



**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:  
2004-PH-12.I**

**REF. CRONOLOGICA:  
12/2004**

**TIPO:**

**CONVENIO DE COLABORACIÓN CSIC-CHE**

**TITULO:**

**REVISIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS NETAS DE LOS CULTIVOS DE LA  
CUENCA DEL EBRO**

**PRESUPUESTO DE CONTRATA:**

**18.000,00 euros**

**PRESUPUESTO DE ADJUDICACION:**

**18.000,00 euros**

**SERVICIO:**

**OFICINA DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA**

**DIRECTOR CHE:**

**MIGUEL ÁNGEL GARCÍA VERA**

**DIRECTOR CSIC:**

**ANTONIO MARTÍNEZ COB**

**TOMO:**

**TOMO 1 DE 7**

**EJEMPLAR:**

**EJEMPLAR 1 DE 4**

**CONTENIDO:**

**MEMORIA**

ESTE DOCUMENTO FORMA PARTE DEL ARCHIVO DE LA OFICINA DE PLANIFICACION

<b>NUMERO ARCHIVO O P H:</b>	<b>NUM. BIBLIO OPH: →</b>	<b>2142 A</b>	<b>Ejemplar: →</b>	<b>1 / 2</b>
	<b>NUM. C.I.A: →</b>		<b>Tomo: →</b>	<b>1 / 7</b>
	<b>NUM. CLAVE AT: →</b>	<b>2004-PH-12-I</b>	<b>Contenido:</b>	
	<b>OTROS: →</b>			

**OFICINA DE PLANIFICACION HIDROLOGICA**  
**TRABAJOS DE CONSULTORIA Y ASISTENCIA**

---

CLAVE: 2004-PH-12.I

TITULO: REVISIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS NETAS DE LOS CULTIVOS DE LA CUENCA DEL EBRO

---

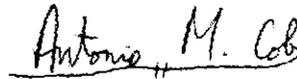
Zaragoza, a 26 de abril de 2005

El Director de los trabajos por la CHE



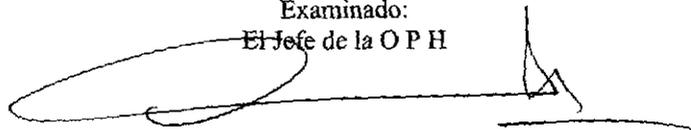
Fdo.: Miguel A. García Vera

El Director de los trabajos por el CSIC:



Fdo.: Antonio Martínez Cob

Examinado:  
El Jefe de la O P H



Fdo.: Antonio Coch Flotats

# ÍNDICE GENERAL

## TOMO I: MEMORIA

## TOMO II: ANEJOS

- ANEJO 1. Cálculo del calor latente de vaporización y de la radiación atmosférica.....1
- ANEJO 2. Valores medios mensuales (año medio) de distintas variables meteorológicas en las comarcas de la cuenca del Ebro.....3
- ANEJO 3. Mapas de rangos de temperatura media en la cuenca del Ebro..... 21
- ANEJO 4. Mapas de rangos de precipitación en la cuenca del Ebro.....35
- ANEJO 5. Valores medios mensuales (año medio) de la evapotranspiración de referencia en las comarcas de la cuenca del Ebro.....49
- ANEJO 6. Mapas de rangos de evapotranspiración de referencia en la cuenca del Ebro.....53
- ANEJO 7. Fenología de los cultivos herbáceos y leñosos ..... 67
- ANEJO 8. Fenología de los cultivos forrajeros.....107
- ANEJO 9. Comparación entre las necesidades hídricas netas obtenidas en este trabajo y las calculadas en C.H.E. (1993a).....113

**TOMO III: FICHA DE RESULTADOS 1** Coeficientes de cultivos por comarcas agrarias (CC.AA.) y cultivos.

**TOMOS IV A VII: FICHA DE RESULTADOS 2.** Valores de la ETC y necesidades hídricas para diferentes probabilidades para cada comarca agraria y cultivo.

---

**REVISIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS  
NETAS DE LOS CULTIVOS DE  
LA CUENCA DEL EBRO**

**TOMO 1:  
MEMORIA**

Antonio Martínez Cob

Laboratorio Asociado de Agronomía y Medio Ambiente (DGA-CSIC)

Avda. Montañana 1005, 50059 Zaragoza

e-mail: [macoan@eead.csic.es](mailto:macoan@eead.csic.es)

## RESUMEN

El objetivo del trabajo ha sido realizar una revisión de la evapotranspiración y las necesidades hídricas de los cultivos de la cuenca del Ebro. Para ello, el trabajo se ha desarrollado en las siguientes fases:

**a) Recopilación bibliográfica de los trabajos sobre dotaciones de riego disponibles en la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHE.**

Se han revisado todos los trabajos disponibles en la Oficina de Planificación Hidrológica (OPH) sobre necesidades hídricas y dotaciones de los cultivos de la cuenca del Ebro. Los trabajos consultados han sido:

1. CEDEX (1991). Volumen de "Dotaciones de riego máximas" de la serie "Planificación hidrológica" editado por el CEDEX en 1991.
2. 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.
3. CHE (1993b). "Avance de la revisión del estudio de dotaciones por cultivos y comarcas en la cuenca del Ebro". Empresa consultora: INYPSA. Septiembre de 1993.
4. CHE (1996a). "Superficie de regadíos por comarcas, ocupaciones de cultivos y dotaciones objetivo de riego de la cuenca y sistemas de la cuenca del Ebro. Forma parte del 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. Año 1996.
5. CEDEX (1996). "Determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la cuenca del Ebro". Abril de 1996.
6. CHE (1996). "Nota informativa sobre el estudio de determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la cuenca del Ebro". Diciembre de 1996.
7. CHE (1997). "Análisis de las dotaciones de la zona regable del río Huerva". Empresa consultora: INYPSA. Diciembre de 1997.
8. CHE (1999). "Establecimiento de la fenología de las especies leñosas y su relación con las necesidades hídricas (Plan Hidrológico)". Empresa consultora: Escuela Técnica Universitaria de La Almunia (Profesores Gómez Aparisi y Lorén Zaragoza). Diciembre de 1999.
9. CHE (2001). "Cálculo de las necesidades hídricas para determinados cultivos leñosos". Empresa consultora: OTRI (Profesor Ramón Reiné). Diciembre de 2001.

Para cada uno de los trabajos se ha realizado un resumen de los métodos de cálculo empleados y una discusión sobre los resultados de necesidades hídricas y dotaciones obtenidos en comparación con los trabajos precedentes.

## **b) Cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos de la cuenca del Ebro.**

Este cálculo se ha realizado en las etapas que se describen a continuación.

### **b.1) Delimitación de las comarcas agrarias de la cuenca del Ebro.**

Se ha considerado como delimitación de partida la disponible en la OPH (tomada de [www.chebro.es](http://www.chebro.es)), sobre ella se han añadido las comarcas navarras (tomadas de [www.riegosdenavarra.com](http://www.riegosdenavarra.com)) y se han agrupado algunas comarcas pequeñas. Como resultado final se han delimitado 110 comarcas agrarias en la cuenca del Ebro (Figura R.1).



Figura R.1: Comarcas agrarias de la cuenca del Ebro

### **b.2) Datos meteorológicos.**

Se han considerado dos tipos de estaciones meteorológicas:

- Estaciones primarias. Son 438 estaciones de precipitación y 190 estaciones con datos de temperatura máxima y mínima. Sus datos proceden del Instituto Nacional de Meteorología (INM). Los criterios para seleccionar estas estaciones fueron que: a) dispusieran de más de 20 años en el periodo 1961-2002; b) en el análisis de dobles masas acumuladas, el coeficiente de determinación con las dos estaciones más cercanas en un radio de 50 km fuera igual o mayor a 0.995.
- Estaciones secundarias. Son 81 estaciones de velocidad de viento y 78 con humedad relativa mínima. Los datos proceden del INM, Gobierno de Aragón, Laboratorio Asociado de Agronomía y Medio Ambiente, Ministerio de Agricultura, Riegos de Navarra y Servicio Meteorológico de Cataluña. Se tomaron todas

aquellas estaciones con un registro mayor de 5 años y en el caso de la velocidad de viento se corrigió el valor en función de la altura a la que está instalado el anemómetro (Allen et al., 1994b).

Una vez recopilados los datos meteorológicos, para el centroide de cada comarca agraria se construyeron las series de: a) precipitación, temperatura máxima, mínima y media mensuales para el periodo 1961-2002; b) velocidad de viento y humedad relativa mínima medias para cada uno de los doce meses del año. El método de interpolación fue el inverso de la distancia al cuadrado.

### ***b.3) Evapotranspiración de referencia.***

Se ha utilizado el método de Hargreaves modificado por Martínez Cob y Tejero (2004) a partir de experiencias directas en lisímetros y en estaciones automáticas de la cuenca del Ebro de manera que se obtuvo una aproximación aceptable a los valores calculados por el método FAO Penman-Montheith. Se ha calculado la  $ET_0$  de cada mes del periodo 1961-2002 en cada uno de los 110 centroides de cada comarca agraria.

### ***b.4) Selección de los cultivos.***

Se utilizó la siguiente información:

- Censo Agrario del INE (1999).
- Estadística 1T del 2002 del Gobierno de Aragón (tomada de [www.aragon.es](http://www.aragon.es)).
- Estadística municipal del Gobierno de La Rioja (tomada de [www.larioja.org/agricultura/](http://www.larioja.org/agricultura/)).
- Estadística de las zonas regables de Navarra (tomada de Riegos de Navarra, 2003).
- Estadísticas comarcales y provinciales de la Generalitat de Cataluña.
- Estadísticas provinciales de Castilla y León (tomada de [www.jcyl.es](http://www.jcyl.es)).
- Estadísticas de Comunidades Autónomas para 2003 (tomadas de [www.mapya.es](http://www.mapya.es)).

Se han agrupado los cultivos por comarcas agrarias y se han seleccionado aquellos cuya superficie ocupa al menos el 2.5 % de la superficie total regada o es al menos de 25 ha. En el caso de frutas y hortalizas se consideraron aquellos cuya superficie es al menos del 0.5 % de la superficie total o es mayor de 5 ha. Así, seleccionaron 92 cultivos y tipos varietales (Tabla R.I). En el caso del almendro, cerezo y manzano se consideró, además, una hipótesis de riego deficitario.

