

Eficiencia de los sistemas de riego en España

WOLFGANG KRINNER (*)

ANGEL GARCIA CANTON (*)

ANGEL LUIS ALDANA VALVERDE (*)

FEDERICO ESTRADA LORENZO (**)

FLORENTINO SANTOS GARCIA (***)

RESUMEN. El artículo profundiza en el tema de la eficiencia de conducción de los canales y de la eficiencia global de los sistemas de riego a través de un análisis cuantitativo de 39 zonas regables en España. Se calculan los valores de la eficiencia de conducción en cinco casos. Para determinar el límite superior de la eficiencia global se emplea un procedimiento que se basa en la comparación de la demanda teórica neta de los cultivos con el volumen desembalsado en cabecera del canal principal. Se demuestra que la mayor parte de las pérdidas de agua se producen en la distribución y aplicación. El análisis de la influencia de varios parámetros característicos de las zonas pone de manifiesto la importancia de la gestión de los sistemas en la eficiencia de riego.

THE EFFICIENCY OF SPANISH IRRIGATION SYSTEMS

ABSTRACT. Research concerns both conveyance efficiency and overall hydraulic efficiency, by analyzing data from 39 Spanish irrigation systems. The conveyance efficiency values are calculated in five cases. With a view to determining the upper limit of overall efficiency, a method is used, based on a comparison between theoretical water requirements of crops, and the volume released at the head of the main canal. It is shown that most water losses occur at the distribution and application stages. Analysis of the influence of various characteristic parameters, shows the importance of management to the efficiency of irrigation systems.

1. INTRODUCCION

La eficiencia, como indicador del grado de conservación de los recursos hídricos, constituye uno de los objetivos fundamentales de la explotación de los sistemas de transporte y distribución de agua para riego (Molden y Gates, 1990; Gates et al., 1991; Heyder et al., 1991; Sharma et al., 1991).

Su conocimiento resulta imprescindible para que el organismo gestor pueda adoptar las oportunas medidas correctoras para el mejor funcionamiento del sistema. Constituye, además, un dato indispensable en el ámbito de la planificación de regadíos, donde generalmente se utilizan índices poco contrastados, debido a la falta de análisis de zonas en explotación.

La mejor aproximación sistemática al problema de la eficiencia de los sistemas de riego es, probablemente, el trabajo llevado a cabo por la International Commission on Irrigation and Drainage (ICID) (Bos y Nugteren, 1982). Este trabajo se basa en la elaboración de una encuesta mediante la cual se recogió información sobre 91 zonas regables distribuidas por todo el mundo. Sólo contempla, sin embargo, un regadío español, por lo que no es posible generalizar sus conclusiones a las zonas regables de nuestro país.

A nivel nacional destaca la publicación de Luján (1992) en la que se sistematiza la información disponible, se describen los métodos para la evaluación de la eficiencia en los diferentes tramos que recorre el agua en las redes de riego y se formula un procedimiento para la valoración de la eficiencia global distinguiendo diversos niveles de precisión. En este trabajo se plantea una segunda fase de contraste y ajuste del procedimiento establecido, que se llevaría a cabo mediante su aplicación a varias zonas de riego españolas de características diversas.

Con objeto de acometer esta fase de los trabajos, en abril de 1991 se suscribió un convenio entre la Funda-

(*) Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Convenio CEDEX. Fundación Agustín de Bethencourt.

(**) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (MOPTI).

(***) Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director del Departamento de Hidráulica y Energética de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.

ción Agustín de Bethencourt y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.

En este artículo se resumen algunos de los principales resultados obtenidos en el estudio (CEDEX, 1992), del cual habían sido previamente presentados diversos avances (Santos y García, 1991; García y Krinner, 1992).

2. METODOLOGÍA GENERAL

El mayor obstáculo con que se ha enfrentado este trabajo ha sido la escasez generalizada de datos y su reducida fiabilidad, sobre todo en lo que se refiere a registros de caudal. Mientras los desembalses en cabecera de los canales se controlan en un gran número de zonas regables, hay poca información acerca de los volúmenes derivados a la red de distribución y en las tomas de parcela. En algunos sistemas, incluso, no existe ningún tipo de aforo.

La disponibilidad de datos ha sido, pues, un criterio determinante en la selección de los casos a estudiar. Han sido elegidas 45 zonas regables, pertenecientes a 8 cuencas hidrográficas, cuya situación geográfica se indica en la figura 1. Una gran parte de la información sobre estos regadíos ha sido obtenida a través de fichas técnicas (Dirección General de Obras Hidráulicas, 1992) y de encuestas realizadas entre comunidades de regantes de toda la Península.

Estos datos han sido apoyados y contrastados mediante un intenso trabajo de campo en el que se han analizado de manera exhaustiva «in situ» 9 de las 45 zonas seleccionadas. La situación de estas zonas también se especifica en la figura 1. Para la realización de este trabajo de campo se elaboró una encuesta propia, basada en la utilizada por la ICID (Bos y Nugteren, 1982), pero adaptada a las características de los regadíos españoles. La abundante información recogida se organizó y archivó en soporte magnético, documentando fotográficamente las obras de infraestructura e instalaciones.

Se ha explorado, también, la aplicación de la teledetección espacial como instrumento para aumentar la cantidad y fiabilidad de la información disponible en materia de regadíos. La aplicación de imágenes Landsat al estudio de la zona regable por el canal del Zújar pone de manifiesto las posibilidades de dicha tecnología en este ámbito de trabajo.

Con la información así obtenida se ha podido calcular la eficiencia de conducción en cinco zonas regables. También se ha podido comparar en 39 casos la demanda hídrica neta de los cultivos, calculada mediante la fórmula de Penman-Monteith (Smith et al., 1991), con el desembalse anual en cabecera del canal principal. La ratio así definida marca el límite superior de la eficiencia global y permite estimar el grado de aprovechamiento del agua en la zona regable. Además, las ratios de las distintas zonas se han relacionado con diversos parámetros característicos de los regadíos con el fin de detectar

NOMBRE DEL CANAL	EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN
CINCA	91 %
ORELLANA	90 %
POSTRASVASE TAJO-SEGURA	
MARGEN DERECHA	91 %
MARGEN IZQUIERDA	92 %
ZÚJAR	88 %
MEDIA	90 %

TABLA 1. Eficiencias de conducción.

qué factores presentan una mayor incidencia en la eficiencia global de los sistemas.

3. EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN

Este valor se define como el cociente entre el volumen entregado a la red de distribución y el desembalse en cabecera del canal. Mientras el segundo es conocido en un gran número de zonas, el primero se suele registrar en muy pocos casos, debido, probablemente, a la falta de preocupación por un seguimiento estricto de los volúmenes derivados y a los problemas técnicos inherentes a los métodos de medida.

La existencia de aforos en la red de distribución demuestra, pues, que la explotación del canal está bastante desarrollada y donde se da esta circunstancia el estado de conservación de la infraestructura suele ser mejor que la media observada. Parece razonable esperar, por tanto, que la eficiencia de conducción en el resto de las zonas sea, en general, más baja que en aquellas que están reflejadas en este apartado. En la tabla 1 se presentan los valores de eficiencia de conducción obtenidos en las zonas que disponían de datos suficientes para ello.

