 MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE	DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS HIDRÁULICAS Y CALIDAD DE LAS AGUAS
	Q 5017001 H CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
	OFICINA DE PLANIFICACION HIDROLOGICA

TRABAJOS DE CONSULTORIA Y ASISTENCIA		
PRESUPUESTO DEL ORGANISMO	CLAVE: 2005-PH-21.I	REF. CRONOLOGICA: 12/2005

TIPO:	ASISTENCIA TÉCNICA
TITULO:	RECOPILACIÓN DE SUMINISTROS EN CULTIVOS EFICIENTES DE LA CUENCA DEL EBRO Y COMPARACIÓN CON LAS DOTACIONES OBJETIVO

PRESUPUESTO DE CONTRATA:	9.000,21 euros
PRESUPUESTO DE ADJUDICACION:	9.000,21 euros

SERVICIO:	OFICINA DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA
DIRECTOR CHE:	MIGUEL ÁNGEL GARCÍA VERA
DIRECTOR CSIC:	ANTONIO MARTÍNEZ COB

TOMO:	TOMO ÚNICO	EJEMPLAR:	EJEMPLAR CSIC
CONTENIDO:	MEMORIA		

NUMERO ARCHIVO O P H:

OFICINA DE PLANIFICACION HIDROLOGICA
TRABAJOS DE CONSULTORIA Y ASISTENCIA

CLAVE: 2005-PH-21.I

TITULO: RECOPIACIÓN DE SUMINISTROS EN CULTIVOS EFICIENTES DE LA CUENCA DEL
EBRO Y COMPARACIÓN CON LAS DOTACIONES OBJETIVO

Zaragoza, a 11 de mayo de 2006

El Director de los trabajos por la CHE

El Director de los trabajos por el CSIC:

Fdo.: Miguel. A. García Vera

Fdo.: Antonio Martínez Cob

Examinado:
El Jefe de la O P H

Fdo.: Antonio Coch Flotats

**RECOPIACIÓN DE SUMINISTROS EN
CULTIVOS EFICIENTES DE LA CUENCA DEL
EBRO Y COMPARACIÓN CON LAS
DOTACIONES OBJETIVO**

Antonio Martínez-Cob, Enrique Playán Jubillar, José Cavero Campo
Estación Experimental Aula Dei, Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Avda. Montañana 1005, 50059 Zaragoza
e-mail (primer autor): macoan@eead.csic.es

RESUMEN

El objetivo de esta asistencia técnica ha sido la recopilación de datos de consumos reales de agua por distintos cultivos al nivel de parcela en diferentes zonas de la cuenca del Ebro, así como la comparación de estos consumos con las estimas de necesidades hídricas netas recogidas en los trabajos de CHE (1993a) y CHE (2004), con el fin de proceder a una validación de estas estimas en términos generales o de recomendar, en algunos casos, su revisión. En la medida de lo posible, se han recopilado datos de consumos en parcelas en las que existe una cierta garantía de que el regante realiza sus riegos de forma adecuada y de que los rendimientos son representativos de condiciones óptimas.

En primer lugar se realizó una revisión bibliográfica en la que se encontró que sólo existe un trabajo previo de características similares a las de este estudio realizado en la cuenca del Ebro (CHE, 1993b). En ese trabajo se recopilaron consumos de agua en cerca de 100 parcelas de toda la cuenca pero realmente la comparación con valores estimados de necesidades hídricas se realizó en CHE (2005). Asimismo, se constató la existencia de trabajos previos en que se re evaluaron los consumos de agua y las eficiencias de riego en distintas zonas regables de la cuenca del Ebro (Les Planes, Sector X del Cinca, Comunidad de Regantes de Almudévar, Comunidad de Regantes La Loma, Comunidad de Regantes V de Bardenas, Acequia Bayunga y Comunidad de Regantes La Campaña). La finalidad de estos trabajos fue realizar un diagnóstico de dichas zonas regables y, en su caso, proponer mejoras en la gestión de sus recursos hídricos.

Posteriormente, se recopilaron consumos de agua en distintas zonas regables de la cuenca del Ebro. Para ello se contactó con distintas entidades públicas y privadas, comunidades de regantes y agricultores particulares. En total, y tras un proceso de selección de la información recopilada, se obtuvieron registros de 2.754 parcelas, el 83,0 % regados a presión, para un total de 28 cultivos. En 3 de estos cultivos se consideró también la alternativa de riego deficitario controlado, por lo que en realidad se estudiaron 31 cultivos o 'tipos de cultivos' distintos. El cultivo más representado fue el maíz, del que se obtuvieron un total de 1.338 registros (el 92,8 % con riegos a presión); de la alfalfa se obtuvieron 493 registros (el 61,3 % con riegos a presión). Por el contrario, sólo se obtuvieron un registro del almendro y la berenjena y dos de la coliflor.

Los valores de consumo de agua por unidad de superficie mostraron una gran variabilidad. Los coeficientes de variación fueron altos y sólo en el albaricoquero y la cebolla fueron menores del 20 %. Cuando sólo se consideraron los riegos a presión, esa variabilidad apenas mejoró. Los consumos medios ponderados de agua de riego de las parcelas seleccionadas oscilaron entre $1.381 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para el viñedo y $11.501 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para el arroz. Como ejemplo, los valores de consumo medio de agua por unidad de superficie de la alfalfa fueron mayoritarios en el rango de 7.000 a 11.000 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$; en el maíz, en el rango de 5.000 a 9.000 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$; y en el melocotonero, en el

de 2.000 a 3.000 m³ ha⁻¹. La variabilidad en el consumo de agua por unidad de superficie disminuyó en general con el tamaño de la parcela considerada.

Las diferencias relativas medias ponderadas (DM_p) entre los consumos de agua y las estimas de necesidades hídricas (percentil del 80 %) obtenidas de CHE (2004) y CHE (1993a) ($NH80_{2004}$ y $NH80_{1993}$, respectivamente) también mostraron una gran variabilidad. En promedio, los consumos de agua de 14 de los cultivos estudiados fueron mayores que las estimas $NH80_{2004}$, los de 13 fueron menores y en 4 fueron prácticamente iguales. Respecto a las estimas $NH80_{1993}$, los consumos de agua de 10 cultivos fueron mayores y los de 7 cultivos fueron menores. Los resultados apenas variaron cuando se consideraron sólo los riegos a presión. La mayor diferencia media ponderada negativa respecto a las estimas $NH80_{2004}$ se obtuvo en el caso del espárrago (-56,7 %), lo que indica que en este cultivo los consumos de agua fueron claramente menores que sus necesidades hídricas. Por su parte, la mayor diferencia media ponderada positiva respecto a las estimas $NH80_{2004}$ se obtuvo en el caso de la judía verde (100,3 %) lo que indica que en este cultivo los consumos de agua fueron mucho mayores que las necesidades hídricas estimadas, lo que a su vez sugiere la necesidad de revisar el proceso de estimación de esas necesidades para este cultivo. Si se consideran sólo los cultivos con 19 o más registros, la mayor diferencia ponderada positiva se obtuvo en el guisante (58,9 %).

Por tanto, los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que se aplica más agua de la necesaria en términos generales. El promedio de los valores DM_p obtenidos en los distintos cultivos fue de 6,7 %, mientras que el promedio de los valores absolutos de DM_p fue de 27,5 %. Pero esta generalización esconde unas diferencias enormes entre distintos cultivos y también entre comarcas para un mismo cultivo. Los resultados sugieren que en algunos cultivos serían necesarios trabajos adicionales de investigación para mejorar el procedimiento de cálculo de sus necesidades hídricas.

Los resultados de este trabajo presentaron tres incertidumbres de tipo científico que afectan a su precisión: 1) la verificación en campo del carácter de eficiente de las parcelas seleccionadas que sólo se realizó de forma indirecta con las observaciones subjetivas de las personas que facilitaron los datos; 2) la naturaleza de las estimas de las necesidades hídricas utilizadas en las comparaciones; el uso de las necesidades hídricas de los años de observación de los consumos de agua presumiblemente podría aumentar la calidad de los resultados; y 3) la falta generalizada de datos acerca del rendimiento de los cultivos; no se puede descartar que los registros de consumos más bajos hayan dado lugar a producciones incompatibles con la sostenibilidad económica de las explotaciones.

ÍNDICE

RESUMEN.....	i
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Estructura del informe	1
1.2. Justificación y antecedentes	1
1.3. Situación geográfica.....	4
1.4. Objetivos	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Estudios de consumos reales de agua en parcelas eficientes.....	5
2.2. Estudios de consumos de agua en comunidades de regantes	7
3. MATERIAL Y MÉTODOS	19
3.1. Recopilación y selección de datos de consumo de agua.....	19
3.2. Análisis estadísticos.....	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1. Consumos reales de agua	27
4.2. Comparación entre los consumos de agua y las necesidades hídricas netas estimadas.....	34
5. CONCLUSIONES.....	47
6. RECOMENDACIONES.....	49
7. BIBLIOGRAFÍA.....	51
AGRADECIMIENTOS	55
ANEJO 1. DESCRIPCIÓN DEL CD ADJUNTO.....	57
ANEJO 2. ESTADÍSTICAS DE DIFERENCIAS ENTRE CONSUMOS Y NECESIDADES HÍDRICAS.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Comarcas en las que se obtuvieron consumos reales de agua en el estudio de CHE (1993b).....	6
Tabla 2.2. Medias, mínimos y máximos de las diferencias (en términos relativos) entre los consumos reales de agua recopilados en CHE (1993b) y las dotaciones objetivo estimadas en CHE (1993a). Adaptada de CHE (2005).....	7
Tabla 2.3. Medias, mínimos, máximos y coeficientes de variación (CV) de los volúmenes de agua aplicada a distintos cultivos en la comunidad de regantes de La Loma, Quinto de Ebro (Zaragoza), en 1989, 1995 y 1997. Adaptada de Dechmi (1998).....	10
Tabla 2.4. Medias y coeficientes de variación del índice de rendimiento estacional del riego (SIPI) calculados para los principales cultivos de la comunidad de regantes de La Loma, Quinto de Ebro (Zaragoza), en 1989, 1995 y 1997, Adaptada de Dechmi y col. (2003a).	10
Tabla 2.5. Medias y coeficientes de variación (CV) de los resultados de las evaluaciones de riego efectuadas en parcelas de la comunidad de regantes V de Bardenas durante 2000 y 2001. Adaptada de Lecina y col. (2005).....	12
Tabla 2.6. Parámetros de calidad del riego antes y después de la modernización en la comunidad de regantes de Caparroso (Navarra). TR, tiempo de riego. EA, eficiencia de aplicación. UD, uniformidad de distribución. Adaptada de Zapata Ruiz (2002).....	13
Tabla 2.7. Volúmenes medios anuales de agua aplicados en el riego por superficie (antes y después de la modernización) y en el riego a presión en la comunidad de regantes de Caparroso (Navarra). EA, eficiencias de aplicación estacionales. Adaptada de Zapata Ruiz (2002).	14
Tabla 2.8. Volúmenes totales y medios de agua aplicados en 2002 en el riego de distintos cultivos en la comunidad de regantes de La Campaña (Huesca). Adaptado de Cardeña (2004).....	15
Tabla 4.1. Estadísticos de los consumos de agua calculados para cada cultivo seleccionado, incluyendo todos los sistemas de riego (<i>casuística 1</i>). N , número de registros; CM_a , media aritmética; CM_p , media ponderada; CV_a , coeficiente de variación; M_{CM} , mediana; P_{CM10} , percentil del 10 %; P_{CM90} , percentil del 90 %. ...	28
Tabla 4.2. Estadísticos de los consumos de agua calculados para cada cultivo para la <i>casuística 2</i> (riegos a presión). N , número de registros; CM_a , media aritmética; CM_p , media ponderada; CV_a , coeficiente de variación; M_{CM} , mediana; P_{CM10} , percentil del 10 %; P_{CM90} , percentil del 90 %.....	29
Tabla 4.3. Frecuencias relativas (%) de distintos rangos de consumos de agua por unidad de superficie para distintos cultivos considerando, en su caso, todos los	

registros (<i>casuística 1, Cas. 1</i>) o sólo los registros con riegos a presión (<i>casuística 2, Cas. 2</i>).....	32
Tabla 4.4. Consumos medios ponderados de agua por unidad de superficie ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) para distintos rangos de superficie de parcela y para distintos cultivos considerando todos los sistemas de riego (<i>casuística 1</i>). <i>N</i> , número de registros.	34
Tabla 4.5. Superficie total disponible y media ponderada (DM_p) de los cocientes entre consumos reales de agua y necesidades hídricas estimadas (percentil 80) por CHE (2004) (<i>CHE0</i>) y CHE (1993a) (<i>CHE9</i>). <i>Casuísticas 1 y 2</i>	36
Tabla 4.6. Superficie y media ponderada (DM_p) de los cocientes entre consumos reales de agua y necesidades hídricas estimadas (percentil 80) por CHE (2004) (<i>CHE0</i>) y CHE (1993a) (<i>CHE9</i>), por cultivos y comarcas. <i>Casuísticas 1 y 2</i>	38
Tabla A2.1. Estadísticos de las diferencias relativas entre los consumos de agua y las necesidades hídricas netas (percentil del 80 %) estimadas en CHE (2004) para cada cultivo seleccionado, incluyendo todos los sistemas de riego (<i>casuística 1</i>). <i>N</i> , número de registros; DM_a , media aritmética; DM_p , media ponderada; M_{DM} , mediana; P_{DM10} , percentil del 10 %; P_{DM90} , percentil del 90 %.	68
Tabla A2.2. Estadísticos de las diferencias relativas entre los consumos de agua y las necesidades hídricas netas (percentil del 80 %) estimadas en CHE (1993a) para cada cultivo seleccionado, incluyendo todos los sistemas de riego (<i>casuística 1</i>). <i>N</i> , número de registros; DM_a , media aritmética; DM_p , media ponderada; M_{DM} , mediana; P_{DM10} , percentil del 10 %; P_{DM90} , percentil del 90 %.	69
Tabla A2.3. Estadísticos de las diferencias relativas entre los consumos de agua y las necesidades hídricas netas (percentil del 80 %) estimadas en CHE (2004) para cada cultivo para la <i>casuística 2</i> (riegos a presión). <i>N</i> , número de registros; DM_a , media aritmética; DM_p , media ponderada; M_{DM} , mediana; P_{DM10} , percentil del 10 %; P_{DM90} , percentil del 90 %.	69
Tabla A2.4. Estadísticos de las diferencias relativas entre los consumos de agua y las necesidades hídricas netas (percentil del 80 %) estimadas en CHE (1993a) para cada cultivo para la <i>casuística 2</i> (riegos a presión). <i>N</i> , número de registros; DM_a , media aritmética; DM_p , media ponderada; M_{DM} , mediana; P_{DM10} , percentil del 10 %; P_{DM90} , percentil del 90 %.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Superficies relativas de alfalfa, maíz y arroz con distintos niveles de agua de riego aplicada en 2002 en la comunidad de regantes de La Campaña (Huesca). Adaptado de Cardeña (2004).	16
Figura 2.2. Superficies relativas de cebada y trigo blando con distintos niveles de agua de riego aplicada en 2002 en la comunidad de regantes de La Campaña (Huesca). Adaptado de Cardeña (2004).	16
Figura 4.1. Consumos medios de agua por unidad de superficie calculados para distintos cultivos (<i>casuística</i> 1) como medias aritméticas [ecuación (1)] frente a: (A) los calculados como medias ponderadas [ecuación (2)]; (B) las medianas. Todos los sistemas de riego.....	30
Figura 4.2. Consumos de agua por unidad de superficie en alfalfa, girasol y maíz grano frente a la superficie de parcelas en todos los registros disponibles (<i>casuística</i> 1) o sólo en aquéllos con riegos a presión (<i>casuística</i> 2).....	33
Figura 4.3. Consumos de agua por unidad de superficie frente a la superficie de la parcela en los registros disponibles para melocotonero, olivar y viñedo.....	33
Figura 4.4. Diferencias relativas medias entre consumos de agua y necesidades hídricas netas (percentil del 80 %, <i>NH80</i>) para distintos cultivos (<i>casuística</i> 1), calculadas como medias aritméticas [ecuaciones (5a) y (5b)] frente a las calculadas como medias ponderadas [ecuaciones (6a) y (6b)]. Valores de <i>NH80</i> obtenidos de: (A) CHE (2004); (B) CHE (1993a).....	35
Figura 4.5. Diferencias relativas medias ponderadas (DM_p), para distintos cultivos (<i>casuística</i> 1), entre consumos de agua y necesidades hídricas netas (percentil del 80 %, <i>NH80</i>) obtenidas en CHE (2004) ($NH80_{2004}$) frente a las DM_p entre consumos de agua y las <i>NH80</i> obtenidas en CHE (1993a) ($NH80_{1993}$).	37
Figura 4.6. Valores de las diferencias relativas (D_{i2004}) entre los consumos de agua por unidad de superficie y las estimas $NH80_{2004}$ calculadas para 3 cultivos, alfalfa, girasol y maíz grano, frente a la superficie de las parcelas en todos los registros disponibles (<i>casuística</i> 1) o sólo en aquéllos con riegos a presión (<i>casuística</i> 2). 44	44
Figura 4.7. Valores de las diferencias relativas (D_{i2004}) entre los consumos de agua por unidad de superficie y las estimas $NH80_{2004}$ calculadas para 3 cultivos leñosos, melocotonero, olivar y viñedo, frente a la superficie de las parcelas en todos los registros disponibles.	45

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Estructura del informe

Este informe consta de un tomo único compuesto de las siguientes secciones:

- a) Resumen.
- b) Índice.
- c) Índice de Tablas.
- d) Índice de Figuras.
- e) Introducción.
- f) Revisión bibliográfica.
- g) Material y métodos.
- h) Resultados y discusión.
- i) Conclusiones.
- j) Recomendaciones.
- k) Bibliografía.
- l) Agradecimientos.

Además el tomo incluye dos Anejos y un CD adjunto en el que se almacenan los ficheros utilizados en este trabajo.

1.2. Justificación y antecedentes

El cálculo de las dotaciones objetivo de los regadíos de la cuenca del Ebro es un aspecto de gran importancia para la planificación de los recursos hídricos. Para la elaboración del Plan Hidrológico de Cuenca (1998) se realizó un estudio de gran alcance (CHE, 1993a) en el que se obtuvieron los valores de las dotaciones objetivo de los principales cultivos de cada comarca agraria de la cuenca del Ebro. Estas dotaciones se utilizan actualmente para la información sobre la compatibilidad con el Plan Hidrológico de las concesiones de agua para regadío solicitadas a la Confederación Hidrográfica del Ebro.

La determinación de las dotaciones de los cultivos se realiza generalmente a partir de los datos meteorológicos recopilados en distintas estaciones meteorológicas y de las fechas de las etapas fenológicas de los cultivos, mediante la aplicación de la metodología propuesta por la FAO (Doorenbos y Pruitt, 1976; Allen y col., 1998). En esta metodología, un aspecto fundamental es el cálculo de la denominada evapotranspiración de referencia (ET_0), que representa el efecto del clima sobre la evapotranspiración de los cultivos (ET_c). Existen distintos métodos de cálculo de la ET_0 disponibles en la bibliografía. En CHE (1993a) se utilizó el método de Penman modificado por la FAO (Doorenbos y Pruitt, 1976). Estudios posteriores de revisión de las necesidades hídricas de los cultivos en algunas zonas de la cuenca del Ebro utilizaron otros métodos, como los de FAO Penman-Monteith, FAO Blannay-Cridle o Hargreaves (CEDEX, 1996; CHE, 1996, 1997, 2001; Martínez-Cob

y col., 1998; Tejero, 2003). En la actualidad, existe gran consenso en la comunidad científica en que el método de FAO Penman-Monteith es el más adecuado y preciso en la mayoría de las condiciones climáticas para la estimación de la ET_0 (Allen y col., 1998). Este método también ha sido evaluado positivamente en las condiciones semiáridas de buena parte de los regadíos españoles (Berengena y col., 2001; Lecina y col., 2003). Por esta razón, la red de estaciones meteorológicas automáticas que se ha instalado en la mayor parte de las zonas regables de España bajo los auspicios del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (red SIAR) recopila toda la información meteorológica necesaria para la estimación de la ET_0 con dicho método. Las estimas correspondientes de esta variable se actualizan y publican diariamente en las páginas *Web* de los distintos Servicios de Asesoramiento al Regante de las Comunidades Autónomas (CC.AA.). Algunas CC.AA. que no participan en la red SIAR (La Rioja, Cataluña, Navarra y País Vasco) han instalado no obstante redes de estaciones meteorológicas de similares características.

Sin embargo, la red SIAR (y las redes similares instaladas en las CC.AA. antes citadas) es de reciente implantación. Las primeras estaciones de esta red son de principios de este siglo. Por ello, en trabajos de estimación de las necesidades hídricas de los cultivos para el diseño y planificación de polígonos y sistemas de riego sigue siendo necesaria la utilización de la red de estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología que, salvo en puntos concretos como aeropuertos, sólo registra datos de temperatura y precipitación. El uso del método de FAO Penman-Monteith es imposible en estas circunstancias. Allen y col. (1998) proponen, en estos casos, la utilización del método de Hargreaves. Este método ha sido evaluado positivamente en las condiciones climáticas del valle del Ebro, aunque las estimas de ET_0 sólo son válidas a escala mensual y se precisa una calibración local según las características generales del viento de la zona (Martínez-Cob y Tejero, 2004). En 2004, se realizó un nuevo trabajo de revisión de las necesidades hídricas de los cultivos en toda la cuenca del Ebro (CHE, 2004). En este trabajo, por las razones antes apuntadas, se empleó el método de Hargreaves para la estimación de la ET_0 en cada una de las comarcas de la cuenca.

Todos los trabajos citados de cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos siguen la misma metodología básica para el cálculo del efecto del cultivo sobre la ET_c mediante el cálculo de los denominados coeficientes de cultivo (K_c) de acuerdo con las recomendaciones de la FAO (Allen y col., 1998). Las principales diferencias en el cálculo de los K_c entre los distintos trabajos residen en la fenología utilizada para cada cultivo. En España, salvo para unos pocos cultivos y en muy pocas zonas, no existe una serie de registros históricos de fenología. En los trabajos de revisión de necesidades hídricas de los cultivos, esta información fenológica se recopila mediante entrevistas y encuestas con especialistas en riego, agrónomos y agricultores. Debido a esa falta de registros históricos, la información fenológica recopilada en esas encuestas es, en el mejor de los casos, representativa sólo de unas condiciones generales aproximadas para un año medio. Por ello, se debe utilizar la misma información fenológica en los distintos años en los que se pretende estimar las necesidades hídricas de los cultivos. Asimismo, en bastantes casos,

como ocurre con las hortícolas y los frutales, la división fenológica propuesta por la FAO no se adapta adecuadamente a la realidad que los especialistas en riego, agrónomos y agricultores conocen. Consecuentemente, la incertidumbre en la recopilación de la información fenológica es aún mayor que en los cultivos extensivos. Por último, la necesidad de realizar estimas de necesidades hídricas de los cultivos que sean lo más generales posibles no permite contemplar toda la complejidad que existe en cuanto a variedades, ciclos de cultivo, prácticas agronómicas, tipos de suelo, etc.

En consecuencia, en todos los trabajos de estimación de necesidades hídricas de los cultivos realizados hasta la fecha en la cuenca del Ebro (CHE, 1993a; CEDEX, 1996; CHE, 1996; CHE, 1997; CHE, 2001, Martínez-Cob y col., 1998; Tejero, 2003), existe una incertidumbre importante en las necesidades hídricas estimadas para los distintos cultivos. La validación de estas estimas es complicada por el gran número de cultivos, variedades y ciclos de cultivo existentes y la falta de suficientes medios para su investigación con procedimientos científicos, aparte de que se necesitaría un importante número de años para llevarla a cabo.

Por ello, una alternativa más simple podría ser la comparación de las estimas de necesidades hídricas con los consumos reales de agua utilizada en parcelas concretas. Los consumos de agua que se deben utilizar en estas comparaciones deben corresponder a parcelas en las que se tenga un mínimo de garantías de que el agricultor es un buen regante y realiza sus calendarios de riegos con unos mínimos criterios de eficiencia. Asimismo, se precisa que los rendimientos de los cultivos obtenidos en esas parcelas sean representativos de unas condiciones óptimas, sin estreses abióticos y bióticos de importancia. Naturalmente, la selección de parcelas con estas características también es complicada porque pocos son los casos en que un agricultor deja constancia escrita de todas las características que podrían asegurar que la parcela cumple los requisitos mínimos necesarios. En muchos casos, por ejemplo, el agricultor no mantiene registros de las producciones que ha obtenido en distintos años (o es reacio a proporcionar dicha información), de posibles estreses que su cultivo haya sufrido, de las distintas incidencias en el funcionamiento de su sistema de riego, etc. Incluso, simplemente, lo que ocurre es que en muchos casos sólo se dispone del volumen de agua que se le ha facturado al agricultor (normalmente, sin individualizar por cultivos) que no necesariamente coincide con el volumen que realmente ha consumido en sus riegos.