### ***b.5) Información fenológica de los cultivos.***

Se utilizaron las siguientes fuentes de información:

Tabla R.1. Cultivos y tipos varietales seleccionados y número total de comarcas ( $n_c$ ) en que se seleccionaron.

Cultivo y tipo varietal	$n_c$	Cultivo y tipo varietal	$n_c$	Cultivo y tipo varietal	$n_c$
Acelga (primavera)	6	Coliflor (ciclo corto)	24	Manzano (tardío)	59
Acelga (verano)	2	Coliflor (ciclo medio)	9	Melocotonero (temprano)	29
Acelga (otoño)	6	Coliflor (ciclo largo)	5	Melocotonero (media estación)	42
Ajo	12	Colza	7	Melocotonero (tardío)	30
Albaricoquero	15	Endrino	1	Melón	18
Alcachofa (1º año)	15	Escarola (invierno)	8	Naranja	3
Alcachofa (2º año)	15	Escarola (otoño)	6	Nogal	31
Alfalfa	93	Espárceta	11	Olivar	59
Almendro	52	Espárrago	13	Patata (temprana)	5
Apio	2	Espinaca (primavera)	10	Patata (media estación)	35
Arroz	17	Espinaca (otoño)	10	Patata (tardía)	35
Avellano	9	Fresa	1	Patata (siembra)	14
Avena	27	Girasol	67	Peral (temprano)	31
Ballico	10	Girasol (2ª ocupación)	2	Peral (media estación)	44
Berenjena	8	Guisante grano	14	Peral (tardío)	47
Borraja (primavera)	3	Guisante verde	38	Pimiento	29
Borraja (otoño)	3	Haba verde	22	Praderas polifitas	24
Brócoli (primavera)	2	Judía grano	5	Puerro (primavera)	6
Brócoli (otoño)	9	Judía verde (ciclo temprano)	2	Puerro (otoño)	15
Calabacín	11	Judía verde (ciclo normal)	30	Remolacha azucarera	24
Cardo	8	Judía verde (ciclo tardío)	16	Romanesco	1
Cebada	92	Lechuga (ciclo 1)	22	Sandía	7
Cebolla	37	Lechuga (ciclo 2)	14	Soja	1
Cerezo (temprano)	34	Lechuga (ciclo 3)	22	Sorgo	11
Cerezo (media estación)	42	Limonero	3	Tomate	27
Cerezo (tardío)	52	Maíz forrajero	27	Trébol	1
Ciruelo (tipo julio)	18	Maíz grano	81	Trigo	91
Ciruelo (tipo agosto-septiembre)	31	Maíz grano (2ª ocupación)	4	Veza forrajera	25
Col de Bruselas	2	Mandarino	4	Veza grano	14
Col repollo (primavera)	19	Manzano (temprano)	33	Viñedo	46
Col repollo (otoño)	20	Manzano (media estación)	52		

- Fases definidas en CHE (1993a).
- En cultivos frutales se definieron las cuatro fases en función de que fueran de hueso, pepita y almendro a partir de encuestas realizadas a los Agentes de Extensión Agraria de Aragón (Tejero, 2003) e información fenológica de Cataluña (Girona, 1996). Para la Rioja, Navarra, Aragón y Cataluña, esta información se extrajo de CHE (1999) y consultas a expertos en fruticultura del Gobierno de Aragón.
- En el viñedo se tomó información de Riegos de Navarra, CHE (1999), de la Oficina del Regante del Gobierno de Aragón y de Pérez Martín (1991).

- Información fenológica de Martínez Cob et al. (1998) procedente de encuestas a Agentes de Extensión Agraria.
- Información fenológica de Riegos de Navarra para las comarcas de la Ribera Baja Navarra y Ribera Alta-Aragón.
- Información fenológica de los cultivos de Cataluña de Girona (1996).
- Información fenológica del Sistema Inforiego de Castilla y León.
- Información fenológica de CEDEX (1996).
- En el caso de los cultivos cuya información no se encontró en las fuentes anteriores (especialmente hortícolas, leguminosas grano y forrajeras) se consultó a Agentes de Extensión Agraria e investigadores de la cuenca del Ebro y a distintas publicaciones técnicas.

Toda esta información se comparó y los criterios para la selección final de las etapas de cultivo fueron que en primer lugar se dio preferencia a CHE (1993a) y en el caso de frutales a CHE (1999) y Girona (1996). También se procuró que la información fenológica final no difiriera significativamente de los valores tabulados en Allen et al. (1998) en lo que se refiere a la proporción de la duración de cada una de las cuatro fases respecto a la duración total del ciclo

#### **b.6) Coeficientes de cultivo.**

Se empleó la metodología FAO (Allen et al, 1998). Para la obtención de los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) mensuales se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El  $K_c$  de la fase inicial se calculó considerando la frecuencia media mensual para cada uno de los 12 meses del año de las precipitaciones mayores de 2 mm día<sup>-1</sup>. Esta frecuencia se interpoló para el centroide de cada comarca agraria por el método de la inversa de la distancia al cuadrado.
- El  $K_c$  de la fase inicial del arroz se obtuvo a partir de valores tabulados en Allen et al. (1998) a partir de los promedios de humedad relativa mínima y velocidad de viento durante la fase inicial.
- El  $K_c$  de la fase media y final de cada cultivo se estimaron a partir de los valores tabulados en Allen et al (1998), la velocidad media del viento y la humedad relativa mínima.

Los valores de  $K_c$  se estimaron inicialmente para cada día del periodo vegetativo de cada cultivo y luego se determinaron las medias para cada mes del año. Los casos especiales considerados para el cálculo de los  $K_c$  fueron:

- En el caso de los cultivos forrajeros (excepto el maíz y veza forrajera) se definieron las fechas de corte; y dentro de cada periodo entre corte, las fechas de ocurrencia de las cuatro etapas fenológicas. Cada ciclo de corte se trató como si fuera un cultivo independiente.

- En el caso de los cítricos (limonero, mandarino y naranjo) se emplearon los 12 valores de  $K_c$  tabulados en Girona (1996) e información facilitada por el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.
- En el caso del olivar se supuso que las plantaciones no tienen cubierta permanente entre los árboles y que la mayor parte de las plantaciones se riegan por goteo (no hay evaporación en suelo desnudo a no ser la del agua de lluvia). De esta manera, para el olivar se emplearon los 12 valores de  $K_c$  mensuales propuestos por Pastor y Orgaz (1994) excepto en las comarcas donde la climatología es más húmeda en las que se emplearon los valores propuestos por Orgaz y Federes (1997).
- Los  $K_c$  del endrino se obtuvieron de Riegos de Navarra.
- En el viñedo se consideró sólo el caso de viñedo para vinificación. La fenología se obtuvo de Pérez Martín (1991) y los  $K_c$ , obtenidos de Allen et al. (1998), se modificaron de acuerdo con encuestas realizadas a expertos del Gobierno de Aragón y de Riegos de Navarra.
- La hipótesis de riego deficitario considerada para el almendro, cerezo y melocotonero se realizó siguiendo los criterios de Girona (1996) y de Gómez Aparisi (comunicación personal).

#### **b.7) Evapotranspiración de los cultivos.**

La evapotranspiración de los cultivos se calculó con la siguiente expresión, en la que no se tuvieron en cuenta los factores de corrección por la advección y de potencial productivo del suelo propuestos en CHE (1993a).

$$ET_c = ET_0 K_c N_{mes}$$

donde  $N_{mes}$  es el número de días del mes con presencia del cultivo.

#### **b.8) Precipitación efectiva.**

Se empleó el método del Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura de los EE. UU., considerando un factor corrector de 1 al suponer que la altura de agua consumida entre riegos es de 75 mm.

#### **b.9) Cálculo de las necesidades hídricas netas de los cultivos.**

Para cada cultivo y cada comarca, se realizó el balance de agua mensual teniendo en cuenta la  $ET_c$ , el agua almacenada en el suelo y la precipitación efectiva. El valor de almacenamiento límite considerado fue de 100 mm, el mismo utilizado en CHE (1993a).

Una vez calculada la serie anual de necesidades hídricas para el periodo 1961-2002 se calcularon como estadísticos representativos los correspondientes a los percentiles 50, 80, 90 y 95 %. Estos resultados se presentan en forma tabular en la Ficha de Resultados 2 (Tomos 4 a 7) y constituyen el producto final de este trabajo.

Debe resaltarse que estos cálculos se refieren a las necesidades hídricas de los cultivos necesarias para optimizar sus rendimientos. No se trata de las necesidades (dotaciones) brutas de riego a nivel de parcela ya que a las necesidades hídricas netas se les debe añadir las posibles necesidades de lavado de sales y las ineficiencias de todo sistema de riego. Además, en el caso de algunos cultivos, como el arroz, existen unas necesidades de agua adicionales determinadas por el sistema de cultivo; en este caso, se debe mantener una lámina libre de agua permanente que permita atemperar las fluctuaciones de temperatura del aire. Por estas circunstancias, las cifras de necesidades hídricas netas calculadas en este trabajo difieren de las dotaciones de riego disponibles en otras fuentes de información. Un ejemplo claro de ello es el arroz como se acaba de comentar.

**c) Comparación de las necesidades hídricas calculadas con las obtenidas en CHE (1993a).**

Una vez obtenidos los distintos estadísticos de las necesidades hídricas de la cuenca del Ebro se compararon los correspondientes a una probabilidad de ocurrencia del 80 % con los estimados en CHE (1993a) para los cultivos y comarcas agrarias en los que hubo una correspondencia unívoca. Como resultado de esta comparación se puede concluir que:

- a) La comparación de los valores medios por cultivos de las necesidades hídricas para las comarcas coincidentes (Tabla R.II y Figura R.2a) pone de manifiesto que la correlación entre las necesidades hídricas entre ambos estudios es aceptable con una relación entre las necesidades hídricas muy próxima a 1. No obstante existen algunos cultivos las diferencias fueron de importancia como, por ejemplo la coliflor (ciclo largo), alcachofa (2º año) y albaricoquero, maíz forrajero y viñedo.
- b) El análisis de los cultivos mayoritarios de la cuenca del Ebro, a excepción del arroz (Figura R.2b) permite concluir que en general los valores obtenidos en este trabajo fueron mayores, destacando el caso de la alfalfa y el trigo, con necesidades hídricas medias superiores en torno al 25 %. En algunos casos las necesidades hídricas de estos cultivos mayoritarios fueron menores, como ocurre en el viñedo (41 % menor en este trabajo) y el melocotonero tardío (9 % menor).