Las cifras indicadas son valores medios de registros de varios años, salvo en el canal del Cinca, del cual sólo se dispone de aforos fiables del año 1991.

En todos los casos se observa que las pérdidas en conducción se mueven en torno al 10 % del volumen desembalsado, bien entendido que los respectivos canales tienen todos revestimiento de hormigón y se encuentran en un estado de conservación relativamente bueno.

En cualquier caso estos valores se hallan condicionados por la propia precisión de los procedimientos de medida, por lo que se deben interpretar con cierta cautela, y tan solo como órdenes de magnitud.

La evaporación teórica (1) de la lámina libre de estos

(1) El cálculo de la evaporación teórica está basado en los registros de la evaporación en tanque de la estación evaporimétrica más cercana a la respectiva zona regable, tomando como referencia los valores medios de los últimos diez años.



FIGURA 1. Situación geográfica de zonas regables.

canales asciende a unos valores anuales medios que oscilan entre 0,2 % y 1,1 % del volumen desembalsado, con una media total de 0,5 %, por lo que la mayor parte de las pérdidas de conducción pueden ser atribuidas a la infiltración y a las maniobras de ajuste durante la explotación.

El estudio de la evolución de las pérdidas de conducción a lo largo de la campaña se ha podido realizar en los canales del Cinea, Orellana y Zújar.

La figura 2 refleja las pérdidas de conducción en términos absolutos, es decir, la diferencia entre el desembalse y el volumen derivado a la red de distribución, en el canal de Orellana durante la campaña de 1991 (Confederación Hidrográfica del Guadiana, 1991). En la misma figura se representan las pérdidas teóricas en conducción obtenidas por correlación con el volumen desembalsado, utilizando la expresión:

$$P_c = -0,0853 + 0,1094 D$$

donde:

P_c pérdidas teóricas en conducción ($\text{hm}^3/\text{semana}$)
 D volumen desembalsado ($\text{hm}^3/\text{semana}$)

La relación observada entre ambos valores es debida a que las filtraciones, que en este caso son el origen principal de las pérdidas de conducción, dependen sobre todo del calado en el canal y de la velocidad del agua y, por tanto, del caudal derivado.

En la figura 3 se muestran las pérdidas de conducción, expresadas como porcentaje del volumen desembalsado durante las últimas campañas de riego realiza-

das en el canal de Orellana. Puede apreciarse que este porcentaje se mantiene relativamente constante alrededor del 10 % durante la mayor parte de las diferentes campañas. Solamente al principio y al final de la época de riego se registran pérdidas relativas más elevadas, debido sobre todo al hecho de que los volúmenes desembalsados son mucho menos importantes que en plena campaña, y por ello las pérdidas de conducción, aunque menores en términos absolutos, resultan mayores en términos relativos. Además, la mayor uniformidad del caudal circulante durante los meses punta de riego favorece la saturación del terreno en el trasdós del canal, reduciendo así las filtraciones de agua. Por el contrario, las variaciones de calado y de caudal al principio y al final de la campaña provocan un aumento de las pérdidas relativas.

4. EFICIENCIA GLOBAL Y RELACION ENTRE DEMANDA NETA Y DESEMBALSE

El valor de la eficiencia global es el dato más significativo para calificar el uso racional del recurso y, además, resulta de especial trascendencia en las tareas de planificación, pues permite relacionar las dotaciones netas de los cultivos con el suministro que es preciso efectuar desde la captación.

Sin embargo, como ha sido expuesto anteriormente, la falta de información impide determinar este valor en la mayoría de las zonas regables. Ante estas carencias, se ha seguido un procedimiento que permite acotar superiormente la eficiencia global a partir de datos que son conocidos en una gran parte de las zonas de riego.

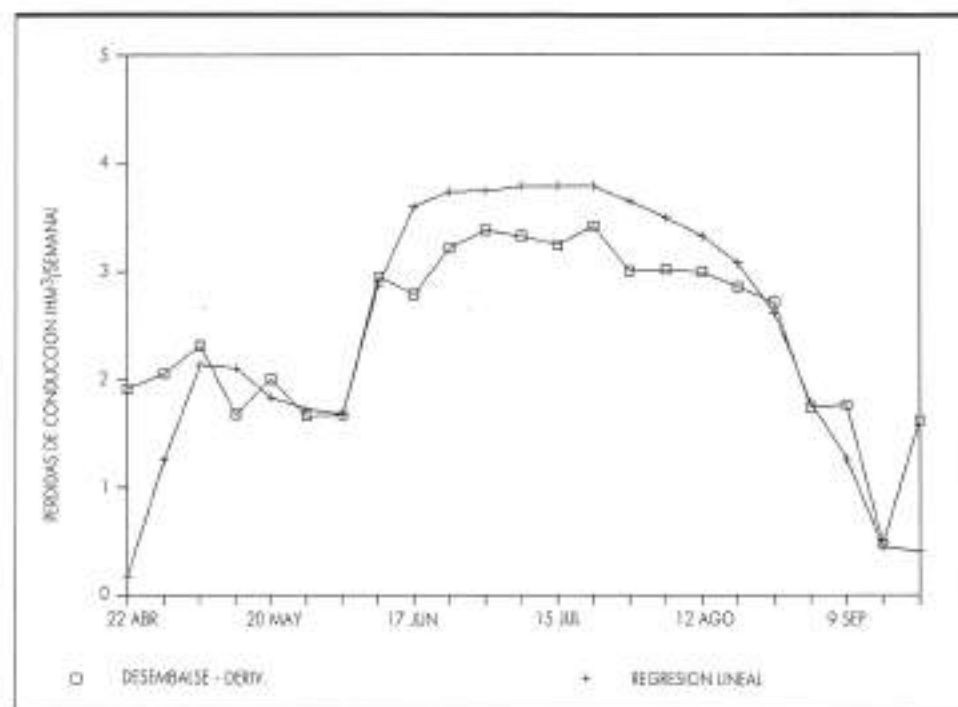


FIGURA 2. Pérdidas de conducción en el canal de Orellana en la campaña de 1991.