Por ello, las comparaciones entre las estimas de necesidades hídricas y los consumos reales de agua deben realizarse, en general, con la idea de que, sólo si se encuentran diferencias realmente importantes (del 50 % o más) entre las estimas y los consumos reales de un determinado cultivo, será necesaria la revisión en profundidad de dichas estimas. En los restantes casos, dicha revisión puede ser quizás recomendable o, si las diferencias entre las estimas y los consumos reales son menores de un 20-30 %, pudiera no ser necesaria, siempre hablando en términos muy generales.

1.3. Situación geográfica

El trabajo que se describe en este informe se ha realizado en el ámbito geográfico de toda la cuenca del Ebro, aunque la mayor parte de la información recopilada procede de Aragón y Navarra ya que, por las circunstancias que se explican en el texto, se ha obtenido poca información de las otras CC.AA. que forman parte de la cuenca del Ebro.

1.4. Objetivos

Los objetivos de esta asistencia técnica han sido: 1) la recopilación de datos de consumos reales de agua por distintos cultivos, al nivel de parcela, en diferentes zonas de la cuenca del Ebro; en la medida de lo posible se han recopilado datos de consumos en parcelas en las que existe una cierta garantía de que el regante realiza sus riegos de forma adecuada y de que los rendimientos son representativos de condiciones óptimas; y 2) la comparación de estos consumos con las estimas de necesidades hídricas netas recogidas en los trabajos de CHE (1993a) y CHE (2004), con el fin de proceder a una validación de estas estimas en términos generales o de recomendar, en algunos casos, su revisión.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Estudios de consumos reales de agua en parcelas eficientes

El trabajo de CHE (1993b) realizó una recopilación de consumos reales de agua en una serie de parcelas de distintas zonas de la cuenca del Ebro. La selección de parcelas se realizó en principio en base a su eficiencia. Pero, en realidad, tal como se recoge en la memoria descriptiva del trabajo, los datos recopilados de consumo de agua fueron los que el agricultor, en base a “su buen juicio y experiencia”, aportó a la parcela correspondiente. Un problema metodológico fundamental para seleccionar parcelas eficientes es que con frecuencia la eficiencia de riego en una parcela se determina por comparación de los consumos de agua medidos en distintas fechas con las estimas de necesidades hídricas calculadas para esa parcela. Lógicamente, si se eligieran parcelas consideradas eficientes siguiendo este esquema, la similitud entre los consumos reales de agua y las necesidades hídricas estimadas debería ser muy alta pues esta comparación no utilizaría elementos independientes para la validación. Por ello, en este tipo de trabajos y en el que se describe en este informe, a lo más que se puede pretender llegar es a recopilar parcelas en las que ‘parece’ que el agricultor realiza sus tareas adecuadamente; este ‘parece’ será en el mejor de los casos una apreciación subjetiva del técnico que encueste a los regantes o de la consideración que se le tenga en la zona (por ejemplo, en la comunidad de regantes) al agricultor o agricultores seleccionados. Por estas razones también es conveniente recopilar información que permita al técnico apreciar si los rendimientos de los cultivos en las parcelas seleccionadas son representativos de condiciones óptimas, aunque esta información sea también en muchos casos subjetiva.

En definitiva, en el trabajo de CHE (1993b) básicamente sólo se realizó una recopilación de consumos reales de agua en distintas zonas y para diferentes cultivos. Se describieron las características generales de las parcelas seleccionadas pero no se realizaron realmente comparaciones entre esos consumos y las necesidades hídricas estimadas para los cultivos estudiados (por ejemplo, en el trabajo de CHE, 1993a). Se obtuvieron consumos reales de agua para 10 cultivos (alfalfa, arroz, cebada, girasol, guisante, maíz, manzano, melocotonero, peral y trigo) en 12 comarcas de la cuenca del Ebro, en un total de 98 parcelas (Tabla 2.1). La mayor parte de los consumos se recopilaron en Aragón, el 77,6 %. El cultivo más estudiado fue el maíz grano, en 33 parcelas (33,7 %), seguido de la alfalfa, en 24 parcelas (24,5 %). Ambos son los cultivos mayoritarios en muchas de las zonas regables de la cuenca del Ebro.

En el trabajo de CHE (2005) se compararon los consumos reales de agua recopilados en CHE (1993b) con las estimas de dotaciones objetivo de riego (con un nivel de probabilidad de ocurrencia del 80 %) obtenidas en CHE (1993a). Estas dotaciones objetivo se obtuvieron suponiendo que la eficiencia de los diferentes

sistemas de riego al nivel de parcela era del 60 %. Esta comparación sólo se efectuó para 74 de las 98 parcelas recopiladas en CHE (1993b).

Tabla 2.1. Comarcas en las que se obtuvieron consumos reales de agua en el estudio de CHE (1993b).

CC.AA.	Comarca	Cultivo										
		Alfalfa	Arroz	Cebada	Girasol	Guisante	Maíz grano	Manzano	Melocotonero	Peral	Trigo	Total cultivo
Aragón	Binéfar				1		2					3
	Cariñena							1				1
	Caspe					3	3		3			9
	Épila - La Almunia				2			2	1	1	1	7
	Fraga	6					5					11
	Monzón		6	2			3					11
	Quinto de Ebro	9		1	4		4		3			21
	Tamarite de Litera	6		1	1		3		1	1		13
	<i>Subtotal Aragón</i>	21	6	4	8	3	20	3	8	2	1	76
Cataluña	Noguera	3		1			2					6
	Plà d'Urgell						2					2
	<i>Subtotal Cataluña</i>	3		1			4					8
Navarra	Ribera Baja Navarra			1		1	4		3			9
	<i>Subtotal Navarra</i>			1		1	4		3			9
La Rioja	Santo Domingo de la Calzada						5					5
	<i>Subtotal La Rioja</i>						5					5
TOTAL		24	6	6	8	4	33	3	11	2	1	98

La Tabla 2.2 resume los resultados de las comparaciones efectuadas. En promedio, las diferencias entre los consumos reales y las dotaciones objetivo fueron en general pequeñas. Considerando todos los cultivos conjuntamente, la diferencia media fue de -6,4 %; es decir, en promedio, los consumos reales fueron algo menores que las dotaciones objetivo. No obstante, los consumos reales de agua del manzano y del melocotonero fueron en promedio bastante menores (más del 95 %) que sus respectivas dotaciones objetivo (Tabla 2.2). Es preciso tener en cuenta el pequeño número de parcelas muestreadas sobre todo en el caso del manzano, sólo 3 (Tabla 2.1). Los resultados de la Tabla 2.2 sugieren que, en general, las eficiencias medias de los sistemas de riego analizados son aproximadamente del 60 %, aunque las eficiencias particulares en cada parcela muestreada presentan una considerable variación de acuerdo con los valores mínimos y máximos obtenidos para las diferencias analizadas en cada caso.

Tabla 2.2. Medias, mínimos y máximos de las diferencias (en términos relativos) entre los consumos reales de agua recopilados en CHE (1993b) y las dotaciones objetivo estimadas en CHE (1993a). Adaptada de CHE (2005).

Cultivo	Media (%)	Mínima (%)	Máxima (%)
Alfalfa	2,5	-43,9	34,9
Arroz	10,7	3,5	30,5
Cebada	5,8	-22,0	25,0
Girasol	-11,1	-38,6	9,8
Guisante	-6,4	-6,4	-6,4
Maíz	8,7	-23,4	31,4
Manzano	-107,6	-146,6	-77,8
Melocotonero	-95,7	-131,0	-6,8
Peral	-1,9	-10,0	6,1
Todos los cultivos	-6,4	-146,6	34,9

2.2. Estudios de consumos de agua en comunidades de regantes

Diversos trabajos han analizado los consumos de agua dentro de comunidades de regantes o polígonos de riego incluyendo todas las parcelas existentes, sin entrar en consideraciones de si eran o no eficientes. En general, el objetivo de esos trabajos fue precisamente evaluar las eficiencias de riego dentro de esas comunidades de regantes y cartografiar su variabilidad espacial con el fin de, en su caso, proponer medidas para mejorar la gestión y manejo de los recursos hídricos dentro de esas zonas. A continuación se presentan los estudios que se han encontrado en la literatura, así como una discusión acerca de su aportación a la problemática de la determinación de consumos de agua eficientes.

Zona de "Les Planes", Colectividad 13 de los canales de Urgell (Lérida)

Este estudio fue presentado por Cots y col. (1993) y detalla diversos aspectos de la hidrología agrícola del regadío de la zona de estudio. El sistema de riego era por superficie, con distribución de agua en canales. Los autores realizaron evaluaciones de riego en parcelas con distintos cultivos, de las que obtuvieron estimaciones de la eficiencia de aplicación. Las eficiencias de riego se situaron en el entorno del 24-26% para manzano, maíz, trigo y alfalfa, mientras que para el cultivo de cebolla la eficiencia resultó ser del 53%. Al ser el número de evaluaciones en cada cultivo limitado, no parece adecuado asociar los valores de eficiencia con cada uno de los cultivos. Por ello se puede concluir que la eficiencia de aplicación difícilmente superaría el 26 % en las condiciones del estudio. El factor limitante de la eficiencia de riego fue la escasa capacidad de retención de agua de los suelos de la zona de estudio. Los autores sugirieron una serie de medidas para mejorar la eficiencia de aplicación, entre las que se encontraba la mejora de la nivelación, el asurcado y el control del tiempo de corte del riego.

Comunidad de Regantes de Almudévar (Huesca)

Este estudio se describe en Faci y col. (2000) y se realizó en 1994. Por aquella época la comunidad de regantes de Almudévar tenía 3.579 ha, de las que la práctica totalidad se regaba por superficie. En esta comunidad se dispuso de registros de agua facturada, excepto en los turnos de rotación de frecuencia variable (20 % del total). En el año de estudio, los cultivos principales fueron maíz (38,2 %), alfalfa (26,7 %), trigo (22,8 %) y girasol (10,1). El volumen de agua facturada fue inversamente proporcional al tamaño de la parcela. El volumen medio de agua facturada a los agricultores en 1994 fue de $14.109 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$; en el caso de parcelas de menos de 0,5 ha fue de $49.170 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, mientras los valores medios para parcelas mayores de 5 ha fueron $9.100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Téngase en cuenta que la comunidad suministraba el agua en múltiplos de 1.000 m^3 , cantidad mínima facturada independientemente del agua realmente usada.

En este estudio también se calculó el denominado *índice de rendimiento estacional del riego* (SIPI) que es el cociente entre la ET_c del cultivo y el volumen de agua aplicado, expresado en tanto por ciento. En consecuencia, si el índice es inferior a 100 %, el cultivo se riega en exceso y, si es superior a 100 %, el cultivo no se riega suficiente. Los promedios del SIPI fueron del 50 % para el maíz y del 116 % para el girasol. Valores de SIPI entre 20 y 60 % se observaron en un 75 % de la superficie ocupada por el maíz y en un 4 % de esa superficie en el caso del girasol. Considerando toda la zona regable de la comunidad de regantes, el SIPI medio fue del 70 % y el total del área con SIPI entre 20 y 60 % fue del 41 %. Es decir, en promedio, el volumen de agua de riego facturada fue un 43 % mayor que las necesidades hídricas netas de riego.

El sector X de la zona regable del Cinca (Huesca)

Este trabajo fue realizado por la empresa pública Tragsa a instancias del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, dentro del Plan Nacional de Regadíos, horizonte 2008 (Carcelén y col., 2002). La finalidad del trabajo fue evaluar un perímetro de riego en explotación, con un estado de las infraestructuras deficiente, y a su vez integrado en una gran Zona Regable. Se evaluaron aspectos relacionados con el uso del agua de riego, aunque también se analizaron aspectos medioambientales, económicos y sociales, con el objetivo de generalizarlos para la evaluación de grandes zonas regables. El estudio detalla la realización de cuatro evaluaciones de riego en parcela. En las tres primeras, con cultivo de maíz regado por aspersión, se alcanzaron eficiencias del 82, 31 y 42%. En la cuarta parcela, con un cultivo de girasol regado por superficie, la eficiencia fue estimada en un 100% porque el riego fue muy deficitario.

Comunidad de Regantes La Loma (Quinto de Ebro, Zaragoza)

Este trabajo se describe detalladamente en Dechmi (1998), Tejero (1999) y Dechmi y col. (2003a) y se realizó en 1998 y 1999. En este municipio hay dos zonas de riego: a) el nuevo polígono de riego, de 2.606 ha y 490 parcelas catastrales, regado mayoritariamente por aspersión; b) la zona tradicional de riego, de 1.000 ha, regada por superficie.

El estudio se centró en el nuevo polígono de riego. En esta zona los riegos se realizan a la demanda. Los técnicos de la comunidad de regantes anotan mensualmente las lecturas de los contadores de agua. El secretario de la comunidad almacena las lecturas, determina los volúmenes de agua usada y factura mensualmente a cada agricultor. Algunos hidrantes suministran agua sólo a un agricultor, mientras que otros son compartidos por varios agricultores. En este último caso, el secretario de la comunidad divide los costes del agua según el nombre, fecha y volumen de agua registrado por los mismos agricultores. Los datos suministrados para el trabajo fueron los volúmenes de agua facturada a los agricultores que, por tanto, se supusieron equivalentes a los volúmenes de agua utilizada realmente.

Se obtuvieron los volúmenes totales de agua facturada en toda la comunidad de regantes desde 1987 a 1997. Los valores variaron entre 8,5 Hm³ en 1987 y 22 Hm³ en 1995. Además, se obtuvieron volúmenes de agua facturada detallados por cultivos en 1989, 1995 y 1997. La Tabla 2.3 resume los volúmenes de agua facturada en esos tres años para los principales cultivos: alfalfa, maíz grano, girasol, trigo y árboles frutales (no se indican los volúmenes de agua facturada en parcelas con otros cultivos industriales, cultivos mixtos u hortícolas por su escasa relevancia relativa). Los coeficientes de variación fueron más bien altos, superiores al 28 %. En 1989, el maíz consumió el 48 % del agua facturada en la comunidad de regantes y el trigo, el 30 %. Sin embargo, en 1995 y 1997, el cultivo que consumió más agua fue la alfalfa, 50 y 53 %, respectivamente. Considerando conjuntamente los tres años, el volumen de agua aplicado en la alfalfa varió de 5.060 a 10.220 m³ ha⁻¹ (media, 6.750 m³ ha⁻¹; coeficiente de variación, 22 %); en el maíz, de 6.010 a 8.610 m³ ha⁻¹ (media, 6.840 m³ ha⁻¹; coeficiente de variación, 18 %).

Se calcularon valores de SIPI por parcela catastral, con los que se realizaron mapas de la variabilidad espacial de esta variable. Asimismo, se calcularon valores de SIPI por cultivo (Tabla 2.4), valores que indican que en general se aplica menos agua de la necesaria. Esto parece deberse al coste del agua bombeada desde el río Ebro.

En un estudio de simulación de cultivos llevado a cabo sobre parcelas regadas por hidrantes compartidos en Quinto, Dechmi y col (2003b) cuantificaron el efecto sobre el rendimiento de la alfalfa del riego deficitario. Así, llegaron a la conclusión de que el rendimiento fue entre un 10 y un 17 % inferior al máximo. Para alcanzar el rendimiento máximo, los agricultores deberían haber aportado entre 13 y 254 mm adicionales. El estudio económico reveló que el riego que conduce a la producción máxima resultaba más ventajoso que el riego deficitario. El bajo nivel de automatización en parcela parece haber sido una de las razones por las que el riego fue deficitario en esta comunidad.

Tabla 2.3. Medias, mínimos, máximos y coeficientes de variación (CV) de los volúmenes de agua aplicada a distintos cultivos en la comunidad de regantes de La Loma, Quinto de Ebro (Zaragoza), en 1989, 1995 y 1997. Adaptada de Dechmi (1998).

Cultivo	Año	Volumen de agua (m ³ ha ⁻¹)			
		Media	Mínimo	Máximo	CV (%)
Alfalfa	1989	7.730	2.930	16.510	37
	1995	11.630	2.450	24.020	30
	1997	6.930	960	15.120	41
Maíz	1989	6.000	1.070	12.350	33
	1995	8.130	5.670	15.020	29
	1997	6.020	990	12.960	28
Girasol	1989	5.920	3.630	7.070	27
	1995	7.190	1.430	10.910	50
	1997	2.700	1.300	7.720	63
Trigo	1989	3.380	790	9.730	51
	1995	7.620	1.900	13.700	35
	1997	4.340	660	10.720	57
Frutales	1989	3.340	1.310	8.250	52
	1995	4.760	2.710	13.790	62
	1997	2.730	1.310	5.950	49

Tabla 2.4. Medias y coeficientes de variación del índice de rendimiento estacional del riego (SIPI) calculados para los principales cultivos de la comunidad de regantes de La Loma, Quinto de Ebro (Zaragoza), en 1989, 1995 y 1997, Adaptada de Dechmi y col. (2003a).

Cultivo	Año	SIPI (%)	
		Media	CV
Alfalfa	1989	150	51
	1995	92	41
	1997	141	84
Maíz	1989	152	64
	1995	91	25
	1997	89	60
Girasol	1989	118	33
	1995	126	84
	1997	181	39
Trigo	1989	150	53
	1995	71	63
	1997	117	73

Comunidad de Regantes V de Bardenas (Ejea de los Caballeros, Zaragoza)

Este estudio se describe en Playán y col. (2002) y en Lecina y col. (2005) y se realizó en 2000 y 2001. Esta comunidad se considera representativa de los grandes proyectos de riego construidos hacia mediados del siglo XX. El área total regada era de 15.545 ha. La comunidad se regaba por superficie, excepto 450 ha regadas por aspersión. Los volúmenes de agua suministrada se midieron en las acequias de suministro mediante aforadores de resalte de solera. Las redes de riego y drenaje de la comunidad están conectadas en varios puntos para reutilizar el agua de drenaje y mantener los intervalos de riego en límites razonables (12-14 días en julio y agosto). En 2000, los principales cultivos fueron alfalfa y maíz (más de 4.500 ha cada uno), cereal de invierno (más de 2.000 ha), girasol (1.000 ha), arroz (600 ha) y hortalizas (700 ha). En 2001, el maíz se cultivó en el 40 % de la superficie; alfalfa, 35 %; cereales de invierno, 6 %; hortícolas, 3 % y el resto (sobre todo forrajes), 11 %.

En el conjunto de la comunidad se facturaron 169,6 Hm³ en 2000 y 146,8 Hm³ en 2001; las necesidades hídricas netas se estimaron, respectivamente, en 82,6 y 97,4 Hm³. Por ello, los valores globales de SIPI fueron 49 y 66 %, respectivamente. En términos generales, el consumo de agua fue claramente superior a las necesidades hídricas de los cultivos. De todos modos hay que tener en cuenta no sólo el hecho de que la mayor parte del riego se realizó por superficie, sino que aproximadamente 11.054 ha de la superficie regada de la comunidad corresponden a la unidad geomorfológica denominada sasos: suelos poco profundos, con mucha pedregosidad, buen drenaje y baja capacidad de retención de agua.

En los dos años de estudio se realizaron 50 evaluaciones de riego a escala de parcela, 38 de ellas en sasos (5 en riego por surcos). Se seleccionaron tablares rectangulares, con entrada de agua centrada en uno de los lados y niveladas por láser. Durante las evaluaciones, el agricultor realizó sus prácticas habituales de riego. Se midieron: caudal de entrada (minimolinetete hidráulico), tiempo de riego, fase de avance (llegada de agua a estacas de referencia cada 10-30 m), medidas de calado de agua cada 3-4 m en la primera estaca de referencia, escorrentía del agua de riego (en algunos casos). Los cultivos evaluados fueron alfalfa, maíz y girasol en tablares; pimiento y tomate en surcos. La Tabla 2.5 resume los principales resultados obtenidos. Se observó que los promedios de agua aplicada fueron menores en los suelos aluviales que en los sasos y, dentro de éstos, en las plataformas. Los coeficientes de variación (CV) en las tres unidades geomorfológicas fueron parecidos. Los caudales de riego fueron mayores de 100 L s⁻¹, siendo los CV bastante grandes. En promedio, los mayores caudales se observaron en las plataformas. Resultados similares en cuanto a los CV se observaron para el resto de variables listadas en la Tabla 2.5. En promedio, la eficiencia de riego en parcela resultó ser moderada (44 %). Sin embargo, fue apreciablemente mayor en los aluviales (80 %) que en los sasos (53 y 35 % en plataformas y surcos, respectivamente).

En este trabajo se concluyó que los agricultores riegan los tablares más tiempo del necesario por diversas razones: condiciones de nivelación no óptimas, deseo del regante de que el suelo quede bien humectado, preferencia por errores en

exceso que por defecto, etc. Los autores del estudio señalan que si el tiempo de riego se redujera de 2,8 a 1,7 horas por hectárea, la eficiencia global dentro de la comunidad de regantes podría aumentar del 44 al 70 %.

Tabla 2.5. Medias y coeficientes de variación (CV) de los resultados de las evaluaciones de riego efectuadas en parcelas de la comunidad de regantes V de Bardenas durante 2000 y 2001. Adaptada de Lecina y col. (2005).

Variable	Estadístico	Aluviales	Plataformas	Surcos
Superficie (m ²)	Media	8.900	10.733	10.089
	CV (%)	47,7	31,8	3,8
	Nº evaluaciones	11	33	5
Agua aplicada (m ³ ha ⁻¹)	Media	1.060	1.280	1.390
	CV (%)	35,3	32,2	35,8
	Nº evaluaciones	11	33	5
Caudal (L s ⁻¹)	Media	103	136	108
	CV (%)	35,1	40,3	24,5
	Nº evaluaciones	11	33	5
Tiempo de riego (h ha ⁻¹)	Media	3,0	2,9	3,2
	CV (%)	27,5	40,6	30,5
	Nº evaluaciones	11	33	5
Eficiencia de riego (%)	Media	79,6	52,8	34,7
	CV (%)	8,5	16,6	15,2
	Nº evaluaciones	6	17	3
Uniformidad (%)	Media	76,9	84,7	85,7
	CV (%)	12,3	10,5	2,6
	Nº evaluaciones	6	17	3

Comunidad de Regantes de la Acequia Bayunga (Navarra)

Este estudio se describe detalladamente en Zapata (2002). En este trabajo se analizó el uso del agua antes y después de la modernización de regadíos efectuada en esta comunidad. La campaña de estudio se realizó en 2001 y los datos correspondientes a la situación anterior a la modernización correspondieron a 1985. Dentro de la acequia Bayunga, el estudio se restringió a la comunidad de regantes de Caparroso (1.152 ha). Se realizaron 15 evaluaciones de riego, 7 sobre maíz, 2 sobre alfalfa y 6 sobre cultivos en surcos (pimiento, tomate y patata). Se realizaron medidas del caudal de entrada de agua al tablar mediante molinete hidráulico y se determinaron el tiempo de riego y el tiempo que tardaba el agua en llegar a unas estancas de referencia colocadas cada 20-25 m. En el conjunto de la comunidad de regantes además se obtuvieron datos sobre tiempo de riego, intervalo entre riegos y número de riegos a partir de los cuadernillos de los regantes. Se calcularon la eficiencia de aplicación (EA, relación porcentual entre la lámina de agua requerida en un riego y la lámina realmente aplicada) y la uniformidad de distribución (UD).

Los cultivos más importantes fueron el maíz (57,6 % de la superficie regada), alfalfa (11,9 %), espárrago (6,2 %) y pimiento (5,3 %). En suelos de infiltración moderada los caudales de riego medios fueron 140 L s^{-1} (riego por inundación) y $1,5 \text{ L s}^{-1} \text{ surco}^{-1}$ (riego por surcos). En suelos de infiltración alta, esos valores fueron de 150 L s^{-1} y $3 \text{ L s}^{-1} \text{ surco}^{-1}$, respectivamente. Los tiempos de riego fueron 120 (inundación) y 240 min ha^{-1} (surcos) en suelos de infiltración moderada; 150 (inundación) y 126 min ha^{-1} (surcos) en suelos de infiltración alta. Las eficiencias de aplicación fueron de 80 (inundación) y 88 % (surcos) en suelos de infiltración moderada; 62 (inundación) y 73 % (surcos) en suelos de infiltración alta. Tras la modernización, las eficiencias de riego medias determinadas para distintos cultivos fueron: alfalfa, 85 %; espárrago, 87 %; maíz, 74 %; pimiento, 68 %; tomate, 67 %; valores apreciablemente mayores que los obtenidos antes de la modernización, con incrementos del 55 al 62 % (Tabla 2.6). Las uniformidades de distribución medias fluctuaron entre 90 (tomate y maíz) y 95 % (alfalfa y espárrago) después de la modernización; los valores de UD antes de la modernización variaron entre 84 y 87 %. Asimismo, los tiempos y número de riegos han disminuido tras la modernización (Tabla 2.6). Por su parte, los volúmenes medios de agua aplicados en el riego por superficie disminuyeron apreciablemente tras la modernización, particularmente en el pimiento y el tomate. Aún así, estos volúmenes de agua resultaron mayores que en los riegos a presión, sobre todo en el maíz (Tabla 2.7).