**d) Recomendaciones para futuros estudios.**

Las principales recomendaciones que se proponen para los futuros trabajos relacionados con las necesidades hídricas de la cuenca del Ebro son:

- a) Necesidad de mejorar la información disponible sobre las etapas fenológicas de los cultivos de la cuenca del Ebro.
- b) Necesidad de realizar un contraste de los suministros reales en los cultivos de la cuenca con los obtenidos a partir de los datos estimados por las formulaciones semiempíricas.

Tabla R.2. Comparación de las necesidades hídricas para una probabilidad del 80 % ( $NHn_{80}$ ), obtenidas en este trabajo y en CHE (1993a). En trama gris se señalan los cultivos mayoritarios de la cuenca del Ebro según el censo agrario INE (1999). NCA, nº de comarcas agrarias en que un determinado cultivo es común en este trabajo y en CHE (1993a).

NCA	Este trabajo		CHE (1993a)		Diferencia <sup>(1)</sup> , %		
	Cultivo	$NHn_{80}$ $m^3 ha^{-1} año^{-1}$	Cultivo	$NHn_{80}$ $m^3 ha^{-1} año^{-1}$	Media	Minima	Máxima
1	Albaricoquero	5170	Albaricoquero	7480	-45		
2	Alcachofa (1º año)	4030	Alcachofa	3791	4	-10	18
1	Alcachofa (2º año)	2510	Alcachofa	3816	-52		
74	Alfalfa	5633	Alfalfa	4306	26	-21	70
70	Cebada	2543	Cebada	1944	6	-756	87
5	Cerezo (media estación)	4614	Cerezo	6138	-33	-45	-16
5	Cerezo (tardío)	4706	Cerezo	6138	-31	-45	-10
4	Cerezo (temprano)	4545	Cerezo	6400	-41	-55	-18
5	Ciruelo (tipo agosto-septiembre)	5522	Ciruelo	4929	10	0	22
1	Ciruelo (tipo julio)	5360	Ciruelo	4261	21		
2	Coliflor (ciclo corto)	2205	Coliflor temprana	2653	-21	-28	-13
2	Coliflor (ciclo largo)	555	Coliflor muy tardía	1799	-265	-141	-389
7	Espárrago	4491	Espárrago 1º año	4625	-3	-24	17
19	Girasol	4670	Girasol 1ª cosecha	4373	6	-28	27
2	Girasol (2ª ocupación)	2385	Girasol 2ª cosecha	2765	-18	-44	8
1	Guisante verde	2220	Guisante	1384	38		
2	Maíz forrajero	2990	Maíz forrajero	1217	59	52	66
60	Maíz grano	4907	Maíz ciclo corto y largo	4378	11	23	51
12	Manzano (media estación)	5883	Manzano	6455	-9	-27	36
11	Manzano (tardío)	5772	Manzano	6083	-4	-36	53
9	Manzano (temprano)	5967	Manzano	6861	-15	-29	6
8	Melocotonero (tardío)	5679	Melocotonero tardío	6169	-9	-41	17
4	Melocotonero (temprano)	5380	Melocotonero temprano	5456	-1	-17	11
9	Olivar	3417	Olivo	4178	-23	-56	27
9	Patata (media estación)	3927	Patata media estación	3307	15	-11	47
4	Patata (siembra)	3798	Patata de siembra	2701	29	19	46
10	Patata (tardía)	4726	Patata tardía	3850	19	-6	32
15	Peral (media estación)	6117	Peral	5738	7	-21	60
15	Peral (tardío)	6012	Peral	5738	6	-23	59
13	Peral (temprano)	6205	Peral	6045	2	-26	22
2	Pimiento	4695	Pimiento	4441	5	2	9
6	Praderas polifitas	3537	Praderas	1974	44	18	74
9	Remolacha azucarera	5216	Remolacha azucarera	4254	19	-4	32
4	Tomate	4805	Tomate	4070	15	6	25
69	Trigo	3050	Trigo	2270	23	-56	83
16	Viñedo	2435	Viñedo para vino	3391	-41	-94	20

<sup>(1)</sup> Diferencia entre las estimas obtenidas en este trabajo y las de CHE (1993a) expresadas como tanto por ciento respecto a las estimas obtenidas en este trabajo.

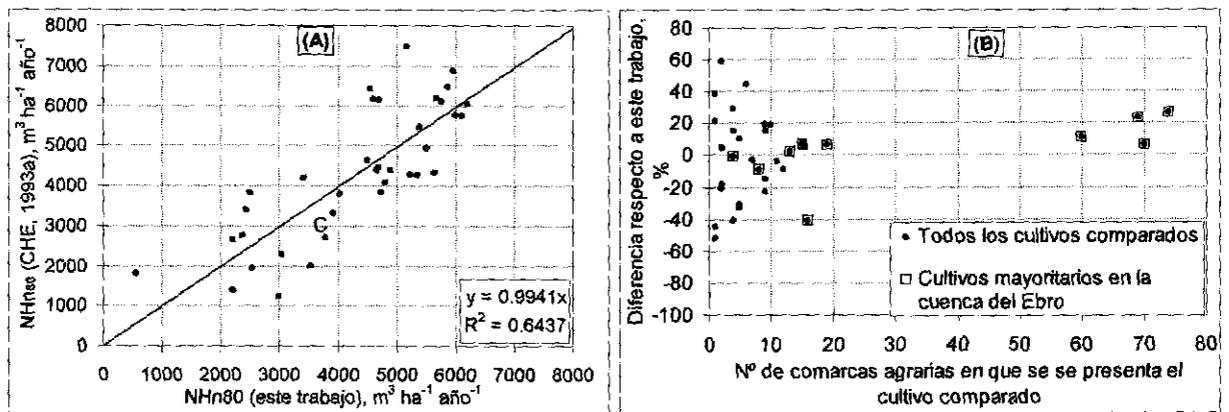


Figura R.2. Comparación entre las necesidades hídricas netas para el percentil 80 % (NHn) obtenidas en este trabajo y en CHE (1993a) en comarcas y cultivos comunes. (A) Análisis de regresión. (B) Diferencias en función del nº de comarcas agrarias comunes.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	i
ÍNDICE .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xv
AGRADECIMIENTOS .....	xix
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Estructura del informe.....	1
1.2. Justificación .....	1
1.3. Situación geográfica .....	1
1.4. Objetivos.....	2
2. ESTUDIOS PREVIOS DISPONIBLES EN LA CHE .....	3
2.1. CEDEX (1991). Dotaciones de riego máximas .....	3
2.2. CHE (1993a). Estudio de dotaciones de la cuenca del Ebro .....	4
2.3. CHE (1993b). Avance de la revisión del estudio de dotaciones de la cuenca del Ebro .....	9
2.4. CHE (1996a). Superficie y dotaciones de regadíos por comarcas .....	10
2.5. CEDEX (1996). Dotaciones de riego en la cuenca del Ebro.....	11
2.6. CHE (1997). Nota informativa del estudio de dotaciones de CEDEX (1996)..	15
2.7. CHE (1997). Análisis de las dotaciones de las zonas regables del río Huerva .....	18
2.8. CHE (1999). Fenología y necesidades hídricas de las especies leñosas.....	20
2.9. CHE (2001). Necesidades hídricas del almendro, vid y olivo en la cuenca del Ebro .....	21
3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO.....	24
3.1. Comarcas .....	24
3.2. Estaciones meteorológicas primarias .....	28
3.3. Estaciones meteorológicas secundarias.....	46
3.4. Evapotranspiración de referencia .....	50

3.5. Fenología de cultivos .....	52
3.5.1. Selección de cultivos.....	52
3.5.2. Información fenológica de los cultivos.....	55
3.6. Coeficientes de cultivo .....	57
3.7. Evapotranspiración y necesidades hídricas netas de los cultivos.....	66
3.7.1. Evapotranspiración de los cultivos .....	66
3.7.2. Precipitación efectiva .....	67
3.7.3. Necesidades hídricas netas de los cultivos.....	68
4. RESULTADOS.....	71
4.1. Caracterización meteorológica comarcal.....	71
4.2. Evapotranspiración de referencia.....	73
4.3. Fenología de cultivos.....	75
4.4. Coeficientes de cultivo.....	78
4.5. Evapotranspiración y necesidades hídricas netas de los cultivos.....	79
5. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES FINALES .....	87
6. BIBLIOGRAFÍA .....	89
7. GLOSARIO DE SÍMBOLOS.....	93
8. DESCRIPCIÓN DEL CD ADJUNTO .....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura R.1: Comarcas agrarias de la cuenca del Ebro.....	ii
Figura R.2. Comparación entre las necesidades hídricas netas para el percentil 80 % (NHn) obtenidas en este trabajo y en CHE (1993a) en comarcas y cultivos comunes. (A) Análisis de regresión. (B) Diferencias en función del nº de comarcas agrarias comunes. ....	ix
Figura 2.1. Comarcalización de la cuenca del Ebro utilizada en CHE (1993a). ....	6
Figura 2.2. Comparación entre las estimas medias anuales de la $ET_0$ obtenidas para doce estaciones meteorológicas en CHE (1993a) y CEDEX (1996).....	17
Figura 2.3. Comparación de las necesidades netas medias de nueve comarcas agrarias obtenidas por CHE (1993a) y CEDEX (1996). ....	18
Figura 3.1. Comarcas de la cuenca del Ebro utilizadas en este trabajo.....	27
Figura 3.2. Ubicación de las estaciones termométricas utilizadas en este trabajo....	33
Figura 3.3. Ubicación de las estaciones pluviométricas utilizadas en este trabajo. ..	34

