

APROVECHAMIENTO DEL AGUA EN LAS ZONAS REGABLES ESPAÑOLAS

Angel García Cantón y Wolfgang Krinner
Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*.

Introducción

El agua es actualmente un bien escaso. Esta es una realidad de la que, afortunadamente, cada vez se va tomando mayor conciencia. Por tanto, cobra mayor importancia realizar un empleo racional de este recurso. Dentro de todos los campos que quedan englobados aquí, el estudio del uso del agua en los regadíos juega un papel fundamental para determinar un posible ahorro, puesto que en España suponen un 70 %, aproximadamente, de la demanda total. La calificación de este uso puede realizarse a través de la eficiencia, que es un parámetro que intenta definir la magnitud de las pérdidas que se producen en el riego.

Tratando de profundizar en este tema, el CEDEX, a través del Centro de Estudios Hidrográficos, firmó un convenio con la Fundación Agustín de Bethencourt para el estudio de la eficiencia en zonas regables, fruto del cual es un trabajo cuyos aspectos fundamentales se presentan en este artículo.

Antecedentes

A pesar de tratarse de un tema de tanta importancia, no se había realizado un estudio sistemático, o al menos los autores del presente trabajo no tenían conocimiento de él, que estableciera con cierto rigor unos valores de eficiencia aplicables en nuestro país, necesarios tanto a nivel de planificación como de proyecto.

Cada vez se toma mayor conciencia de que el agua es un bien escaso. Y cobra mayor importancia la necesidad de realizar un empleo racional de la misma.

Así, mientras que la dosis neta que requieren los cultivos suele ser objeto de cálculos detallados, la dosis bruta, que es la que determinará el caudal que debe circular por las conducciones y, por tanto, sus dimensiones, se establece aplicando unos coeficientes más o menos arbitrarios, con lo cual se acrecienta enormemente la incertidumbre de la adecuación entre infraestructura prevista y necesidades reales. Conocer el orden de magnitud de las pérdidas es indispensable para tomar decisiones en dos campos distintos:

- Medidas para mejorar la explotación de los regadíos a la hora de rehabilitar los mismos, que es un tema de gran actualidad.

- Determinación de necesidades de agua realistas para los regadíos en la asignación de recursos que se realiza en la planificación.

A nivel internacional se dispone de bastantes referencias. Probablemente, el estudio más ambicioso es el realizado por la I.C.I.D. (International Commission on Irrigation and Drainage)¹, basándose en una encuesta que permitió obtener datos de 91 zonas regables distribuidas por todo el mundo. Sin embargo, solo contempla un regadío español, por lo que aplicar sus conclusiones a nuestras zona regables es, cuando menos, arriesgado.

A nivel nacional, desde el punto de vista conceptual, cabe destacar el documento «Eficiencia de riego» de Luján, recogido en la bibliografía, que supone una excelente recopilación de la experiencia internacional y una presentación de métodos para calcular la eficiencia. En cuanto a valores empleados en nuestro país, las únicas cifras que se

* Departamento de Ingeniería Civil: Hidráulica y Energética, de la E.T.S. I.C.C. y P. de Madrid.

¹ Bos y Nutgeren, *On Irrigation Efficiencies*. I.L.R.I., Wageningen, 1982.

1992), basadas en la división del regadío en tres fases diferentes, atendiendo a la función y al caudal que transportan las conducciones. La eficiencia siempre se define como cociente entre el volumen que sale del tramo y el que entra al mismo:

■ **Eficiencia de conducción:** corresponde a las pérdidas producidas entre la captación y las estructuras de derivación a la red de distribución. En el caso de riego por gravedad, coincide con los tradicionalmente denominados canales principales y secundarios y en el caso de riego a presión, con el tramo comprendido entre la captación y las estaciones de bombeo.

■ **Eficiencia de distribución:** engloba las pérdidas en la red de distribución, que en el caso de riego por gravedad coinciden con las acequias y regueras (conducciones en finca). En riego a presión, se refiere a las pérdidas que se producen entre la estación de bombeo y los hidrantes de la parcela.

■ **Eficiencia de aplicación:** indica las pérdidas entre la toma de la unidad de riego (o el hidrante en el caso de riego a presión) y la zona radicular del cultivo, es decir, las pérdidas que se producen en la parcela.

■ **Eficiencia global:** indica las pérdidas totales, desde la captación hasta la zona radicular de los cultivos. Su valor es el cociente entre el volumen total retenido en la zona radicular y el total derivado a la red en cabecera.

En la documentación básica de los planes hidrológicos no se sigue una nomenclatura homogénea en las distintas cuencas. Los valores adoptados en ellas, clasificados según las definiciones anteriores, se recogen en el cuadro nº 1. Puede comprobarse que predominan los valores englobados de la eficiencia, sin especificar a qué fase de la red corresponden, lo cual es lógico, si se considera que, como se dirá más adelante, no existían apenas datos en esta materia.

Escasez de datos de aforo

Para la realización del estudio se visitaron una serie de zonas distribuidas por las distintas cuencas hidrográficas, examinándolas sobre el terreno. El primer problema que aparece es la falta de datos de aforo. Para calcular las pérdidas en conducción es necesario conocer tanto los desembalses en cabecera, como los volúmenes derivados a la red de distribución. Pues bien, estos valores raramente existen completos y fiables, puesto que en la mayoría de las zonas está controlado únicamente el volumen en cabecera.

Otro inconveniente añadido es la fiabilidad de los datos. Es importante no perder de vista que las pérdidas en conducción pueden representar un volumen importante en términos absolutos, pero poco significativo en comparación con el total desembalsado o elevado en cabecera, por lo que pequeños errores acumulados en varias derivaciones pueden suponer un incremento o disminución ficticio de las pérdidas en un porcentaje importante.

Por desgracia, la fiabilidad de los datos de aforo es muy discutible en buena parte de los casos,

incluso en los que existen datos completos, con lo cual el número de zonas en las que se puede calcular la eficiencia de conducción disminuye aún más. A continuación se comentan los métodos de aforo encontrados en distintas zonas regables con sus ventajas e inconvenientes:

■ **Fórmulas de desagüe bajo compuerta:** constituyen una aproximación muy grosera. Las tablas de apertura-caudal deben ser ajustadas periódicamente con algún sistema más preciso de aforo, pues se han encontrado casos, donde al revisarlas aparecían errores de entre el 10 % y el 30 % según la apertura de la compuerta. Su principal inconveniente es que no suelen considerar el nivel de la lámina aguas abajo de la compuerta.