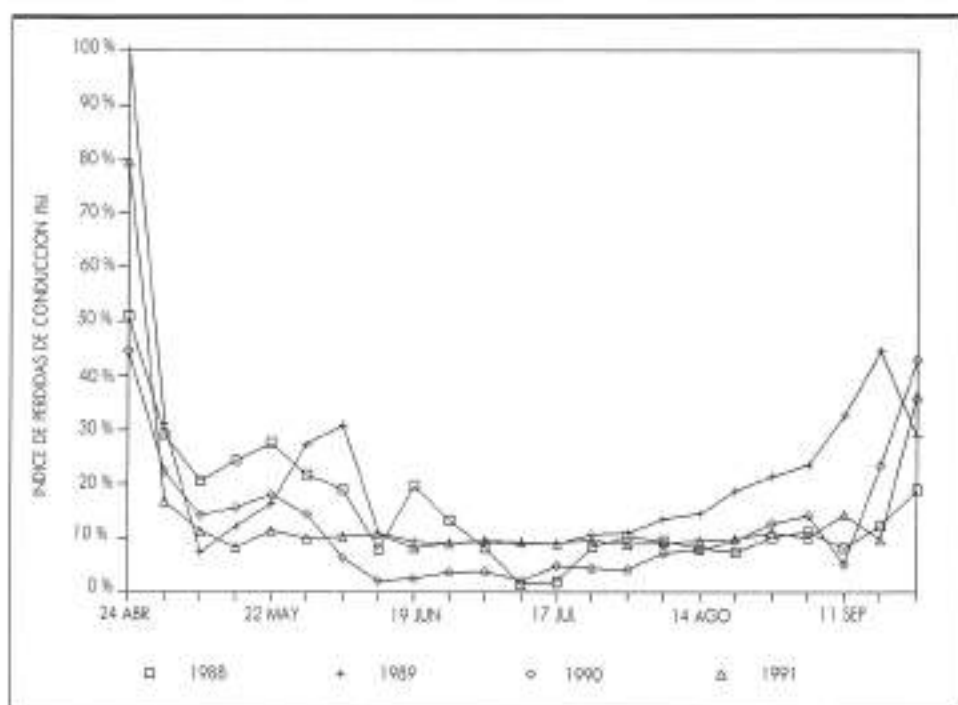


FIGURA 3. Pérdidas de conducción expresadas como porcentaje del volumen desembalsado en el canal de Orellana durante el período 1988-1991.

Este procedimiento hace posible el estudio cuantitativo de un mayor número de casos y constituye una herramienta eficaz para analizar la influencia de diversos factores de tipo general, agrícola u organizativo en el fundamento de los sistemas de riego.

El método propuesto se basa en la comparación de la demanda teórica neta de los cultivos de la zona regable con el volumen desembalsado en cabecera del canal principal. El cociente entre ambos valores constituye un límite superior de la eficiencia global del respectivo sistema de riego.

La estimación de las necesidades hídricas de los cultivos se efectúa conforme al documento «Dotaciones de Riego Máximas» (CEDEX, 1991). En este documento se indican, para una serie de cultivos, en función de la situación geográfica de la zona regable, las dotaciones mensuales necesarias para conseguir unas producciones máximas. Estas dotaciones son la diferencia entre las evapotranspiraciones de los cultivos, calculadas según el método de Penman-Monteith, y la precipitación efectiva en la zona correspondiente, teniendo en cuenta la retención de agua en la zona radicular de las plantas.

La demanda neta de cada cultivo se calcula multiplicando su dotación máxima por el valor de la superficie que ocupa, y la demanda neta de la zona es la suma de las demandas de todos los cultivos.

En la mayoría de los casos se han utilizado valores de las dotaciones máximas que corresponden a un año medio. La demanda hídrica real de cada año, sin embargo, puede variar tanto en su magnitud como en su distribución temporal con respecto a la del año medio.

Conviene destacar que las dotaciones de riego utilizadas en este trabajo corresponden a unas condiciones de crecimiento óptimas, aptas para conseguir unas producciones de cultivos máximas. Esta situación difícilmente se encontrará en un regadío real. Aunque teóricamente el verdadero consumo de las plantas puede ser igual a la demanda neta calculada según el procedimiento anterior, en la mayoría de los casos la cantidad de agua consumida por los propios cultivos es inferior a la dotación máxima. Por ese motivo la eficiencia global del sistema de riego casi siempre es inferior a la relación entre demanda neta y desembalse. Los dos índices se igualarán sólo en aquellos casos donde el suministro de agua que realmente reciben las plantas sea idéntico a las dotaciones máximas.

La tabla 2 muestra parte de la información recogida sobre 39 zonas regables en las cuales ha sido posible calcular la ratio mencionada. En ella se indican la superficie regada, el suministro anual bruto (cociente entre el desembalse anual y la superficie regada), la evapotranspiración potencial, el método de riego, el coste del agua por unidad de superficie, el año en que comenzó la explotación y la ratio demanda neta/dembalse.

Las zonas estudiadas abarcan una extensión de unas 662.000 ha, lo que supone un 22 % de la superficie total de regadío en España (2).

(2) La superficie total de cultivos de regadío en España se cifra en unos tres millones de hectáreas (López-Camacho y López Píñero, 1992).

EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE RIEGO EN ESPAÑA

CUENCA HIDROGRÁFICA	NOMBRE DE LA ZONA REGABLE	SUPERFICIE REGADA (HA)	SUMINISTRO BRUTO (M ³ /HA)	ETO POTENCIAL (MM/AÑO)	METODO DE RIEGO MAYORIT.	COSTE AGUA/ SUPERFICIE (PTAS/HA AÑO)	AÑO COMIENZO EXPLOT.	RATIO DEMANDA META/ DESEMBALE
DUERO	CANAL GENERAL DEL PARAMO	15.482	7.343	660	G	9.600	1.957	39 %
	CANAL DE SAN JOSE	4.311	8.513	720	G	1.000	1.946	43 %
TAJO	REGOS DEL ALAGON	29.083	13.885	820	G	13.503	1.957	42 %
GUADIANA	ORELLANA	54.850	8.643	900	G	6.860	1.964	73 %
	MONTUJO	27.484	7.990	870	G	8.250	1.958	56 %
	LOBON	15.003	7.538	870	G	5.660	1.958	61 %
	ZUJAR	8.384	7.281	910	P	30.316	1.979	67 %
	PEÑARROYA	4.013	7.725	800	G	1.800	1.963	36 %
	EL VICARIO	1.541	6.112	830	P	52.525*	1.986	53 %
GUADALQUIVIR	BAJO GUADALQUIVIR	59.900	6.406	950	P	4.000	1.967	64 %
	BEMBEZAR, MARGEN DERECHA	11.911	9.000	970	P	4.600	1.968	57 %
	GENIL CABRA	9.500	3.634	910	P	22.402*	1.990	127 %
	GUADALMELATO	7.500	9.000	970	G	15.068	1.932	48 %
	RUMBLAR	5.348	7.853	950	G	7.000	1.942	57 %
	FUENTE PALMERA	5.260	6.000	1.000	P	48.260*	1.985	89 %
	GENIL, MARGEN IZQUIERDA	5.000	6.180	1.000	G	6.208	1.951	88 %
	BEMBEZAR, MARGEN IZQUIERDA	3.490	9.000	980	G	17.400	1.968	58 %
	COSTA NOROESTE	3.400	4.000	870	P	22.000	1.986	89 %
	GUADAIMENA	3.214	4.792	870	P	10.000	1.984	79 %
	GENIL, MARGEN DERECHA	2.100	6.143	1.000	G	11.000	1.953	74 %
	JANDULEJA	2.000	4.000	900	G	5.000	1.965	95 %
	GUADALÉN	775	5.935	850	G	5.000	1.954	73 %
SUR	MOTIL SALOBREÑA	1.898	10.274	900	G	13.300	1.970	58 %
JUCAR	ACEQUIA REAL DEL JUCAR	23.000	19.565	900	G	15.600	TRAD.	28 %
	CANAL CAMPO DE TURIA	21.000	6.000	870	G	3.447	1.987	189 % ⁽³⁾
	ACEQUIA MAYOR DE SAGUNTO	5.010	5.988	900	G	7.942	TRAD.	68 %
	CUJERA	4.515	11.960	900	G	1.000	TRAD.	61 %
	CIUDAD DE BURRIANA	3.810	9.186	900	G	19.179	TRAD.	42 %
	ALMASSORA	1.422	12.658	900	G	19.200	TRAD.	31 %
	SEGORBE	747	3.333	850	G	1.200	TRAD.	127 %
	ACEQUIA DEL PUIG	568	5.986	900	G	25.370	TRAD.	46 %
	ACEQUIA DE LA LOSA	540	5.000	900	G	32.000	TRAD.	56 %
	NULES	400	15.000	900	G	16.800	TRAD.	26 %
EBRO	CANAL DE ARAGON Y CATALUÑA	98.402	4.878	800	P	7.995*	1.906	91 %
	REGOS DEL ALTO ARAGON	93.110	8.555	750	G	6.373*	1.952	57 %
	CANALES DE URGEL	73.808	8.170	750	G	5.735	TRAD.	49 %
	CANAL DE IODOSA	32.392	7.101	770	G	5.540*	1.935	46 %
	CANAL DE PIÑANA	13.459	18.970	800	G	3.857	TRAD.	21 %
	CANAL DE TAUSTE	8.755	19.417	770	G	7.300	TRAD.	21 %
TOTAL		662.385	8.437	873		12.802		64 %