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla R.1. Cultivos y tipos varietales seleccionados y número total de comarcas ( $n_c$ ) en que se seleccionaron. ....	iv
Tabla R.2. Comparación de las necesidades hídricas para una probabilidad del 80 % ( $NHn_{80}$ ), obtenidas en este trabajo y en CHE (1993a). En trama gris se señalan los cultivos mayoritarios de la cuenca del Ebro según el censo agrario INE (1999). NCA, nº de comarcas agrarias en que un determinado cultivo es común en este trabajo y en CHE (1993a). ....	viii
Tabla 2.1. Resumen de las necesidades hídricas calculadas en CEDEX (1991). ....	4
Tabla 2.2. Cultivos de regadío estudiados en CHE (1993a). ....	6
Tabla 2.3. Superficie de riego ( $Sup_r$ ), dotaciones medias ( $Dot_m$ ) y percentiles del 80 % ( $Dot_{80}$ ) de la cuenca del Ebro obtenidas en CHE (1993a) para cada una de las subcuencas. ....	9
Tabla 2.4. Comparación de las dotaciones medias para una probabilidad de déficit hídrico del 80 % estimadas en cada tramo de cuenca del Huerva por CHE (1993b) con las obtenidas en CHE (1993a). ....	10
Tabla 2.5. Síntesis de las superficies totales regadas en la cuenca del Ebro según CEDEX (1996). ....	11
Tabla 2.6. Superficies de regadíos futuras contempladas en la documentación relacionada con la planificación de la cuenca del Ebro. ....	12
Tabla 2.7. Regadíos previstos con financiación del Estado según el avance del Plan Nacional de Regadíos de 1995. ....	12
Tabla 2.8. Comparación de las estimas medias anuales de la $ET_0$ calculadas en CHE (1993a) y CEDEX (1996). ....	16
Tabla 2.9. Comparación de las necesidades netas medias ( $m^3 ha^{-1} año^{-1}$ ) de nueve comarcas agrarias obtenidas por CHE (1993a) y CEDEX (1996). ....	19
Tabla 2.10. Dotaciones de riego comarcales para una probabilidad de déficit hídrico del 80 % calculadas para las zonas regables del río Huerva. ....	20
Tabla 3.1. Comarcas utilizadas en este trabajo. NCO, número arbitrario asignado a cada comarca en este trabajo. Nan, números de comarcas asignados en el mapa de la página web de la CHE (algunas de ellas agrupadas en este trabajo). ....	24

Tabla 3.2. Estaciones termométricas seleccionadas en este trabajo, código de identificación usado por el INM, coordenadas UTM, elevación ( <i>Elev</i> ) sobre el nivel del mar y periodo con datos disponibles. ....	29
Tabla 3.3. Estaciones pluviométricas seleccionadas en este trabajo, código de identificación usado por el INM, coordenadas UTM, elevación ( <i>Elev</i> ) sobre el nivel del mar y periodo con datos disponibles. ....	35
Tabla 3.4. Coordenadas UTM y geográficas de los centroides comarcales utilizados en este trabajo. <i>NCO</i> , número arbitrario asignado a cada comarca (Tabla 3.1)...	44
Tabla 3.5. Estaciones meteorológicas secundarias utilizadas en este trabajo. Coordenadas UTM, fuente de los datos y periodos disponibles de registros de velocidad de viento y humedad relativa mínima del aire.....	48
Tabla 3.6. Velocidad media mensual y anual (año medio) en las 36 comarcas consideradas ventosas en este trabajo. <i>NCO</i> , número arbitrario asignado a cada comarca en este trabajo (Tabla 3.1). ....	53
Tabla 3.7. Valores de $K_{C_{medTab}}$ , $K_{C_{finTab}}$ y $h_{C_{max}}$ tabulados en Allen et al. (1998) para los cultivos seleccionados en este trabajo. ....	61
Tabla 3.8. Valores mensuales de <i>Kc</i> seleccionados para los cultivos cítricos (Girona, 1996).....	64
Tabla 3.9. Valores mensuales de <i>Kc</i> seleccionados para el olivar. Fuentes: <i>PO</i> , Pastor y Orgaz (1994); <i>OF</i> , Orgaz y Fereres (1997).....	64
Tabla 3.10. Valores mensuales de <i>Kc</i> del endrino (Idoia Ederra, com. pers.).....	65
Tabla 4.1. Diferencias obtenidas dentro de cada mes entre los valores comarcales más alto y más bajo de las distintas variables meteorológicas (año medio). <i>Tmax</i> , temperatura máxima. <i>Tmin</i> , temperatura mínima. <i>Prec</i> , precipitación. <i>FPr</i> , frecuencia de precipitación. <i>VelVto</i> , velocidad del viento a 2 m de altura. <i>HRmin</i> , humedad relativa mínima.....	72
Tabla 4.2. Mínimos y máximos de los valores comarcales medios mensuales listados en la Tabla A2.1. <i>Tmax</i> , temperatura máxima. <i>Tmin</i> , temperatura mínima. <i>Prec</i> , precipitación. <i>FPr</i> , frecuencia de precipitación. <i>VelVto</i> , velocidad del viento a 2 m de altura. <i>HRmin</i> , humedad relativa mínima. <i>NCO</i> , número de comarca (Tabla 3.1). Valores derivados de los listados en la Tabla A2.1.....	72
Tabla 4.3. Diferencias (mm) obtenidas dentro de cada mes entre los valores comarcales más alto y más bajo de la <i>ET<sub>o</sub></i> . Valores derivados de los listados en la Tabla A5.1.....	73

Tabla 4.4. Cocientes ( $P/ET_0$ ) entre los valores comarcales medios anuales (año medio) de la precipitación (Tabla A2.1, Anejo 2) y los de la $ET_0$ (Tabla A5.1, Anejo 5). $NCO$ , número de comarca (Tabla 3.1).....	74
Tabla 4.5. Número de comarcas, por CC.AA., clasificadas como semiáridas, semihúmedas y húmedas de acuerdo a la razón entre los valores comarcales medios anuales (año medio) de la precipitación y la $ET_0$ .....	75
Tabla 4.6. Cultivos y tipos varietales seleccionados y número total de comarcas ( $n_c$ ) en que se seleccionaron. ....	76
Tabla 4.7. Número de cultivos seleccionados en cada comarca. $NCO$ , número de comarca (Tabla 3.1). $n_{cu}$ , número de cultivos seleccionado.....	77
Tabla 4.8. Máximos y mínimos de los $K_c$ mensuales calculados en cada mes. ....	79
Tabla 4.9. Mínimos y máximos de los percentiles del 50, 80, 90 y 95 % de las necesidades hídricas netas estacionales listadas en la Ficha de Resultados 2 para cada cultivo. ....	80
Tabla 4.10. Frecuencias relativas de distintos rangos de los valores de percentiles del 50, 80, 90 y 95 % de $NHn$ estacional calculados. ....	83
Tabla 4.11. Frecuencias relativas de distintos rangos de los valores de los percentiles del 50, 80, 90 y 95 % de $NHn$ mensual. ....	84
Tabla 4.12. Medias y coeficientes de variación (C.V.) de las diferencias entre los percentiles del 50, 80, 90 y 95 % de $NHn$ estacional calculados para algunos frutales (almendro, cerezo temprano, cerezo media estación, cerezo tardío, melocotonero temprano, melocotonero media estación y melocotonero tardío) y los calculados para el caso de <i>riego deficitario</i> ( $RD$ ) considerado en esos frutales. ....	86

## AGRADECIMIENTOS

El autor de este informe expresa su más profundo agradecimiento a las siguientes personas:

- Víctor del Río Alvera, que, bajo la dirección del autor de este informe, realizó la selección de estaciones meteorológicas, el cálculo de la evapotranspiración de referencia, la creación de las correspondientes bases de datos, el cálculo de las probabilidades de ocurrencia de las necesidades hídricas netas y el tratamiento cartográfico de los resultados de la caracterización meteorológica.
- José Luis Lacueva por la programación informática de los cálculos de los coeficientes de cultivo y de la evapotranspiración y necesidades hídricas netas de los cultivos.
- Miguel Ángel García Vera (Oficina de Planificación Hidrológica, Confederación Hidrológica del Ebro) por la información cartográfica y meteorológica aportada.
- Miguel Tejero y Miguel Ortega (Oficina del Regante del Gobierno de Aragón), Miguel Gutiérrez (Servicio de Extensión y Formación Agraria, Gobierno de Aragón), José María Faci González, Joaquín Gómez Aparisi e Ignacio Delgado (Centro de Investigación y Tecnología Agraria, Gobierno de Aragón), Idoia Ederra (Riegos de Navarra S.A.), Alfonso Pardo (Centro de Investigación y Desarrollo Agrario, Gobierno de La Rioja), Joan Girona (Institut de Recerca i Tecnologia Agraria, Generalitat de Catalunya) y Juan Ramón Castel (Instituto Valenciano de Investigación Agraria, Generalitat de València) por la información fenológica aportada.
- Antonio Gázquez (Servei Meteorològic de Catalunya) e Idoia Ederra (Riegos de Navarra S.A.) por la información meteorológica aportada.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Estructura del informe

Este informe consta de 7 Tomos y un CD adjunto. El Tomo 1 contiene la Memoria del trabajo y consta de 8 secciones: 1) Introducción; 2) Estudios previos disponibles en la Confederación Hidrográfica del Ebro; 3) Metodología de Cálculos; 4) Resultados; 5) Conclusiones y Observaciones Finales; 6) Bibliografía; 7) Glosario de Símbolos (empleados en las distintas ecuaciones utilizadas en el trabajo); y 8) Descripción del CD Adjunto (sección que describe detalladamente los ficheros almacenados en el CD que acompaña a este trabajo).

El Tomo 2 contiene 8 Anejos cuyo contenido complementa la información contenida en el Tomo 1. El Tomo 3 contiene la Ficha de Resultados 1, la lista de los valores mensuales de coeficiente de cultivo calculados para cada cultivo y comarca. Los Tomos 4 a 7 contienen la Ficha de Resultados 2, la lista de los percentiles (50, 80, 90 y 95%) de evapotranspiración y necesidades hídricas de los cultivos calculados para cada cultivo y comarca. Esta Ficha de Resultados 2 constituye el objetivo final de este trabajo.

## 1.2. Justificación

La correcta gestión de los recursos hídricos en la agricultura requiere la cuantificación de las necesidades de riego de los cultivos de la forma más detallada y precisa posible. Esta determinación debe tener en cuenta tanto la variabilidad espacial como la variabilidad temporal de la evapotranspiración y las necesidades hídricas de los cultivos.