Tabla 2.6. Parámetros de calidad del riego antes y después de la modernización en la comunidad de regantes de Caparrosa (Navarra). TR, tiempo de riego. EA, eficiencia de aplicación. UD, uniformidad de distribución. Adaptada de Zapata Ruiz (2002).

Cultivo	Antes				Después			
	TR (min ha^{-1})	EA (%)	UD (%)	Nº riegos	TR (min ha^{-1})	EA (%)	UD (%)	Nº riegos
Alfalfa					134	85	95	10
Espárrago					268	87	95	3
Maíz	236	58	80	12	153	74	90	11
Pimiento	273	55	84	14	151	68	91	11
Tomate	330	55	84	12	163	67	90	13
Trigo	309	62	87	4				

Tabla 2.7. Volúmenes medios anuales de agua aplicados en el riego por superficie (antes y después de la modernización) y en el riego a presión en la comunidad de regantes de Caparroso (Navarra). EA, eficiencias de aplicación estacionales. Adaptada de Zapata Ruiz (2002).

Cultivo	Riego por superficie				Riego a presión	
	Antes		Después		Después	
	Volumen (m ³ ha ⁻¹)	EA (%)	Volumen (m ³ ha ⁻¹)	EA (%)	Volumen (m ³ ha ⁻¹)	EA (%)
Alfalfa			13.000	69		
Maíz	12.900	47	11.150	54	7.411	82
Espárrago			3.576	70	3.327	75
Pimiento	10.557	43	7.070	66	6.200	90
Tomate	10.557	44	7.150	65	6.500	87
Trigo	5.991	61				

Comunidad de Regantes de La Campaña (Huesca)

Este estudio se realizó en 2002 y se describe detalladamente en Cardeña (2004). Esta comunidad de regantes se localiza en la margen derecha del río Cinca y posee 4.976 ha de regadío, la mayor parte por superficie. Las concesiones de agua de riego para uso agrícola en 2002 fueron registradas por el guarda de la comunidad. En cada registro se incluyeron: fecha, acequia, nombre del pagador y volumen de agua concedido. Durante su análisis, los volúmenes de agua se repartieron a todas las parcelas abastecidas por una determinada acequia de forma proporcional a su superficie. Aun así, se hicieron algunos ajustes. Por ejemplo, toda el agua de una acequia en una determinada fecha se asignó a una única parcela cuando sólo ésta se cultivaba de todas las abastecidas por esa acequia. Unas 4.000 ha de las 4.976 realizaron peticiones de agua en 2002.

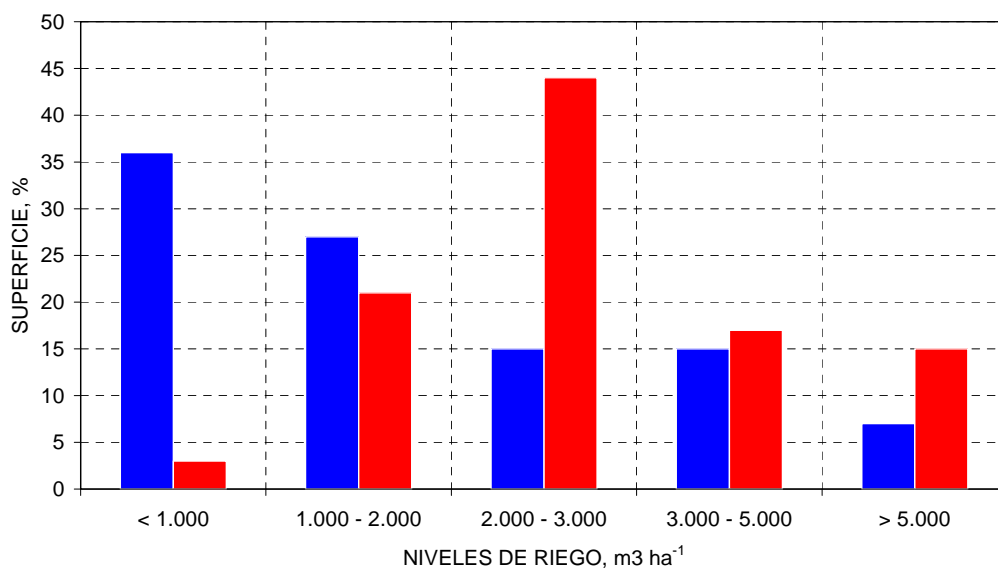
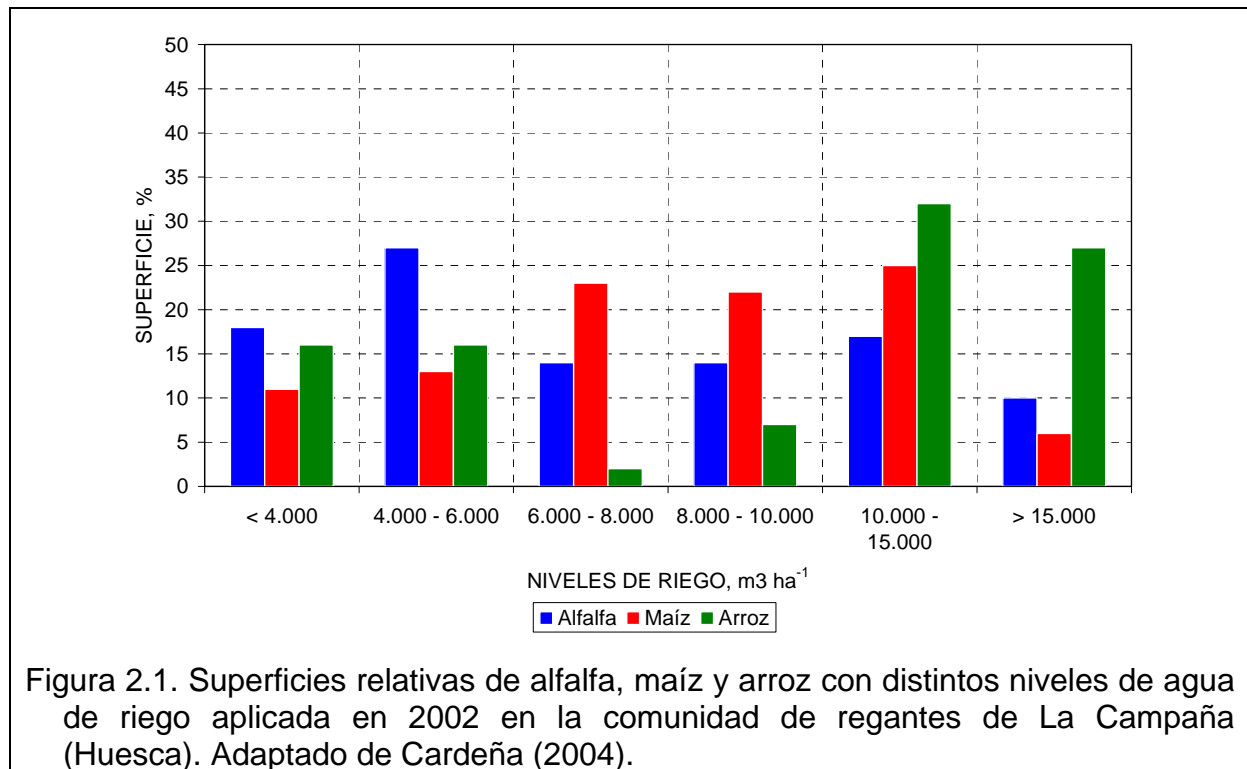
Los principales cultivos de la comunidad fueron alfalfa (38,3 % de la superficie regada), arroz (15,7 %), cebada (12,5 %), maíz (11,7 %) y trigo (6,9 %). La Tabla 2.8 lista los volúmenes totales y medios (por unidad de superficie) de agua aplicada a distintos cultivos, considerando todas las parcelas y aquéllas con una superficie mayor de 2 ha. Lógicamente los cultivos con mayor implantación en la comunidad consumieron los mayores volúmenes totales de agua: alfalfa, 12,3 Hm³; arroz, 7 Hm³; maíz, 4 Hm³.

Sin embargo, los cultivos de mayor consumo medio de agua por unidad de superficie fueron el manzano (12.139 m³ ha⁻¹), si se consideran todas las parcelas, y el chopo (12.244 m³ ha⁻¹), si se consideran sólo las parcelas de más de 2 ha de superficie (Tabla 2.8). El cultivo de menor consumo medio de agua por unidad de superficie fue el viñedo, 1.534 ó 893 m³ ha⁻¹ según se consideren todas o sólo las parcelas de más de 2 ha, respectivamente. En la mayoría de los cultivos, el consumo medio de agua por unidad de superficie fue menor en el grupo de parcelas de mayor tamaño; así, en maíz, alfalfa y girasol, estos consumos medios fueron

8.540, 7.623 y 3.537 m³ ha⁻¹, respectivamente, valores considerados medio-bajos comparados con los registrados en el valle del Ebro en zonas regadas por superficie.

Tabla 2.8. Volúmenes totales y medios de agua aplicados en 2002 en el riego de distintos cultivos en la comunidad de regantes de La Campaña (Huesca). Adaptado de Cardeña (2004).

Cultivo	Volumen total (Hm ³)	Superficie (ha)	Volumen medio (m ³ ha ⁻¹)	
			Todas las parcelas	Parcelas > 2 ha
Alfalfa	12,328	1.521	8.103	7.623
Arroz	7,059	621	11.372	10.925
Maíz	4,058	466	8.701	8.540
Cebada	1,044	496		
Trigo blando	0,889	274	3.244	3.104
Girasol	0,628	149	4.224	3.537



Discusión de los antecedentes encontrados en la literatura

Los antecedentes muestran un importante volumen de investigación en el tema, aunque los resultados encontrados en estos trabajos no permiten dar respuesta a los objetivos que se plantean en el presente estudio. Esto es así porque los resultados presentados:

- Con frecuencia están basados en el análisis de todas las parcelas de una zona regable, sin distinción por indicios de elevada eficiencia.
- Con frecuencia recogen escasos valores de eficiencia en cada zona, que en ocasiones están basados en resultados de evaluaciones de riego (eficiencia de aplicación), en lugar de en contrastar volúmenes de agua facturados o usados con necesidades hídricas de los cultivos, lo que supone una aproximación a la eficiencia de riego.

Adicionalmente, sobre varios de los estudios anteriores recae la duda de si la elevada eficiencia se obtuvo por aplicación de un estrés hídrico que pudo hacer descender la producción por debajo del óptimo económico. En estas condiciones, las parcelas podrían dejar de ser económicamente viables, aunque los valores de eficiencia de riego fueran elevados.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Recopilación y selección de datos de consumo de agua

Consideraciones iniciales

La obtención de datos de consumo real de agua por un determinado cultivo en parcelas concretas resultó bastante difícil. En primer lugar, en bastantes casos, sobre todo en riego por inundación, si existen, los valores disponibles son de agua facturada a los regantes, que no necesariamente corresponde al agua consumida por éstos. Asimismo, otro problema bastante común es que muchas de las comunidades de regantes que sí controlan el uso de agua mantienen bases de datos en las que los registros de consumo de agua facturada o realmente consumida se asignan bien a regantes (que pueden tener más de una parcela y/o cultivo) o bien a parcelas concretas. Las bases de datos no suelen registrar el cultivo existente en esas parcelas ya que, en general, los secretarios o gestores de esas comunidades no consideran relevante este dato para cumplir la función principal de esas bases de datos: la facturación del agua a los regantes. En el caso de los riegos a presión (aspersión o goteo) es más frecuente la existencia de contadores en los que se registran los volúmenes de agua suministrados a las parcelas. Pero aún así, no es raro que un determinado contador mida el volumen de agua suministrada a varias parcelas contiguas que pueden pertenecer a distintos agricultores o tener distintos cultivos. Este es el caso de los hidrantes compartidos por varios regantes, que son frecuentes en muchas redes presurizadas. Por último, otro problema es una cierta desconfianza de algunos agricultores o comunidades de regantes a la hora de facilitar sus bases de datos de consumo de agua por considerar este hecho como una actividad fiscalizadora. Esto es así aunque la petición de esa información realmente no tenga ese carácter, como ocurre en el presente estudio. Además, en un número significativo de casos, los regantes particulares o los responsables de comunidades de regantes suelen excusarse en la falta de tiempo para atender la petición realizada en este estudio o para responder aún de forma muy limitada (por ejemplo, proporcionando sólo datos de un año o dos a lo sumo).

A la vista de esta problemática, los autores de este informe consideran que realmente las autoridades competentes para solicitar y exigir esta información de consumos reales de agua por cultivos y parcelas son las Confederaciones Hidrográficas. Si los regantes o responsables de las comunidades de regantes no se sienten de alguna manera obligados por las autoridades (y los autores de este informe no lo son), tenderán a simplificar sus actividades y no se sentirán, por ejemplo, obligados a registrar el cultivo presente en las parcelas a las que asignan los consumos. Naturalmente, esto requiere tiempo, pero las autoridades competentes deberían implementar medidas que de alguna forma premiaran a aquellas comunidades de regantes que empezaran a preocuparse de mantener la información más detallada posible sobre el uso del agua en las mismas. Por ejemplo, el Gobierno de Aragón considera un dato a favor de la concesión de una

subvención para la modernización de una comunidad de regantes el que ésta gestione el agua de riego con la aplicación informática de gestión Ador (Cavero y col., 2000; Playán y col., 2001; Playán y col., 2004) u otro similar.

Recopilación de datos

Los autores de este informe contactaron con diversas instituciones públicas, comunidades de regantes y responsables o dueños de fincas particulares para solicitar datos reales de consumo de agua en parcelas cuyo cultivo fuera conocido. Se insistió mucho a las personas contactadas que la petición se refería a parcelas en las que, a juicio de esas personas, existiera un mínimo de garantías de que los riegos se realizan de forma adecuada y los rendimientos se pudieran considerar óptimos. Debido a las circunstancias apuntadas en la sección 1.2 de este informe, esta forma de seleccionar parcelas resultó complicada porque pocos agricultores proporcionaron valoraciones generales de sus rendimientos y porque determinar la eficiencia de una parcela requiere de su comparación con los valores estimados de necesidades hídricas netas (*NHn*), lo que invalida estadísticamente el uso de los consumos reales de agua en parcelas consideradas eficientes para validar esas estimas de *NHn*. Asimismo, la valoración de eficiencia facilitada por las comunidades de regantes fue totalmente subjetiva. Por ello, finalmente, se optó por recopilar todos los datos de consumo real de agua suministrados por las personas contactadas y las valoraciones sobre los rendimientos que, en algunos casos, esas personas realizaron, así como por realizar un proceso de selección de esos datos como se explica más adelante en este apartado.

Tras realizar diversas gestiones telefónicas (algunas de ellas sin resultado) y, en algunos casos, viajes a las posibles fuentes de información, finalmente, se obtuvieron datos de consumo real de agua total en una o más campañas de riego a partir de las siguientes fuentes:

- a) De un trabajo de similares características realizado anteriormente (CHE 1993b) y comentado en la sección 2.1.
- b) De diversas comunidades de regantes que utilizan la aplicación informática Ador de gestión de comunidades de regantes como base de datos del uso de agua en las mismas. Esta información se obtuvo a través de la consultora Ager Ingenieros, en el caso de las comunidades de regantes de Montesnegros (Bujaraloz y La Almolda, Zaragoza; Peñalba y Valfarta, Huesca), Alconadre (Peralta de Alcofea, Pertusa y Torres de Alcanadre, Huesca) y La Corona (Albero Alto, Albero Bajo, Grañén, Lalueza, Monflorite, Piracés y Tramaced, Huesca). Son las tres únicas comunidades de regantes de base dentro del sistema de Riegos del Alto Aragón en que el agua consumida por una parcela está asociada al cultivo presente en esa parcela. En otras comunidades de este sistema también existen contadores de agua pero la información del cultivo no se ha incorporado a las correspondientes bases de datos. Por otra parte, se obtuvieron consumos reales de agua en otras dos comunidades que utilizan Ador, la de La Royuela (Alfamén, Zaragoza), a través de la Oficina del Regante (Sirasa, Gobierno de Aragón), y la de La Campaña (Barbastro, Castejón del

Puente, Monzón, Ilche y San Miguel de Cinca, Huesca), por medio de los datos recopilados por Cardeña (2004).

- c) De otras comunidades de regantes que facilitaron parcial o totalmente la información disponible en sus bases de datos: las de Comunidad V de Bardenas (Ejea de los Caballeros, Zaragoza), Belchite (Zaragoza), La Loma (Quinto de Ebro, Zaragoza), Condado de Treviño (Burgos) y Río Tirón (Burgos). En estos dos últimos casos, los datos se consiguieron a través del Instituto de Tecnología Agroalimentaria (ITA) de la Junta de Castilla y León, en Valladolid.
- d) De instituciones o empresas públicas. Riegos de Navarra S.A. (Gobierno de Navarra) proporcionó toda su base de datos de consumo real de agua en las zonas de riego modernizadas en Navarra. La Escuela de Capacitación Agraria de Tárrega (Lérida) facilitó datos de consumos de agua de una plantación de melocotonero en la comunidad de regantes de Carrassumada (Torres de Segre, Lérida) y que se midieron en una prueba piloto realizada por el Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca (DARP) de la Generalitat de Cataluña. Por último, la Confederación Hidrográfica del Ebro (finca La Melusa) proporcionó datos de consumos de agua de diversas plantaciones de frutales de los municipios de Albelda, Altorricón y Tamarite de Litera (Huesca).
- e) De los gestores o técnicos de empresas agrícolas: finca de Gertusa en Sástago (Zaragoza) y fincas de Las Llanas (Épila), San Miguel (Alfamén) y parcela 7 – polígono 8 (Torres de Berrellén); además, también se consiguió algún dato de consumos de agua en dos fincas regadas por pozos, en las áreas de Gallocanta y en Belchite (Zaragoza), datos facilitados por los propios dueños.

El Anejo 1 explica brevemente los distintos ficheros en los que se han grabado todos los consumos reales de agua obtenidos en este trabajo. A partir de estos ficheros, y tras un proceso selectivo que se explica a continuación, se obtuvo una base de datos de trabajo, almacenada como fichero Excel (MS Office 2003), denominado *ConsumosAguaCuencaEbro.xls* y descrita en la sección 4 (resultados y discusión).

El objetivo de este trabajo no ha sido en modo alguno analizar los sistemas de medición de los distintos consumos en las distintas zonas. Debido a las limitaciones temporales del trabajo, sólo se ha recopilado la información facilitada y se ha supuesto que las distintas fuentes tendrán contrastados y validados adecuadamente sus sistemas de medida. Por ello, éstos no se describen en este trabajo. No obstante, sí que conviene indicar que la mayor parte de los valores de consumo de agua obtenidos se han registrado con contadores colocados en los hidrantes de suministro de agua a las parcelas, en los cuales se midieron los volúmenes de agua o las horas de funcionamiento.

Selección de datos

En primer lugar, se procedió a asignar cada registro a una de las 110 comarcas agrarias utilizadas en el trabajo de CHE (2004). En general, para ello se utilizó como dato el municipio en el que se encuentra la parcela en cuestión. En

Navarra se usó el dato de la zona regable en la que se encuentran las parcelas estudiadas.

A continuación, se procedió a eliminar aquellos registros de consumos de agua en los que el mismo punto de entrada suministró agua a dos o más parcelas con distinto cultivo. Este problema existió fundamentalmente en las bases de datos de los regadíos navarros y de la comunidad de regantes de La Campaña (Cardeña, 2004) ya que las mismas incluían todos los consumos de agua registrados en las zonas de su ámbito. Este problema también se observó en algunos casos de las restantes bases de datos.

Posteriormente, aquellos registros correspondientes a dos o más parcelas con el mismo cultivo y regadas a través del mismo hidrante o punto de entrada de agua se agregaron para originar un único registro. Como en el caso anterior, esta situación fue más frecuente en las bases de datos de Navarra y La Campaña.

En el siguiente paso, se eliminaron todos aquellos registros en que el cultivo no estaba claramente especificado. Por ejemplo, en aquellos casos en que sólo se indicaba que el cultivo fue cereal de invierno, pastos, viñas de pie madre, etc. También se eliminaron aquellos registros en los que las necesidades hídricas del cultivo indicado no se estimaron para la comarca correspondiente a ese registro en el trabajo de CHE (2004). Por ejemplo, la nectarina, el maíz dulce, la guindilla, el chopo o el tabaco no se estudiaron en ninguna comarca en dicho trabajo. Otros cultivos no se estudiaron en CHE (2004) en algunas de las comarcas en las que se ubican algunas de las parcelas estudiadas en este trabajo y por ello fueron excluidos sólo en esas comarcas. En un número importante de registros, aunque el trabajo de CHE (2004) sí estimó las necesidades hídricas netas para el cultivo y comarca en cuestión, el trabajo de CHE (1993a) no proporcionó las correspondientes estimas de necesidades hídricas netas. No obstante, cuando esto ocurrió no se eliminó el registro implicado.

En el caso de parcelas con cerezo, melocotonero, manzano o peral, cuando las bases de datos suministradas no incluían la variedad ni la fecha aproximada de recolección, se decidió, en general, asignar la especie en cuestión al tipo varietal 'media estación'. Cuando la variedad y la fecha aproximada de recolección se suministraron, como en la base de datos proporcionada por La Melusa (Confederación Hidrográfica del Ebro), el cultivo implicado se asignó a uno de los tres tipos varietales ('temprano', 'media estación' y 'tardío) utilizados en CHE (2004) en base a la cercanía de esa fecha a las indicadas en el mencionado trabajo. Además, para los registros en los que el cultivo fue cerezo, almendro y melocotonero se decidió considerar dos posibilidades, la de un cultivo 'normal' y la de un cultivo con 'riego deficitario' ya que esta distinción fue incluida en CHE (2004). Asimismo, se eliminaron aquellos registros en los que la plantación frutal implicada era reciente y en los que la valoración de los rendimientos sugería situaciones no óptimas de cultivo aun cuando esta valoración sólo se aportó en un número mínimo de casos.

Finalmente, todos los registros que superaron los anteriores filtros de selección fueron examinados detenidamente para eliminar aquéllos en los que el consumo de agua facilitado fue menor de $500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ porque se consideró que estos

valores no corresponden en ningún caso a parcelas que pudieran tener rendimientos aceptables. También se eliminaron los registros en los que el consumo de agua facilitado fue, a juicio de los autores de este informe, exageradamente alto; el límite se puso en consumos superiores a $12.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (si el riego era por inundación, $15.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), salvo en el caso del arroz para el que el límite se estableció en $20.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y en cereales de invierno en que el límite se puso en $7.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. En aquellos cultivos con un número elevado de registros (alfalfa y maíz, por ejemplo), se eliminaron aquellos pocos registros en los que no se suministró el dato de la superficie de la parcela o el del consumo total de agua (aun cuando sí se dispusiera del dato de consumo medio por unidad de superficie).

3.2. Análisis estadísticos

Para cada cultivo, se realizó un análisis de los consumos reales de agua y de su comparación con las estimas de necesidades hídricas netas obtenidas en CHE (1993a) y CHE (2004). Para cada cultivo se contemplaron dos *casuísticas*:

- a) *Casuística 1*. Todos los registros seleccionados para el cultivo en cuestión.
- b) *Casuística 2*. Aquellos registros del cultivo en cuestión en los que el sistema de riego fue a presión, incluyendo riego por goteo y riego por aspersión (pivotes, coberturas totales enterradas u otros). Esta segunda casuística no se calculó en aquellos cultivos en que todos los registros correspondieron a riegos por inundación. Por su parte, en cultivos como los frutales, las *casuísticas 1 y 2* coincidieron ya que no hubo registros con riegos por inundación en este tipo de cultivos.

Estadísticos de consumos reales de agua

Para cada cultivo de los que se obtuvieron datos de consumo de agua, se seleccionó un número N de registros en los que se dispuso de los siguientes tres valores:

- a) Superficie (S_i), superficie de la parcela i (siendo $i = 1$ hasta N), ha.
- b) Consumo total de agua (CT_i) en la parcela i (siendo $i = 1$ hasta N), m^3 .
- c) Consumo medio de agua por unidad de superficie (CM_i) en la parcela i (siendo $i = 1$ hasta N), $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

En consecuencia, para cada cultivo y cada *casuística* (1 y 2), se calcularon los siguientes estadísticos para el consumo medio de agua por unidad de superficie:

- Media aritmética.

$$CM_a = \frac{\sum_{i=1}^N CM_i}{N} \quad (1)$$

- Media ponderada.

$$CM_p = \frac{\sum_{i=1}^N CT_i}{\sum_{i=1}^N S_i} \quad (2)$$

- Coeficiente de variación.

$$CV_a = 100 \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (CM_i - CM_a)^2}{N-1}}}{CM_a} \quad (3)$$

- Mediana (M_{CM}). Aquel valor cuya frecuencia acumulada es el 50 %.
- Percentil del 10 % (P_{CM10}). Aquel valor cuya frecuencia acumulada es el 10 %.
- Percentil del 90 % (P_{CM90}). Aquel valor cuya frecuencia acumulada es el 90 %. De esta forma, el rango (P_{CM10} , P_{CM90}) comprende al 80 % de los valores de consumo real de agua seleccionados para el cultivo y casuística en cuestión.
- Histograma de frecuencias. Cuando el número N de valores seleccionados para un determinado cultivo y casuística resultó suficientemente grande, se procedió a calcular las frecuencias absolutas y relativas de los valores de CM_i en distintos rangos.