TABLA 2. Datos de las zonas de riego.

* Cobro del agua de forma binómica en función del volumen consumido y la superficie regada.

G: Riego por gravedad.

P: Riego de presión.

TRAD.: Riego tradicional.

Comienzo de la explotación antes de 1900.

Fuente: Dirección General de Obras Hidráulicas, comunidades de regantes y elaboración propia.

(3) Este ratio se ha calculado adaptando la distribución de cultivos señalado en el cuestionario de la Comunidad de regantes «Canal de riego del río Turia», según el cual la práctica totalidad de la superficie (94 %) se dedica al arroz. El valor del suministro bruto procede de una ficha técnica de la Dirección General de Obras Hidráulicas.

El valor medio de la ratio demanda neta/deseembalse de las zonas analizadas es de un 64 %.

El histograma de frecuencias reflejado en la figura 4 muestra que 14 de las 39 zonas tienen una ratio, y por lo tanto una eficiencia global, inferior al 50 %, lo cual quiere decir que en un 40 % de los sistemas de riego analizados se pierde más de la mitad del agua desembalsada.

Las ratios mayores que la unidad indican que la demanda neta de la zona supera el volumen desembalsado. El riego en estos casos es necesariamente deficitario, aunque las pérdidas en la conducción, distribución y aplicación fueran nulas. También se registrará un déficit hídrico en aquellas zonas donde el desembalse en cabecera del canal sea sólo ligeramente superior a la demanda neta de agua, con ratios próximos al 100 %. Si se suponen unas pérdidas inevitables del 20 % en el conjunto de la conducción, distribución y aplicación, se registra un déficit hídrico en 8 de las 39 zonas analizadas, lo que equivale a un 20 % del total.

En lo que se refiere a la evolución de la ratio durante los meses de la campaña, los fenómenos observados son muy diferentes en función de las características de las zonas regables. En la figura 5 están representados los valores mensuales de la demanda neta y del suministro bruto en la zona regable por el canal del Zújar durante la campaña de 1991. Se observa que el suministro es superior a la demanda teórica de agua durante todos los meses de la campaña. La ratio, por consiguiente, siempre es inferior a la unidad, y alcanza su valor mensual

máximo de 71 % coincidiendo con la punta de la demanda de riego en el mes de julio. El valor anual de la ratio en esta campaña fue de 55 %.

En la zona regable de Genil Cabra, sin embargo, el suministro es mayor que la demanda teórica neta sólo durante los primeros dos meses de la campaña (fig. 6). A partir del mes de junio las necesidades hídricas de los cultivos superan considerablemente el volumen derivado en cabecera del canal con ratios mensuales hasta del 175 %, y durante todo el verano el riego de la zona es deficitario. El valor anual de la ratio asciende a 127 %. Como las disponibilidades fueron suficientes, la decisión de los regantes de limitar su consumo fue totalmente voluntaria y se explica, sobre todo, por la tarifa volumétrica que se aplica en esta zona.

En efecto, mientras el agua del canal del Zújar se factura en función de la superficie regada a un precio de 30.300 ptas/ha, la Comunidad de regantes de la zona de Genil Cabra emplea una tarifa binomia que se compone de una parte fija, que toma como referencia la superficie regada por cada agricultor, y otra variable en función del volumen de agua consumido. La parte fija es de 11.500 ptas/ha y la variable de 3 ptas/m³, siendo la repercusión total de la tarifa por superficie regada de 22.400 ptas/ha (4). Puesto que las dos zonas regables están diseñadas para la aplicación de métodos de riego a presión, la diferencia en el sistema de tarifas parece

(4) Todos los precios indicados corresponden al año 1991.

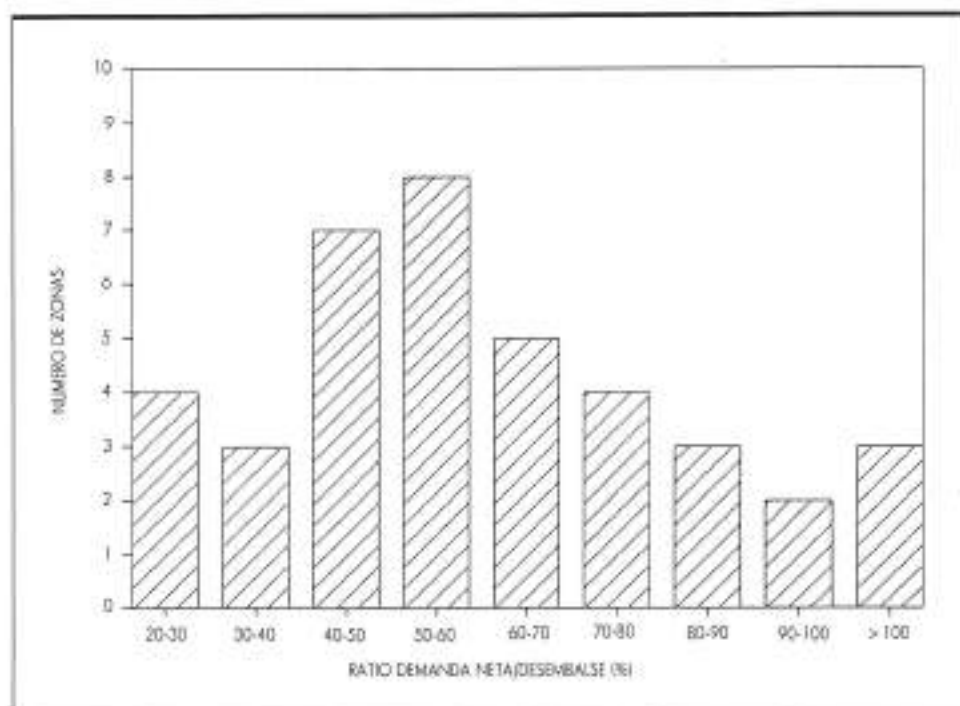
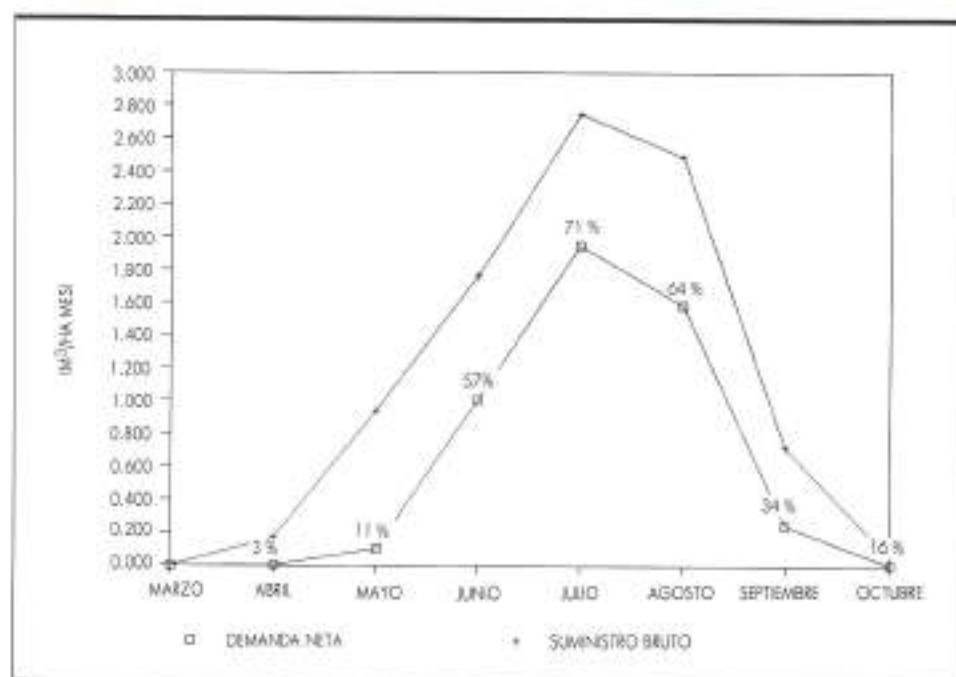