■ **Horas de funcionamiento de grupos de bombeo multiplicadas por el caudal nominal para obtener el volumen elevado.** Pueden dar errores considerables, ya que las condiciones de funcionamiento difieren en muchos casos de las ideales, lo que supone una disminución del rendimiento y, por tanto, del caudal elevado. De hecho, se ha encontrado el caso de una zona con una elevación en cabecera y otras dos en las dos derivaciones en la que empleando este procedimiento, la conclusión era que el canal «generaba» agua, es decir, salía más agua de la que entraba sin que existieran aportaciones intermedias.

■ **Limnímetros y limnígrafos en cabecera.** Tienen el inconveniente de que deben instalarse en zonas alejadas de las turbulencias, circunstancia que con frecuencia no se da en cabecera debido a la necesidad de separar una parte del caudal para otros usos o a la confluencia de dos caudales de distinto origen (por ejemplo, uso hidroeléct-

Cuadro nº 1

Cuenca	Método	E _{cond}	E _{dist}	E _{aplic}	E _{glob}
Tajo	Gravedad				0.6
	Aspersión				0.8
Guadiana				0.6-0.9	
Guadalquivir					0.7-0.8
Segura	Agua sup.	0.7		0.775	0.55
	Agua subt.	0.95			0.75
	Agua reut.	0.85			0.65
Júcar	Grav. Trad.	0.7		0.6	0.42
	Grav. Nuev. Reg.	0.85		0.75	0.65
	Aspersión	1		0.8	0.80
	Localizado	1		0.95	0.95
Rehabilitación	Gravedad				0.65
	Aspersión				0.8

Figura 2. Batería de módulos para distintos caudales en una derivación del Canal de Orellana.



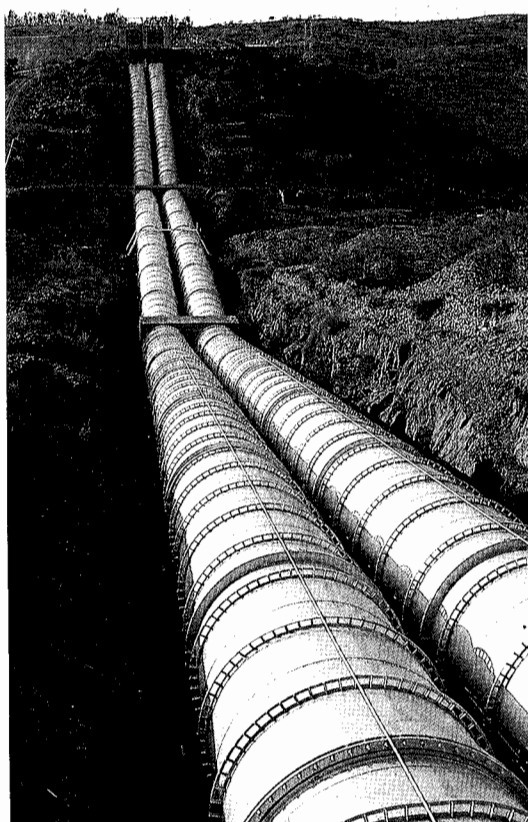
trico). Se han llegado a encontrar desviaciones de hasta un 22.5 % con respecto al valor real por esta causa.

■ Módulos instalados en cabecera y derivaciones. Estos aparatos permiten una mayor aproximación al caudal real que las tablas de desagüe bajo compuerta, si bien necesitan, al igual que éstas, calibraciones periódicas. Un dispositivo de este tipo puede verse en la figura 2. En algún caso estudiado se han llegado a encontrar errores medios del 11 % en una zona regable. Lo ideal es situar el módulo aguas abajo de una compuerta de nivel constante.

■ Aforador de ultrasonidos en tubería o en lámina libre. Es el que parece dar mejores resultados de todos los encontrados. En tubería se han utilizado ya profusamente (figura 3). En el caso de lámina libre, se pueden medir caudales directamente a través de niveles y velocidades. Un sistema de este tipo ha estado funcionando por primera vez en la campaña de 1992 en la Zona regable de Zújar.

Los métodos más precisos son también los más caros, por lo que en cada caso habrá que analizar si el ahorro de agua que puede permitir el conocer más exactamente la situación de un regadío justifica o no su instalación. En todo caso hay que tener presente que hoy en día no parece admisible justificar el mal empleo del recurso basándose en que las mejoras a introducir supondrían una repercusión económica mayor que el agua perdida, dada la interrelación existente entre los distintos sistemas y la repercusión suprarregional de cualquier sistema de explotación.

Figura 3. Sifón de la Dehesilla en el Canal de Orellana. Los cables adosados a las tuberías corresponden al aforador de ultrasonidos.



Composición de las pérdidas

Las pérdidas pueden tener tres orígenes distintos:

- Evaporación
- Infiltración
- Explotación

A continuación se examinarán las pérdidas en conducción.

Pérdidas por evaporación

En los casos estudiados, que comprenden características climáticas tan distintas como las de las provincias de Huesca, Cádiz o Sevilla, los valores obtenidos para las pérdidas por evaporación en canales revestidos oscilaban entre el 0.2 % y el 1.1 % del volumen desembalsado en la campaña. En el cálculo se ha considerado la evaporación neta, es decir, una vez descontada la precipitación y se ha tomado como constante durante todo el período de riego la lámina de agua correspondiente al caudal de proyecto, lo que queda del lado de la seguridad. Por ello, parece razonable adoptar un 1 % del volumen desembalsado como estimación para las pérdidas por evaporación en canales revestidos. Si se trata de canales sin revestir aumentarán ligeramente debido a la evapotranspiración de la vegetación que se desarrolle en el cauce.

Pérdidas por infiltración y explotación

Los valores determinantes de las pérdidas son los debidos a la infiltración y a la explotación. Es muy difícil separarlas. Cuando se trata de un canal revestido en explotación, las filtraciones se producen fundamentalmente a través de juntas o de grietas y no uniformemente a través de los paños, por lo que no son de aplicación las fórmulas y métodos empíricos existentes (con ellos se han obtenido valores más de 10 veces inferiores a los reales en algún caso).

