, puede ser de gran valor comparar los valores teóricos de las dotaciones netas estimadas con los tres métodos, con los valores de las dotaciones reales en zonas donde sea posible el conocimiento de éstos.

Aun así, esto último, sus resultados, no aseguran la extrapolación a otras zonas, ni su auténtica validez "in situ". La razón es obvia, el material utilizado es la información básica concretada en datos meteorológicos históricos que demandan las fórmulas de cada método empleada, y que pertenecen a cada estación meteorológica ubicada en los lugares más idóneos de la zona o plan en estudio. Con estos datos, para cada método, se calculan las ET_c , mediante el procesamiento informático de toda la información necesaria.

Los datos sobre dedicación productiva actual y prevista, y el estudio pormenorizado de cada cultivo en relación a sus ciclos y fases de su desarrollo vegetativo, nos permite obtener para cada uno sus correspondientes K_c . El producto $ET_c \times K_c$ nos proporciona, como sabemos, la ET_e para cada cultivo en cuestión. Considerando en el balance hídrico la P_e y A_e (precipitación efectiva y agua aportada por el suelo, respectivamente), se llega a obtener las dotaciones de riego, por la aplicación de este balance, que en definitiva es la diferencia entre la ET_e (evapotranspiración de cada cultivo) que representa las "pérdidas" o "demandas" de agua y ($P_e + A_e$) que refleja las "ganancias" u "oferta" de agua de cada uno de los cultivos en cuestión.

Esta diferencia calculada en términos mensuales, determina las demandas mensuales netas para cada cultivo; su

suma mensual da el valor de la dotación anual neta de riego.

Todo esto quiere significar que los trabajos referidos a "Dotaciones Duero" y "Dotaciones Tajo", título abreviado de los indicados en 1. Introducción, constan de varios documentos (Memoria, 31 Anejos y Mapas) y consecuentemente muy voluminoso y con un enorme manejo de información, de datos meteorológicos, de cultivos, de procesamientos informáticos intermedios, de aplicación de fórmulas mastodónticas, de "lagunas" que hay que salvar, etc. Por todo ello, al extraer en el siguiente apartado unos resultados y comentarlos, y sobre todo al aventurar una serie de conclusiones, en ningún caso se puede obviar y tener permanentemente presente lo siguiente:

- Los documentos de los que se extraen estos resultados, que son referenciales y concretos, se conciben en el contexto general de Planificación, es decir, que su validez está limitada por su objetivo que no es otro que el de proporcionar valores de previsión de demandas globales de agua en regadíos, y también a efectos de planificación hidrológica en una determinada cuenca.
- No son valores necesariamente coincidentes con los requeridos en un lugar específico, para un cultivo dado, en un momento determinado, y para una explotación que reúna unas condiciones particulares.
- El concepto que se considera como DOTACIÓN DE RIEGO (m^3/ha y año), es el de uso habitual en planificación, diseño y explotación de regadíos que se identifica con las necesidades hídricas de un cultivo o grupo de ellos, en condiciones óptimas de desarrollo y que, consecuentemente, produce rendimientos máximos (Kg/ha y año). Aquí se entiende como rendimiento máximo el correspondiente a una variedad de gran producción adaptada a un ambiente dado, sin limitaciones en los factores de desarrollo (agua, nutrientes, plagas, enfermedades, condiciones físicas del suelo, etc.) que evapotranspira la evapotranspiración máxima ET_c , que genera la "dotación de riego máxima".

3. RESULTADOS

De los cuadros incluidos en las respectivas Memorias de "Dotaciones Duero" y "Dotaciones Tajo", que son resúmenes de los anejos correspondientes a ambos trabajos, se extraen para ser analizados los valores promedio de las dotaciones de riego (expresadas en m^3/ha) en 20 de los cultivos más representativos. Para cada cuenca se incluyen en el siguiente cuadro nº 1, estos valores obtenidos para los tres métodos empleados.