FIGURA 4. Histograma de frecuencias de la ratio demanda neta/deseembalse.

FIGURA 5. Demanda neta y suministro bruto en la zona regable por el canal del Zújar durante la campaña de 1991.



constituir la principal razón del diferente comportamiento de ambas zonas.

Geográficamente, los valores de la ratio demanda neta/desembalse presentan una clara tendencia, según se aprecia en la figura 7. Los valores más elevados se

presentan en aquellas zonas, donde el agua constituye un recurso más limitado (generalmente el Sur y Sureste de España). En el Norte, por el contrario, se sitúan los valores más bajos de la ratio y, por tanto, de la eficacia global.

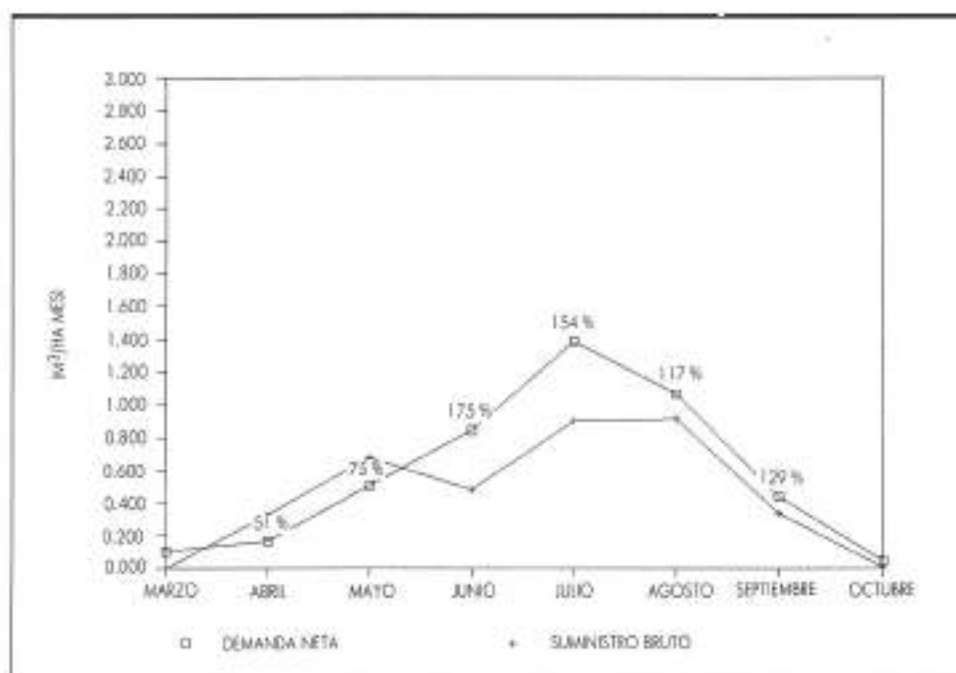


FIGURA 6. Demanda neta y suministro bruto en la zona regable de Genil-Cobra durante la campaña de 1991.

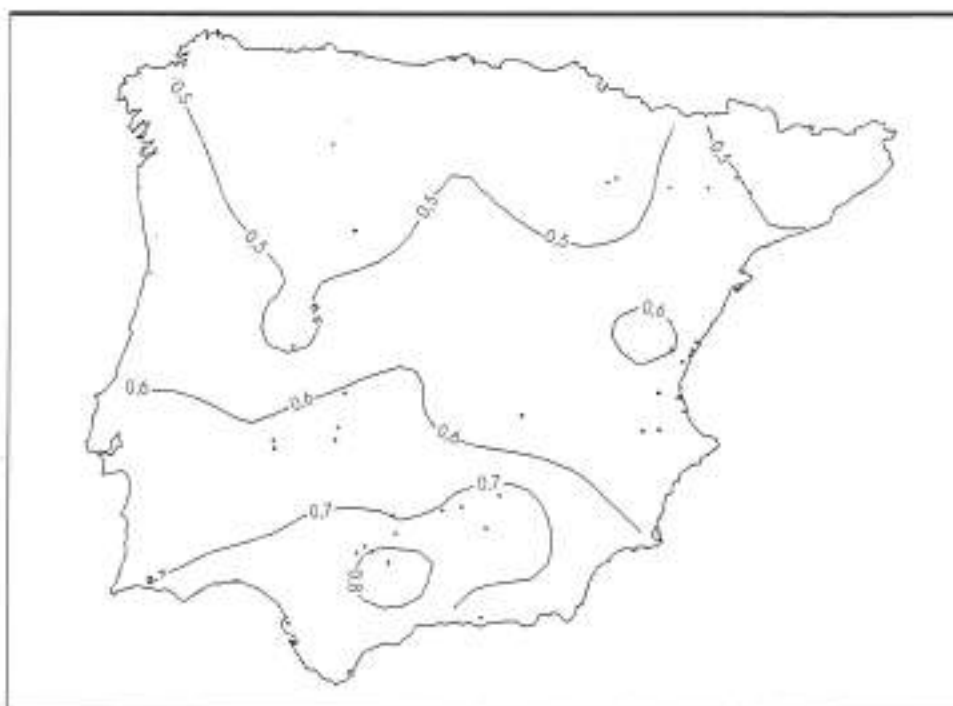


FIGURA 7. Distribución geográfica de las relaciones entre demanda neta y desembalse. Límite superior de la eficiencia global (S).