Para canales excavados en tierra, al no existir las discontinuidades anteriores, las fórmulas y métodos existentes para determinar la infiltración parecen dar resultados coincidentes, en el único caso abordado, con los aforos de molinete (método propuesto por el U.S. Bureau of Reclamation y fórmula de Offengenden).

En las zonas en que ha sido posible calcular la eficiencia de conducción con una cierta fiabilidad, los valores obtenidos son del orden del 10 %. Se trata de canales revestidos de hormigón y en relativamente buen estado de conservación (cuadro n° 2):

Pérdidas de agua y sistemas de explotación

Es interesante comparar la evolución de las pérdidas a lo largo de la campaña en zonas con distintas estrategias de explotación. Por ejemplo,

Cinca y Orellana frente a Zújar. Hay que destacar la preocupación de los servicios de explotación correspondientes por disponer de datos que permitan tener un buen conocimiento de las pérdidas. En los dos primeros casos se trata de conducciones en lámina libre y riego mayoritario por gravedad, mientras que en Zújar es aspersión a la demanda, con una conducción en lámina libre y el resto (distribución), en tubería. En los tres casos el estado del revestimiento es relativamente bueno, sin desperfectos importantes a primera vista.

Pues bien, como puede comprobarse en los gráficos de la figura 4, en valor absoluto, las pérdidas en Cinca y Orellana aumentan con el desembalse, siendo máximas en el período punta de demanda, mientras que en Zújar disminuyen en este período. La explicación puede residir en las diferentes políticas seguidas para la explotación. Mientras que en los dos primeros casos se intenta mantener lo más constante posible la lámina de agua en la conducción, realizando el menor número posible de ajustes en cabecera, en el segundo se trata de adecuar el desembalse en cabecera a la demanda con mayor frecuencia.

En Cinca y Orellana predominan las pérdidas por infiltración, por lo que cuanto mayor es el caudal y por tanto la carga de agua en el canal, aumentan también las filtraciones, aunque más lentamente que el caudal conducido, justificándose así la evolución apreciada. En cambio en Zújar, la situación es distinta, predominando las pérdidas producidas como consecuencia de las maniobras de ajuste de caudal, cuyo número disminuye en el período punta de campaña, puesto que entonces la demanda es más uniforme, explicándose así el descenso de las pérdidas en esta época.

El resultado global de la campaña es casi idéntico en los tres casos en lo que a conducción se refiere. Un análisis posterior que contemple toda la red permitirá juzgar cuál de las dos estrategias es más adecuada.

Ratio demanda neta/desembalse y eficiencia global

Si el cálculo de la eficiencia de conducción presenta dificultades debido a la escasez generaliza-

Cuadro n° 2

Nombre de la zona regable	Eficiencia de conducción
Cinca	91 %
Orellana	90 %
Postrasvase margen dcha.	91 %
Postrasvase margen izq.	92 %
Zújar	87 %
Media total	90 %

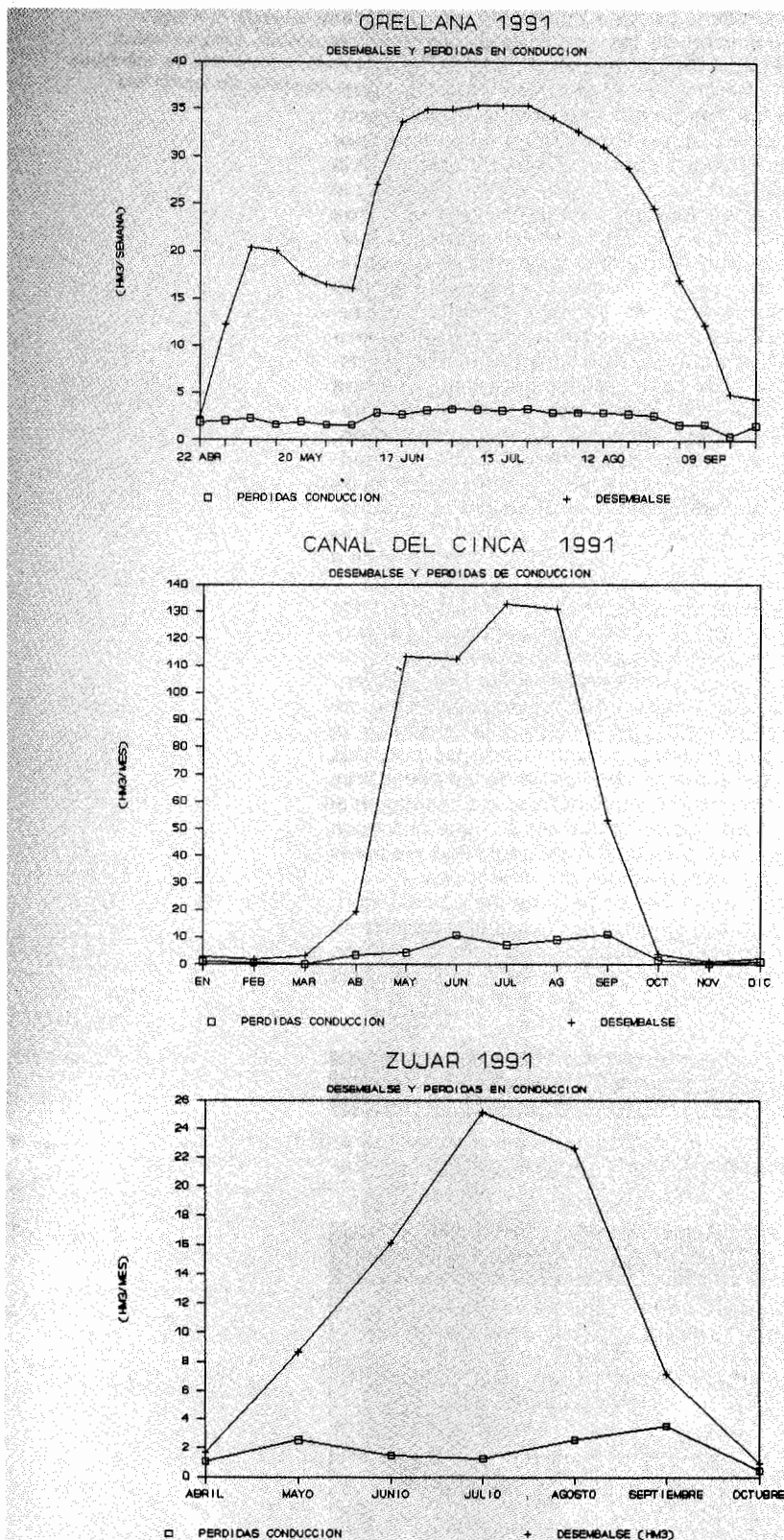


Figura 4. Gráficos con la evolución de las pérdidas y el desembalse en valores absolutos en las zonas regables de Orellana, Cinca y Zújar.

da de datos, el de la eficiencia global es prácticamente imposible; pues se acumulan las incertidumbres cometidas en los pasos anteriores. Por ello se ha introducido un parámetro que puede ser calculado en un gran número de zonas que acota

superiormente la eficiencia, o lo que es lo mismo, da un valor mínimo de las pérdidas globales y permite establecer comparaciones válidas entre distintos regadíos.