Comparación con las estimas de necesidades hídricas netas

Para cada registro disponible, se dispuso además de las necesidades hídricas netas para un nivel de probabilidad de ocurrencia del 80 %, estimadas en los trabajos de CHE (2004) ($NH80_{i2004}$) y CHE (1993a) ($NH80_{i1993}$). Para cada registro se calcularon, pues, dos diferencias relativas entre los consumos CM_i y las estimas de necesidades hídricas:

$$D_{i2004} = 100 \frac{CM_i - NH80_{i2004}}{NH80_{i2004}} \quad (4a)$$

$$D_{i1993} = 100 \frac{CM_i - NH80_{i1993}}{NH80_{i1993}} \quad (4b)$$

Téngase en cuenta que los valores de $NH80_{i2004}$ son los mismos para todos los registros de un determinado cultivo en la misma comarca. Lo mismo ocurre con los valores de $NH80_{i1993}$, con el añadido de que no se dispuso de valores de esta variable en todas las comarcas en las que un cultivo se seleccionó. Posteriormente, para cada cultivo y casuística se determinaron los siguientes estadísticos de estas diferencias relativas:

- Media aritmética.

$$DM_{a2004} = \frac{\sum_{i=1}^N D_{i2004}}{N} \quad (5a)$$

$$DM_{a1993} = \frac{\sum_{i=1}^N D_{i1993}}{N} \quad (5b)$$

- Media ponderada.

$$DM_{p2004} = \frac{\sum_{i=1}^N D_{i2004} S_i}{\sum_{i=1}^N S_i} \quad (6a)$$

$$DM_{p1993} = \frac{\sum_{i=1}^N D_{i1993} S_i}{\sum_{i=1}^N S_i} \quad (6b)$$

Recuérdese que, para algunos cultivos, N fue diferente para la comparación con CHE (2004) que la correspondiente comparación con CHE (1993a).

- Mediana (M_{DM2004} y M_{DM1993}). Para cada diferencia (1993 ó 2004), aquel valor cuya frecuencia acumulada es el 50 %.
- Percentil del 10 % ($P_{DM10-2004}$ y $P_{DM10-1993}$). Para cada diferencia (1993 ó 2004), aquel valor cuya frecuencia acumulada es el 10 %.
- Percentil del 90 % ($P_{DM90-2004}$ y $P_{DM90-1993}$). Para cada diferencia (1993 ó 2004), aquel valor cuya frecuencia acumulada es el 90 %. De esta forma, los rangos ($P_{DM10-2004}$, $P_{DM90-2004}$) y ($P_{DM10-1993}$, $P_{DM90-1993}$) comprenden al 80 % de los valores de las diferencias con respecto a las necesidades hídricas netas calculadas en CHE (2004) y CHE (1993a), respectivamente.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El fichero *ConsumoCuencaAguaEbro.xls* lista todos los registros seleccionados en este trabajo. Dicho fichero se encuentra en el CD adjunto y se describe en el Anejo 1.

4.1. Consumos reales de agua

La Tabla 4.1 lista los cultivos de los que se obtuvieron y seleccionaron consumos reales de agua, así como los distintos estadísticos calculados con las ecuaciones (1) a (3) para la *casuística* 1 (todos los sistemas de riego). En total, se seleccionaron consumos para 28 cultivos, con un total de 2.754 registros, de los que 2.285 (83,0 %) correspondieron a riegos a presión. La Tabla 4.2 lista los distintos estadísticos calculados con las ecuaciones (1) a (3) para la *casuística* 2 (sistemas de riego a presión), pero sólo para aquellos 9 cultivos en los que se seleccionaron sistemas de riego por inundación y a presión; en 3 de estos cultivos (melocotonero, peral y tomate), sólo se dispuso de 1 registro con sistema de riego por inundación, por lo que lógicamente los estadísticos para las correspondientes *casuísticas* 1 y 2 fueron prácticamente iguales. En los restantes 21 cultivos, sólo se dispuso de registros con sistemas de riego a presión, salvo en el arroz del que sólo se dispuso de registros con sistemas de riego por inundación.

El número de valores disponibles de consumo real de agua ha sido muy diferente de unos cultivos a otros. En el caso del maíz grano se seleccionaron 1.338 registros, de los cuales 1.241 (92,8 %) correspondieron a parcelas regadas a presión. Es decir, para el maíz grano se dispuso de casi la mitad de todos los registros seleccionados (48,6 %). Para la alfalfa se seleccionaron 493 registros (17,9 %), de los que 302 (61,3 %) correspondieron a riegos a presión. Para el viñedo se seleccionaron 158 registros (5,7%), todos correspondientes a riegos a presión. Para el olivar y el tomate se seleccionaron 77 y 76 registros (2,8 %), respectivamente, de los cuales sólo 1 se regó por inundación (tomate). Estos 5 cultivos, pues, constituyeron casi el 78 % del total de registros disponibles (Tabla 4.1). Para 5 cultivos, el número de registros seleccionados fue menor de 4. Por ello, los estadísticos mencionados en la sección 3.2 no se calcularon en su totalidad para estos cultivos (Tabla 4.1).

La variabilidad observada en cada cultivo respecto al consumo real de agua por unidad de superficie fue notable. Así, los correspondientes coeficientes de variación sólo fueron menores del 20 % para el albaricoquero y cebolla, fueron del 20 al 30 % en 11 de los cultivos y mayores del 30 % en 12 cultivos (Tabla 4.1). Cuando se consideraron sólo los registros con sistemas de riego a presión, la disminución de los correspondientes coeficientes de variación fue bastante pequeña (Tabla 4.2). Asimismo, las diferencias entre los percentiles del 10 y del 90 % calculados para la *casuística* 1 fueron importantes; el percentil del 90 % fue del 27 al

474 % más grande que el percentil del 10 % (Tabla 4.1); para la *casuística 2*, se obtuvieron resultados bastante parecidos. La gran variabilidad observada en los consumos medios de agua por unidad de superficie es una muestra de la gran dificultad de recopilar datos de consumo real de agua al nivel de parcelas y que dichos datos tengan un mínimo de representatividad de parcelas eficientes.

Tabla 4.1. Estadísticos de los consumos de agua calculados para cada cultivo seleccionado, incluyendo todos los sistemas de riego (*casuística 1*). *N*, número de registros; CM_a , media aritmética; CM_p , media ponderada; CV_a , coeficiente de variación; M_{CM} , mediana; P_{CM10} , percentil del 10 %; P_{CM90} , percentil del 90 %.

Cultivo	N	Consumos ($m^3 ha^{-1}$)					
		CM_a	CM_p	$CV_a^{(1)}$	M_{CM}	P_{CM10}	P_{CM90}
Albaricoquero	4	5.715	5.633	12,9	5.762	5.017	6.376
Alfalfa	493	8.297	7.950	32,0	8.428	4.917	11.430
Almendro	1	2.871					
Arroz	65	11.876	11.501	36,6	11.592	5.848	17.663
Berenjena	1	6.700					
Brócoli	3	2.302		23,0			
Cebada	64	2.935	2.598	52,6	2.790	1.039	4.927
Cebolla	34	6.972	6.950	19,3	6.562	5.628	8.666
Cerezo	12	6.179	6.589	24,5	5.643	4.983	8.488
Ciruelo	5	6.315	6.075	26,6	6.921	4.538	7.751
Coliflor	2	4.410					
Espárrago	19	2.098	2.039	58,0	2.154	928	3.665
Espinaca	7	2.208	2.159	57,8	1.929	1049	3.556
Girasol	47	3.927	3.974	39,9	3.704	2.063	6.378
Guisante	27	3.615	3.507	40,0	3.930	1.632	5.353
Judía verde	7	5.398	5.354	29,4	6.165	3.518	6.610
Lechuga	3	6.303	6.517	20,2	6.990	5.268	7.064
Maíz grano	1.338	7.527	7.395	27,1	7.253	5.209	10.447
Manzano	33	3.636	4.421	38,3	3.400	2.084	4.950
Melocotonero	38	5.483	5.349	24,7	5.408	3.730	7.345
Olivar	77	2.727	2.926	23,7	2.742	2.077	3.461
Patata	24	3.925	4.127	24,0	4.309	3.089	4.731
Peral	68	4.307	4.252	33,2	4.301	2.630	5.538
Pimiento	31	7.288	6.133	37,0	6.767	4.315	11.395
Remolacha azucarera	32	4.695	4.845	23,1	4.432	3.594	6.410
Tomate	76	5.513	5.615	27,5	5.404	3.757	7.329
Trigo	34	3.170	2.812	53,0	2.836	1.330	6.123
Viñedo	158	1.463	1.381	52,5	1.243	708	2.563

(1) Tanto por ciento.

Los resultados de este estudio se pueden comparar con los obtenidos por Dechmi y col. (2003a) en Quinto de Ebro y por Lorite y col. (2004) en la zona regable de Genil-Cabra en la cuenca del Guadalquivir. Ambos trabajos se llevaron a cabo en

zonas de riego presurizado y con elevados costes energéticos, lo que hace de sus parcelas candidatas a un uso eficiente del agua de riego. Al tratarse de dos zonas pequeñas por comparación con el ámbito geográfico de este estudio (la cuenca del Ebro), en cada una de ellas no hubo variabilidad climática, al contrario que en las zonas estudiadas en este informe. Aún así, los coeficientes de variación de diversos cultivos resultaron ser muy importantes: Dechmi y col. (2003a) obtuvieron coeficientes de variación del 36, 30, 47 y 48 % para alfalfa, maíz, girasol y trigo, respectivamente. Por su parte, Lorite y col. (2004) obtuvieron coeficientes de variación del 41, 75, 119 y 78% para maíz, cereal de invierno, girasol y olivo, respectivamente. Los estudios encontrados en la literatura muestran una variabilidad compatible con los resultados reflejados en las Tablas 4.1 y 4.2 y confirman la elevada variabilidad de la aplicación de agua por los agricultores, aún en las mismas condiciones de sistemas de riego, climáticas y de suelos. Será preciso avanzar en esta línea de investigación para explicar esta variabilidad y aportar formas de reducirla, en aras a mejorar la asignación de agua a la agricultura.

Tabla 4.2. Estadísticos de los consumos de agua calculados para cada cultivo para la *casuística* 2 (riegos a presión). *N*, número de registros; CM_a , media aritmética; CM_p , media ponderada; CV_a , coeficiente de variación; M_{CM} , mediana; P_{CM10} , percentil del 10 %; P_{CM90} , percentil del 90 %.

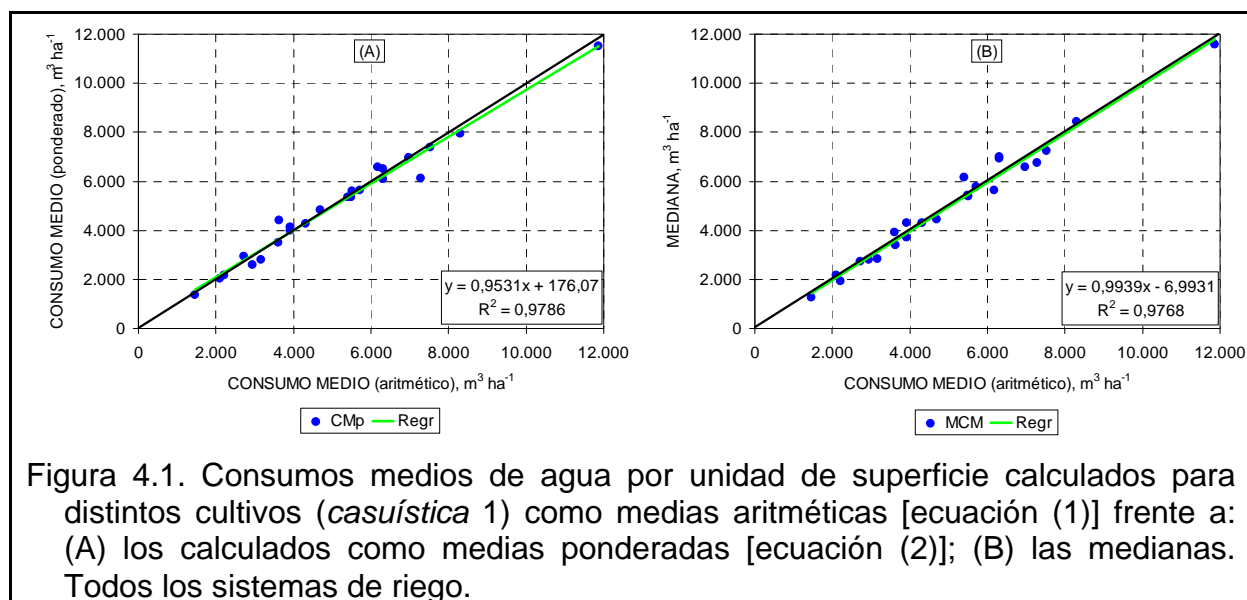
Cultivo ⁽¹⁾	N	Consumos (m ³ ha ⁻¹)					
		CM_a	CM_p	CV_a ⁽²⁾	M_{CM}	P_{CM10}	P_{CM90}
Alfalfa	302	8183	8034	24.8	8325	5730	10426
Cebada	15	2548	3098	59.4	3000	756	4415
Girasol	23	3833	4080	43.0	3723	2002	6455
Maíz grano	1241	7413	7306	26.3	7169	5203	10308
Melocotonero	37	5424	5334	24.4	5298	3718	6981
Peral	67	4241	4252	31.4	4288	2630	5316
Pimiento	20	5510	5486	21.6	5526	3804	6987
Tomate	75	5448	5603	26.0	5403	3751	7250
Trigo	6	2138	2227	39.8	1832	1546	3037

⁽¹⁾ Cálculos sólo efectuados para los cultivos en los que se dispuso de riegos por inundación y riegos a presión.

⁽²⁾ Tanto por ciento.

La Figura 4.1 compara los consumos medios de agua por unidad de superficie calculados como media aritmética [CM_a , ecuación (1)] frente a los calculados como medias ponderadas [CM_p , ecuación (2)] y las correspondientes medianas (M_{CM}), para la *casuística* 1. Las diferencias entre los 3 conjuntos de valores, CM_a , CM_p y M_{CM} , fueron en general pequeñas. Las pendientes de regresión fueron cercanas y no significativamente diferentes de 1,0, las ordenadas en el origen no fueron significativamente diferentes de 0 ($\alpha = 0,95$) y los coeficientes de determinación (R^2) fueron mayores de 0,97. Similares resultados se obtuvieron cuando se compararon los valores de CM_p y M_{CM} , aunque el valor de R^2 resultó ser ligeramente más bajo

(0,958). Para aquellos cultivos para los que se calcularon estadísticos para la *casuística 2*, las diferencias entre CM_a , CM_p y M_{CM} , fueron también en general pequeñas. Por tanto, los tres estimadores del consumo medio de agua por los cultivos resultaron igualmente adecuados en las condiciones de este estudio.



Los consumos medios de agua por unidad de superficie calculados para las *casuísticas 1* y *2* fueron bastante similares en 7 de los 9 cultivos considerados en la Tabla 4.2. El que estos consumos medios fueran similares en melocotonero, peral y tomate es lógico ya que en estos tres cultivos sólo se dispuso de un registro con sistema de riego por inundación. La alfalfa y el maíz grano no mostraron apenas diferencia en esos consumos entre ambas *casuísticas* pero quizás también como consecuencia de que sus correspondientes registros fueron mayoritariamente de sistemas de riego a presión (61 y 93 %, respectivamente). No obstante, en el girasol algo menos de la mitad de los registros fueron de sistemas de riego a presión y los consumos medios de agua por unidad de superficie para ambas *casuísticas* fueron similares. Esto probablemente se debe a que el girasol suele ser regado de forma deficitaria (Dechmi y col., 2003a) por lo que el sistema de riego tiene menor influencia en el agua aplicada. Las diferencias entre *casuísticas* fueron pequeñas en el caso de la cebada, si bien el consumo medio en registros con sistemas de riego a presión fue algo menor. Sin embargo, en el pimiento y en el trigo se observó un mayor consumo en la *casuística 1* probablemente debido a la menor eficiencia del riego por inundación (Tablas 4.1 y 4.2).

Las escasas diferencias entre los consumos de agua de las *casuísticas 1* y *2* ponen de manifiesto que comparando parcelas de riego eficientes los sistemas de riego presurizados no consiguen disminuciones relevantes del volumen de agua usada. Diversos trabajos llegaron a una conclusión similar, que se ha venido formulando en los siguientes términos: “todos los sistemas de riego pueden conseguir eficiencias de riego elevadas y similares”. Así, Hanson y col. (1995) se

basaron en el estudio sistemático de unas mil parcelas de riego de California para concluir que la eficiencia del riego en tablares y en riego presurizado no se podía distinguir estadísticamente. Resulta importante destacar que estos resultados se obtuvieron en una zona caracterizada por clima mediterráneo, agua escasa y cara, y agricultores con un elevado nivel de capacitación. Clemmens y Dedrick (1994), basándose en su dilatada experiencia profesional y en la revisión de estudios previos, llegaron a similares conclusiones.

La hoja *Resumen* del fichero *ConsumosAguaCuencaEbro.xls* (ver Anejo 1 para una descripción del mismo) lista las frecuencias relativas de distintos rangos de consumo de agua por unidad de superficie (CM_i) para los 17 cultivos para los que $N > 20$ (Tabla 4.1) considerando todos los sistemas de riego (*casuística* 1), así como las correspondientes a los 5 cultivos (alfalfa, cebada, girasol, maíz grano y pimiento) en los que se calcularon estadísticos de consumos de agua para la *casuística* 2 y en los que además $N > 20$ y el número de registros por inundación fue mayor de 1 (Tabla 4.2). A modo de ejemplo, la Tabla 4.3 lista las frecuencias relativas de distintos rangos de consumo de agua por unidad de superficie para la alfalfa, girasol, maíz grano, melocotonero, olivar y viñedo. En la alfalfa, los valores de CM_i se repartieron por todos los rangos considerados aunque los más frecuentes estuvieron entre 7.000 y 11.000 $m^3 ha^{-1}$: 57,6 % (todos los sistemas de riego) y 70,3 % (sólo riegos a presión). En el maíz, también los valores de CM_i se repartieron por todos los rangos y los más frecuentes fueron los de 5.000 a 9.000 $m^3 ha^{-1}$: 68,4 % (todos los sistemas de riego) y 70,0 % (sólo riegos a presión) (Tabla 4.3). En el girasol, los valores de CM_i más frecuentes fueron los de 2.000 a 4.000 $m^3 ha^{-1}$: 48,9 % (todos los sistemas de riego) y 47,8 % (sólo riegos a presión). En los tres cultivos leñosos listados en la Tabla 4.3, los valores de CM_i se concentraron en menos rangos y, por ello, el rango individual más frecuente en cada caso superó una frecuencia del 42,0 %: 5.000-6.000 $m^3 ha^{-1}$ en melocotonero (42,1 %), 2.000-3.000 $m^3 ha^{-1}$ en olivar (61,0 %) y 1.000-2.000 $m^3 ha^{-1}$ en viñedo (44,9 %). Aunque el número de rangos fue menor en estos cultivos leñosos, la variabilidad en su uso del agua no fue inferior a la de los cultivos herbáceos analizados (Tablas 4.1 y 4.2).

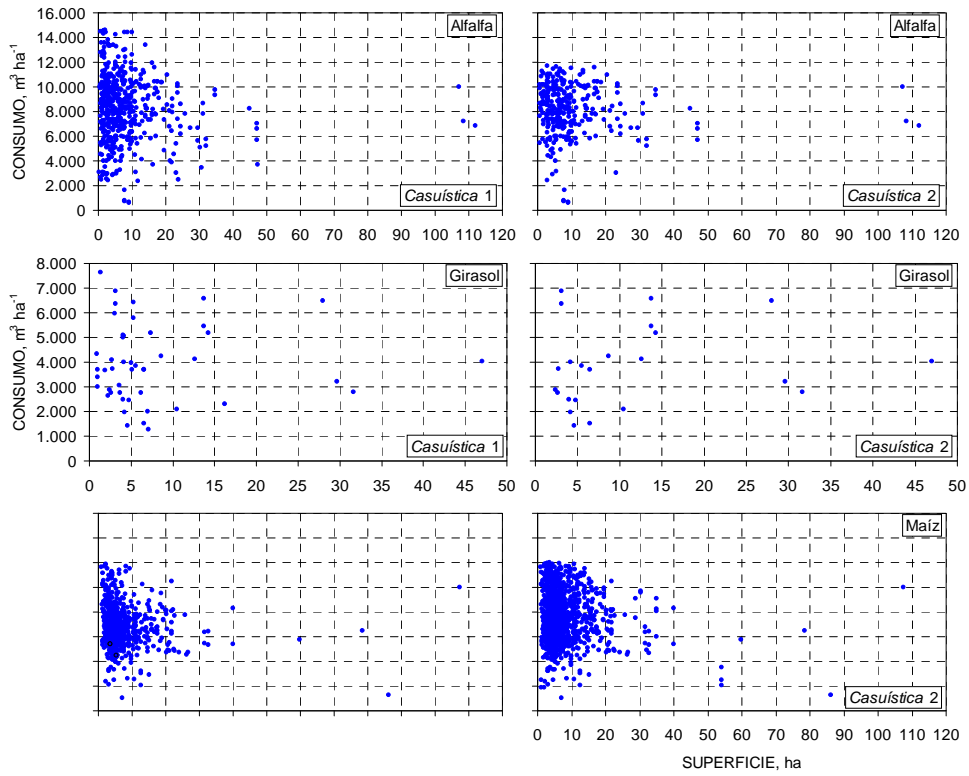
La Figura 4.2 muestra los consumos de agua por unidad de superficie de 3 cultivos, alfalfa, girasol y maíz grano, frente a la superficie de las parcelas en todos los registros disponibles (*casuística* 1) o sólo en aquéllos con riegos a presión (*casuística* 2). No se observaron diferencias entre las dos *casuísticas*, lo que concuerda con los resultados de las Tablas 4.1 y 4.2. En el caso de la alfalfa y del maíz grano se observó que la variabilidad en los consumos de agua por unidad de superficie (CM_i) tendió a disminuir al aumentar el tamaño de la parcela. Este efecto no se observó de manera tan clara en el girasol debido al pequeño número de registros disponibles en este cultivo, a la tendencia a regar este cultivo de forma deficitaria y al menor tamaño de las parcelas dedicadas al mismo. De hecho, ninguna de ellas superó las 50 ha, mientras que para la alfalfa y el maíz grano se dispuso de registros de parcelas de hasta 112 ha. En general, se observó que conforme aumentó la superficie de las parcelas disminuyó el riego en exceso.

Tabla 4.3. Frecuencias relativas (%) de distintos rangos de consumos de agua por unidad de superficie para distintos cultivos considerando, en su caso, todos los registros (*casuística 1, Cas. 1*) o sólo los registros con riegos a presión (*casuística 2, Cas. 2*).

Rango (m ³ ha ⁻¹)	Alfalfa		Girasol		Maíz		Melocotonero	Olivar	Viñedo
	Cas. 1	Cas. 2	Cas. 1	Cas. 2	Cas. 1	Cas. 2			
≤1.000	0,8	1,3						1,3	34,8
1.000-2.000	0,2	0,3	10,6	13,0	0,3	0,3		6,5	44,9
2.000-3.000	2,4	0,7	23,4	26,1	1,1	0,8		61,0	15,8
3.000-4.000	2,6	0,7	25,5	21,7	1,3	1,3	18,4	28,6	3,8
4.000-5.000	4,7	2,3	12,8	13,0	5,7	5,9	13,2	2,6	0,6
5.000-6.000	9,3	8,9	14,9	8,7	14,0	14,7	42,1		
6.000-7.000	9,3	10,3	10,6	17,4	22,9	23,5	13,2		
7.000-8.000	14,0	18,9	2,1		18,6	18,9	7,9		
8.000-9.000	15,6	18,9			12,9	12,9	5,3		
9.000-1.0000	14,8	17,9			9,1	8,8			
1.0000-11.000	13,2	14,6			8,0	7,7			
11.000-12.000	5,9	5,3			5,5	5,3			
12.000-13.000	2,4				0,2				
13.000-14.000	2,6				0,4				
>14.000	2,0				0,2				

La Figura 4.3 muestra los consumos por unidad de superficie de tres cultivos leñosos, melocotonero, olivar y viñedo, frente a la superficie de las parcelas para las que se dispuso de datos en este trabajo. En estos tres cultivos, todos los registros disponibles fueron de sistemas de riego a presión (salvo un caso en el melocotonero). En estos casos, también se observó una disminución de la variabilidad de los valores de CM_i con el aumento de la superficie de las parcelas. Esta disminución fue algo menos evidente que en los casos de la alfalfa y del maíz grano por el menor número de parcelas disponible en estos cultivos. Aún así, se pudo observar que la variabilidad de CM_i fue bastante menor para superficies superiores a 20 ha (melocotonero), 8 ha (olivar) y 6 ha (viñedo) (Figura 4.3).