5. FACTORES CARACTERÍSTICOS DE LAS ZONAS DE RIEGO

Con el fin de determinar la incidencia que diversos factores presentan en la eficiencia de los sistemas, se describen a continuación las relaciones entre la ratio demanda neta/desembalse y algunos parámetros característicos.

5.1. Método de riego

En las 30 zonas donde el riego es mayoritariamente por gravedad, la ratio media presenta un valor de 59 %, es decir, que la eficiencia global media de estas zonas está por debajo de esa cifra, y, consecuentemente, las pérdidas totales de agua en la conducción, distribución y aplicación son como mínimo un 41 % del volumen desembalsado.

En las 9 zonas de riego a presión el grado de aprovechamiento del agua, lógicamente, es mayor, con un valor medio de la ratio del 80 %, debido, sobre todo, a las menores pérdidas en la distribución (tuberías en vez de acequias) y en la aplicación.

5.2. Fecha del comienzo de la explotación

También se puede observar en la tabla 2 que las zonas regables cuya puesta en riego es reciente tienden a tener mayores ratios y, por consiguiente, mayores eficien-

AÑO DEL COMIENZO DE LA EXPLOTACION	NUMERO DE ZONAS	RATIO DEMANDA NETA/DESEMBALSE
ANTES DE 1900	12	48 %
1900 A 1950	5	57 %
1950 A 1970	15	62 %
DESPUES DE 1970	7	84 % ⁽⁵⁾

TABLA 3. Ratio demanda neta/desembalse según el año del comienzo de la explotación.

cias globales que las explotaciones antiguas, lo cual es debido al mejor equipamiento técnico, al creciente empleo de métodos de riego a presión y al mejor estado de conservación de la infraestructura.

Por lo tanto, el efecto de la utilización de infraestructuras e instalaciones modernas tiene una repercusión más positiva en la eficiencia de los sistemas que una larga tradición de riego. La tabla 3 recoge las ratios medias de las zonas, divididas en cuatro grupos en función del año del comienzo de la explotación.

5.3. Suministro bruto

El valor medio del suministro anual bruto, según se indica en la tabla 2, es de 8.437 m³/ha. En los sistemas

(5) Este mapa ha sido elaborado con el método de interpolación de la inversa de las distancias al cuadrado y método de búsqueda por octantes (Golden Software, 1991) partiendo de los valores de las 30 zonas estudiadas.

(6) No está incluida la zona regable del Campo de Turia cuyo ratio asciende a 189 %.

de riego por gravedad este valor asciende a $9.231 \text{ m}^3/\text{ha}$, mientras que en los sistemas de riego a presión se sitúa en $5.789 \text{ m}^3/\text{ha}$.

La representación de la ratio demanda neta/deseembalse en función del suministro bruto, recogida en la figura 8, indica una relación proporcional inversa entre ambos, es decir, las mayores ratios se registran en aquellas zonas donde el suministro es pequeño, mientras que en las de suministro elevado, las ratios suelen ser más reducidas. Esta tendencia parece lógica, puesto que un suministro demasiado alto necesariamente provoca una eficiencia baja, mientras que un ajuste del suministro a las necesidades hídricas de la zona es una condición indispensable para que la eficiencia global tenga un valor adecuado.

En la misma figura se indica la regresión lineal efectuada, que responde a la expresión:

$$R = 1,06 - 4,97 \cdot 10^{-5} S$$

donde R representa la ratio demanda neta/deseembalse y S el suministro bruto, en m^3/ha año.

5.4. Evapotranspiración potencial

Para determinar la influencia de la climatología de una zona regable en la eficiencia global del riego, en la figura 9 se han representado los valores de la evapotranspiración potencial de las distintas zonas y la correspondiente ratio demanda neta/deseembalse. A pesar de la relativa dispersión de los puntos, se observa una cierta proporcionalidad entre los dos parámetros, de manera que la ratio es mayor en aquellas zonas donde se registra un alto valor de la evapotranspiración potencial. Ello

indica que el aprovechamiento del agua es mejor, lógicamente, en regiones áridas.

5.5. Tipo de tarifas y precio del agua

El precio del agua y la forma en que se cobra a los usuarios tienen una gran importancia para el funcionamiento de un sistema de riego. Por ello se ha analizado la posible relación entre la ratio demanda neta/deseembalse y el precio del agua, en el cual se han incluido, cuando ha sido posible, todas las tarifas, cánones, derramas y tasas existentes.

En las figuras 10 y 11 están representadas las ratios de las zonas regables en función de la repercusión manual por superficie de todas las tarifas y derramas de agua, incluyendo en la primera figura todos los casos donde el cobro se efectúa en función de la superficie, y en la segunda, todos aquellos donde el importe a pagar por cada regante está relacionado de forma proporcional o binomial con el volumen de agua consumido.

En ambas figuras se aprecia una gran dispersión de los puntos, sin ninguna relación aparente entre las magnitudes comparadas. También se observa que, generalmente, las zonas de riego con tarifas de agua por superficie emplean métodos de riego por gravedad (28 de 33), y que en la mayor parte de las explotaciones con tarifas binomias (4 de 6) se emplean métodos de presión. La ratio media de las zonas con tarifa por superficie (61 %) es inferior a la de las zonas con tarifa binomial (77 %), lo cual apoya la teoría de que el cobro del agua en función del volumen consumido fomenta el uso económico del recurso, aunque en el análisis del conjunto no es evidente si eso procede del efecto favorable de la tarifa bino-

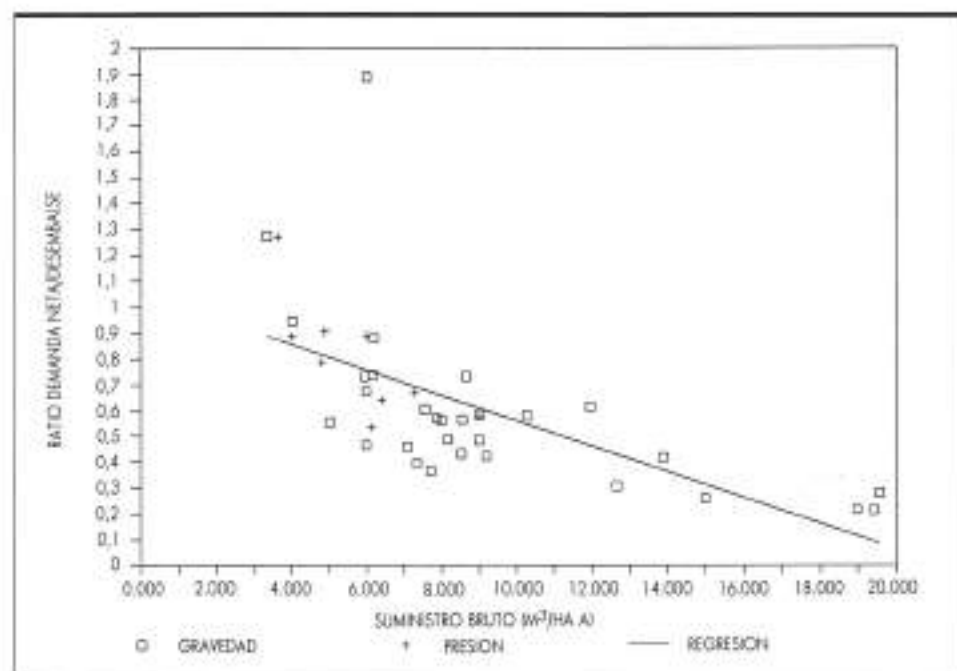


FIGURA 8. Relación entre el suministro bruto a las zonas de riego y los ratios demanda neta/deseembalse.