Se trata del ratio demanda neta/desembalse, que se define como el cociente entre estas dos magnitudes, expresadas en las mismas unidades. La demanda neta es la cantidad de agua que debe llegar a los cultivos para conseguir la producción máxima (que puede ser distinta de la correspondiente al óptimo económico), calculada a partir de las dotaciones de cada cultivo necesarias para ello (dotaciones máximas) y de la superficie que ocupa. Las dotaciones se obtienen como diferencia entre la evapotranspiración de la planta, calculada según el método de Penman-Monteith, y la precipitación efectiva en la zona correspondiente, teniendo en cuenta también la retención de agua en la zona radicular de las plantas.

El ratio así definido constituye un límite superior de la eficiencia global. 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 cultivos es inferior a la dotación máxima. Por este motivo la eficiencia global del sistema es casi siempre 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 reciban las plantas, teniendo en cuenta las pérdidas en conducción, distribución y aplicación, sea idéntico a las dotaciones máximas.

Para el cálculo, sólo se requiere conocer el desembalse en cabecera, la distribución de cultivos en la zona regable objeto de estudio y las dotaciones máximas de cada cultivo. Los dos primeros datos suelen estar disponibles en buen número de casos, pues son básicos para la explotación, si bien en el segundo pueden existir imprecisiones importantes. Las dotaciones pueden obtenerse para toda España en el documento «Dotaciones de riego máximas» (CEDEX, 1991). El ratio se ha calculado en 39 zonas distribuidas por ocho cuencas hidrográficas españolas. Es interesante comparar los resultados medios obtenidos con las eficiencias globales que se están empleando en la Documentación Básica de los planes hidrológicos, como se refleja en el cuadro nº 3, teniendo en cuenta que el ratio representa una cota superior de la eficiencia. Esta comparación debe ser meramente orientativa, pues en algunas cuencas el número de zonas estudiado es muy reducido.

Se ha estudiado la influencia de distintos factores en el ratio mediante análisis de regresión múltiple. Probablemente, el resultado más fiable y útil es la relación entre el ratio y el suministro bruto en cabecera (desembalse/superficie regada) en una zona regable, que puede apreciarse en el gráfico de la figura 5. La expresión de la recta es:

$$R = -0.00004966 \cdot S \text{ (m}^3/\text{ha)} + 1.0565$$

Los factores que parecen tener más influencia sobre el ratio son el suministro bruto, el coste del agua (pts/ha) y la evapotranspiración potencial.

Cuadro nº 3

Cuenca	Gravedad			Aspersión		
	Ratio medio	Nº de zonas	Plan Hidrolog.	Ratio medio	Nº de zonas	Plan Hidrolog.
Duero	41 %	2	—	—	0	—
Ebro	37 %	4	—	51 %	2	—
Guadalquivir	70 %	7	70 %-80 %	84 %	6	70 %-80 %
Guadiana	56 %	4	—	60 %	2	—
Júcar	67 %	10	42 %-65 %	—	0	80 %
Tajo	42 %	1	60 %	—	0	80 %
Sur	58 %	1	—	—	0	—

Menos determinantes parecen ser la magnitud de la superficie regada, el grado de parcelación y la fecha de comienzo de la explotación.

Es conveniente señalar algunos valores medios orientativos del ratio en función de distintas variables. Por ejemplo, distinguiendo entre riego por gravedad y riego a presión. El cuadro nº 4 recoge esta información. Los mayores ratios corresponden a zonas donde el suministro es pequeño, mientras que en las de suministros elevados, los ratios suelen ser más reducidos.

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

ANÁLISIS COMPARATIVO DE ZONAS REGABLES

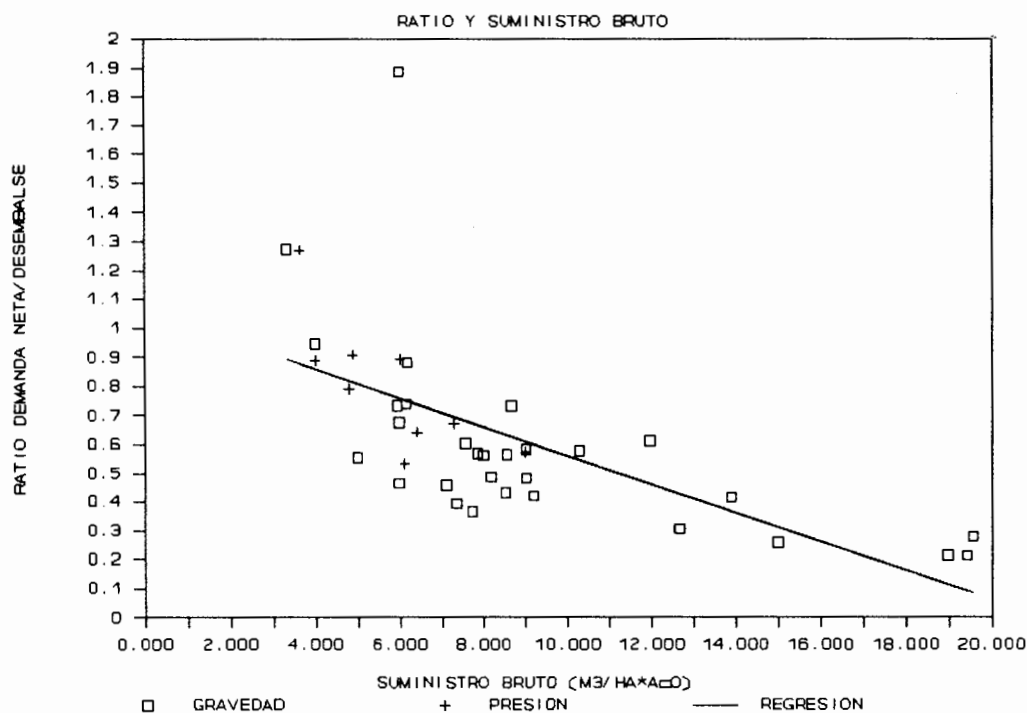


Figura 5. Relación entre el suministro bruto y el ratio.