Las Figuras 4.2 y 4.3 aportan un punto de vista novedoso acerca de la relación entre el consumo de agua y el tamaño de la parcela. Con anterioridad a este trabajo, distintos autores habían señalado que el aumento del tamaño de la parcela reducía el consumo de agua (Clemmens y Detric, 1992; Faci y col, 2000; Dechmi y col, 2003a; Cardeña, 2004). La reducción de la dispersión con el tamaño de la parcela aporta una importante pista a la hora de planificar futuros trabajos de esta índole ya que puede ayudar a disminuir el tamaño muestral y por lo tanto a optimizar el trabajo de campo.



de riegos (*casuística* 1). Estos cálculos sólo se han efectuado para 16 cultivos en los que se consideró que el tamaño muestral era suficiente. Para casi todos los cultivos herbáceos extensivos (alfalfa, cebada, maíz y trigo) se observó una reducción del consumo de agua de riego al aumentar el tamaño de la parcela. También ocurrió en el caso del viñedo. Sin embargo, en el resto de cultivos no se observó una tendencia clara, salvo en el caso del olivar en el que se observó un mayor consumo al aumentar el tamaño de la parcela.

Tabla 4.4. Consumos medios ponderados de agua por unidad de superficie ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) para distintos rangos de superficie de parcela y para distintos cultivos considerando todos los sistemas de riego (*casuística* 1). *N*, número de registros.

Cultivo	0-2 ha		2-5 ha		5-10 ha		>10 ha	
	CM_p	<i>N</i>	CM_p	<i>N</i>	CM_p	<i>N</i>	CM_p	<i>N</i>
Alfalfa	8.977	81	8.396	144	8.222	148	7.698	120
Arroz	11.155	8	11.277	14	12.344	20	11.244	23
Cebada	3.806	21	2.733	21	2.654	13	2.331	9
Cebolla	6.385	1	6.884	15	7.141	17	6.159	1
Espárrago	2.269	5	1.741	6	2.141	8		
Girasol	4.353	6	3.761	19	3.603	12	4.159	10
Guisante			3.377	13	4.002	10	3.232	4
Maíz grano	7.866	61	7.514	500	7.465	518	7.281	259
Manzano	3.477	29	6.880	1	6.171	1	4.190	1
Melocotonero	4.538	7	5.679	13	5.635	9	4.597	2
Olivar	1.272	2	2.767	7	2.695	56	3.259	12
Patata	3.530	9	4.155	12	4.512	3		
Peral	4.359	40	4.208	24				
Pimiento	10.059	11	5.556	13	5.632	6	5.916	1
Remolacha azucarera	4.528	15	5.249	16	3.040	1		
Tomate	7.824	2	5.433	38	5.172	31	7.345	4
Trigo	3.151	8	3.213	18	2.750	3	2.497	5
Viñedo	1.554	59	1.437	83	1.148	15	719	1

4.2. Comparación entre los consumos de agua y las necesidades hídricas netas estimadas

La Figura 4.4 compara las diferencias relativas medias entre los consumos y las $NH80$ calculadas para cada cultivo para la *casuística* 1 como medias aritméticas [DM_a , ecuaciones (5a) y (5b)] frente a las calculadas como medias ponderadas [DM_p , ecuaciones (6a) y (6b)] tanto si las $NH80$ se obtuvieron de CHE (2004) ($NH80_{2004}$) como si se obtuvieron de CHE (1993a) ($NH80_{1993}$). Los valores de DM_a y DM_p fueron similares, quizás algo más en el caso de que los valores de $NH80$ se hayan obtenido de CHE (2004). En cualquier caso, los coeficientes de determinación fueron superiores a 0,95, las pendientes de la regresión lineal simple no fueron significativamente diferentes de 1,0 y las ordenadas en el origen no lo fueron de 0 (α

= 0,95). La similitud entre DM_a y DM_p fue algo menor que la observada entre CM_a y CM_p (Figura 4.1).

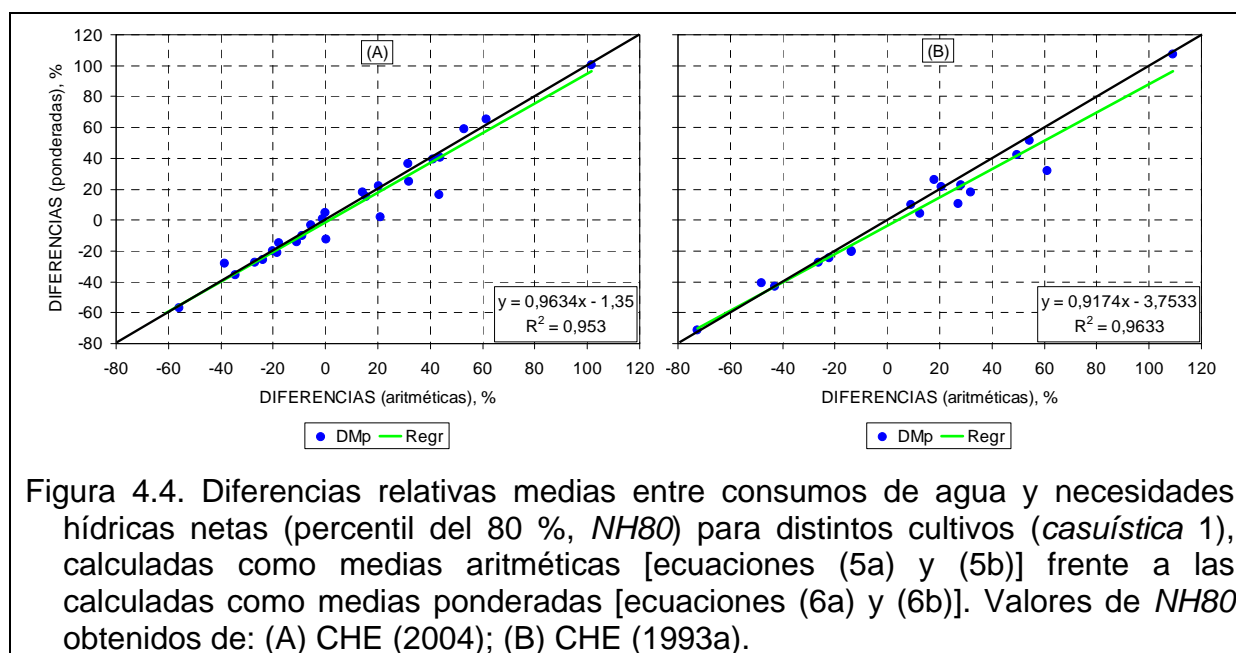


Figura 4.4. Diferencias relativas medias entre consumos de agua y necesidades hídricas netas (percentil del 80 %, $NH80$) para distintos cultivos (*casuística 1*), calculadas como medias aritméticas [ecuaciones (5a) y (5b)] frente a las calculadas como medias ponderadas [ecuaciones (6a) y (6b)]. Valores de $NH80$ obtenidos de: (A) CHE (2004); (B) CHE (1993a).

Las diferencias relativas entre los consumos de agua y los valores de $NH80_{2004}$ o los de $NH80_{1993}$ presentaron gran variabilidad, ya que los rangos representados por los percentiles del 10 y 80 % resultaron ser particularmente grandes (Tablas A2.1 y A2.2, en el Anejo 2). Esta gran variabilidad también se observó cuando se consideró la *casuística 2* (sólo riegos a presión) (Tablas A2.3 y A2.4, en el Anejo 2).

Según los valores de DM_p listados en la Tabla 4.5, en promedio, los consumos de agua de 14 cultivos fueron mayores que las estimas $NH80_{2004}$, los de 13 cultivos fueron menores que esas estimas y los de 4 cultivos (cebada, melocotonero, patata y tomate) fueron prácticamente iguales. Por su parte, en promedio, los consumos de 10 cultivos fueron mayores que las estimas $NH80_{1993}$ y los de 7 cultivos fueron menores que esas estimas (Tabla 4.5). En general, considerar sólo los riegos a presión no provocó que los valores de DM_p fueran sustancialmente diferentes a los de la *casuística 1*, salvo en los cultivos de pimiento, en el que el riego a presión supuso una menor diferencia con las necesidades hídricas, y de cebada y trigo, en los que el riego a presión aumentó la diferencia haciéndola más positiva (cebada) o más negativa (trigo) (Tabla 4.5).

La Figura 4.5 indica que existió una cierta similitud entre los resultados obtenidos en la comparación con los valores de $NH80_{2004}$ y los obtenidos en la comparación con los de $NH80_{1993}$. Así, la pendiente de la recta de regresión de la Figura 4.5 no fue significativamente diferente de 1,0, la ordenada en el origen no lo fue de 0 ($\alpha = 0,95$) y el coeficiente de determinación fue moderadamente alto (0,69). No obstante, esta similitud se debe aceptar con precauciones por el reducido

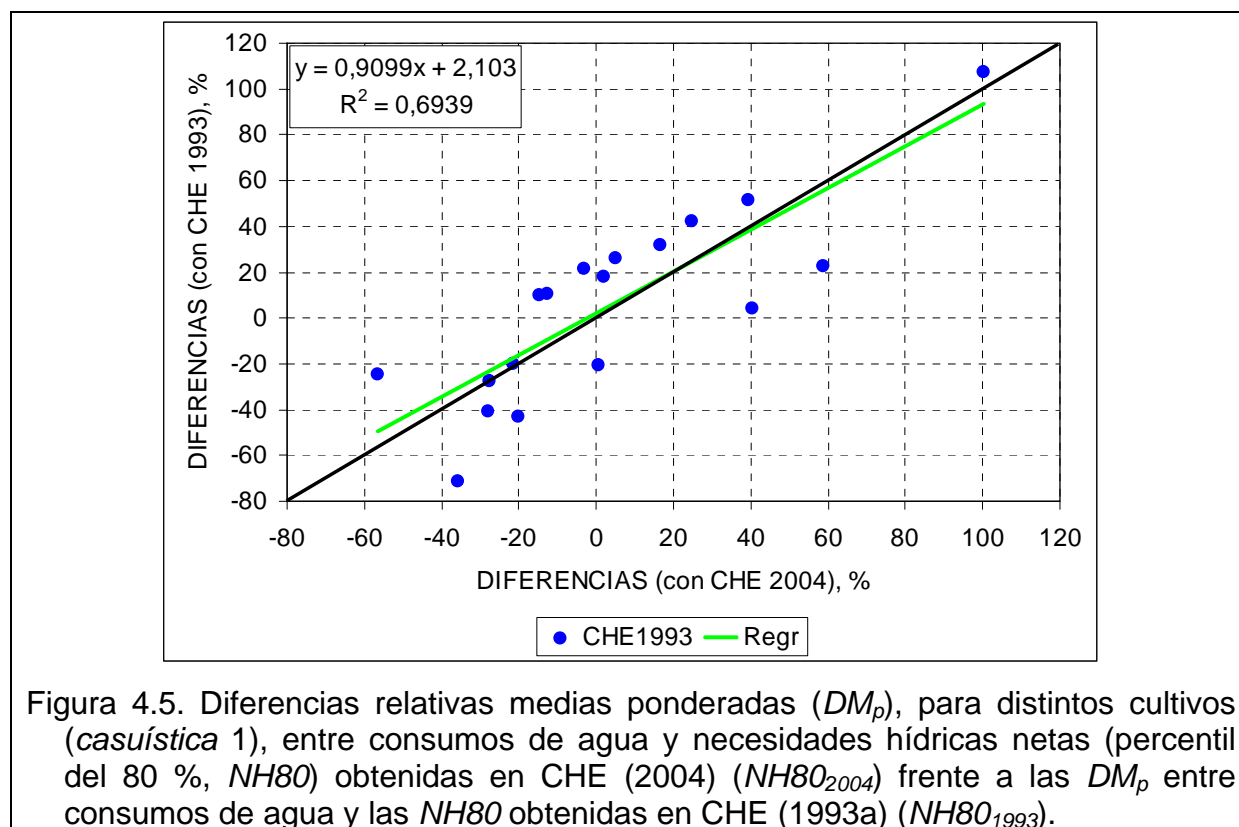
tamaño muestral ($N = 19$) lo que provocó que los intervalos de confianza de los parámetros de regresión fueran relativamente grandes.

Tabla 4.5. Superficie total disponible y media ponderada (DM_p) de los cocientes entre consumos reales de agua y necesidades hídricas estimadas (percentil 80) por CHE (2004) ($CHE0$) y CHE (1993a) ($CHE9$). Casuísticas 1 y 2.

Cultivo	Superficie (ha)				DM_p (%)			
	Casuística 1		Casuística 2		Casuística 1		Casuística 2	
	$CHE0$	$CHE9$	$CHE0$	$CHE9$	$CHE0$	$CHE9$	$CHE0$	$CHE9$
Albaricoquero	44		44		-10,3		-10,3	
Alfalfa	4.193	4.193	3.078	3.078	24,8	42,3	23,3	42,1
Almendro ⁽¹⁾	67		67		-61,2		-61,2	
Almendro (RDC)	67		67		-28,2		-28,2	
Arroz	600	336			40,5	4,4		
Berenjena ⁽¹⁾					24,5		24,5	
Brócoli ⁽¹⁾					87,7		87,7	
Cebada	385	385	121	121	1,9	18,0	6,4	50,6
Cebolla	190		190		15,2		15,2	
Cerezo ⁽²⁾	121		121		18,1		18,1	
Cerezo (RDC) ⁽²⁾	121		121		36,2		36,2	
Ciruelo	44		44		-14,3		-14,3	
Coliflor ⁽¹⁾					50,1		50,1	
Espárrago	79	79	79	79	-56,7	-24,4	-56,7	-24,4
Espinaca	38		38		-26,1		-26,1	
Girasol	369	221	264	116	-21,4	-20,0	-22,0	-22,9
Guisante	189	117	189	117	58,9	22,8	58,9	22,8
Judía verde	31	31	31	31	100,3	107,3	100,3	107,3
Lechuga	16		16		65,5		65,5	
Maíz grano	9.909	9.909	9.333	9.333	39,5	51,4	37,9	49,9
Manzano ⁽²⁾	41	41	41	41	-27,9	-40,7	-27,9	-40,7
Melocotonero ⁽²⁾	160	92	159	91	0,6	-20,5	0,3	-21,0
Melocotonero (RDC) ⁽²⁾	160		159		22,2		22,0	
Olivar	750	480	750	480	-20,3	-43,0	-20,3	-43,0
Patata	71	71	71	71	5,0	26,3	5,0	26,3
Peral ⁽²⁾	108	108	108	108	-27,5	-27,4	-27,5	-27,4
Pimiento	107	107	93	93	16,5	32,0	1,4	16,1
Remolacha azucarera	72	61	72	61	-14,7	10,2	-14,7	10,2
Tomate ⁽²⁾	392	372	391	371	-3,2	21,7	-3,4	21,3
Trigo	172	172	57	57	-12,6	10,6	-35,2	-19,5
Viñedo	461	34	461	34	-35,9	-71,5	-35,9	-71,5

⁽¹⁾ Media aritmética DM_a .

⁽²⁾ Sin datos de superficie en algunas parcelas.



Para discutir en profundidad los resultados obtenidos en cada cultivo, la Tabla 4.6 lista por comarcas los valores del estadístico DM_p para las dos *casuísticas* y para los cultivos de los que se dispuso de, al menos, 10 parcelas distintas. Sólo se han considerado las comarcas en las que se dispuso de registro de, al menos, 50 ha de cultivos herbáceos extensivos ó 10 ha de cultivos hortícolas, leñosos y frutales.

La alfalfa se regó alrededor de un 25% y un 42 % por encima de sus necesidades hídricas según se consideren los valores de $NH80_{2004}$ o los de $NH80_{1993}$, respectivamente (Tabla 4.5). Sin embargo, estos valores medios fueron ampliamente superados en las comarcas de Ejea de los Caballeros, Fraga, Noguera y Sariñena. En el caso de Ejea de los Caballeros, este resultado está claramente relacionado con el sistema de riego, ya que la *casuística 2*, que considera sólo el riego a presión, presentó valores que se acercaron a la media de todas las zonas de riego con datos. En las zonas de Fraga, Grañen, Monzón, Ribera Baja de Navarra y Tamarite de Litera, las estimas $NH80_{2004}$ dieron lugar a desviaciones mucho menores que las estimas $NH80_{1993}$.

El arroz se regó alrededor de un 40% en exceso si se consideran las estimas $NH80_{2004}$ frente a tan sólo un 4% si se consideran las estimas $NH80_{1993}$, lo cual es justamente lo contrario que lo observado en el caso de la alfalfa. El exceso de riego fue mucho mayor en Monzón que en Ejea de los Caballeros. El riego aplicado a la cebolla tan solo fue un 15% superior a las necesidades hídricas del cultivo y no se observaron diferencias importantes entre las zonas de la Ribera Alta de Aragón y la Ribera Baja de Navarra (Tabla 4.6).

Tabla 4.6. Superficie y media ponderada (DM_p) de los cocientes entre consumos reales de agua y necesidades hídricas estimadas (percentil 80) por CHE (2004) ($CHE0$) y CHE (1993a) ($CHE9$), por cultivos y comarcas. *Casuísticas 1 y 2.*

Cultivo	Comarca	Superficie (ha)				DM_p (%)			
		Casuística 1		Casuística 2		Casuística 1		Casuística 2	
		$CHE0$	$CHE9$	$CHE0$	$CHE9$	$CHE0$	$CHE9$	$CHE0$	$CHE9$
Alfalfa	Ejea de los Caballeros	648	648	328	328	50,6	69,8	27,2	43,5
	Fraga	406	406	406	406	30,6	77,9	30,6	77,9
	Grañén	727	727	727	727	9,3	42,4	9,3	42,4
	Monzón ⁽¹⁾	777	777			9,2	20,1		
	Noguera	71	71	71	71	76,7	98,1	76,7	98,1
	Pina de Ebro	488	488	488	488	17,0	4,8	17,0	4,8
	Quinto de Ebro	167	167	167	167	21,3	13,1	21,3	13,1
	Ribera Baja Navarra	72	72	72	72	11,9	24,7	11,9	24,7
	Sariñena	525	525	525	525	41,3	54,7	41,3	54,7
	Tamarite de Litera	208	208	205	205	4,8	17,3	4,1	16,4
Arroz	Ejea de los Caballeros	264				25,5			
	Monzón ⁽¹⁾	336	336			52,3	4,4		
Cebada	Ejea de los Caballeros	63	63			2,7	-2,8		
	Fraga	42	42	42	42	46,6	130,1	46,6	130,1
	Monzón ⁽¹⁾	190	190			0,2	6,2		
Cebolla	Ribera Alta – Aragón	64		64		11,1		11,1	
	Ribera Baja Navarra	124		124		17,4		17,4	
Espárrago	Ribera Alta – Aragón	36	36	36	36	-53,4	-14,8	-53,4	-14,8
	Ribera Baja Navarra	9	9	9	9	-44,2	6,7	-44,2	6,7
	Tierra Estella	35	35	35	35	-63,3	-42,4	-63,3	-42,4
Girasol	Épila - La Almunia	75		75		-11,3		-11,3	
	Grañén	51	51	51	51	-41,9	-33,1	-41,9	-33,1
	Monzón ⁽¹⁾	80	80			-25,5	-22,8		
	Quinto de Ebro	73		73		-11,8		-11,8	

Tabla 4.6. (Continuación).

Cultivo	Comarca	Superficie (ha)				DM _p (%)			
		Casuística 1		Casuística 2		Casuística 1		Casuística 2	
		CHE0	CHE9	CHE0	CHE9	CHE0	CHE9	CHE0	CHE9
Guisante	Caspe	66		66		87,6		87,6	
	Ribera Alta – Aragón	43	43	43	43	79,6	51,3	79,6	51,3
	Ribera Baja Navarra	74	74	74	74	16,1	6,4	16,1	6,4
Maíz grano	Caspe	105	105	105	105	77,5	44,9	77,5	44,9
	Ejea de los Caballeros	646	646	246	246	64,4	74,8	45,2	54,4
	Fraga	551	551	551	551	6,7	37,0	6,7	37,0
	Grañén	1.251	1.251	1.251	1.251	15,1	35,3	15,1	35,3
	Huesca	105	105	105	105	30,1	69,3	30,1	69,3
	Monzón	191	191	39	39	50,0	58,0	81,3	91,0
	Navarra Pirineos	99	99	99	99	30,7	125,3	30,7	125,3
	Pina de Ebro	485	485	485	485	21,2	13,8	21,2	13,8
	Quinto de Ebro	124	124	124	124	38,2	29,1	38,2	29,1
	Ribera Alta – Aragón	1.263	1.263	1.263	1.263	17,7	34,1	17,7	34,1
	Ribera Baja Navarra	1.825	1.825	1.825	1.825	6,1	24,5	6,1	24,5
	Sto. Domingo de la Calzada	168	168	168	168	-28,8	-31,4	-28,8	-31,4
	Sariñena	2.927	2.927	2.927	2.927	86,2	88,1	86,2	88,1
Tamarite de Litera	69	69	67	67	5,8	14,8	5,5	14,5	
Manzano ⁽²⁾	Cariñena	14	14	14	14	-29,2	-42,2	-29,2	-42,2
	Épila - La Almunia	10	10	10	10	-5,3	-25,6	-5,3	-25,6
	Tamarite de Litera	17	17	17	17	-39,8	-48,1	-39,8	-48,1
Melocotonero ⁽²⁾	Caspe	14	14	14	14	1,5	-33,0	1,5	-33,0
	Épila - La Almunia	24	24	24	24	-32,4	-42,3	-32,4	-42,3
	Quinto de Ebro	53		53		-0,9		-0,9	
	Ribera Baja Navarra	16		16		-20,9		-20,9	
	Segrià	53	53	53	53	22,4	-8,4	22,4	-8,4

Tabla 4.6. (Continuación).

Cultivo	Comarca	Superficie (ha)				DM _p (%)			
		Casuística 1		Casuística 2		Casuística 1		Casuística 2	
		CHE0	CHE9	CHE0	CHE9	CHE0	CHE9	CHE0	CHE9
Melocotonero (RDC) ⁽²⁾	Caspe	14		14		22,7		22,7	
	Épila - La Almunia	24	24	24	24	-14,5	-42,3	-14,5	-42,3
	Quinto de Ebro	53		53		23,5		23,5	
	Ribera Baja Navarra	16		16		-1,0		-1,0	
	Segrià	53		53		43,6		43,6	
Olivar	Belchite	480	480	480	480	-16,0	-43,0	-16,0	-43,0
	Quinto de Ebro	259		259		-26,2		-26,2	
Patata	Belorado	52	52	52	52	7,9	19,2	7,9	19,2
	Tierra Estella	12	12	12	12	-4,7	59,0	-4,7	59,0
Peral ⁽²⁾	Tamarite de Litera	103	103	103	103	-28,6	-28,2	-28,6	-28,2
Pimiento	Ejea de los Caballeros ⁽²⁾	14	14			118,4	139,1		
	Ribera Alta – Aragón	66	66	66	66	6,8	21,0	6,8	21,0
	Ribera Baja Navarra	26	26	26	26	-14,3	0,7	-14,3	0,7
Remolacha Azucarera	Belorado	11		11		19,4		19,4	
	Condado de Treviño	61	61	61	61	-20,7	10,2	-20,7	10,2
Tomate ⁽²⁾	Ejea de los Caballeros	19	19	18	18	71,2	128,8	70,4	127,8
	Quinto de Ebro	20		20		29,5		29,5	
	Ribera Alta – Aragón	186	186	186	186	-5,9	18,0	-5,9	18,0
	Ribera Baja Navarra	167	167	167	167	-12,4	13,6	-12,4	13,6
Trigo	Monzón ⁽¹⁾	110	110			-0,6	27,3		
Viñedo	Navarra Pirineos	66		66		-1,4		-1,4	
	Ribera Alta – Aragón	34	34	34	34	-61,1	-71,5	-61,1	-71,5
	Tierra Estella	358		358		-39,6		-39,6	

(1) Comarcas en la que todas las parcelas del cultivo en cuestión se regaron por inundación.

(2) Sin datos de superficie en algunas parcelas.