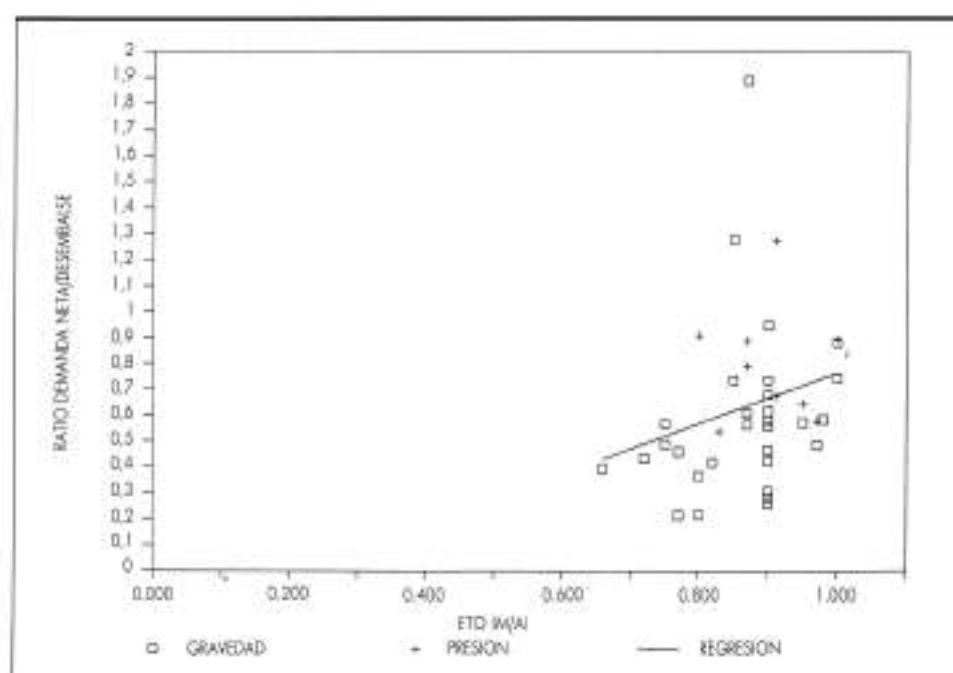


FIGURA 9. Relación entre la evapotranspiración potencial de las zonas de riego y los ratios demanda neta/desembalse.

mía o de la ventaja técnica de los sistemas de riego a presión, debido a que en la mayoría de los casos tratados, ambas características coinciden.

Dentro del grupo de zonas de riego a presión, la ratio media de las cuatro zonas con tarifa binómica es claramente superior (90 %) a la ratio correspondiente de

aquellas cinco donde el agua se cobra por superficie (71 %). A pesar de la reducida fiabilidad estadística de un análisis que comprende una cantidad tan pequeña de zonas, parece evidente que las tarifas de agua en función del volumen consumido son mucho más favorables para conseguir una alta eficiencia de riego que el cobro

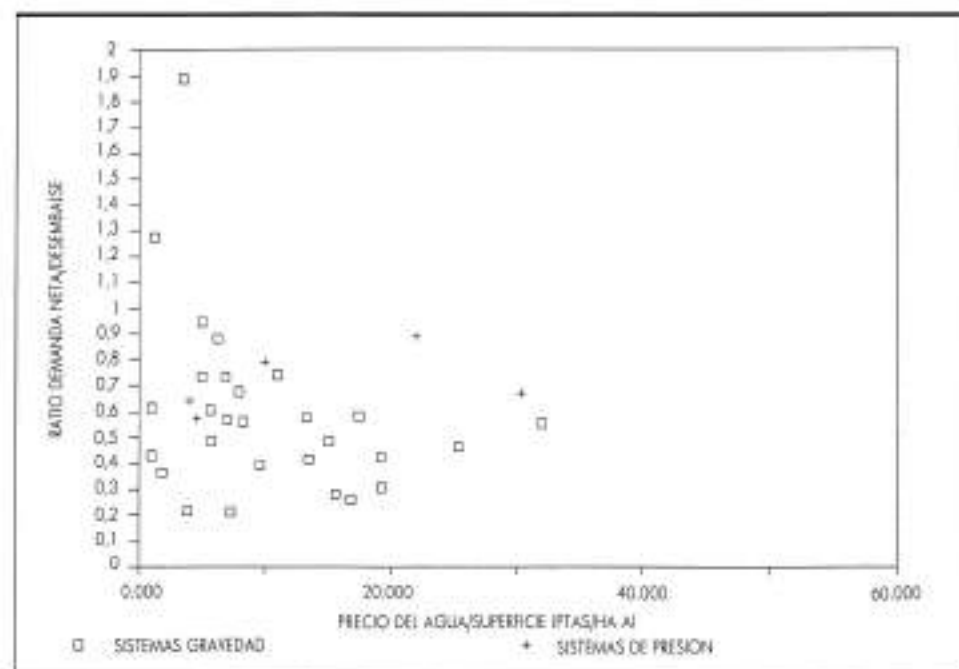


FIGURA 10. Relación entre el precio del agua y los ratios demanda neta/desembalse en las zonas con tarifa monómica en función de la superficie regada.

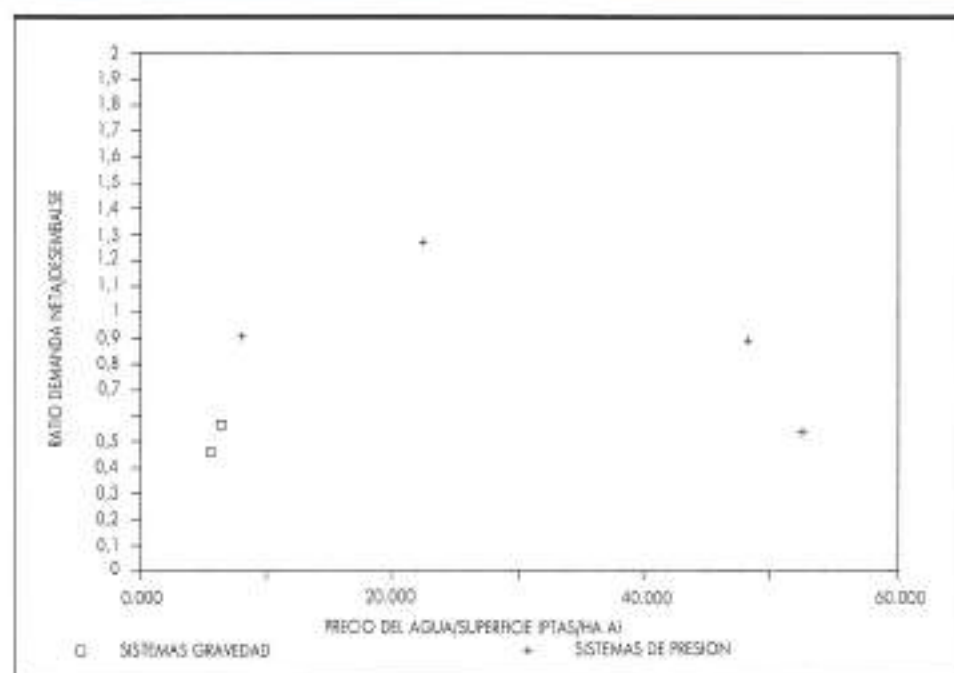


FIGURA 11. Relación entre el precio del agua y las ratios demanda neta/desembalse en las zonas con tarifa volumétrica o binómica en función de la superficie regada y del volumen consumido.