Cuadro n° 4		
Sistema de riego	Ratio	Suministro anual bruto (M ³ /HA)
Gravedad	59 %	9231
Presión	80 %	5780
Media	64 %	8363

déficit hídrico en 8 de las 39 zonas en las que se ha calculado el ratio, lo que equivale a un 20 % del total.

Si se considera la fecha de comienzo de la explotación, a medida que el regadío es más reciente aumenta el ratio, puesto que mejoran los medios de explotación. En el cuadro n° 5 puede observarse la mejora que supone tanto la introducción del revestimiento en los canales (1950-1970), como de los sistemas de presión (a partir de 1970):

Respecto al grado de parcelación, medido como la media en una zona de la superficie regada por propietario, si se analiza por bandas, se obtiene el resultado reflejado en el cuadro n° 6.

Es decir, parece que al aumentar el tamaño medio de la propiedad, aumenta también el ratio; no se dispone de información para determinar dónde se detiene este crecimiento, pero es de suponer que existirá un tamaño óptimo a partir del cual decrecerá el ratio.

En cuanto al coste del agua, dada su importancia, se comentará más adelante con mayor detalle.

Cuadro n° 5		
Año comienzo de la explotación	N° de zonas	Ratio
Antes de 1900	12	48 %
1900 a 1950	5	57 %
1950-1970	15	62 %
Después de 1970	7	84 %

Cuadro n° 6		
Superficie regada media por propietario	N° de zonas	Ratio
< 2	11	53 %
2 - 5	12	60 %
5 - 10	9	73 %
> 10	5	84 %
Total	37	64 %

Geográficamente los valores del ratio presentan una distribución similar a la aridez de las zonas. Los valores más altos se presentan en aquellos lugares donde el agua es un recurso más limitado, como el Sur y Sureste de España.

Ahora puede combinarse la información existente en cuanto a eficiencia de conducción y ratio y retomar los casos ya comentados de Cinca y Orellana frente a Zújar. En los tres casos las pérdidas de conducción calculadas a partir de datos reales eran de un 10 % aproximadamente.

En Orellana existen además unos aforos de pérdidas globales por escorrentía (distribución y aplicación), que suponen aproximadamente un 30 % del desembalse. Es decir, las pérdidas globales en Orellana se sitúan en un 40 %. La eficiencia global es, por tanto, del 60 %, inferior al ratio, que resulta del 73 %.

A la vista de este resultado lo primero que hay que destacar es que las pérdidas en distribución y aplicación son tres veces superiores a las de conducción. Además, este 30 % de pérdidas es debido, fundamentalmente, a las deficiencias del sistema de distribución, perdiéndose cantidades importantes por desbordamiento de las acequias, aplicación excesiva, etc. Es decir, el mayor porcentaje de pérdidas no se produce aquí por déficit de infraestructura, sino por deficiencias en la explotación y organización del sistema de riego.

En la explotación es fundamental considerar el conjunto de la zona regable, para no caer en el error de optimizar el funcionamiento y como consecuencia la eficiencia en una de sus partes a costa de disminuirla en el resto. Esta coordinación es muchas veces complicada, debido a que la conducción suele ser competencia de una Confederación Hidrográfica y la distribución y aplicación, de una Comunidad de regantes. Además se está actualmente en período transitorio en esta materia, pues según la Ley de Aguas de 1985, la infraestructura debe ir siendo transferida progresivamente a las comunidades, tanto en lo referente a distribución del agua como a mantenimiento y reparaciones de la infraestructura. Fundamentalmente si se trata de riegos por gravedad antiguos (desarrollados entre 1950-1970 o anteriores) los regantes, tanto por falta de medios como, en determinados casos, de cierta mentalidad empresarial, no disponen de personal cualificado para realizar estas tareas, por lo que probablemente se producirá un aumento de la demanda de agua (ya comprobado en algún caso).

Zújar en cambio, no dispone de aforos de pérdidas por escorrentía, pues éstas no han sido significativas hasta la fecha, debido en parte a que el método de riego es aspersión. Las pérdidas en distribución y aplicación parecen ser más reducidas que en el caso anterior. En resumen, a unas mayores pérdidas en la conducción, debidas al sistema de explotación, parecen corresponder unas menores pérdidas en el resto de la red y globales. En cambio, si se minimizan las pérdidas en conducción a base de no modificar el caudal suministrado, sin adaptarse a las variaciones de la demanda, se aumentan considerablemente las pérdidas en las fases posteriores, que no pueden asumir este exceso.

En definitiva, parece imponerse la conclusión de que las medidas más eficaces de cara a reducir las pérdidas, en buena parte de los casos, no consisten en actuaciones sobre la infraestructura, que, indudablemente también son necesarias, sino en acciones tendentes a mejorar la organización y gestión del riego.

Sistema de tarifas y eficiencia

A continuación se exponen algunas consideraciones económicas. El sistema de tarifas es esencial para el buen uso del recurso. Las formas más usuales son pagar por hectárea o bien una tarifa binomia en la que intervenga el volumen consumido. A su vez, dentro de la primera, existen dos posibilidades: establecer diferencia entre hectárea regada y no regada o que todas paguen igual.

Tarifar por superficie exclusivamente es, a todas luces, inadecuado, puesto que no prima el ahorro de agua. Así, en las 28 zonas contempladas con este sistema, el ratio medio es el 61 %; en cambio, en las que existe un sistema binomio, parte por superficie y parte por volumen consumido, es el 77 %. Además, mientras que por superficie el ratio decrece al aumentar la tarifa (cuadro n° 7), con tarifa binomia ocurre lo contrario (en una primera aproximación, pues dado que el número total de casos contemplado es reducido, las conclusiones son siempre discutibles).