En la Cuenca del Ebro se han realizado con anterioridad diversos estudios sobre las necesidades hídricas y de riego de los cultivos (CHE, 1993a; CEDEX, 1996 y otros, ver sección 2.1). No obstante, la importancia cuantitativa y cualitativa de los distintos cultivos ha variado a lo largo de los años. Por ello, se precisa una actualización periódica de las estimas de dichas necesidades para incluir cultivos no considerados anteriormente. Asimismo, la mayor longitud de las series meteorológicas permite un estudio más adecuado de la variabilidad temporal de esas necesidades.

## 1.3. Situación geográfica

El trabajo descrito se ha realizado en el ámbito geográfico de toda la cuenca del Ebro. Para ello, la misma se ha dividido en 110 comarcas tal como se describe en la sección 3.1.

## 1.4. Objetivos

El trabajo descrito en esta memoria ha tenido un objetivo principal único, la estimación de los niveles de probabilidad de ocurrencia de la evapotranspiración y las necesidades hídricas de los cultivos en las comarcas de la Cuenca del Ebro. Para la consecución de este objetivo principal, este trabajo ha tenido dos objetivos parciales:

1. Revisión de los trabajos previos disponibles en la Confederación Hidrográfica del Ebro.
2. Aplicación de la metodología de la FAO descrita en Allen et al. (1998) para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos en las comarcas de Aragón y obtención de distintas probabilidades de ocurrencia.

## 2. ESTUDIOS PREVIOS DISPONIBLES EN LA CHE

El archivo de la Oficina de Planificación (OPH) de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) dispone de diversos trabajos previos sobre las dotaciones de riego de la cuenca del Ebro (CEDEX, 1991; CHE, 1993a, b; CHE, 1996a, b; CEDEX, 1996; CHE, 1997; CHE, 1999; CHE, 2001). La sección 6 (Bibliografía) ofrece la referencia completa de estos trabajos. En esta sección se describen y discuten los principales resultados obtenidos en estos trabajos.

### 2.1. CEDEX (1991). Dotaciones de riego máximas

El trabajo de CEDEX (1991) constituye el primero disponible en la OPH que analiza de forma global las dotaciones de los principales cultivos de la cuenca del Ebro. Forma parte de la serie titulada *Planificación hidrológica*. Dentro de esta serie hay un anexo que incluye los valores medios anuales de las necesidades hídricas netas (en  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ ) para todas las cuencas hidrográficas españolas. En este trabajo no se consideraron eficiencias de riego por lo que se calcularon necesidades hídricas en vez de dotaciones.

La metodología utilizada en CEDEX (1991) se basa en las publicaciones de Jensen et al. (1990) y Smith et al. (1991). La primera publicación proporciona un listado de métodos ordenados según su grado de fiabilidad para el cálculo de la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) en distintas condiciones climáticas. El listado se elaboró a partir del análisis comparado de resultados en 11 zonas distintas del mundo con condiciones meteorológicas diferenciadas. El orden de mayor a menor fiabilidad del método fue el siguiente: Penman-Monteith, Penman 63, FAO Makkink, FAO Blaney-Cridle, FAO Penman sin corrección, Jensen-Haise, Hargreaves, FAO Penman corregido, Tanque, SCS Blaney-Cridle, Priestley-Taylor y Thornthwaite. Por su parte, Smith et al. (1991) presentan un resumen de una reunión organizada por la FAO, celebrada en Roma en 1991, e incluyen sugerencias de estos expertos sobre los métodos propuestos por la FAO en Doorenbos y Pruitt (1976).

El trabajo de CEDEX (1991) no presenta una memoria descriptiva detallada de la metodología aplicada para la obtención de las necesidades de riego y se limita a una recopilación de los datos obtenidos durante el proceso de cálculo. Para la cuenca del Ebro se distinguieron las siguientes áreas de riego: Alcañiz, Huesca, La Rioja, Lérida, Navarra, Sariñena, Tortosa y Zaragoza. En estas áreas se utilizaron las series históricas de diversas variables meteorológicas registradas en las estaciones de Alcañiz, Huesca, Logroño, Lérida, Pamplona, Sariñena, Tortosa y Zaragoza para estimar la  $ET_0$  con el método Penman-Monteith para los años 1975 a 1989. Para el cálculo de los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) se distinguieron dos zonas: a) toda la cuenca excepto Tortosa; y b) Tortosa. Los cultivos considerados en la primera zona fueron: a) extensivos: cereal de invierno, girasol, maíz grano, patata (media estación y tardía) y remolacha; b) hortícolas: tomate; c) leñosos: frutales de hoja caduca, olivar y viña; d) forrajeros: alfalfa; y e) suelo desnudo. En la zona de

Tortosa se consideraron los siguientes cultivos: a) extensivos: arroz, maíz grano y patata (media estación); b) hortícolas: alcachofa y tomate; c) forrajeros: alfalfa; y d) suelo desnudo. Los correspondientes valores de  $K_c$  se listan en el Anejo 3 de CEDEX (1991), junto a los obtenidos en las restantes cuencas hidrográficas.

A partir de los valores estimados de  $ET_0$  y  $K_c$  se calcularon las necesidades hídricas netas mensuales de cada cultivo y área de riego considerados en este trabajo, durante el periodo 1975 a 1989. A partir de las superficies de riego representativas de las áreas consideradas en el trabajo, se calcularon las necesidades hídricas máximas brutas en  $\text{hm}^3 \text{año}^{-1}$  (Tabla 2.1). Para toda la cuenca del Ebro se consideraron una superficie de 587000 ha, una necesidad hídrica media de  $4021 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  y una dotación bruta máxima de  $2359 \text{ hm}^3 \text{año}^{-1}$  (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Resumen de las necesidades hídricas calculadas en CEDEX (1991).

Área de riego	Superficie (ha)	Necesidad hídrica	
		$\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$	$\text{hm}^3$
La Rioja	38374	3194	123
Navarra	50026	2260	113
Huesca	158755	3331	529
Zaragoza	150238	4746	713
Sarriñena <sup>(a)</sup>			
Lérida	120740	4039	488
Alcañiz	19682	3818	75
Tortosa	48857	6529	319
TOTAL	586672	4021	2359

<sup>(a)</sup> CEDEX (1991) no lista resultados para la zona de riego de Sarriñena.

No obstante, hay que señalar que estas denominadas necesidades máximas se obtuvieron con valores medios de necesidad hídrica y no con niveles de probabilidad de ocurrencia. Por ello, realmente esos valores no son de verdad máximos y constituyen estimas de dotaciones más reducidas que las obtenidas en trabajos realizados posteriormente.

## 2.2. CHE (1993a). Estudio de dotaciones de la cuenca del Ebro

Es el primer estudio de detalle a escala de toda la cuenca del Ebro que proporciona estimaciones de dotaciones de los cultivos. El trabajo supone un esfuerzo muy importante de recopilación de información de campo para recoger datos de las características de las estaciones meteorológicas principales de la cuenca del Ebro y datos de las características de los cultivos de cada comarca agraria (fenología, producción, etc.). En muchos aspectos el trabajo no ha sido superado en los estudios posteriores.

El estudio se presenta en 8 tomos que contienen la memoria y diez anexos. La metodología aplicada para la obtención de las dotaciones de los cultivos comprende las siguientes fases de trabajo: a) recopilación de datos meteorológicos; b) comarcalización de la cuenca; c) recopilación de datos de cultivos; d) determinación de coeficientes correctores; e) cálculo de la evapotranspiración de cultivos; f) cálculo de la precipitación efectiva; g) cálculo de las necesidades hídricas

netas y análisis estadístico de las mismas; h) cálculo de eficiencias de riego, superficies y dotaciones de riego.

#### Recopilación de datos meteorológicos

Se recopilaron datos de temperatura y precipitación de más de 1000 estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología (INM). A continuación se inició un proceso de selección en el que, en una primera fase, se seleccionaron las 154 estaciones con series mayores de 7 años. En algunas zonas con una menor densidad de estaciones se eligieron series con menos de estos años. En una segunda fase se visitaron todas estas estaciones y se rellenó una ficha tipo en la que se incluyeron datos como la situación geográfica (coordenadas), fotos de la estación, información del operario que toma las medidas y hora a la que procede al registro y representatividad de los datos medidos respecto a las condiciones de las zonas regables más próximas (esta última información se utilizó posteriormente para la obtención del coeficiente de advección de la estación). De esta forma, las estaciones se agruparon en tres categorías:

- Categoría A. Estaciones cuyos datos son muy representativos de las condiciones climáticas de los cultivos asociados a ellas. Todas estas estaciones se consideraron válidas para el tratamiento de datos posterior.
- Categoría B: Estaciones no muy representativas. No se consideraron los datos de precipitación y/o temperatura en función de la forma de medida o el estado de los aparatos.
- Categoría C. Estaciones cuyos datos son de baja representatividad y no se consideraron en el análisis posterior.

Como resultado final del análisis de estaciones, 111 se consideraron válidas. Estas estaciones aportaron datos de precipitación y, 95 de ellas, de temperatura. Además, otras 13 estaciones aportaron información de humedad relativa, velocidad del viento y horas de sol (estaciones completas). A cada estación termopluviométrica, se le asoció la estación completa más próxima.

#### Comarcalización de la cuenca

La cuenca del Ebro se zonificó en función de la comarcalización agraria realizada por las distintas comunidades autónomas. En el caso de Navarra, la comarcalización se basó en un estudio de Riegos de Navarra. Se diferenciaron 122 comarcas agrarias de las cuales se muestran 121 en la Figura 2.1, la cual procede del GisEbro de la OPH facilitado por la consultora INYPSA en 1995 y disponible en la página web de la CHE ([www.chebro.es](http://www.chebro.es)).

#### Recopilación de datos de cultivos

La información de las superficies regables y de los tipos de cultivos se obtuvo de las estadísticas de ocupación superficial de cultivos 1T del Ministerio de Agricultura realizada en 1990. De los cultivos de cada comarca agraria se seleccionaron los que, ordenados de mayor a menor, representaron una ocupación superficial acumulada del 80 % de la superficie de la comarca. En algún caso se

seleccionó algún cultivo de interés local por estar concentrado en algunas zonas. La Tabla 2.2 lista los cultivos seleccionados en este trabajo.