El riego aplicado a la cebada se ajustó en promedio muy bien a las necesidades hídricas si se consideran las estimas *NH80₂₀₀₄*, pero este cultivo se regó en exceso un 18 % en promedio cuando se consideraron las estimas *NH80₁₉₉₃*. Sin embargo, los datos promedio ocultan que solamente en la comarca de Fraga se regó en exceso (Tabla 4.6). En las otras dos zonas en las que se dispuso de datos suficientes (Ejea de los Caballeros y Monzón), el riego se ajustó muy bien a las necesidades hídricas calculadas en CHE (2004) y CHE (1993a).

El riego aplicado al espárrago fue un 57% y un 24 % superior a las necesidades hídricas determinadas por las estimas *NH80₂₀₀₄* y *NH80₁₉₉₃*, respectivamente. No se observaron diferencias entre comarcas cuando se consideraron las estimas *NH80₂₀₀₄* pero sí cuando se consideraron las estimas *NH80₁₉₉₃*, siendo más importante la diferencia entre el riego aplicado y las necesidades hídricas en la comarca de Tierra Estrella.

El riego aplicado al girasol fue un 20% inferior a sus necesidades hídricas tanto si se consideran las estimas *NH80₂₀₀₄* como si se consideran las estimas *NH80₁₉₉₃*. No se observaron diferencias entre los riegos a presión y los riegos por inundación. En la comarca de Grañén, el riego aplicado fue mucho menor que en el resto de las comarcas estudiadas.

El guisante fue regado en exceso con un 59% (estimadas *NH80₂₀₀₄*) o un 23 % (estimadas *NH80₁₉₉₃*) más de sus necesidades hídricas. En la comarca de la Ribera Baja de Navarra el riego aplicado se ajustó bastante a las necesidades hídricas (sobre todo a las estimas *NH80₁₉₉₃*) mientras que el exceso de riego fue muy importante en las comarcas de Caspe y Ribera Alta-Aragón.

La diferencia media entre el agua aplicada y las necesidades hídricas del maíz grano varió entre un 40% (estimadas *NH80₂₀₀₄*) y un 50% (*NH80₁₉₉₃*). No se observaron diferencias entre las dos *casuísticas* consideradas ya que la inmensa mayoría de los registros correspondieron a riegos a presión. En el análisis por comarcas se observó una gran divergencia de datos. Así, el maíz se regó en exceso en casi todas las zonas, salvo en las comarcas de Santo Domingo de la Calzada (por debajo de sus necesidades hídricas) y Fraga, Ribera Baja de Navarra y Tamarite de Litera, en donde los consumos de agua se ajustaron a las necesidades hídricas expresadas por las estimas *NH80₂₀₀₄* pero no a las expresadas por las estimas *NH80₁₉₉₃*. La diferencia entre el riego aplicado y las necesidades hídricas fue muy importante (> 50%) en Caspe, Ejea de los Caballeros, Huesca, Monzón, Navarra Pirineos y Sariñena (Tabla 4.6). En el caso de Ejea de los Caballeros probablemente se debió a la presencia de suelos de saso, habiéndose observado una menor diferencia cuando se consideraron sólo los riegos a presión. Las diferencias entre el riego aplicado y las necesidades hídricas del cultivo fueron mayores con las estimas *NH80₁₉₉₃*, salvo en las comarcas de Caspe, Pina de Ebro y Quinto de Ebro.

El agua de riego aplicada al manzano fue en promedio un 41% (estimadas *NH80₂₀₀₄*) y un 28% (estimadas *NH80₁₉₉₃*) inferior a sus necesidades hídricas. Las diferencias fueron mayores en las comarcas de Cariñena y Tamarite de Litera.

El riego aplicado al melocotonero se ajustó en promedio a las necesidades calculadas en CHE (2004) pero fue un 21% inferior a las calculadas en CHE (1993a). Se observó una gran divergencia entre las distintas comarcas. Así el riego aplicado fue especialmente deficitario en Épila-La Almunia y en la Ribera Baja de Navarra. Sin embargo, el riego aplicado se ajustó a las estimas *NH80₂₀₀₄* en Caspe y Quinto de Ebro. En la comarca de Segrià se regó en exceso según las estimas *NH80₂₀₀₄* y por defecto según las estimas *NH80₁₉₉₃*. Cuando se consideraron las necesidades hídricas de un riego deficitario controlado, el riego aplicado fue en promedio un 22% superior a las necesidades hídricas calculadas, aunque en las comarcas de Épila-La Almunia y Ribera Baja de Navarra fue algo inferior a dichas necesidades (Tabla 4.6).

El riego aplicado al olivar fue inferior a sus necesidades hídricas en un 20% (estimadas *NH80₂₀₀₄*) y en un 43% (estimadas *NH80₁₉₉₃*). El riego aplicado fue ligeramente más deficitario en Quinto de Ebro que en Belchite.

El riego aplicado a la patata se ajustó a las necesidades hídricas calculadas en CHE (2004) pero fue mayor que las necesidades calculadas en CHE (1993a), particularmente en el caso de la comarca de Tierra Estrella.

El riego aplicado al peral fue un 27% inferior a sus necesidades hídricas calculadas. No se pudo estudiar las posibles diferencias entre comarcas por disponer de un número adecuado de registros sólo en la comarca de Tamarite de Litera.

En el caso del pimiento se observó que el agua aplicada con el riego a presión se ajustó mejor a las necesidades hídricas calculadas, sobre todo a las estimas *NH80₂₀₀₄*. Comparando con las estimas *NH80₁₉₉₃*, el pimiento se regó en exceso un 16% (riegos a presión) y un 32% cuando se consideraron todos los tipos de riego. El riego aplicado fue más del doble de las necesidades hídricas en Ejea de los Caballeros, posiblemente debido al riego por inundación utilizado en esta zona. Tanto en la Ribera Alta-Aragón como en la Ribera Baja-Navarra el riego aplicado estuvo mucho más cerca de las necesidades probablemente debido al uso de riego a presión.

El riego aplicado a la remolacha azucarera fue en promedio un 15% inferior o un 10% superior a las necesidades calculadas (estimadas *NH80₂₀₀₄* y *NH80₁₉₉₃*, respectivamente). Considerando las estimas *NH80₂₀₀₄*, el riego fue excesivo en la comarca de Belorado pero inferior a las necesidades en el Condado de Treviño.

El riego del tomate se ajustó en promedio a las necesidades hídricas expresadas por las estimas *NH80₂₀₀₄* pero fue un 21% superior a las necesidades expresadas por las estimas *NH80₁₉₉₃*. Se observó una gran divergencia entre las distintas comarcas. Así, mientras que en la Ribera Alta –Aragón y Ribera Alta Navarra el riego estuvo algo por debajo de las necesidades, en Quinto de Ebro estuvo un 30% por encima de las necesidades hídricas y en Ejea de los Caballeros se aplicó más del doble de las necesidades hídricas.

El riego aplicado al trigo estuvo por debajo de las necesidades de dicho cultivo (estimadas *NH80₂₀₀₄*), independientemente del sistema de riego, aunque el

agua aplicada fue menor con riego a presión (Tabla 4.5). Cuando se consideraron las estimas $NH80_{1993}$, el riego aplicado estuvo ligeramente por encima de las necesidades considerando todos los sistemas de riego pero por debajo cuando se consideraron sólo los riegos a presión.

El agua de riego aplicada al viñedo fue en promedio un 36% (estimadas $NH80_{2004}$) o un 71% (estimadas $NH80_{1993}$) inferior a las necesidades hídricas del cultivo. Sin embargo, hubo una gran divergencia entre comarcas. Mientras en Navarra-Pirineos el riego se ajustó a las necesidades hídricas, en Tierra Estella fue un 40% menor que éstas y en Ribera Alta-Aragón fue más de un 60% inferior.

La Figura 4.6 muestra los valores de las diferencias relativas (D_{i2004}) entre los consumos de agua por unidad de superficie y las estimas $NH80_{2004}$ calculadas para 3 cultivos, alfalfa, girasol y maíz grano, frente a la superficie de las parcelas en todos los registros disponibles (*casuística 1*) o sólo en aquéllos con riegos a presión (*casuística 2*). No se observaron diferencias importantes entre las dos *casuísticas*, lo que concuerda con los resultados de las Tablas 4.5 y 4.6. En los tres cultivos se observó que la variabilidad de D_{i2004} tendió a disminuir con el aumento de la superficie de las parcelas. Asimismo, se observó una tendencia a que la diferencia relativa D_{i2004} fuese menor conforme aumentó el tamaño de las parcelas. La Figura 4.7 muestra gráficas similares pero para tres cultivos leñosos, melocotonero, olivar y viñedo, donde se observó también una disminución en la variabilidad de D_{i2004} conforme aumentó la superficie de la parcela. Sin embargo, sólo en melocotonero y olivar se observó una tendencia a disminuir D_{i2004} con el aumento de la superficie.

La interpretación de estos resultados no es inmediata. Hay que tener en cuenta que todo sistema de riego tiene una eficiencia menor del 100 % por lo que, en principio, hay que esperar que los consumos medidos de agua (o dotaciones de riego) sean en promedio mayores que las necesidades hídricas. De hecho, Clemmens y Dedrick (1994) no asignan eficiencias superiores al 90 % para ningún sistema de riego ni en sus estimaciones más optimistas. Con estas consideraciones, que esas diferencias medias sean del orden de un 15 a 40 % no debería extrañar, en principio, porque las eficiencias concretas de parcelas concretas dependen del sistema y diseño del riego, de las condiciones meteorológicas (por ejemplo, el viento aumenta las pérdidas por evaporación y arrastre en riegos por aspersión), de la capacidad de retención de agua por el suelo (lo que depende de la textura y de la profundidad del suelo, entre otros factores), de las necesidades de lavado de sales para evitar su acumulación en la zona radicular, de la calidad del agua de riego, etc. En definitiva, por eficiente que sea un riego, siempre tendrá unas pérdidas de agua tales que el volumen de agua aplicada sea mayor que el agua realmente usada por el cultivo. De hecho, este riego ligeramente excesivo es necesario para asegurar la sostenibilidad del regadío frente a la acumulación de sales en el perfil del suelo.

Por otra parte, en este trabajo los consumos de agua se han comparado con los percentiles del 80 % de las estimas de necesidades hídricas obtenidas en CHE (2004) y CHE (1993a). Estos percentiles representan valores que se esperarían en años relativamente secos, no en años medios. Sin embargo, los consumos de agua que se han utilizado en este trabajo corresponden a varios años concretos,

tendiendo en su conjunto a representar un año medio. Por ello, tampoco debería extrañar que se hayan obtenido casos en los que el consumo de agua haya sido menor que las estimas $NH80_{2004}$ o $NH80_{1993}$. De hecho, los valores de DM_p indican que, en términos generales, los consumos medios han sido menores que las necesidades hídricas para algo menos de la mitad de los cultivos estudiados (Tabla 4.5). Pudiera ser que en esos casos, las necesidades hídricas de los correspondientes años en curso hayan sido menores. También ese hecho podría deberse a que un número importante de los registros de consumos de agua seleccionados corresponden al año 2005, año en el que hubo restricciones de riego en algunas comunidades de regantes.

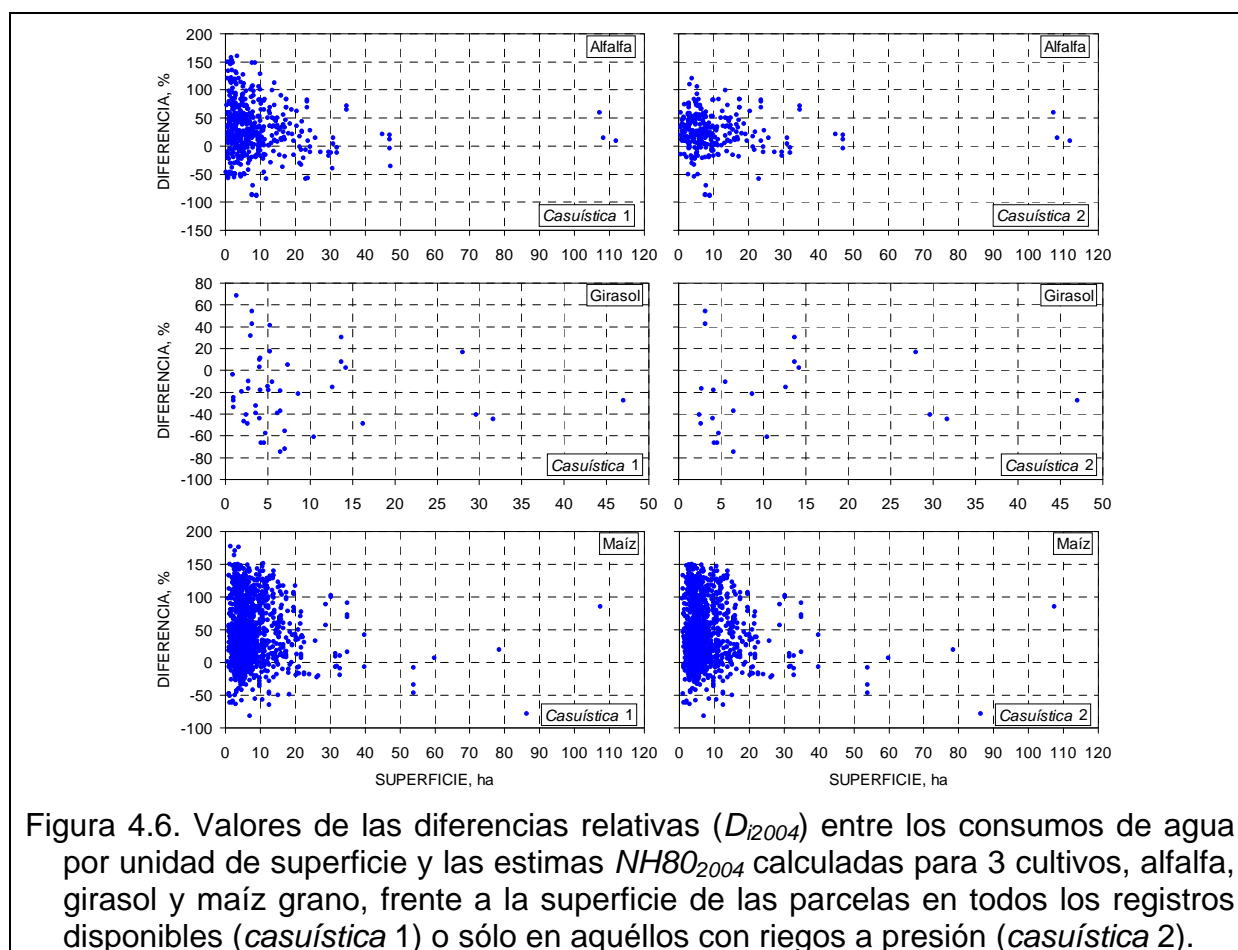


Figura 4.6. Valores de las diferencias relativas (D_{i2004}) entre los consumos de agua por unidad de superficie y las estimas $NH80_{2004}$ calculadas para 3 cultivos, alfalfa, girasol y maíz grano, frente a la superficie de las parcelas en todos los registros disponibles (*casuística 1*) o sólo en aquéllos con riegos a presión (*casuística 2*).

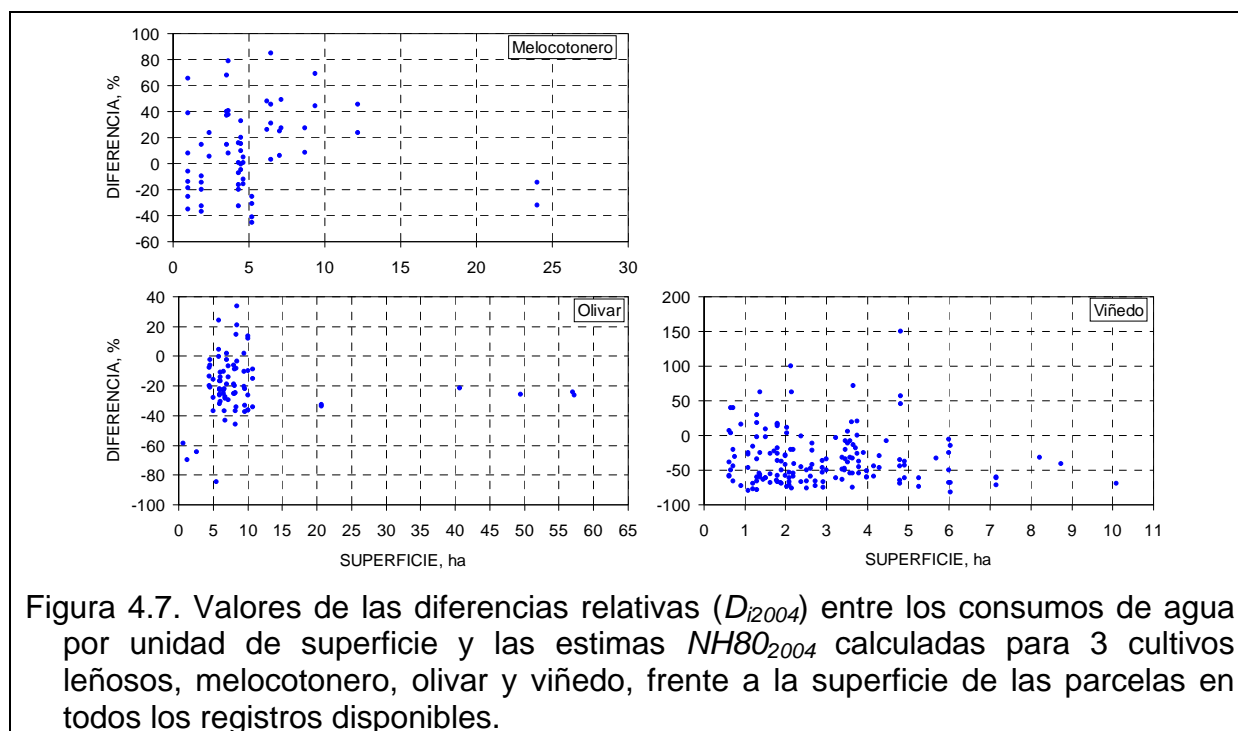


Figura 4.7. Valores de las diferencias relativas (D_{i2004}) entre los consumos de agua por unidad de superficie y las estimas $NH_{80_{2004}}$ calculadas para 3 cultivos leñosos, melocotonero, olivar y viñedo, frente a la superficie de las parcelas en todos los registros disponibles.

La comparación de los consumos de agua con las necesidades hídricas netas estimadas para el año en curso (NH_{curso}) no se ha realizado en este trabajo por varias razones. La primera es que no se dispuso de valores de NH_{curso} procedentes del trabajo de CHE (1993a). Sí se dispuso de valores de esta variable procedentes de CHE (2004) pero sólo hasta 2002. Para los años 2003 a 2005 hubiera sido necesario realizar los correspondientes cálculos. Como es conocido, en el cálculo de las necesidades hídricas netas se necesita estimar la evapotranspiración de referencia (ET_0), en un primer paso, a partir de datos meteorológicos. En CHE (2004) se seleccionaron una serie de estaciones meteorológicas de la red del Instituto Nacional de Meteorología (INM) ubicadas en la cuenca del Ebro o en las zonas colindantes. A partir de los datos de estas estaciones se obtuvieron valores medios mensuales de temperatura y precipitación para cada año del periodo 1960 a 2002 en el punto centroe de cada comarca mediante interpolación con el método de la inversa del cuadrado de la distancia. En la interpolación realizada en cada uno de esos centroides no se puso ningún límite en cuanto a la distancia existente entre el centroe y los puntos de ubicación de cada estación. El número de estaciones incluidas en cada interpolación, en cada centroe, mes y año varió porque así lo hizo el número de estaciones operativas. Actualmente, muchas de las estaciones utilizadas en CHE (2004) no están ya operativas. Además parte de la red de estaciones del INM ha sido transferida a las CC.AA. (por ejemplo, en Cataluña). Estas circunstancias dificultaron la recopilación de datos meteorológicos en los años 2003 a 2005, que sólo se consiguieron para Navarra, Aragón y parte del norte de Burgos. Por ello, los resultados de la interpolación en los centroides de las comarcas para los años 2003 a 2005 presumiblemente no habrían sido los mismos (aun utilizando el mismo procedimiento) que si se hubiera empleado el mismo conjunto de

estaciones usado en CHE (2004). Hubiera sido necesario realizar comparaciones entre los resultados de la interpolación obtenidos en varios de los años usados en CHE (2004) con los que se habrían obtenido con las estaciones meteorológicas que finalmente se pudieron recopilar. En su caso, se podría haber realizado un proceso de 'calibración' con el fin de obtener resultados de interpolación similares con el conjunto completo o con el conjunto reducido de estaciones del INM. Pero esta comparación hubiera requerido un tiempo mayor del que se ha dispuesto para realizar este trabajo. Por ello, la comparación de los consumos de agua con las necesidades hídricas netas del año en curso quedaría pendiente para trabajos posteriores.

Aun con todas las consideraciones anteriores y con la variabilidad comarcal observada, se podría decir que los resultados de las Tablas 4.5 y 4.6 sugieren que la mayor parte de los principales cultivos herbáceos extensivos de verano (alfalfa, arroz y maíz grano) se riegan en exceso, mientras que los de invierno (cebada y trigo) se riegan de acuerdo a sus necesidades o por debajo de estas. También se ha podido observar que los agricultores no realizan en general riegos deficitarios controlados (*RDC*) en las plantaciones de cerezo o melocotonero. En el caso del almendro lamentablemente no se dispone más que de un registro, lo que imposibilita la obtención de conclusiones. Sin embargo, los cultivos leñosos (olivar y viñedo) se están regando por debajo de las necesidades calculadas. Los resultados indican que, para algunos cultivos, principalmente hortícolas (brócoli, coliflor, guisante verde y judía verde), los consumos medios de agua han sido muy diferentes (mayores) a las estimas de necesidades hídricas netas del percentil del 80 % sugiriendo que, probablemente, el cálculo de éstas debería mejorarse sustancialmente. En general, se trata de cultivos que tienen varias recolecciones al año y en CHE (2004) se consideró que se producían 3 ciclos (o tipos varietales) distintos en el año. Es posible, sin embargo, que este número tuviera que ampliarse ya que los resultados de las Tablas 4.5 y 4.6 sugieren que quizás en la práctica real, se producen más de esos 3 ciclos. Sería conveniente revisar con detalle la fenología y división de ciclos de cultivo en esos casos para tratar de que la realidad se refleje mejor. En el resto de cultivos, los valores de DM_p sugieren que, en términos muy generales, las estimas de $NH80$ y los consumos reales de agua parecen ser moderadamente parecidos.

5. CONCLUSIONES

1. Se seleccionaron un total de 2.754 parcelas de riego correspondientes a 28 cultivos. A pesar de que las parcelas se seleccionaron en función de la calidad de los datos y de la estimación cualitativa de una elevada eficiencia, se encontró una elevada dispersión en el consumo de agua de riego dentro de cada cultivo (el promedio de la desviación estándar de los consumos de los diferentes cultivos resultó ser del 35%). Esta dispersión pudo deberse en parte a las diferencias entre zonas de la cuenca, aunque diversos autores han encontrado una dispersión igual o superior aún en zonas mediterráneas de climatología uniforme y que se caracterizan por una elevada eficiencia de riego.
2. Los consumos ponderados de agua de riego de las parcelas seleccionadas también resultaron altamente variables, oscilando desde $1.381 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para el viñedo (cultivo de menor consumo de entre los que tienen más de 3 registros) hasta $11.501 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para el arroz. Un estudio estadístico reveló que dentro de cada cultivo las diferencias entre las medias aritméticas, las medias ponderadas y las medianas de la variable consumo de agua por unidad de superficie no resultaron relevantes.
3. La comparación entre las *casuísticas* 1 y 2 permitió poner de manifiesto las escasas diferencias en cuanto a consumos de agua de riego entre los sistemas de riego por gravedad y presurizado. Esta conclusión debe ilustrarse con el hecho de que la comparación se ha establecido entre parcelas que se presumen eficientes. Diversos autores han llegado a esta misma conclusión con anterioridad. También es preciso hacer notar que, de entre los cultivos analizados, una buena parte (la mayoría de los leñosos, algunos hortícolas e incluso algunos extensivos) tenía muy mayoritariamente registros de riego presurizado.
4. En algunos cultivos se apreció una tendencia clara a la reducción de la variabilidad del consumo de agua de riego conforme aumentaba el tamaño de la parcela. Esta observación puede ser de utilidad para la optimización de futuras campañas de muestreo acerca del consumo de agua de los cultivos de la cuenca.
5. La variabilidad de los consumos de agua de riego resultó en una gran variabilidad de las diferencias entre consumos y necesidades de riego, como se pone de manifiesto por las diferencias entre los percentiles 90 y 10 en las diferentes tablas de resultados. En la *casuística* 1, el promedio de los valores absolutos de las diferencias relativas medias ponderadas (DM_p) entre los consumos de agua (todos los sistemas de riego) y las necesidades hídricas del percentil 80% obtenidas de CHE (2004) ($NH80_{2004}$) fue del 27,5 %, mientras que el promedio de los valores de DM_p fue del 6.7 %. Este último dato revela que, en general, se aplica a los cultivos analizados más agua de la que corresponde a sus necesidades hídricas. Esta generalización esconde sin embargo unas

enormes diferencias entre cultivos. Así, para el caso de las estimas $NH80_{2004}$, en el caso que se cita en esta conclusión, el promedio de los valores DM_p de 14 cultivos fue superior a las necesidades, mientras que el de 13 fue inferior. El considerar sólo los riegos a presión o el considerar las estimas de necesidades hídricas obtenidas de CHE (1993a) introdujeron escasas modificaciones en los resultados.