de una cantidad fija que depende sólo de la superficie cultivada por cada regante.

En cuanto a una posible relación entre la ratio y el precio del agua por una unidad de superficie regada, la distribución de los puntos en la figura 10 parece indicar que las zonas con precios elevados tienden a tener una ratio media inferior a aquellas con precios más reducidos (7).

La tabla 4 presenta la ratio media para diferentes rangos de precio del agua por una unidad de superficie regada.

Estas cifras indican que en las zonas de riego por gravedad y con cobro de las tarifas y derramas por superficie, características que corresponden a la mayoría de las zonas regables españolas, la eficiencia tiende a ser menor si las tarifas son elevadas. Por supuesto, los resultados de un análisis que comprende solamente 39 zonas han de interpretarse cautelosamente, sobre todo si se tiene en cuenta que la información de partida posee una fiabilidad relativa y que la ratio demanda neta/desembalse marca tan solo el límite superior de la eficiencia global. No obstante, parece claro que la tarificación de los regadíos por superficie no es un procedimiento adecuado para economizar el uso del agua.

6. CONCLUSIONES

Destaca, en primer lugar, la necesidad de mejorar el sistema de información existente en cuanto al uso del

PRECIO DEL AGUA POR UNIDADES DE SUPERFICIE REGADA (PTAS/HA)	NUMERO DE ZONAS DE RIEGO POR GRAVEDAD CON COBRO DE LA TARIFA POR SUPERFICIE	RATIO MEDIA
≤ 5.000	8	81 %
5.000-10.000	9	57 %
> 10.000	11	46 %
TOTAL	28	59 %

TABLA 4. Ratio demanda neta/desembalse para diversos rangos de precio del agua en zonas de riego por gravedad con cobro de la tarifa por superficie.

agua en las zonas regables, para lo que se requiere la realización sistemática de aforos cuyo grado de precisión permita un cálculo fiable de las pérdidas. Los valores de la eficiencia de conducción hallados en los regadíos estudiados son del orden del 90 %.

La comparación de la demanda neta de los cultivos con el desembalse en cabecera permite acotar superiormente la eficiencia global. El valor medio de esta ratio demanda neta/desembalse se calcula en las zonas de riego por gravedad en un 59 % y en las de presión en un 80 %. La ratio media de todas las zonas asciende a un 64 %. Por consiguiente, como media, las pérdidas totales de agua en las zonas analizadas son, al menos, del 36 % del volumen desembalsado.

Teniendo en cuenta que el índice medio de pérdidas

(7) Este precio comprende el canon de regulación, la tarifa de riego y la derrama de la correspondiente comunidad de regantes.

de conducción en canales revestidos gira en torno a un 10 %, parece evidente que la mayor parte de las pérdidas de agua se produce en la distribución y aplicación y no en la conducción. Esas cifras, ciertamente aproximadas, demuestran que la gestión de los sistemas tiene una enorme importancia para la eficiencia de riego. Para aumentar el grado de aprovechamiento del agua, pues, son recomendables no sólo actuaciones que mejoren la infraestructura, sino especialmente aquellas que incidan en los aspectos de organización, aunque lógicamente las soluciones a tomar dependerán de cada caso particular.

Cabe resaltar, finalmente, la gran importancia de los sistemas de tarifas para la eficiencia del riego y los efectos negativos del cobro del agua por superficie, sin tener en cuenta el volumen consumido.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a los servicios de explotación de las Confederaciones Hidrográficas visitadas, a las comunidades de regantes de las zonas estudiadas y al IARA las facilidades que les dieron para la recogida de datos, así como los medios puestos a su disposición y el tiempo que les dedicaron.

Igualmente agradecen la información suministrada por la Dirección General de Obras Hidráulicas sobre el «Programa de modernización y mejora de zonas regables», así como a don Javier Luján y don Joaquín Rodríguez, del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, por su apoyo a lo largo del estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. BOS, M. G., y NUGTEREN, J. (1982). *On Irrigation Efficiencies*, International Institute for Land Reclamation and Improvement.
2. CEDEX (1991). *Planificación hidrológica. Dotaciones de riego máximas*.
3. CEDEX (1992). *Proyecto I + D. Determinación de pérdidas de agua en canales de riego*.
4. Confederación Hidrográfica del Guadiana (1991). *Memoria de explotación de la zona regable de Orellana*.
5. Dirección General de Obras Hidráulicas (1992). *Fichas del Programa de modernización y mejora de zonas regables*.
6. GARCIA, A., y KRINNER, W. (1992). «Eficiencia en canales de riego», *Curso sobre rehabilitación de sistemas de riego*, CEDEX.
7. GATES, T. K.; HEYDER, W. E.; FONTANE, D. G., y SALAS, J. D. (1991). «Multicriterion Strategic Planning for Improved Irrigation Delivery. I: Approach», *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 117 (6), 897-913.
8. Golden Software (1991). *SURFER Reference Manual version 4*.
9. HEYDER, W. E.; GATES, T. K.; FONTANE, D. G., y SALAS, J. D. (1991). «Multicriterion Strategic Planning for Improved Irrigation Delivery. II: Applications», *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 117 (6), 914-934.
10. LOPEZ-CAMACHO, B., y LOPEZ PIÑEIRO, J. (1992). «Planificación nacional», *Curso sobre Planificación de regadíos*, CEDEX.
11. LUJAN, J. (1991). *Eficiencia del riego*, CEDEX.
12. MOLDEN, D. J., y GATES, D. J. (1990). «Performance Measures for Evaluation of Irrigation-Water Delivery Systems», *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 116 (6), 804-823.
13. SANTOS, F., y GARCIA, A. (1991). «Eficiencia de los canales de riego», *Jornadas sobre canales*, CEDEX.
14. SHARMA, D. N.; OAD, R., y SAMPATH, R. K. (1991). «Performance Measure for Irrigation Water Delivery Systems», *ICID Bulletin*, 40 (1), 21-37.
15. SMITH, M.; SEGEREN, A.; SANTOS, L.; PERRIER, A., y ALLEN, R. (1991). *Expert Consultation on Procedures for Revision of FAO Guidelines for Prediction of Crop Water Requirements*, FAO.