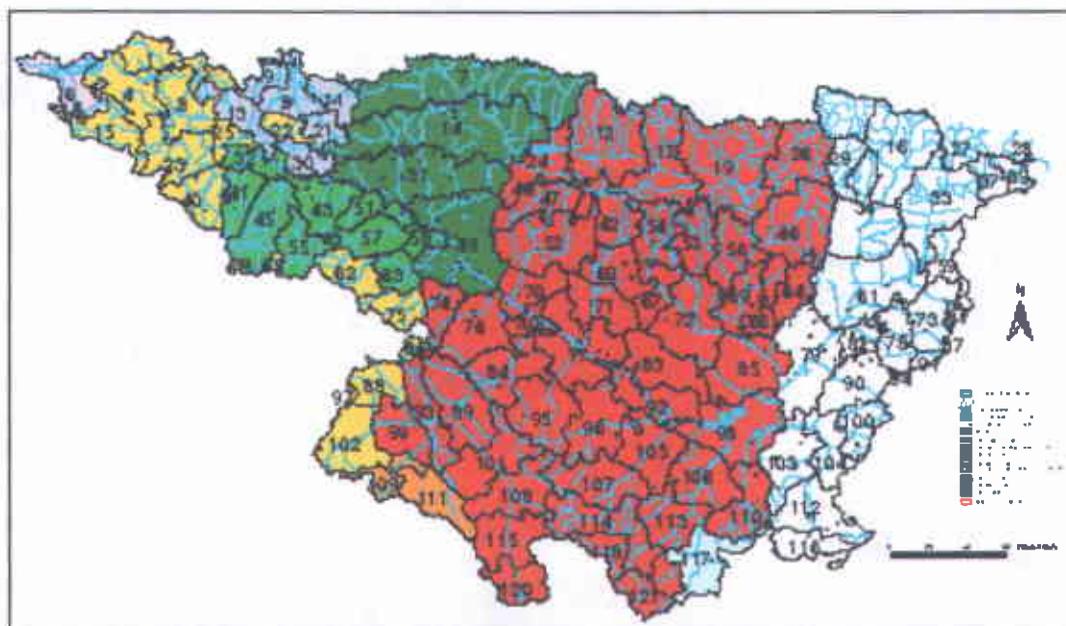


Figura 2.1. Comarcalización de la cuenca del Ebro utilizada en CHE (1993a).

Tabla 2.2. Cultivos de regadío estudiados en CHE (1993a).

Cultivo	Cultivo	Cultivo
Albaricoquero	Espárrago producción	Olivo
Alubia verde	Girasol primera cosecha	Pimiento
Alcachofa	Girasol segunda cosecha	Peral
Alfalfa	Guisante	Praderas
Arroz	Hortícolas varios (anual)	Patata de siembra y consumo
Cebada	Lechuga	Patata media estación
Coliflor muy tardía	Maíz ciclo corto	Patata de siembra
Coliflor temprana	Maíz forrajero	Patata temprana
Coliflor tardía	Maíz ciclo largo	Patata tardía
Ciruelo	Melocotonero temprano	Remolacha azucarera
Ciruelo europeo	Melocotonero tardío	Tabaco
Ciruelo japonés	Melón	Tomate
Cerezo	Manzano	Trigo
Cerezo temprano	Nectarina	Zanahoria
Cerezo tardío	Naranja	Otros cultivos
Espárrago 1 <sup>er</sup> año		

Se asociaron los estados fenológicos de los cultivos a las cuatro fases de su ciclo definidas en Doorenbos y Pruitt (1976). Se realizaron encuestas a las Agencias de Extensión Agraria para obtener información sobre las cuatro fases fenológicas citadas y sobre la productividad media del cultivo en la comarca. Asimismo, se realizaron entrevistas con agricultores, Cooperativas Agrarias y Cámaras agrarias.

### Determinación de coeficientes correctores

De acuerdo con las recomendaciones de Doorenbos y Pruitt (1976) se calcularon los siguientes coeficientes correctores: a) factor de advección; b) factor de potencial productivo del suelo; c) factor de reserva.

El factor de advección ( $F_{adv}$ ) se calculó para cada estación meteorológica completa. Su objetivo fue corregir los efectos de la desviación de las condiciones de la estación respecto a las condiciones del regadío. Se obtuvo a partir de una curva incluida en Doorenbos y Pruitt (1976) en la que  $F_{adv}$  es función de la superficie de regadío y seco en varios anillos concéntricos a la estación de 0.5, 1, 3, 5 y 10 km de radio. El valor de  $F_{adv}$  de cada estación completa se asignó a cada estación termopluviométrica asociada a la misma. Estos valores de  $F_{adv}$  variaron entre 0.7600 para Pamplona 'Observatorio' y 1.000 para Candanchú 'EMM' y Ortigosa 'Embalse'.

El factor de potencial productivo del suelo ( $F_{prod}$ ) se aplicó a cada comarca agraria. Representó las limitaciones en la producción del cultivo debidas a las restricciones climáticas y a las condiciones limitantes del suelo. Se calculó a partir de la altitud y de los rendimientos medios obtenidos por cada cultivo en cada comarca agraria, mediante una curva que relaciona el descenso en la productividad con el de la  $ET_0$  (Doorenbos y Pruitt, 1976). Los valores de  $F_{prod}$  variaron entre 0.9 y 1.0.

El factor de reserva ( $F_{res}$ ) representó la disminución de la reserva de agua del suelo debida a las labores preparatorias del suelo. Se calculó para siete tipos de cultivos según las labores realizadas para cada uno de ellos. Este factor se aplicó sólo para calcular la evapotranspiración de cultivo ( $ET_c$ ) del mes en que se realiza la plantación del cultivo. Su efecto sobre la  $ET_c$  fue menor que el de  $F_{adv}$  y  $F_{prod}$ .

### Cálculo de la evapotranspiración de cultivos

Los datos meteorológicos disponibles en las estaciones seleccionadas se utilizaron para estimar la  $ET_0$  mensual de las series temporales correspondientes mediante el método FAO Penman (Doorenbos y Pruitt, 1976). A partir de los valores medios de  $ET_0$  en cada comarca, las frecuencias de lluvia, el tipo de cultivo y los valores tabulados de  $K_c$  (Doorenbos y Pruitt, 1976), se calcularon los correspondientes  $K_c$  mensuales para cada cultivo y comarca estudiados. En los meses sin presencia de un cultivo en el campo, se consideró que  $K_c = 0.3$ . Por tanto, para cada mes y cultivo, la  $ET_c$  se calculó mediante la expresión:

$$ET_c = ET_0 F_{adv} F_{prod} \quad (2.1)$$

### Cálculo de la precipitación efectiva

Para cada cultivo y comarca, la precipitación efectiva ( $P_{ef}$ ) se calculó mediante el método del Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura de los EE.UU. descrito en Cuenca (1989):

$$P_{ef} = F_{ct} (1.252474 P^{0.82416} - 2.9335224) 10^{0.000955 ET_c} \quad (2.2)$$

donde  $P$  es la precipitación mensual y  $F_{ct}$  se obtuvo con la expresión:

$$F_{ct} = C_1 + C_2 A_{su} + C_3 A_{su}^2 + C_4 A_{su}^3 \quad (2.3)$$

donde  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  y  $C_4$  son cuatro coeficientes y  $A_{su}$  es la altura de agua del suelo consumida entre dos riegos consecutivos. CHE (1993a) consideró un valor constante de  $A_{su} = 100$  mm por lo que en todos los casos  $F_{ct} = 1.033$ .

#### Cálculo de las necesidades hídricas netas y análisis estadístico de las mismas

Para cada cultivo y mes de su ciclo se realizó un balance hídrico con la siguiente expresión:

$$NHn_i = ETC_i - (As_{i-1} + Pef_i) \quad (2.4)$$

donde  $NHn_i$ ,  $ETC_i$  y  $Pef_i$  son, respectivamente, las necesidades hídricas netas, la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva en el mes  $i$ , y  $As_{i-1}$  es el agua almacenada en el suelo en el mes  $i-1$ . El valor del agua almacenada en el suelo en el mes  $i$  ( $As_i$ ) se calculó con la expresión:

$$As_i = (As_{i-1} + Pef_i) - ETC_i \quad (2.5)$$

Si el valor de  $NHn_i$  en la ecuación (2.4) era menor de 0, entonces  $NHn_i = 0$  y ese excedente de agua se almacenaba en el suelo para consumirse en el mes siguiente con un límite en el almacenamiento de 100 mm. Para el cultivo del arroz, CHE (1993a) utilizó una metodología específica que tuvo en cuenta las condiciones de lámina de agua en cada mes del periodo de cultivo.

A continuación, para cada cultivo y comarca se calcularon una serie de estadísticos descriptivos de las funciones de distribución de las correspondientes necesidades hídricas netas:

- a) Valores medios anuales y mensuales del déficit para cada estación.
- b) Valores extremos del déficit: percentil del 80 %. Para obtener estos valores, los déficits anuales de cada estación se ordenaron de menor a mayor y se obtuvo el déficit correspondiente al 80 % mediante interpolación lineal entre los dos valores más próximos. Los percentiles del 80 % anuales se pasaron a mensuales aplicando la distribución mensual obtenida de la serie de déficits hídricos medios mensuales.

Estos valores medios y los percentiles del 80% se promediaron para cada comarca agraria. En el caso de que la comarca tuviera asociadas más de una estación se obtuvieron los valores mediante la media de los valores de cada una de las estaciones asociadas a ella.

#### Cálculo de superficies, eficiencias de riego y dotaciones de riego

Los datos de las encuestas 1T facilitadas por el Ministerio de Agricultura se utilizaron para obtener las superficies regadas de los cultivos en cada municipio. Agregando los datos municipales, se obtuvieron las superficies ocupadas por cada cultivo en cada comarca agraria. Así, se pudieron calcular las necesidades netas de cada comarca agraria a partir de los valores calculados con la ecuación (2.4).

Para el cálculo de las dotaciones de riego de cada cultivo en cada comarca se supuso una eficiencia global de los sistemas de riego del 60 % excepto para el

cultivo del arroz al que se le asoció una eficiencia del 85 % suponiendo que en este cultivo no existen pérdidas por distribución dentro de la parcela.