6. Los resultados de las diferencias entre consumos y necesidades sugieren que en algunos cultivos la determinación de las necesidades hídricas necesita de más investigación. Este es el caso de algunos cultivos hortícolas, en los que podría ocurrir que el ciclo vegetativo usado en el cálculo de la evapotranspiración no estuviera ajustado al que hicieron los agricultores. En otros casos, particularmente en los cultivos leñosos, la adopción de prácticas de riego deficitario controlado introduce importantes cambios en las necesidades hídricas, que necesitan de estudios adicionales. La variación de estas prácticas entre cultivos, zonas y sistemas de producción hace que los datos deban de ser analizados con cautela.
7. Se ha observado una variabilidad importante entre comarcas en cuanto a las diferencias entre consumos y necesidades. En algunos casos están relacionadas con el tipo de suelo mayoritario en las distintas zonas pero en otros casos podrían ser debidos a diferentes prácticas de manejo del riego y del cultivo.
8. Sobre los resultados presentados se plantean tres incertidumbres de tipo científico que podrían afectar a su precisión. La primera es la verificación en campo del carácter de eficiente de las parcelas seleccionadas. En muchos cultivos se dispone de un elevado número de registros cuya eficiencia no ha podido ser verificada más que indirectamente, a través de observadores colaboradores. La segunda es la naturaleza de las necesidades hídricas con las que se ha comparado. El uso de las necesidades hídricas del año de observación permitiría presumiblemente aumentar la calidad de los resultados. La tercera es la falta de observaciones acerca de la producción de los cultivos. No se puede descartar que los registros de consumos más bajos hayan dado lugar a producciones incompatibles con la sostenibilidad económica de las explotaciones. Esto podría ser particularmente cierto en los cultivos herbáceos.

6. RECOMENDACIONES

El trabajo presentado podría mejorar la calidad de sus resultados si se pudieran poner en práctica una serie de recomendaciones que se han puesto de manifiesto durante el análisis de los resultados:

1. Es preciso tener una mejor cobertura geográfica de la cuenca del Ebro para caracterizar con más detalle los cultivos existentes y su variabilidad de manejo, riego y eficiencia. Puesto que no ha resultado fácil obtener datos de colaboradores en diversas áreas de la Cuenca, sería preciso generarlos mediante trabajos de campo o que la CHE obligara a los usuarios a medirlos y aportarlos.
2. El número de parcelas observadas en cada cultivo podría estandarizarse a una o varias decenas. La disminución en el número de observaciones podría así compensarse con un seguimiento a pie de parcela durante la campaña de riego que sirviera para verificar más allá de toda duda la cualidad de riego eficiente, el consumo de agua, la producción y la sostenibilidad económica del cultivo. Si estas observaciones estuvieran disponibles, se podrían completar los resultados presentados con un análisis de productividad económica del agua de riego que aportaría una perspectiva adicional al análisis.
3. En la actualidad sería posible disponer de estimas de calidad y a tiempo real de la evapotranspiración de los cultivos. La combinación de estas estimas con observaciones fenológicas en campo permitiría tener una elevada fiabilidad en la determinación de las necesidades hídricas.
4. La revisión en campo de todas las parcelas permitiría estandarizar los métodos de recogida de datos, lo que sin duda llevaría a disminuir la variabilidad observada en los datos de consumos de agua. Aunque esta variabilidad es compatible con la observada en otros estudios similares, parece probable que en todos los casos parte de la variabilidad esté asociada a la forma en que los datos fueron tomados.
5. El elevado número de cultivos encontrados en este estudio podría reducirse en aras a caracterizar aquéllos que representen un determinado porcentaje del área de la cuenca. Una reducción moderada del número de cultivos observados resultaría en una mejor calidad de los resultados.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 56. FAO, Roma, Italia, 300 pp.
- Berengena J., Gavilán P., Márquez F. 2001. Precisión de las estimaciones de la ET_0 en un ambiente advectivo. XIX Congreso Nacional de Riegos. Zaragoza, España. 12-14 de junio de 2001. pp. 67-68. Confederación Hidrográfica del Ebro, Zaragoza, España.
- Carcelén V., Frontela S., Hernáiz A., Casanova E., Cañada L., Pinilla I. 2002. Evaluación de perímetros de riego en la zona regable del Cinca (Huesca). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Madrid, España.
- Cardeña G. 2004. Aplicación del programa Ador a la gestión del riego por superficie: la Comunidad de Regantes de La Campaña (Huesca). Proyecto Final de Carrera Ingeniero Agrónomo. ETSEA, Universidad de Lleida. 109 pp.
- Cavero J., Playán E., Mantero I. 2000. Management of irrigation districts with a specialised database. En: New technologies development for irrigation systems management. Lamaddalena N. (ed.). Mediterranean Agronomic Institute, CIHEAM, Bari, Italia.
- CEDEX. 1996. Determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la cuenca del Ebro. Abril de 1996. Código del archivo de la OPH: 55-B.
- CHE. 1993a. Apéndice de dotaciones de riego de la propuesta de proyecto de directrices del Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro. Empresa consultora: INYPSA. Febrero de 1993. Código del archivo de la OPH: 513-A.
- CHE. 1993b. Evaluación de los consumos de riegos por medición en parcelas seleccionadas de la cuenca del Ebro. 1ª fase (plan hidrológico). Empresa consultora: INTAGRO. Diciembre de 1993. Código del archivo de la OPH: 695-A.
- CHE. 1996. Superficie de regadíos por comarcas, ocupaciones de cultivos y dotaciones objetivo de riego de la cuenca y sistemas de la cuenca del Ebro. Incluida en el Anexo 2 (Dotación anual de comarcas y su modulación) de una versión no definitiva del Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro. Empresa consultora: INYPSA. Código del archivo de la OPH: 1096-A.
- CHE. 1997. Análisis de las dotaciones de la zona regable del río Huerva. Empresa consultora: INYPSA. Diciembre de 1997. Código del archivo de la OPH: 1337-A.
- CHE. 2001. Cálculo de las necesidades hídricas para determinados cultivos leñosos. Empresa consultora: OTRI (Profesor Ramón Reiné). Diciembre de 2001. Código del archivo de la OPH: 1823-A.

- CHE. 2004. Revisión de las necesidades hídricas netas de los cultivos de la cuenca del Ebro. Empresa consultora: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Diciembre de 2004. Código del archivo de la OPH.
- CHE. 2005. Las dotaciones de riego en la planificación hidrológica de la cuenca del Ebro: metodología y comparación con otros estudios. Mayo de 2005.
- Clemmens A.J., Dedrick A.R. 1992. Identifying factors that influence farm water use. En: Conferencia regional panamericana. Mazatlán, Sinaloa, México. 10 pp.
- Clemmens A.J., Dedrick A.R. 1994. Irrigation techniques and evaluations. En: Adv. series in agricultural sciences. Tanji K.K., Yaron B. (eds.). 64-103. Springer-Verlag, Berlín, Alemania.
- Cots L., Monserrat J., Borrás E., Barragán J. 1993. Evaluación del uso del agua en la zona de "Les Planes" (430 ha) del término municipal de Arbeca (Colectividad número 13 de los canales de Urgell, Lleida). XI Jornadas Técnicas sobre Riegos. AERYD, Valladolid.
- Dechmi F. 1998. Étude de l'utilisation de l'eau dans la Communauté d'irrigants de La Loma de Quinto de Ebro. Tesis de Master. IAM, Zaragoza, 135 pp.
- Dechmi F., Playán E., Faci J.M., Tejero M. 2003a. Analysis of an irrigation district in northeastern Spain. I. Characterisation and water use assessment. *Agricultural Water Management*. 61: 75-92.
- Dechmi F., Playán E., Faci J., Tejero M., Bercero A. 2003b. Analysis of an irrigation district in north-eastern Spain: II: Irrigation evaluation, simulation and scheduling. *Agricultural Water Management*. 61: 93-109.
- Doorenbos J., Pruitt W.O. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje, nº 24. ONU-FAO, Roma, Italia. 194 pp. Edición en español del trabajo original en inglés 'Crop water requirements', publicado en 1975 y revisado en 1977.
- Faci J.M., Bensaci A., Slatni A., Playán E. 2000. A case study for irrigation modernisation. I. Characterisation of the district and analysis of water delivery records. *Agricultural Water Management*. 42: 313-334.
- Hanson B., Bowers W., Davidoff B., Kasapligil D., Carvajal A., Bendixen, W. 1995. Field performance of microirrigation systems. En: Microirrigation for a changing world: Conserving resources/Preserving the environment. Proc. Fifth Int'l. Microirrigation Congress. Orlando, Florida, EE. UU. Página 986.
- Lecina S., Martínez-Cob A., Pérez P.J., Villalobos F.J., Baselga J.J. 2003. Fixed versus variable bulk canopy resistance for reference evapotranspiration estimation using the Penman-Monteith equation under semiarid conditions. *Agricultural Water Management*. 60 (3): 181-198.
- Lecina S., Playán E., Isidoro D., Dechmi F., Causapé J., Faci J.M. 2005. Irrigation evaluation and simulation at the Irrigation District V of Bardenas (Spain). *Agricultural Water Management*. 73: 223-245.

- Lorite I.J., Mateos L., Fereres, E. 2004. Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment - II. Variability among crops and farmers. *Irrigation Science*. 23 (2): 85-92.
- Martínez-Cob A., Tejero M. 2004. A wind-based qualitative calibration of the Hargreaves ET_0 estimation equation in semiarid regions. *Agricultural Water Management*. 64: 251-264.
- Martínez-Cob A., Faci J.M., Bercero A. 1998. Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón. *Institución Fernando el Católico, Diputación de Zaragoza, Zaragoza, España*, 223 pp.
- Playán E., Cavero J., Mantero I., Salvador V. 2001. Ador: un programa para la gestión de comunidades de regantes. XIX Congreso Nacional de Riegos, pp 231-233. Zaragoza, España, 12-14 junio, Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza, España.
- Playán E, Cavero J, Mantero I, Salvador R, Lecina S, Faci J.M. 2004. El programa Ador: una herramienta para la mejora de la gestión del agua en las comunidades de regantes. *Riegos y Drenajes XXI*. 134: 44-50.
- Playán E., Faci J. M., Martínez-Cob A., Aragüés R., Quílez D., Cavero J., Beltrán A., Isidoro D., Lecina S., Causapé J., Dechmi F., Mantero I. 2002. Mejora del uso del agua y de la sostenibilidad medioambiental en comunidades de regantes: el caso de la Comunidad V de Bardenas. *Departamento de Agricultura del Gobierno de Aragón. Zaragoza, España*. 115 pp.
- Tejero M. 1999. Caracterización de los regadíos de La Loma de Quinto de Ebro. Trabajo Fin de Carrera, Ingeniería Técnica en Explotaciones Agropecuarias. *Escuela Univ. Politécnica de Huesca, Univ. Zaragoza*, 106 pp + anejos.
- Tejero M. 2003. Cálculo de la variabilidad temporal de las necesidades hídricas de los cultivos en las comarcas de Aragón. Proyecto Fin de Carrera. E.T.S. de Ingeniería Agraria, *Universitat de Lleida*. 26 de junio de 2003.
- Zapata N. 2002. Estudio del uso del agua en la comunidad de regantes de la acequia Bayunga, antes y después de la modernización. *Riegos de Navarra*. 31 pp.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer profundamente a las siguientes personas e instituciones por haber facilitado los datos utilizados en este trabajo:

- Miguel Ángel García Vera, de la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Ebro (Zaragoza).
- Sergio Lecina, de la consultora Ager Ingenieros (Zaragoza).
- Idoia Ederra, de la empresa pública Riegos de Navarra (Villava, Navarra).
- Raquel Salvador, de la Oficina del Regante, empresa pública SIRASA (Zaragoza).
- Alejandro Fago (secretario) y Luis Ciudad (presidente) de la Comunidad de Regantes V de Bardenas (Ejea de los Caballeros, Zaragoza).
- Juan Carlos Martínez, del Instituto de Tecnología Agroalimentaria de la Junta de Castilla y León (Valladolid).
- José Manuel Sanmartín, de la finca 'La Melusa' de la Confederación Hidrográfica del Ebro (Tamarite de Litera, Huesca).
- José Alcaine, secretario de la Comunidad de Regantes La Loma (Quinto de Ebro, Zaragoza).
- César Amorós Villar, técnico de la Comunidad de Regantes de Belchite (Zaragoza).
- Jorge del Orden, técnico de las fincas Las Llanas (Épila, Zaragoza), San Miguel (Alfamén, Zaragoza) y parcela 7/polígono 8 (Torres de Berrellén, Zaragoza).
- Arturo Iruretagoyena, técnico de la finca Gertusa (Sástago, Zaragoza).
- Carme Trigueros, de la Escuela de Capacitación Agraria de Tárrega (Lérida).
- Francisco Peribáñez, agricultor de Gallocanta (Zaragoza).
- Ignacio Ezquerro, agricultor de Belchite (Zaragoza).
- Gustavo Cardeña.

ANEJO 1. DESCRIPCIÓN DEL CD ADJUNTO

El CD adjunto a este informe contiene cinco carpetas: 1) *InformeAsistTec2005*; 2) *ConsumosAguaCuencaEbroFichOrig*; 3) *FicherosTrabajoCHE2004*; 4) *TextosVarios*; y 5) *InformacionRiegosNavarra*.

Carpeta *InformeAsistTec2005*

Esta carpeta tiene dos ficheros: 1) *InformeAsistenciaTecnicaCHE2005.doc*; y 2) *ConsumosAguaCuencaEbro.xls*.

El fichero *InformeAsistenciaTecnicaCHE2005.doc* contiene el texto del presente informe.

Fichero *ConsumosAguaCuencaEbro.xls*

En este fichero de Excel se almacenan los valores de consumos reales de agua seleccionados para realizar este trabajo. Este fichero tiene varias hojas.

Hoja *Datos*

Contiene el listado de todos los registros seleccionados en este trabajo. Las columnas son:

ID. Columna A. Un número arbitrario dado por los autores a cada registro.

ComarcaCHE(2004). Columna B. La comarca en la que se encuadra la parcela. Se usa la división comarcal empleada en CHE (2004).

Cultivo. Columna C. El cultivo correspondiente al registro en cuestión. En el caso del almendro, cerezo y melocotonero, cada registro se ha dividido en dos, uno en que las necesidades hídricas netas estimadas en CHE (2004) son las correspondientes a valores de evapotranspiración en *condiciones óptimas*; el otro registro (identificado con las letras *RD*) corresponde a las estimas realizadas en CHE (2004) para un supuesto de *riego deficitario controlado*.

Tipo varietal. Columna D. En algunos cultivos se indica el tipo varietal considerado.

Año. Columna E. El año en el que se registró el valor de consumo real de agua.

CategSuperf. Columna F. Categoría de la superficie: 0-2, 2-5, 5-10 y más de 10 ha.

Superficie. Columna G. La superficie del cultivo, ha.

SupParaCHE1993. Columna H. La superficie del cultivo, ha. Se repite el valor de la columna H en aquellos registros en que se ha dispuesto de estimas de necesidades hídricas (percentil del 80 %) en el trabajo de CHE (1993a).

Consumo. Columna I. El volumen total de agua de riego consumida por la superficie de cultivo, m³.

- ConsumoMd.* Columna J. El consumo medio por unidad de superficie, $m^3 ha^{-1}$.
- Sistema Riego.* Columna K. El sistema de riego empleado: a) inundación; b) aspersión (cobertura total); c) pívot; d) pívot y cobertura total; e) ranger; y f) goteo.
- SistemRiego.* Columna L. El sistema de riego empleado pero ahora agrupados en: a) inundación; b) presión; esta última categoría incluye a todos los sistemas de riego citados en la columna anterior menos el de inundación.
- NHn80(CHE2004).* Columna M. El valor estimado de necesidades hídricas netas (percentil 80 %) para el cultivo en cuestión por CHE (2004), $m^3 ha^{-1}$. Estimaciones *NH80₂₀₀₄*.
- NHn80(CHE1993).* Columna N. El valor estimado de necesidades hídricas netas (percentil 80 %) para el cultivo en cuestión por CHE (1993a), $m^3 ha^{-1}$. Estimaciones *NH80₁₉₉₃*.
- NHnAñoCurso(CHE2004).* Columna O. El valor estimado de necesidades hídricas netas para el año en curso para el cultivo en cuestión por CHE (2004), $m^3 ha^{-1}$. Estimaciones *NH80_{curso}*. Sólo se incluyen valores para registros de 2002 o años anteriores ya que los valores listados en esta columna corresponden a los calculados por CHE (2004) en el periodo 1960-2002. En este trabajo no se han efectuado comparaciones entre los consumos reales de agua y los valores de esta columna.
- C.R. General.* Columna P. Comunidad General de Regantes donde se ubica la parcela.
- Com. regantes.* Columna Q. La comunidad de base de regantes donde ubica la parcela.
- Municipio.* Columna R. El municipio donde se ubica la parcela. En algunos casos se indica el código de catastro.
- Hidrante.* Columna S. El código del hidrante correspondiente a la parcela.
- Fuente.* Columna T. La persona o institución que ha facilitado el valor de consumo real de agua.
- Fichero original.* Columna U. El fichero EXCEL (o en algunos casos Word o pdf) donde se almacena la información original suministrada por la *Fuente*. Estos ficheros se almacenan dentro del fichero *ConsumosAguaCuencaEbroFichOrig.zip*, que se describe a continuación.
- Observaciones.* Columna V. Diversas observaciones sobre el registro.
- NHn80(CHE2004).* Columna W. Diferencia relativa [D_{i2004} , ecuación (4a)] entre el consumo medio de agua por unidad de superficie de la parcela en cuestión y las estimaciones *NH80₂₀₀₄*. En tanto por ciento.
- NHn80(CHE1993).* Columna X. Diferencia relativa [D_{i1993} , ecuación (4b)] entre el consumo medio de agua por unidad de superficie de la parcela en cuestión y las estimaciones *NH80₁₉₉₃*. En tanto por ciento.

NHnAñoCurso(CHE2004). Columna Y. Diferencia relativa ($D_{i\text{curso}}$) entre el consumo medio de agua por unidad de superficie de la parcela en cuestión y las estimas $NH80_{\text{curso}}$. En tanto por ciento. Sólo se incluyen valores para registros de 2002 o años anteriores por las razones apuntadas antes para la columna O.

NHn80(CHE2004). Columna Z. Producto del correspondiente valor D_{i2004} (columna W) por el de la superficie S_i (columna G).

NHn80(CHE1993). Columna AA. Producto del correspondiente valor D_{i1993} (columna X) por el de la superficie S_i (columna H).

NHnAñoCurso(CHE2004). Columna AB. Producto del correspondiente valor $D_{i\text{curso}}$ (columna Y) por el de la superficie S_i (columna G). Sólo se incluyen valores para registros de 2002 o años anteriores por las razones apuntadas antes para la columna O.

Además en las celdas AD7 a AG42 hay una tabla dinámica utilizada para obtener la superficie media de las parcelas para cada cultivo. En esta tabla dinámica se listan también el número de registros de superficie (columna G) disponibles por cultivo y el número de registros totales disponibles por cultivo. Estas dos sumas suelen coincidir salvo en algún cultivo en el que no se dispuso de registros de superficie en todos los casos.

En las celdas AI7 a AX41 hay una segunda tabla dinámica en la que se han obtenido las sumas de: a) superficie (columna G); b) consumo (columna I); y c) número de registros. Estas sumas se han obtenido por cultivo y por rangos de superficie (columna F). De esta forma, en las celdas AZ9 a BI31 se han calculado las medias ponderadas de consumo medio de agua por unidad de superficie para cada categoría de superficie (columna F) y cultivo. Se han excluido cultivos con pocos registros disponibles. Los valores de estas celdas (AZ9 a BH31) se listan en la Tabla 4.4.

En las celdas BK6 a BR184 hay una tercera tabla dinámica en la que se han obtenido, para cada sistema de riego (columna L), cultivo (columna C) y comarca (columna B), las sumas de: a) número de registros (columna M); b) superficie (columna G); c) producto $D_{i2004} S_i$ (columna Z); d) número de registros (columna N); b) superficie (columna H); c) producto $D_{i1993} S_i$ (columna AA). A partir de estas sumas, se han calculado (celdas BS10 a BT184) los valores de DM_{p2004} [ecuación (6a)] y DM_{p1993} [ecuación (6b)] correspondientes a cada cultivo y comarca. De esta forma se obtuvieron los valores listados en las Tablas 4.5 y 4.6.

Hoja Albaricoquero hasta hoja Viñedo

Se trata de 28 hojas, cada una de las cuales contiene la información correspondiente a un cultivo diferente. Se listan los mismos valores que en la hoja *Datos* (aunque sólo los de las columnas A a C, E, G, I a K, M a O y W a AB), pero sólo para el cultivo indicado en la celda B2.

En los frutales y algunas hortalizas, CHE (2004) distinguieron varios tipos varietales (columna D, hoja *Datos*); por ejemplo, manzano tardío, manzano

temprano, etc. Todos los tipos varietales de un mismo cultivo se han incluido en la misma hoja por lo que los cálculos estadísticos de la sección 3.2 se han realizado conjuntamente para todos ellos.

En cada hoja, después del listado de los registros correspondientes al cultivo en cuestión, hay una serie de filas que contienen los cálculos estadísticos indicados en la sección 3.2. Estos estadísticos se listan también en la hoja *Resumen*.

Hoja Resumen

Esta hoja resume los cálculos estadísticos descritos en la sección 3.2 y que se listan en la parte final de las hojas *Albaricoquero* hasta hoja *Viñedo*. Este listado se efectúa por cultivos y para dos casuísticas distintas: a) todos los registros; b) sólo registros con riegos a presión. Los nombres de las distintas variables (fila 5) corresponden a los distintos estadísticos descritos en la sección 3.2, ecuaciones (1) a (6b). Los símbolos son los mismos, aunque sin formato (es decir, sin subíndices ni superíndices). Por ello, se remite al lector a dicha sección para encontrar el significado de cada variable listada en las columnas correspondientes a esta hoja. Los valores listados en esta hoja hasta la fila 36 se usaron para generar las Tablas 4.1, 4.2, A2.1, A2.2, A2.3 y A2.4. A partir de la fila 46 de esta hoja se listan los resultados que se usaron para generar la Tabla 4.3.

Hoja Grafas

Esta hoja contiene gráficas efectuadas con los resultados de la hoja *Resumen*. Justo encima de cada gráfica se describe brevemente qué representa. Las gráficas de esta hoja se usaron para las Figuras 4.1 a 4.7. Además, hay algunas otras gráficas que finalmente no se han incluido en este informe.

Hoja Regr

Resultados de los análisis de regresión simple entre distintas columnas de la hoja *Resumen*. Cada tabla de resultados contiene la descripción de qué variables se han usado en cada regresión. Las variables para las que se han realizado análisis de regresión son las mismas que las utilizadas en algunas de las gráficas de la hoja *Grafas*.

Carpeta ConsumosAguaCuencaEbroFichOrig

Esta carpeta contiene todos los archivos en los que se han grabado los consumos de agua reales proporcionados por las distintas fuentes consultadas. Parte de estos fueron excluidos del estudio tal como se describe en la sección 3.1 y tras este proceso, los distintos registros finalmente seleccionados en los ficheros de esta carpeta se almacenaron en el fichero *ConsumosAguaCuencaEbro.xls* que se acaba de describir.

A continuación se describen brevemente los ficheros de esta carpeta ya que la información contenida en los mismos es en general auto explicativa. En general, entre los datos grabados y/o suministrados se incluyen el volumen total de agua consumida, la superficie de cultivo, el consumo medio por unidad de superficie de

cada parcela individual, año, cultivo (en ocasiones, la variedad), término municipal, etc.

Fichero *ConsumosAgua2004LaRoyuela.xls*

Consumos de agua en 2004 en la comunidad de regantes de La Royuela (Alfamén) facilitados a través de la Oficina del Regante (Sirasa, Gobierno de Aragón). Casi todos los consumos corresponden a viñedo para vinificación y el resto, fundamentalmente, a diversos árboles frutales. En todos los casos, el sistema de riego es el localizado.