De hecho, el suministro bruto medio en zonas con tarifa por superficie es mayor (8.870 m³/ha) que en zonas con tarifa binomia (6.407 m³/ha). Desde luego, éste no es el único factor que influye, pues los casos de tarifa binomia estudiados se encuentran en áreas con mayor escasez de agua y suelen ser de creación más reciente y, por consiguiente, mejor equipados.

La implantación de una tarifa binomia requiere la existencia de contadores en las tomas. Por ello este sistema se emplea sobre todo en zonas relativamente modernas y con riego por aspersión. La instalación de estos contadores puede suponer una inversión demasiado elevada en muchos casos. En un primer paso podrían instalarse en tomas de las que se derive caudal para varios usuarios, que después deberían repartirse el coste del agua totalizada en el contador entre ellos según el sistema que juzgaran más conveniente. En sistemas de riego más recientes esto ya se ha establecido y está dando resultados satisfactorios. Incluso en riego por gravedad se ha implantado controlando el volumen suministrado a comunidades de regantes abastecidas desde un canal secundario. En todo caso para lámina libre, podrían instalarse como primer paso módulos Neyrpic en cabecera de acequias y distribuir el coste internamente entre los usuarios de la misma. El desembolso que exigiría esta medida podría ser asequible.

En todo caso, hay que tener presente que mientras al usuario no le compense económicamente emplear bien el agua, no lo hará. Esto tiene una doble vertiente: por un lado el beneficio que reporte el ahorro de agua debe, como mínimo, equiparar el coste necesario para conseguirlo (mano

Cuadro n° 7

Repercusión anual de las tarifas y derramas (pts/ha)	N° de zonas de riego por gravedad con cobro por superficie exclusivamente	Ratio medio
≤ 5000	8	81 %
5000-10000	9	57 %
> 10000	11	46 %
Total	28	59 %

de obra para vigilar el riego, sobre todo cuando un mismo propietario tiene varias parcelas relativamente distantes, preparación adecuada de las tierras, etc). Por otro lado, la zona debe reunir unas condiciones (clima, comercialización, etc) que, en presencia de agua, permitan una cierta rentabilidad de la agricultura.

Esta situación no se da en la mayoría de los casos actualmente, sobre todo en zonas de gravedad, donde la relación valor de la producción/coste del agua para el agricultor (ambos por m³) es muy elevada, pero con valores de la producción bajos, de forma que al usuario le es más favorable gastar más agua que esmerarse en su consumo. En zonas recientes de riego a presión, dicha relación es menor, pero con un valor de la producción mayor que permite emplear los medios necesarios para ahorrar agua y disminuir el coste por este motivo, que es un factor decisivo debido al precio de la energía necesaria para elevar el agua. Las tres zonas consideradas en el cuadro n° 8 corroboran lo anterior.

Infraestructura

Se comenta ahora la situación detectada en cuanto a la infraestructura y las posibles actuaciones en este campo, si bien conviene recordar que, en muchos casos, el ámbito prioritario de actuación debe ser la mejora de la gestión y organización.

Cuadro n° 8

Método de riego	Coste del agua para el agricultor (pts/M ³ (1))	Valor de la producción (pts/M ³ (2))	Productividad del agua (2)/(1)	Valor de la producción (pts/ha)
Gravedad	1.2	35	29	313000
Aspersión a la demanda	3.8	39	10	310000
Aspersión a la demanda	6.2	117	19	424000

Figura 6. Vertedero que crea una retención para derivar agua por la toma de aguas arriba (Zújar).



Respecto a los sistemas de aforo ya se han indicado antes las ventajas e inconvenientes de los que se han encontrado en las zonas regables visitadas. Unicamente cabe recalcar que constituyen un elemento decisivo para el aprovechamiento del agua.

Uno de los principales problemas encontrados es la existencia de tomas directas en el canal principal, que suele estar concebido para funcionar como elemento de transporte exclusivamente. Esto supone un condicionante importante para la explotación y regulación del canal, pues exige mantener una cota mínima de agua para permitir la derivación por estas tomas, que puede implicar

Figura 7. Compuertas tipo «by-pass». A la izquierda está el vertedero del «by-pass» y a la derecha el del aliviadero (Alagón).



un suministro en cabecera mayor que la demanda real y que se perderá en algún punto aguas abajo. Además, con frecuencia, se colocan estructuras para levantar la lámina que suponen un obstáculo a la circulación del agua, originando una pérdida de carga, una acumulación de suciedad y una nueva variable a considerar en la regulación. Uno de estos casos puede verse en la figura 6.

Posibles soluciones para esta situación pueden ser: utilizar el canal no sólo como elemento de transporte, sino también como «embalse regulador», para lo cual es necesario que tenga un volumen de almacenamiento suficientemente grande, de forma que la necesidad de tener una cota elevada de agua en el canal no suponga un suministro excesivo permanente en cabecera, sino que actuando con los grupos de compuertas se consiga mantener el nivel necesario con cierta independencia del desembalse en cabecera. En este sentido una solución muy buena son las compuertas tipo «by-pass» utilizadas en el Canal del Alagón, que pueden verse en la figura 7, pues permiten mantener una determinada cota aguas arriba del juego de compuertas y, a la vez, que el agua siga circulando aguas abajo una vez alcanzada esta cota.

Otra alternativa sería suprimir estas tomas directas haciendo una acequia paralela al canal principal, de la cual derivaran todas ellas. Así se sustituirían muchas extracciones por otra localizada en un solo punto, lo que facilita considerablemente la regulación.

Una característica habitual en muchos sistemas es la falta de agilidad de respuesta ante la variación de la demanda. Esto es lógico si se considera la enorme inercia hidráulica de la red, pues en muchos casos el agua tarda dos días o más en llegar al punto de destino desde que sale de cabe-



Figura 8. Revestimiento deteriorado en un canal principal (Alagón).

cera. La solución es reducir el tiempo de respuesta. Para ello pueden construirse balsas intermedias de regulación que independizan el tramo aguas arriba de ellas del tramo aguas abajo al que abastecen (independencia solo hasta cierto punto, marcado por la capacidad de la balsa).

En cuanto al estado del revestimiento, en general es bastante satisfactorio en las conducciones estudiadas. Sin embargo, existen algunos casos preocupantes, donde prácticamente ha llegado a desaparecer, como muestra la figura 8. En la red de distribución, la situación es muy distinta, con un deterioro generalizado en varios de los caso analizados (figura 9).