La cuenca del Ebro se dividió en 34 subcuencas. Las dotaciones de riego de cada cultivo en cada comarca agraria se agregaron para obtener las dotaciones de riego en cada subcuenca. Esta agregación se realizó teniendo en cuenta el tanto por ciento de cada comarca en cada subcuenca. Estos cálculos se realizaron para los valores medios y los percentiles del 80 % de necesidades hídricas netas (Tabla 2.3). La superficie total de regadío de la cuenca del Ebro se estimó en 679306 ha. Teniendo en cuenta las dotaciones medias y los percentiles del 80 % totales listados en la Tabla 2.3, las demandas totales en toda la cuenca del Ebro se calcularon en 4608 hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> (valores medios) y 5362 hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> (valores del percentil 80 %).

Tabla 2.3. Superficie de riego ( $Sup_r$ ), dotaciones medias ( $Dot_m$ ) y percentiles del 80 % ( $Dot_{80}$ ) de la cuenca del Ebro obtenidas en CHE (1993a) para cada una de las subcuencas.

Subcuenca	$Sup_r$ (ha)	$Dot_m$ (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	$Dot_{80}$ (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Subcuenca	$Sup_r$ (ha)	$Dot_m$ (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	$Dot_{80}$ (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
Aguas Vivas	1661	6870	7950	Guadalope	12247	8574	9768
Alcanadre	64936	5570	6785	Huerva	1981	7277	8547
Alhama	7994	7878	8926	Irati	184	3628	4670
Aragón	23451	5572	6520	Iregua	5323	6997	8372
Arba	46888	6723	7610	JalónAlto	7064	4817	5964
Arga	8148	5845	6862	JalónBajo	25684	9305	10461
Cidacos	2224	6507	7766	Jiloca	14077	4289	5482
Cinca	118697	5399	6559	Martin	6009	6946	8117
Ebro Alto	2651	4264	5289	Matarraña	3265	9847	11104
Ebro Bajo	23789	12437	13994	Najerilla	7632	5953	7122
Ebro Medio	70013	8119	9111	Noguera	3363	3372	4246
Ebro	26508	6231	7290	Pallaresa			
Semialto				Noguera	4835	6414	7510
Ebro	35702	8353	9427	Ribagorzana			
Semibajo				Piedra	1471	4747	5854
Ega	3757	4529	5550	Queiles	9500	6063	7177
Ésera	1599	2171	3167	Segre	108311	7216	8320
Gállego	19813	5885	6908	Tirón	8422	4589	5654
Gallocañta	212	5411	6538	Zadorra	1895	4709	5920
Total Cuenca del Ebro	679306	6784	7894				

### 2.3. CHE (1993b). Avance de la revisión del estudio de dotaciones de la cuenca del Ebro

El informe constituyó un avance de la revisión del estudio de dotaciones CHE (1993a). No se trató de un documento de carácter definitivo puesto que en el momento de ser elaborado se estaba revisando la asignación de las estaciones climáticas a algunas comarcas agrarias. El trabajo de CHE (1993b) incorporó alegaciones presentadas a la propuesta del proyecto de directrices del Plan

Hidrológico de Cuenca. La diferencia más destacada entre los dos trabajos fue que el de CHE (1993b) aplicó una mayor disgregación en las cuencas de la margen derecha del Ebro en la comunidad autónoma de Aragón. Las estimas de dotaciones incluidas en CHE (1993b) presentaron, en algunos casos, diferencias con las obtenidas en CHE (1993a) (Tabla 2.4). Aún así, la circunstancia de no coincidir las divisiones territoriales empleadas en ambos trabajos no permitió una comparación más detallada entre ellos.

Tabla 2.4. Comparación de las dotaciones medias para una probabilidad de déficit hídrico del 80 % estimadas en cada tramo de cuenca del Huerva por CHE (1993b) con las obtenidas en CHE (1993a).

CHE (1993b)		CHE (1993a)	
Tramo	Dotación (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Dotación (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Subcuenca
Queiles Alto	7500		
Queiles Bajo	9300	7200	Queiles
Huecha	8800		
Jalón Alto	5000	6000	Jalón alto
Jalón Bajo	9300	10500	Jalón bajo
Jiloca Alto	5400		
Jiloca Bajo	6500	5500	Jiloca
Piedra	5300	5900	Piedra
Huerva Alto	6000		
Huerva Bajo	10000	8500	Huerva
Alto Aguasvivas	6300		
Aito Cámaras	6500		
Bajo Aguasvivas	9200	7950	Aguasvivas
Bajo Cámaras	9100		
Martín Alto	5800		
Martín Bajo	9500	8100	Martín
Guadalope Alto	8500		
Guadalope Medio	9800	9800	Guadalope
Guadalope Bajo	10200		
Matarraña Alto	8500		
Matarraña Bajo	10200	11100	Matarraña

## 2.4. CHE (1996a). Superficie y dotaciones de regadíos por comarcas

Este trabajo forma parte de uno de los anexos de una versión del plan hidrológico de cuenca que finalmente no se incluyó en la versión definitiva pero que se empleó como documento de trabajo durante la fase de aprobación del plan de cuenca. Presenta estimas de dotaciones brutas de riego en cada polígono (subcuenca-comarca agraria) en que se divide la cuenca del Ebro. El anexo constituye un listado de estimaciones de dotaciones pero sin memoria explicativa sobre el proceso definitivo de cálculo. Se supone que la metodología fue la utilizada en CHE (1993a) aunque con las revisiones posteriores realizadas a partir de las alegaciones realizadas en el marco de la comisión del Consejo del Agua. Así, por ejemplo se incluye la nueva tramificación realizada en CHE (1993b).

Los resultados de CHE (1996a) deben coincidir con los valores incluidos en la base de datos "Dotaciones" habitualmente empleada por el personal de la OPH.

## 2.5. CEDEX (1996). Dotaciones de riego en la cuenca del Ebro

El objetivo de este trabajo fue la obtención de los valores netos de las dotaciones de riego de la cuenca del Ebro. Constituye un informe parcial de un convenio de colaboración del CEDEX con el Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM). En principio, no se aplicaron eficiencias de riego a los cálculos realizados. Por ello, se obtuvieron necesidades netas de los cultivos.

En la introducción de CEDEX (1996) se presenta una justificación del método de cálculo utilizado a lo largo del trabajo. Presenta especial interés la justificación de calcular valores de necesidades hídricas netas a partir de cálculos teóricos de la *ETc* en lugar de datos experimentales (lisímetros o parcelas experimentales).

### Evaluación de los regadíos existentes

La Tabla 2.5 presenta una síntesis de las superficies totales regadas en la cuenca del Ebro según las distintas fuentes consultadas por CEDEX (1996). En este trabajo se establecieron diferentes zonas de riego según su procedencia:

Tabla 2.5. Síntesis de las superficies totales regadas en la cuenca del Ebro según CEDEX (1996).

	Doc. básica PHE (1988)	PHN (1993)	Directrices PHE (1993)	PHE (1996) Balances	PHE (1996) Inv. comisaría	
Demanda agraria (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )		6820		6310		
Superficie total (ha)	769401	762920	783175	778284	783554	
Grandes sistemas (ha)	457867		443642		455381	Sistemas estatales (ha)
Pequeños sistemas (ha)	292634		339553		328173	Sistemas privados (ha)
Con aguas subterráneas (ha)	18900					

- a) Riegos con financiación estatal: 21 zonas de riego, 19 de ellas definidas en MIMAM (1992); las otras 2 son zonas asociadas al canal de la margen derecha e izquierda del delta del Ebro. Estas zonas se cartografiaron en mapas 1:50.000.
- b) Riegos privados. Se empleó la delimitación en comarcas agrarias tomada de CHE (1993a) y la información de encuestas obtenida del Ministerio de Agricultura (MAPA). Todos los regadíos incluidos en estas encuestas y no asociadas a las superficies de regadío estatales se consideraron riegos privados; en total, 102 zonas.

### Evaluación de los regadíos futuros

El trabajo de CEDEX (1996) realizó una evaluación de los regadíos futuros listados en la documentación relacionada con la planificación hidrológica de la cuenca del Ebro (Tabla 2.6). Por otro lado, se analizó el avance del Plan Nacional de Regadíos (PNR) de 1995 y se diferenciaron dos tipos de regadíos: a) los de Interés Nacional (con competencias asumidas por las Comunidades Autónomas) y b) los de Interés General de la Nación en los que el estado planifica con la participación de las Comunidades Autónomas afectadas. Los regadíos de la cuenca del Ebro en los que había inversiones pendientes de la Administración General del Estado se listan en la Tabla 2.7, que es un resumen de los datos presentados en CEDEX (1996).

Tabla 2.6. Superficies de regadíos futuras contempladas en la documentación relacionada con la planificación de la cuenca del Ebro.

Horizonte	PHE directrices (1993)	PHE (1995)			
		Memoria	Balances	Aspectos económicos <sup>(1)</sup>	Anexo nº 8 Normativa <sup>(2)</sup>
Actual			778284		
1 <sup>er</sup> horizonte	202051	209386	198680	207221	540000
2 <sup>o</sup> horizonte	285307	237962	237192	238080	
Total			1214156		

<sup>(1)</sup> Se incluye una relación de 63 actuaciones.

<sup>(2)</sup> Se incluye una relación de 65 actuaciones.

Tabla 2.7. Regadíos previstos con financiación del Estado según el avance del Plan Nacional de Regadíos de 1995.

Zona	Previstos	Realizados	En ejecución	Pendientes	H-2005	Posteriores
Bardenas II	31679					
Calanda-Alcañiz	4685					
Cinca	19220					
Civán	730					
Monegros I, TIV	1700					
Monegros II	57067					
Mendavia	3048					
Total	118147	31377	18300	68470	34593	33877

Además, en el avance del PNR de 1995 se compararon las zonas regables con las establecidas en el primer y segundo horizonte del Plan de Cuenca del Ebro y se definieron zonas de regadío potencial. Estas zonas potenciales suponen una superficie total de 485216 ha con la siguiente tipología:

- Grupo 1: Declaradas de Interés Nacional o previstas por la administración hidráulica. Son 5 zonas.
- Grupo 3: Propuestas en el Plan Hidrológico de Cuenca o por las Comunidades Autónomas sin amparo legal en la actualidad y con previsión de actuaciones futuras de la Administración Central o de las Comunidades Autónomas. Son 53 zonas.