Fichero *ConsumosAguaAlagon2005.xls*

Consumos de agua registrados en 2005 en el polígono 8, parcela 7, del término municipal de Torres de Berrellén (Zaragoza). Información facilitada por el técnico de la explotación, Jorge del Orden. La mayor parte de los consumos corresponden a plantaciones frutales aunque algunos corresponden a hortícolas. Se trata de uno de los pocos casos en que se facilitaron valoraciones sobre los niveles de cosecha, dato que se usó como criterio de selección cuando fue factible para seleccionar o descartar un dato determinado de consumo de agua. Riego por goteo.

Fichero *ConsumosAguaAlfamen2005.xls*

Consumos de agua registrados en 2005 en la finca San Miguel (Alfamén, Zaragoza). Información facilitada por el técnico de la explotación, Jorge del Orden. La mayor parte de los consumos corresponden a plantaciones frutales aunque algunos corresponden a hortícolas. Se trata de otro de los pocos casos en que se facilitaron valoraciones sobre los niveles de cosecha. Riego por goteo, salvo un caso de riego por aspersión.

Fichero *ConsumosAguaBardenasV_2001.xls*

Consumos de agua registrados en 2001 en la comunidad de regantes de Bardenas V (Ejea de los Caballeros, Zaragoza). Información facilitada por la propia comunidad. Se trata de uno de los pocos casos en que se facilitaron los consumos de agua en varios periodos a lo largo de la campaña. Como en la mayoría de los casos sólo se facilitaron consumos totales de agua, los valores obtenidos en la Comunidad V de Bardenas se sumaron para obtener los valores totales durante la campaña en cada parcela y cultivo. Se realizó una visita a esta comunidad para explicarles los objetivos del trabajo y exponerles el tipo de información requerida. Los valores proporcionados corresponden a los consumos asignados a todas las parcelas de agricultores que respondían al perfil de 'buen regante', a juicio del secretario y del presidente de la comunidad de regantes. Estos consumos corresponden a cultivos extensivos (alfalfa, arroz, cebada, girasol, maíz grano y trigo) y a algunas hortícolas (tomate y pimiento). Riego por inundación en la mayor parte de los casos; en el resto, aspersión.

Fichero *ConsumosAguaBardenasV_2003.xls*

Como el fichero *ConsumosAguaBardenasV_2001.xls* pero los datos corresponden a la campaña 2003.

Fichero ConsumosAguaBardenasV_2004.xls

Como el fichero *ConsumosAguaBardenasV_2001.xls* pero los datos corresponden a la campaña 2004.

Fichero ConsumosAguaBardenasV_2005.xls

Como el fichero *ConsumosAguaBardenasV_2001.xls* pero los datos corresponden a la campaña 2005.

Fichero ConsumosAguaBelchite.xls

Consumos de agua en plantaciones de olivo en la comunidad de regantes de Belchite, en distintos sectores de riego, durante las campañas de 2003 a 2005. Los datos se midieron en distintos contadores situados en diferentes arquetas en dos sectores de riego. Información facilitada por el técnico de la comunidad de regantes, César Amorós Villar. Riego por goteo.

Fichero ConsumosAguaBelorado.xls

Consumos de agua en parcelas de remolacha azucarera y, sobre todo, patata de la comunidad de regantes Río Tirón (Belorado, Burgos) en los años 2003 a 2005. Riego por aspersión. Información facilitada por el ITA de la Junta de Castilla y León, en Valladolid.

Fichero ConsumosAguaCultivosFincasNavarra.xls

Consumos de agua en parcelas modernizadas en los últimos años (riego por aspersión) y ubicadas en las principales zonas regables de Navarra: Arguedas, Bardenas Reales – El Ferial, Bargota, Caparroso – Balsilla Marín, Caparroso – La Sarda, Lumbier, Murillo El Fruto, Santacara y Mélida, Traibuenas, Urraúl Bajo, Valdega y Valtierra. Los datos corresponden a los años 1999 a 2003 y fueron facilitados por Riegos de Navarra, empresa pública del Gobierno de Navarra. Constituyen la base de datos más exhaustiva de las recopiladas en este trabajo. Los cultivos representados son extensivos, hortícolas y algunos frutales; entre otros, alfalfa, girasol, maíz grano, brócoli, cebolla, espárrago, espinaca, guisante verde, judía verde, lechuga, melocotonero, patata, tomate, pimiento y viñedo.

Este fichero posee varias hojas. En la hoja denominada *Fase1Selec* se encuentran todos los datos proporcionados por Riegos de Navarra, excepto aquellos en que los técnicos de esta empresa marcaron al registro como correspondiente a lecturas no fiables de contadores, entre otras razones porque el hidrante en cuestión suministraba agua a más de una parcela, cada una con distintos cultivos. El fichero *ConsumosDeReferenciaYFacturadoVerOffice2000.mdb* es la base de datos donde se encuentra toda la información suministrada por Riegos de Navarra incluyendo los descartados en la hoja *Fase1Selec* antes mencionada.

Tras un proceso selectivo preliminar, se retuvieron los registros listados en la hoja denominada *Fase2Selec* del fichero *ConsumosAguaCultivosFincasNavarra.xls* y que, prácticamente, constituyen todos los datos que se retuvieron de Navarra para realizar el trabajo presente.

ConsumosAguaEpila2005.xls

Consumos de agua registrados en 2005 en la finca Las Llanas (Épila, Zaragoza). Información facilitada por el técnico de la explotación, Jorge del Orden. La mayor parte de los consumos corresponden a plantaciones frutales aunque algunos corresponden a hortícolas. Se trata de otro de los pocos casos en que se facilitaron valoraciones sobre los niveles de cosecha, por medio de observaciones sobre los consumos medios habituales en condiciones óptimas de cultivo. Riego por goteo, salvo un caso de riego por pivot.

ConsumosAguaFrutalesTamarite.xls

Consumos de agua registrados entre 1999 y 2005 en distintas plantaciones frutales de manzano, peral, melocotonero y nectarina de la zona de Albelda, Tamarite de Litera y Altorricón. Los datos fueron facilitados por José Manuel San Martín, de la finca La Melusa (Confederación Hidrográfica del Ebro), en formato papel y grabados por los autores de este informe en formato Excel (MS Office 2003). En todos los casos, el riego es por goteo. Los valores suministrados fueron realmente las horas de riego registradas por los contadores instalados en cada sector de riego, el nº de árboles existente en cada caso, el nº de goteros instalado y su caudal.

ConsumosAguaGallocanta.xls

Consumos de agua en una parcela de unas 13 ha situada en Gallocanta (Zaragoza) y regada de agua de pozo. Los datos fueron suministrados por el dueño de la finca, Francisco Peribáñez. Los cultivos fueron cereal y patata pero los consumos también incluyeron el agua suministrada a unas 200 ovejas. Lamentablemente, el agricultor no pudo suministrar más información de la incluida en el fichero. Por eso, los consumos de agua de este caso se descartaron por completo y no se incluyeron en la base de datos de trabajo utilizada en este estudio.

ConsumosAguaLleida.xls

Consumos de agua de una plantación de melocotonero ubicada en la comunidad de regantes de Carrassumada (Torres de Segre, Lérida) durante 2005. Información facilitada por Carme Trigueros, Escuela de Capacitación Agraria de Tárrega (Lérida). Estos volúmenes de agua se midieron en una prueba piloto liderada por el Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Generalitat de Cataluña y realizada en colaboración con la comunidad de regantes de Carrassumada, REGSA, Hidromatic y Sistemas Electrónicos Progress. Riego por goteo.

ConsumosAguaTreviño2005.xls

Consumos de agua en parcelas de remolacha (y una de patata) ubicadas en la comunidad de regantes de Condado de Treviño (Burgos) durante 2005. Información facilitada por Juan Carlos Martínez (ITA de la Junta de Castilla y León, Valladolid). En realidad, esta persona suministró un fichero pdf (*Treviño.pdf*) de unas hojas que la comunidad le envió por fax. En estas hojas se indican los volúmenes totales de agua de riego consumida entre 1998 y 2005 en tres comunidades de

regantes, Golernio, Zamaca y Treviño, así como los volúmenes de agua en distintos periodos durante el ciclo y los volúmenes de agua totales consumidos en Condado de Treviño a lo largo de la campaña de 2005. Riego por aspersión. Los datos fueron grabados por los autores de este informe en formato Excel (MS Office 2003).

ConsumosGertusaSastago.xls

Datos de consumo de agua registrados en la finca Gertusa (Sástago, Zaragoza), en distintas plantaciones frutales, olivar, viñedo (uva de mesa), alguna hortícola y alfalfa, durante 2003 y 2004. Riego por goteo. Información facilitada por Arturo Iruretagoyena, responsable de la explotación.

ConsumosLaCampaña2002.xls

Consumos de agua registrados en la comunidad de La Campaña (Huesca) durante 2002. Riego por inundación. Cultivos: alfalfa, arroz, cebada, trigo, girasol y maíz grano. Información obtenida a través de Cardeña (2004). Los datos originales están en la hoja denominada *Hoja1*, mientras que en la hoja 'Selección' se listan los valores resultantes de un primer proceso de selección de datos.

OtrosConsumos.doc

Consumos de agua durante 2004 en una parcela de olivos y vid ubicada en Belchite (Zaragoza). Información facilitada por su dueño, Ignacio Ezquerro. Lamentablemente, esta información se descartó del estudio presente por no poder asignar el consumo a cada cultivo de forma individual.

UsosÚnicosCGRAA03-04.xls

Consumos de agua registrados en 2003 y 2004 en tres comunidades de regantes pertenecientes al sistema de Riegos del Alto Aragón: Montesnegros, Alconadre y La Corona. Información suministrada por la consultora Ager Ingenieros. Riego por aspersión. Cultivos: alfalfa, cebada, trigo, maíz grano, guisante, almendro, girasol, olivar y algún otro minoritario. En Montesnegros, los consumos se midieron con contador. En las otras dos comunidades, los datos corresponden volúmenes de agua facturada calculada a partir de las horas de riego solicitadas por el regante y convertidas en consumos de agua a partir de los caudales nominales de los hidrantes. Ager Ingenieros ha determinado que, globalmente, el consumo real es algo menor (aproximadamente un 7 %) que el agua facturada en Alconadre y La Corona.

InformeCHEMayo2005.xls

Contiene los consumos reales de agua obtenidos en CHE (1993b) y que se compararon con dotaciones objetivo de riego en CHE (2005). Estos valores se grabaron en formato Excel (MS Office 2003) por los autores de este informe. Además, éstos grabaron algunos casos más incluidos en CHE (1993b) pero no en CHE (2005) en el fichero *ConsumosAguaCuencaEbro.xls*, utilizado como base de datos para realizar este trabajo. Riegos por aspersión e inundación y algún caso de riego por goteo. Distintos cultivos, extensivos y frutales, predominantemente, en distintas zonas de regadío de la cuenca del Ebro.

Carpeta Ficheros Trabajo CHE2004

Esta carpeta contiene 4 ficheros que contienen información proveniente de la utilizada en el trabajo de CHE (2004) y que era necesaria para realizar este informe. Estos cuatro ficheros son: a) *ETcNHnTrabajosCHE2004CHE1993.xls*; b) *InfoGeneralComarcasCHE1993.xls*; c) *MunicipiosComarcasCHE2004.xls*; y d) *NumerosComarcasCHE2004.xls*.

Fichero *ETcNHnTrabajosCHE2004CHE1993.xls*

Este fichero contiene las siguientes hojas

Hoja *CHE2004Percentil*

Esta hoja contiene los percentiles del 50, 80, 90 y 95 % de las estimas estacionales de evapotranspiración de cultivos y necesidades hídricas netas calculadas en CHE (2004) para cada cultivo y comarca considerados en dicho trabajo. Los valores se listan en $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$. De esta hoja se seleccionaron aquellos valores del percentil 80 % de las necesidades hídricas correspondientes a los cultivos y comarcas estudiados en el presente informe.

Hoja *CHE1993*

Estimas de necesidades hídricas netas (percentil del 80 %) obtenidas para cada cultivo y comarca a partir de las listadas en CHE (1993a) multiplicadas por 0.6 ya que en CHE (1993a) se consideró una eficiencia media al nivel de parcela del 60 %.

Hoja *CHE2004AñoCurso*

Esta hoja contiene las estimas estacionales de necesidades hídricas netas calculadas para cada año del periodo 1961 a 2002 en CHE (2004). De esta hoja se seleccionaron aquellos valores correspondientes a los años de los registros disponibles en el fichero *ConsumosAguaCuencaEbro.xls*.

Fichero *InfoGeneralComarcasCHE1993.xls*

En la hoja *Hoja1* de este fichero se listan datos informativos de las distintas comarcas utilizadas en CHE (2004). Esta información proviene de las bases de datos que la CHE tiene en su página web ligados a la información cartográfica aquí listada. Se remite al lector a la página www.chebro.es para obtener más información.

Fichero *MunicipiosComarcasCHE2004.xls*

Este fichero contiene los municipios incluidos en cada comarca de las utilizadas en el trabajo de CHE (2004).

Fichero *NumerosComarcasCHE2004.xls*

Este fichero contiene los números asignados a cada comarca de las utilizadas en el trabajo de CHE (2004) y el número que esas comarcas tienen asignadas en la información cartográfica disponible en www.chebro.es.

Carpeta Textos Varios

Esta carpeta tiene los seis ficheros siguientes:

- a) Fichero *05-PH-21.doc*. Este documento contiene el texto del informe, elaborado por la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHE, relativo a la contratación de los trabajos de consultoría y asistencia para la elaboración del estudio que se describe en el presente trabajo.
- b) Fichero *rval1-Consumos-05.doc*. Este documento contiene una relación valorada de los trabajos que se han realizado dentro de la asistencia técnica que ha dado lugar a este informe.
- c) Fichero *RevisaTrabajosConsumAgua.doc*. Este documento contiene la revisión bibliográfica de algunos trabajos realizados en la cuenca del Ebro sobre consumos de agua y eficiencias de distintas zonas regables. La información de este documento se ha utilizado de forma resumida en la sección 2.2 de este informe.
- d) Fichero *Informe dotaciones en la Planificación del Ebro.pdf*. Este es el documento pdf de la referencia CHE (2005) citada en este trabajo.
- e) Fichero *PFCGustavoCardeña.pdf*. Este es el documento pdf de la referencia Cardeña (2004) citada en este informe.
- f) Fichero *AdaptacionFigsPFCGustavoInfoCHE2005.xls*. Este fichero contiene la información necesaria para realizar las Figuras 2.1 y 2.2 incluidas en este informe. Esta información proviene de Cardeña (2004).

Carpeta Informacion Riegos Navarra

Esta carpeta tiene los tres ficheros siguientes:

- a) Fichero *ConsumosDeReferenciaYFacturadoVerOffice2000.mdb*. Este fichero es la base de datos suministrada por Riegos de Navarra y de la que se obtuvieron los consumos de agua en zonas regables de Navarra y listados en el fichero *ConsumosAguaCultivosFincasNavarra.xls*.
- b) Fichero *HectareasDisponiblesRiegosNavEderra2005.xls*. Lista superficies (ha) de regadío y superficies de las que se disponen de datos de consumo de agua en distintas zonas regables de Navarra. Información suministrada por Riegos de Navarra y extraída de la base de datos mencionada en el párrafo anterior.
- c) Fichero *Informe bayunga.doc*. Contiene el texto de la referencia Zapata (2002) citada en este informe.

ANEJO 2. ESTADÍSTICAS DE DIFERENCIAS ENTRE CONSUMOS Y NECESIDADES HÍDRICAS

La Tabla A2.1 lista los estadísticos calculados para las diferencias relativas entre los consumos de agua y las necesidades hídricas netas (percentil del 80%, *NH80*) estimadas en CHE (2004) para cada cultivo seleccionado, incluyendo todos los sistemas de riego (*casuística 1*) [ecuaciones (5a) y (6a)]. Para el almendro, el cerezo y el melocotonero se han considerado dos alternativas, una en la que las *NH80* se estimaron para satisfacer la demanda 'óptima' de agua y otra en la que se supuso un 'riego deficitario controlado' (*RDC*), entendiéndose como tal una práctica de manejo en que durante ciertos periodos los regantes reducen sus riegos al mínimo indispensable con el fin de evitar un desarrollo vegetativo excesivo, tal como se describió en CHE (2004). Puesto que los registros disponibles para estos 3 cultivos fueron 51, el número total de registros listado en la Tabla A2.1 es de 2.805, en lugar de los 2.754 indicados en la Tabla 4.1. Asimismo, el número total de cultivos es de 31, en lugar de 28.

La Tabla A2.2 lista los estadísticos calculados para las diferencias relativas entre los consumos de agua y las *NH80* estimadas en CHE (1993a) para cada cultivo seleccionado, incluyendo todos los sistemas de riego (*casuística 1*) [ecuaciones (5b) y (6b)]. En este caso, no se consideró la alternativa de 'riego deficitario controlado' (*RDC*); además, CHE (1993a) no proporcionó estimas de necesidades hídricas netas para varios cultivos y comarcas considerados en este trabajo. Por todo ello, el número de cultivos listado en la Tabla A2.2 fue sólo de 19.

Las Tablas A2.3 y A2.4 listan los correspondientes estadísticos calculados para el caso de la *casuística 2* pero sólo en aquellos cultivos en que hubo parcelas con sistemas de riego a presión y sistemas de riego por inundación.

Tabla A2.1. Estadísticos de las diferencias relativas entre los consumos de agua y las necesidades hídricas netas (percentil del 80 %) estimadas en CHE (2004) para cada cultivo seleccionado, incluyendo todos los sistemas de riego (*casuística* 1). *N*, número de registros; *DM_a*, media aritmética; *DM_p*, media ponderada; *M_{DM}*, mediana; *P_{DM10}*, percentil del 10 %; *P_{DM90}*, percentil del 90 %.

Cultivo	<i>N</i>	<i>DM_a</i>	<i>DM_p</i>	<i>M_{DM}</i>	<i>P_{DM10}</i>	<i>P_{DM90}</i>
Albaricoquero	4	-9,0	-10,3	-8,3	-20,1	1,5
Alfalfa	493	31,9	24,8	27,8	-19,7	87,4
Almendro	1	-61,2				
Almendro (<i>RDC</i>)	1	-28,2				
Arroz	65	43,8	40,5	36,4	-31,6	121,1
Berenjena	1	24,5				
Brócoli	3	87,7				
Cebada	64	21,0	1,9	14,3	-60,7	110,5
Cebolla	34	15,7	15,2	9,9	-6,6	40,9
Cerezo	12	14,2	18,1	5,5	-8,5	52,1
Cerezo (<i>RDC</i>)	12	31,6	36,2	21,3	6,1	73,9
Ciruelo	5	-10,9	-14,3	-3,1	-34,6	8,6
Coliflor	2	50,1				
Espárrago	19	-55,7	-56,7	-54,3	-79,5	-24,3
Espinaca	7	-24,0	-26,1	-36,1	-65,3	25,7
Girasol	47	-18,3	-21,4	-19,3	-59,2	30,6
Guisante	27	53,0	58,9	65,1	-34,7	126,7
Judía verde	7	101,7	100,3	130,1	31,2	148,7
Lechuga	3	61,4	65,5	74,3	41,5	76,1
Maíz grano	1.338	41,0	39,5	29,7	-8,2	111,2
Manzano	32	-38,7	-27,9	-41,3	-64,3	-14,2
Melocotonero	38	-1,0	0,6	-0,5	-33,6	39,3
Melocotonero (<i>RDC</i>)	38	20,5	22,2	20,9	-17,0	65,9
Olivar	77	-20,0	-20,3	-22,0	-37,0	1,7
Patata	24	0,0	5,0	6,0	-23,2	21,7
Peral	68	-26,8	-27,5	-25,8	-55,2	-7,7
Pimiento	31	43,3	16,5	22,3	-22,5	136,9
Remolacha azucarera	32	-17,6	-14,7	-22,8	-37,4	16,2
Tomate	76	-5,4	-3,2	-8,9	-36,0	27,1
Trigo	34	0,1	-12,6	-11,0	-62,1	94,4
Viñedo	158	-34,3	-35,9	-43,9	-69,3	14,4

Tabla A2.2. Estadísticos de las diferencias relativas entre los consumos de agua y las necesidades hídricas netas (percentil del 80 %) estimadas en CHE (1993a) para cada cultivo seleccionado, incluyendo todos los sistemas de riego (*casuística 1*). *N*, número de registros; *DM_a*, media aritmética; *DM_p*, media ponderada; *M_{DM}*, mediana; *P_{DM10}*, percentil del 10 %; *P_{DM90}*, percentil del 90 %.

Cultivo	<i>N</i>	<i>DM_a</i>	<i>DM_p</i>	<i>M_{DM}</i>	<i>P_{DM10}</i>	<i>P_{DM90}</i>
Alfalfa	493	49,7	42,3	46,3	-7,1	134,2
Arroz	28	12,4	4,4	31,9	-57,3	55,2
Cebada	64	31,9	18,0	19,6	-53,5	129,0
Cerezo	4	-31,0		-30,5	-34,3	-28,1
Espárrago	19	-22,2	-24,4	-23,0	-66,8	38,4
Girasol	41	-13,6	-20,0	-16,4	-54,7	36,0
Guisante	23	28,1	22,8	45,6	-50,4	93,3
Judía verde	7	109,1	107,3	138,8	36,3	156,0
Maíz grano	1.338	54,3	51,4	47,6	3,7	119,5
Manzano	32	-47,9	-40,7	-49,3	-68,9	-26,7
Melocotonero	15	-13,8	-20,5	-14,0	-36,1	3,1
Olivar	65	-43,0	-43,0	-45,1	-56,1	-29,8
Patata	24	18,0	26,3	22,8	-5,5	36,4
Peral	68	-26,4	-27,4	-26,3	-54,3	-8,8
Pimiento	31	61,1	32,0	42,7	-9,0	159,4
Remolacha azucarera	29	9,2	10,2	4,6	-14,7	47,2
Tomate	74	20,7	21,7	18,2	-18,0	58,8
Trigo	34	27,2	10,6	10,1	-48,1	149,0
Viñedo	7	-72,6	-71,5	-76,9	-83,2	-57,7

Tabla A2.3. Estadísticos de las diferencias relativas entre los consumos de agua y las necesidades hídricas netas (percentil del 80 %) estimadas en CHE (2004) para cada cultivo para la *casuística 2* (riegos a presión). *N*, número de registros; *DM_a*, media aritmética; *DM_p*, media ponderada; *M_{DM}*, mediana; *P_{DM10}*, percentil del 10 %; *P_{DM90}*, percentil del 90 %.

Cultivo ⁽¹⁾	<i>N</i>	<i>DM_a</i>	<i>DM_p</i>	<i>M_{DM}</i>	<i>P_{DM10}</i>	<i>P_{DM90}</i>
Alfalfa	302	24,9	23,3	24,0	-11,4	67,9
Cebada	15	-11,5	6,4	7,5	-77,7	52,9
Girasol	23	-23,5	-22,0	-27,8	-65,3	27,3
Maíz grano	1.241	39,3	37,9	27,9	-8,4	108,9
Melocotonero	37	-2,1	0,3	-0,8	-33,8	32,5
Melocotonero (RDC)	37	19,3	22,0	20,0	-17,2	56,6
Peral	67	-27,9	-27,5	-25,9	-55,2	-8,9
Pimiento	20	1,8	1,4	2,9	-29,4	32,4
Tomate	75	-6,6	-3,4	-8,9	-36,2	24,5
Trigo	6	-37,4	-35,2	-36,5	-63,8	-12,0

⁽¹⁾ Cálculos sólo efectuados para los cultivos en los que se dispuso de riegos por inundación y riegos a presión.

Tabla A2.4. Estadísticos de las diferencias relativas entre los consumos de agua y las necesidades hídricas netas (percentil del 80 %) estimadas en CHE (1993a) para cada cultivo para la *casuística 2* (riegos a presión). N , número de registros; DM_a , media aritmética; DM_p , media ponderada; M_{DM} , mediana; P_{DM10} , percentil del 10 %; P_{DM90} , percentil del 90 %.

Cultivo ⁽¹⁾	N	DM_a	DM_p	M_{DM}	P_{DM10}	P_{DM90}
Alfalfa	302	44,4	42,1	38,7	0,2	99,2
Cebada	15	12,3	50,6	16,9	-62,1	90,6
Girasol	17	-19,0	-22,9	-21,9	-56,3	31,7
Maíz grano	1.241	52,9	49,9	45,6	3,0	117,1
Melocotonero	14	-17,1	-21,0	-16,5	-36,3	-4,2
Peral	67	-27,5	-27,4	-27,1	-54,3	-9,3
Pimiento	20	18,0	16,1	16,5	-19,8	50,6
Tomate	73	19,0	21,3	18,2	-18,2	56,5
Trigo	6	-19,9	-19,5	-21,7	-45,0	6,9

⁽¹⁾ Cálculos sólo efectuados para los cultivos en los que se dispuso de riegos por inundación y riegos a presión.