Los puntos más conflictivos son el acuerdo paños solera y las juntas entre paños. En el primer caso, una solución bastante efectiva para reducir las pérdidas es redondear el acuerdo para eliminar este punto singular. En cuanto a las juntas entre paños, suelen deteriorarse fácilmente. Parece dar buen resultado un sistema tradicional consistente en rebajar los extremos de los paños contiguos para colocar un mastic bituminoso que se recubre después con una capa de mortero de varios centímetros, como puede verse en la figura 10.

En buena parte de los canales revestidos visitados se observó la aparición de grietas longitudinales en los paños a una profundidad de entre $1/3$ y $2/3$ de la altura total, que delataban la necesidad de haber previsto una junta longitudinal en la ejecución de la obra (figura 11).

En cuanto a los medios de regulación, en la mayor parte de los casos se empleaban compuertas manuales. Unicamente en los más modernos, con mayor automatización, existían bien compuertas de nivel constante o bien compuertas telemandadas. La automatización presenta muchas venta-

jas. Sin embargo, a la hora de renovar la infraestructura o de implantar un sistema de riego nuevo, hay que buscar la solución óptima no solo desde el punto de vista tecnológico, que hoy permite un grado de automatización muy elevado, sino considerar también la experiencia ya adquirida en cuanto a las características del riego en la zona y las condiciones de explotación posterior, que, a veces, pueden recomendar un menor grado de automatización para lograr una gestión más eficaz (por ejemplo, las compuertas automáticas de nivel constante no parecen funcionar bien cuando la variación de niveles es frecuente). En

Figura 9. Aspecto de una acequia (Alagón).



todo caso, cada circunstancia particular debe ser objeto del correspondiente estudio.

En la mayoría de las zonas sería conveniente aumentar el presupuesto de la conservación del sistema hidráulico para permitir limpiezas y reparaciones periódicas que mantuvieran la capacidad de transporte prevista del canal, pues la acumulación de sedimentos y el desarrollo de vegetación en el revestimiento (ovas) suponen un aumento del rozamiento que se traduce en una sobreelevación, es decir, una pérdida de capacidad hidráulica. Asimismo, la reparación sistemática de las fisuras y de las juntas reduciría las pérdidas por infiltración.

Tanto las servidumbres de abastecimiento como las de riego suponen un condicionante para la realización de las tareas de mantenimiento, puesto que no permiten dejar en seco el canal fuera de campaña.

Figura 10. a) escalonado en dos paños contiguos y relleno de mastic bituminoso. (Canal del Cinca) b) junta ya cubierta ya con mortero. (Canal del Cinca).

Conclusiones

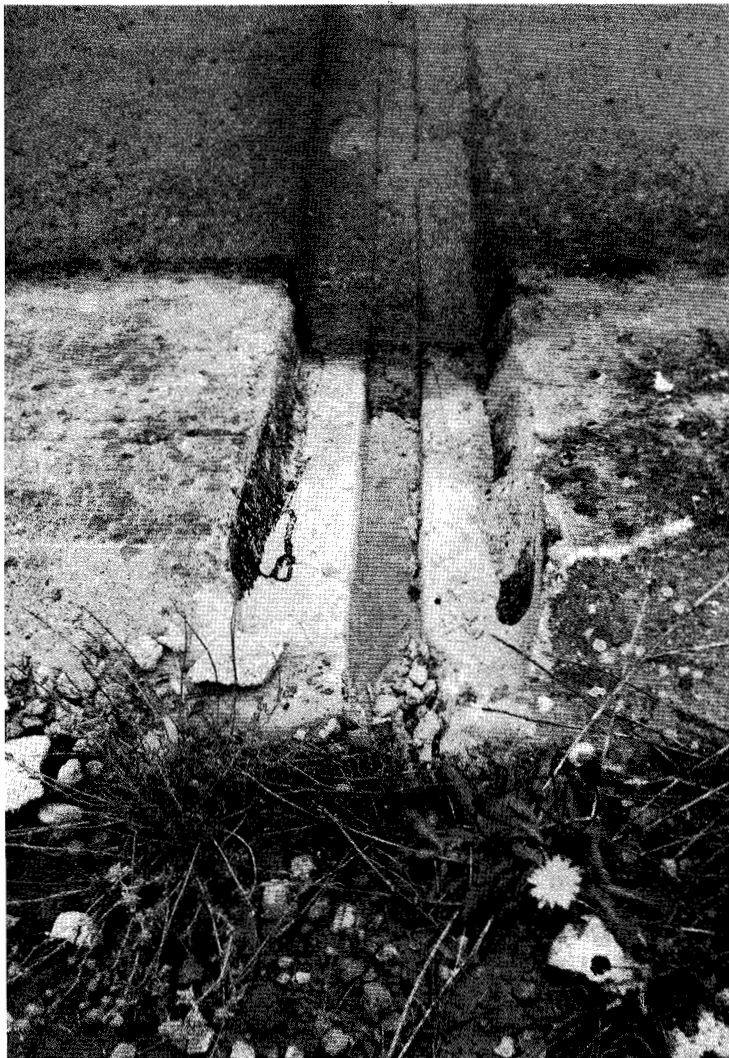
Lo primero que hay que hacer para mejorar una situación es conocerla. Por ello hay que destacar

la necesidad de incrementar la información existente en cuanto al uso del agua en zonas regables, realizando aforos fiables sistemáticamente, cuyo margen de error no sea tal que impida un cálculo de las pérdidas con cierta precisión. Para conseguirlo sería necesario una mayor concienciación sobre la importancia de este tema, así como una dotación presupuestaria suficiente que permitiera la instalación de aparatos adecuados y su mantenimiento.

En las zonas estudiadas se ha puesto claramente de manifiesto que la eficiencia está condicionada por multitud de factores que exceden el ámbito puramente hidráulico o de infraestructura, para entrar también de lleno en el campo de la explotación con todos los condicionantes económicos, sociales y agrícolas que conlleva.

La eficiencia de conducción, en los casos en que se ha podido calcular, oscila entre el 85 % y el 90 %, tratándose siempre de conducciones revestidas de hormigón o tuberías. El único canal en tierra estudiado podría tener alrededor del 70 %.