Los resultados globales comparativos indican lo ya sabido para otras cuencas, entre los valores obtenidos por Blaney-Criddle y Penman: Para todos los cultivos analizados los valores Penman son superiores a los valores Blaney-Criddle tanto en la C. del Duero como en la del Tajo. La relación más dispar se da en la patata temprana en el Duero, 1,77 y 1,57 en el Tajo, también para patata temprana. Los valores más ajustados se obtienen para maíz, tomate, melón y pimiento en el Duero, 1,23 y para arroz, maíz, tomate, judía y pimiento con 1,10 en el Tajo.

Si la relación se obtiene por diferencia, los valores más altos se dan en la alfalfa (1.777 m^3/ha en el Duero y 1.418 en el Tajo) correspondiendo los valores mínimos a coliflor, con 275 m^3/ha en la C. del Duero y a judía verde con 318 m^3/ha en la del Tajo.

Cultivos	Blaney-Criddle Modificado		Penman Modificado		Penman-Monteih Modificado	
	C. Duero	C. Tajo	C. Duero	C. Tajo	C. Duero	C. Tajo
Aroz	—	14.948	—	16.356	—	14.192
Girasol	3.108	4.511	3.783	5.090	2.644	3.971
Maiz grano	4.018	5.946	4.937	6.522	3.388	5.384
Potata temprana	1.143	1.615	2.020	2.534	1.166	1.700
Potata m.a.	2.837	4.110	3.523	4.979	2.369	3.795
Remolacha azucarera	4.824	6.530	6.040	7.204	4.113	5.866
Tabaco	—	5.381	—	6.280	—	4.833
Alfalfa	5.341	7.542	7.118	8.960	4.828	7.132
Maiz forrajero	3.292	4.998	4.066	5.431	2.758	4.537
Cebolla	3.214	5.525	4.118	6.224	2.792	4.998
Coliflor	874	2.922	1.149	3.443	838	2.869
Judía verde	2.132	3.116	2.748	3.434	1.810	2.772
Lechuga	1.291	1.208	1.838	1.753	1.123	1.236
Maíz	3.238	4.104	3.991	4.685	2.738	3.706
Pimiento	3.042	4.439	3.756	4.900	2.566	3.943
Tomate	3.161	4.984	3.886	5.429	2.677	4.431
Cítricos	—	5.285	—	6.415	—	5.064
Frutales hueso	4.780	6.677	6.218	7.715	4.143	6.133
Olivo	2.249	3.789	3.092	4.597	1.752	3.526
Vid	4.003	5.096	5.219	5.884	3.461	4.712

CUADRO 1. Dotaciones de riego en cuencas de Duero y Tajo (valores promedio).

La relación por cociente y por diferencia entre los valores de Blaney-Criddle y Penman-Monteih y entre Penman y Penman-

Monteih tienen los valores máximos y mínimos siguientes correspondiendo a los cultivos que a continuación se indican:

CULTIVO	CUENCA DEL DUERO							
	Valores máximos				Valores mínimos			
	BC/PM	BC-PM	P/PM	P-PM	BC/PM	BC-PM	P/PM	P-PM
Olivo	1,28		1,76					
Remolacha azucarera		711						
Alfalfa				2290				
Coliflor							1,37	311
Potata temprana					0,98	-23		
CUENCA DEL TAJO								
Girasol	1,13							
Aroz		756		2164			1,15	
Potata temprana			1,49		0,95	-85		
Alfalfa								
Lechuga								517

Los resultados de valores inferiores a 1 en las relaciones por cociente y los negativos en las relaciones por diferencia, indican que $PM > BC$ o $PM > P$.

Se exponen ahora los valores medios de las dotaciones de

riego netas de las hectáreas representativas de diferentes zonas de cada cuenca —Duero y Tajo—, en los siguientes cuadros 2 y 3, cuyos resultados hallados para los tres métodos se analizan seguidamente.