Se ha definido el ratio demanda neta/desembalse, que constituye un límite superior de la eficiencia global, cuyo valor medio para zonas de riego por gravedad ha resultado del 59 % y para riego



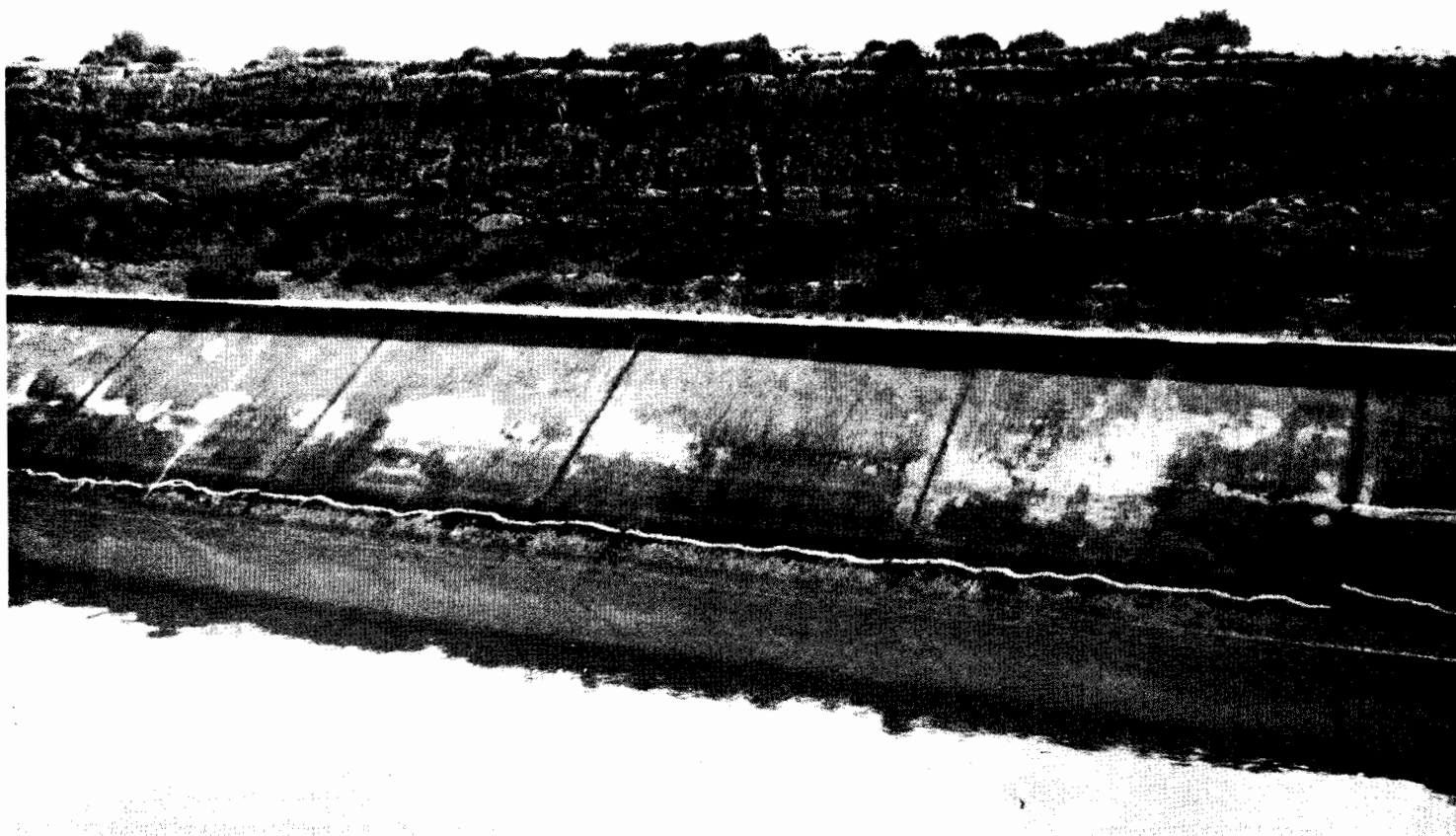


Figura 11: Grieta longitudinal sellada (Cinca).

a presión, del 80 %. El parámetro con el que parece guardar una relación más directa es el suministro bruto.

Las actuaciones para mejorar la eficiencia pueden englobarse en dos grupos: mejora de la infraestructura y de la gestión. Ambas están íntimamente relacionadas, pero teniendo en cuenta la situación expuesta en los epígrafes precedentes, puede ser más urgente y beneficioso desde el punto de vista de la racionalización del uso del recurso incidir en decisiones relativas a la gestión en primer lugar, intentando mejorar la organización del riego, si bien, esto dependerá de cada caso particular.

Dentro de la gestión, establecer una tarifa que prime el ahorro del agua es esencial. De hecho, los valores más altos del ratio corresponden a zonas con tarifa binomia, en la que una parte depende del 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 visitadas, a la Dirección General de Obras Hidráulicas y al I.A.R.A. 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 agrade-

cen a D. Javier Luján y D. Joaquín Rodríguez del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX su apoyo a lo largo del estudio.

Bibliografía

1. CEDEX. Dotaciones de riego máximas. Valores medios anuales netos (m^3/ha y año). Madrid, diciembre 1991.
2. Comunidad General de Riegos del Alto Aragón. Archivo.
3. Confederación Hidrográfica del Ebro. Archivo del Servicio de explotación (Huesca).
4. Confederación Hidrográfica del Guadiana. Memorias de explotación de la Zona regable de Orellana de 1975, 1988, 1989, 1990 y 1991. Don Benito.
5. Confederación Hidrográfica del Guadiana. Memorias de explotación de la Zona regable de Zuñar de 1988, 1989, 1990 y 1991. Don Benito.
6. Dirección General de Obras Hidráulicas. Fichas del Programa de modernización y mejora de zonas regables. M.O.P.T., 1991.
7. Fundación Agustín de Bethencourt (Santos, Florentino; García Cantón, Angel; Krinner, Wolfgang; Aldana, Angel Luis). Determinación de pérdidas de agua en canales de riego (11 tomos). Madrid, septiembre 1992.
8. García Cantón, Angel y Krinner, Wolfgang. «Eficiencia en canales de riego». Curso sobre rehabilitación de sistemas de riego. CEDEX. Madrid, junio 1992.
9. Luján, Javier. «Eficiencia de riego». CEDEX. (C.E.H.). Madrid, 1991.