Zona	Blaney-Criddle Modificado	Penman Modificado	Penman-Monteih	Relaciones			
	(1)	(2)	(3)	(1)-(3)	(2)-(3)	(1)-(3)	(2)-(3)
Ávila	4.257	5.878	4.205	1,01	1,40	52	1.673
Arlanzón	3.483	4.362	3.021	1,14	1,44	417	1.341
Porma M.I.	3.186	4.516	2.997	1,06	1,51	189	1.519
Castilla Norte	3.412	4.903	3.273	1,04	1,50	139	1.630
Vilagonzala	4.417	5.483	3.771	1,17	1,45	646	1.712
Segovia	3.317	3.916	2.795	1,19	1,40	522	1.121
Campillo	4.181	5.714	3.866	1,08	1,48	315	1.848
Tordesillas	4.040	5.330	3.561	1,13	1,50	479	1.769
Toro-Zamora	4.939	5.764	4.173	1,18	1,38	766	1.591

CUADRO 2. Valores medios dotaciones riego (m³/ha) según zonas C. Duero.

Zona	Blaney-Criddle Modificado	Penman Modificado	Penman-Monteih	Relaciones			
	(1)	(2)	(3)	(1)-(3)	(2)-(3)	(1)-(3)	(2)-(3)
Cáceres	5.107	5.683	4.642	1,10	1,22	465	1.041
Bornova	3.970	4.985	3.939	1,00	1,26	11	1.026
Henares	4.013	5.045	4.004	1,00	1,25	9	1.041
Campillo	4.029	4.881	3.885	1,04	1,26	144	996
Alcarria Bajo	3.883	4.814	3.802	1,02	1,27	81	1.012
Área M. Madrid	4.966	6.114	4.947	1,00	1,24	19	1.167
Sagra-Toledo	4.621	5.778	4.454	1,04	1,30	167	1.324
Montes Navahermosa	4.374	5.569	4.273	1,02	1,31	101	1.316

CUADRO 3. Valores medios dotaciones riego (m³/ha) según zonas C. Tajo.

Para la C. del Duero (Cuadro nº 2) la comparación por cociente y por diferencia que relaciona los valores hallados por metodología Blaney-Criddle Modificado y Penman Modificado, con respecto al método más actualizado, el de Penman-Monteih, nos da en todos los casos los valores menores para este último método.

Igualmente los resultados de mayor dotación corresponden al método de Penman Modificado. La relación mínima por cociente y diferencia entre BC y PM se dan para la zona de Ávila con valores 1,01 y 52 m³/ha, respectivamente, siendo los valores máximos de relación por cociente y diferencia, respectivamente, los de la zona de Segovia —1,19— y la de Toro-Zamora —766 m³/ha.

En la comparación entre los métodos P y PM, las relaciones por cociente y diferencia tienen sus valores mínimos de 1,40 (zonas de Ávila y Segovia) y 1.121 m³/ha (zona de Segovia), respectivamente.

Los valores máximos le corresponden a la zona de Porma M.I. con una relación por cociente 1,51, y a la zona de Campillo, cuando la relación es por diferencia, con un valor de 1.848 m³/ha.

Efectuando estas comparaciones para la C. del Tajo (Cuadro nº 3), también para todas las zonas, las dotaciones de menor valor corresponden al método de Penman-Monteih, y las de mayor valor son las del método Penman Modificado en todos los casos.

Si obtenemos las relaciones por cociente y por diferencia entre los valores hallados por los métodos BC y PM tendremos lo siguiente: Los valores mínimos se dan en las zonas de Bornova, Henares y Área M. de Madrid para relación por cociente 1,00 y para la zona de Henares en la relación por diferencia 9 m³/ha. Los resultados de valores máximos corresponden a la zona de Cáceres, valor 1,10 en su relación

por cociente, y también a la zona de Cáceres, en su relación por diferencia, valor 465 m³/ha.

Estableciendo la comparación entre los métodos P y PM los valores de relación por cociente y por diferencia tienen unos mínimos y unos máximos. El mínimo en su relación por cociente se da en la zona de Cáceres, 1,22 y en su relación por diferencia a la zona de Campiña, con 996 m³/ha. Respecto a los valores máximos de estas relaciones, le corresponden a la zona Montes Navahermosa con un valor por cociente de 1,31 y a la zona Sagra-Toledo con un valor por diferencia de 1.324 m³/ha.

Como resumen se observa que, para ambas cuencas, las dispersiones en los valores BC y P respecto a la PM son homogéneas en sus respectivas zonas.

4. CONCLUSIONES

Del análisis efectuado a los resultados obtenidos, en los cálculos de dotaciones para las dos cuencas, Duero y Tajo, únicas hasta ahora para las que se han hallado las dotaciones por los tres métodos a los que nos referimos en esta comunicación, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1. Para los 20 cultivos más importantes de los estudiados, en todos ellos (con excepción de la **patata temprana**) en las dos cuencas y **lechuga** en la C. del Tajo, los valores obtenidos por Penman-Monteih, han resultado inferiores al de los otros dos métodos, siendo en todos los cultivos los valores Penman Modificado superiores a los de Blaney-Criddle Modificada. Todo ello referido a los valores promedio.

2. Para los valores medios de dotaciones de la hectárea representativa de diferentes zonas, en cada cuenca, se confirman las conclusiones del punto anterior, de manera total, sin excepción para ninguna zona; en las dos cuencas y en todas las zonas el orden de menor a mayor en los valores para los 3 métodos ha sido de:

$$PM < BC < P$$

3. De la comparación establecida con respecto a valores de dotaciones reales, en determinadas zonas donde éstos eran fiables, siempre, los más ajustados han resultado ser los provenientes del método de Penman-Monteih.
4. Parece ser, aunque habrá que verificarlo para más cuencas y dentro de cada una para zonas de características agroclimatológicas diferentes, que el tener en cuenta los efectos de reducción de evapotranspiración bajo condiciones de stress de humedad del suelo y condiciones adversas de cultivo que propugna el método Penman-Monteih, es la razón de que los valores obtenidos por este procedimiento sean los más próximos a los valores reales.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la Cuenca del Duero. CEDEX 1992.
- Determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la Cuenca del Tajo. CEDEX 1994.



Cadagua



TRATAMIENTO DE AGUAS DESDE 1964

		Qm ³ /día	POBLACION EQUIVALENTE
AGUAS POTABLES (municipales, industriales y desalación)	Construcción	2.666.276	11 millones
	Explotación	311.303	1,3 millones
AGUAS RESIDUALES (urbanas, industriales)	Construcción	2.201.822	8,9 millones
	Explotación	1.858.650	7,6 millones
TOTAL		7.038.051	28,8 millones

MAS DE 1.400 PLANTAS CONSTRUIDAS EN ESPAÑA Y EN EL EXTRANJERO

Para más información sobre tecnologías y financiación, póngase en contacto con el teléfono 94-481.73.90, fax 94-481.73.91 ó en el EMAIL: cadagu01@sarenet.es

INGENIERIA CIVIL



- Agronomía
- Obras Hidráulicas
- Ingeniería Sanitaria
- Estudios y Proyectos Medioambientales
- Ingeniería de Costas
- Ordenación del Territorio y Desarrollo Regional
- Geología y Minería
- Ingeniería del Transporte



INFORMES Y PROYECTOS, S.A.,
es una empresa de Ingeniería y Consultoría
con más de 25 años de experiencia en los campos
de la Ingeniería Civil, Industrial, de Recursos
Naturales y de Tratamiento de Residuos.

General Díaz Portier, 49 - 28001 MADRID Tel. (91) 402 55 04 - 402 50 12 Fax (91) 402 13 91
Plaza Fernando Lassale, 33 - 08023 BARCELONA Tel. (93) 415 00 17 Fax (93) 218 65 35
DELEGACIONES EN: SEVILLA, ZARAGOZA, GIJÓN, GALICIA, MURCIA Y VALENCIA