- Grupo 4: Iniciativa privada sin compromiso expreso por parte de las distintas Administraciones. Son 4 zonas.

Finalmente, se consideraron como superficies futuras los valores que indican la mayor extensión posible. Además, estos regadíos futuros se diferenciaron en regadíos pendientes y en ejecución según el PNR (86670 ha) y en regadíos potenciales con ejecución no concretada (462643 ha). Los dos grupos supusieron una superficie total de regadío futura de 549313 ha.

#### Atribución de estaciones meteorológicas

Se utilizaron datos meteorológicos de estaciones del INM. A cada zona de regadío se le asignaron la estación completa correspondiente a la capital de provincia donde se encuentra cada zona de estudio y la estación termopluviométrica más próxima. En total se eligieron un total de 50 estaciones meteorológicas, 9 de ellas completas y 41 termopluviométricas. Se procuró que el periodo mínimo de registro en cada estación fuera de 9 años.

En el trabajo de CEDEX (1996) no se consideró el factor de advección definido en CHE (1993a) debido a las dificultades de su estimación y a que las condiciones en el interior de las zonas de riego no son homogéneas. Tampoco se consideraron los factores de producción y de reserva.

#### Cálculo de la $ET_0$

En este trabajo se seleccionaron tres métodos de cálculo de la  $ET_0$  tras revisar los trabajos de Doorenbos y Pruitt (1976), Jensen et al. (1990) y Smith et al. (1991): FAO Blaney-Criddle, FAO Penman y FAO Penman-Monteith. Este último, no obstante, se consideró como el más adecuado. Los tres métodos de cálculo se emplearon en cada zona regable y se compararon sus resultados. Se observó que, en promedio, el método FAO Blaney-Criddle subestimó las estimas obtenidas con el método FAO Penman-Monteith en un 92 %. Por su parte, el método de FAO Penman sobrestimó dichas estimas alrededor de un 25 %.

#### Dedicación productiva

En base a las estadísticas de 1992 del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), se seleccionaron 36 cultivos:

- a) Cultivos extensivos. Arroz, cereal de invierno (cebada y trigo), girasol, judía grano, maíz grano, patata temprana, patata de media estación, patata tardía, remolacha azucarera, soja y tabaco.
- b) Cultivos forrajeros. Alfalfa y praderas, cereal de invierno forrajero y maíz forrajero.
- c) Cultivos hortícolas. Alcachofa, apio, berenjena, calabaza y calabacín, cebolla, col repollo, coliflor, espárrago, espinaca, judía verde, lechuga, melón, pepino, pimiento, tomate y zanahoria.
- d) Cultivos leñosos. Cítricos, frutales de hoja caduca tipo I, frutales de hoja caduca tipo II, olivar y viñedo.

Se consideró que la dedicación productiva era constante para todo el periodo de cálculo de la  $ET_c$ . Para determinar la dedicación productiva de las superficies de riego estatales se realizó una intersección de su superficie de riego con la información de la dedicación productiva de las comarcas agrarias. Para los cultivos para los que no había valores de coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), su superficie se sumó al resto de los cultivos proporcionalmente a la superficie de cada uno de ellos. Para las zonas de riego privadas en comarcas sin regadío estatal, se asoció la dedicación productiva de los municipios integrados dentro de ella. La superficie de los cultivos de los que no se dispuso de  $K_c$  se distribuyó entre el resto de cultivos de forma proporcional a la superficie de cada uno de ellos. Además, dentro de cada agrupación se prescindió de aquellos cultivos que ocupaban una superficie inferior al 2 % de la zona regable distribuyendo su superficie entre el resto de cultivos en proporción a su superficie regada. Por último, en las zonas de riego privadas en comarcas con regadío estatal, se calculó la dedicación productiva de la comarca agraria y se sustrajo la dedicación correspondiente a la zona estatal.

#### Cálculo de los $K_c$

Se empleó la metodología de cálculo propuesta por Doorenbos y Pruitt (1976). La duración de los ciclos de cultivo (inicial, desarrollo, mediados y final) se obtuvo de: a) MAPA (1992), con información de los  $K_c$  de 86 cultivos herbáceos junto con información sobre la distribución mensual de los periodos de siembra y recolección por provincias; b) Doorenbos y Pruitt (1976), que incluye información de  $K_c$  de 38 cultivos extensivos; c) Doorenbos y Kassan (1986), con información de  $K_c$  de 26 cultivos. Se consideró que la frecuencia de riegos y lluvias era de 20 días durante la fase inicial de todos los cultivos y zonas de riego. Los valores de  $K_c$  de las fases de mediados y final se corrigieron en función de las condiciones locales de velocidad de viento y humedad relativa mínima.

En el caso del espárrago los valores de  $K_c$  se obtuvieron de CHE (1993a). En el caso de suelo sin cultivo, el valor de  $K_c$  fue el correspondiente al de la fase inicial de los cultivos extensivos. En alfalfa y praderas, el valor de  $K_c$  para los meses de abril a octubre se mantuvo en 0.9; para el resto de meses se supuso el  $K_c$  correspondiente a la fase inicial de los cultivos anuales.

En el caso de cultivos leñosos se consideraron los siguientes casos: a) árboles de hoja caduca, valores de  $K_c$  de Doorenbos y Pruitt (1976) para inviernos fríos con heladas letales; se distinguieron dos tipos, I (cerezo y manzano) y II (albaricoquero, melocotonero y peral); b) viñedo, valores de  $K_c$  de Doorenbos y Pruitt (1976) para inviernos fríos con heladas letales y vientos secos de débiles a moderados; c) olivar, valores de  $K_c$  de Doorenbos y Kassam (1986).

#### Cálculo de la precipitación efectiva

Se utilizó el mismo método que en CHE (1993a) por lo que se aplicaron las ecuaciones (2.2) y (2.3). El valor de  $A_{su}$  en la ecuación (2.3) se supuso igual a 75 mm (cultivos extensivos), 55 mm (cultivos horticolas) y 125 mm (alfalfas, praderas y cultivos leñosos).

### Cálculo de las necesidades hídricas netas de los cultivos

Se emplearon las mismas ecuaciones, (2.4) y (2.5), que en CHE (1993a). Sin embargo, se optó por considerar que el máximo valor de almacenamiento de agua en el suelo era de 55 mm. En el caso del arroz, se consideraron los siguientes supuestos: a) durante el primer mes se deben aportar 200 mm de agua de riego para saturar el terreno y 100 mm para formar una lámina de agua, las pérdidas de percolación son de 1 mm día<sup>-1</sup> y la precipitación efectiva es del 80 % de la precipitación mensual; b) en el resto de meses, se estimaron las necesidades para elevar la lámina de agua a 150 mm y compensar las pérdidas por evapotranspiración y percolación profunda teniendo en cuenta la precipitación efectiva.

### Análisis de resultados

Finalmente, CEDEX (1996) presentó las estimas de necesidades hídricas brutas y netas por zonas de regadío obtenidas a partir de las estimas de  $ET_0$  calculadas con los tres métodos seleccionados. Para el análisis de los resultados, se elaboraron las siguientes presentaciones de las estimas obtenidas:

- a) Diferenciación de las zonas regables en función de las necesidades calculadas para la alfalfa.
- b) Comparación de las necesidades hídricas medias de los cultivos en las zonas regables en las que se utilizaron estaciones completas para hacer todos los cálculos y comparación de los resultados obtenidos por cada uno de los tres métodos de cálculo de la  $ET_0$ . Se observó que la diferencia entre las estimas de necesidades hídricas obtenidas a partir de las estimas de  $ET_0$  calculadas con el método FAO Blanney-Criddle y aquéllas obtenidas a partir de las estimas de  $ET_0$  calculadas con el Penman Monteith fue siempre menor del 12 %, lo que indica una similitud bastante razonable. Las estimas de necesidades hídricas obtenidas a partir de las estimas de  $ET_0$  calculadas con el método FAO Penman sobrestimaron significativamente a las obtenidas a partir del método Penman Monteith, con diferencias que oscilaron entre el 24 y el 48 %.
- c) Necesidades hídricas netas de las hectáreas representativas de cada zona de riego.
- d) Necesidades hídricas netas anuales en las zonas de riego estatales.

## **2.6. CHE (1997). Nota informativa del estudio de dotaciones de CEDEX (1996)**

La nota fue realizada por el Servicio de Estudios de la OPH con el objetivo de comparar los métodos y resultados obtenidos con los trabajos de CHE (1993a) y CEDEX (1996). Las principales conclusiones fueron:

- Las zonas regadas actuales fueron diferentes en ambos estudios. En CHE (1993a) no se tuvieron en cuenta las zonas regadas futuras.
- CHE (1993a) empleó 111 estaciones meteorológicas de las que 13 fueron completas mientras que CEDEX (1996) empleó 50 (9 completas).

- CHE (1993a) estimó la  $ET_0$  con el método FAO Penman y aplicó coeficientes de advección, producción y reserva. En CEDEX (1996) la  $ET_0$  se calculó con los métodos FAO Blaney-Cridle, FAO Penman y Penman Monteith.
- Se compararon las estimas de  $ET_0$  de ambos estudios para 12 estaciones meteorológicas comunes (Tabla 2.8 y Figura 2.2). Se observaron diferencias importantes en algunos casos (Pamplona, Caseda, Monflorite, El Grado y Daroca) entre las estimas de  $ET_0$  obtenidas en CHE (1993a) y en CEDEX (1996) con el método FAO Penman sin aplicar el factor de advección. Estas diferencias fueron de difícil justificación ya que el método utilizado fue el mismo. Con la aplicación del factor de advección en CHE (1993a), las estimas de  $ET_0$  disminuyeron considerablemente y se aproximaron a las obtenidas en CEDEX (1996) con los métodos FAO Blaney-Cridle y Penman-Monteith (Figura 2.2).

Tabla 2.8. Comparación de las estimas medias anuales de la  $ET_0$  calculadas en CHE (1993a) y CEDEX (1996).

Estación	CEDEX (1996)			CHE (1993a)	
	Penman-Monteith	FAO Blaney-Cridle	FAO Penman (sin $F_{adv}$ )	Sin $F_{adv}$	Con $F_{adv}$
Vitoria	740	640	940	990	800
Logroño	1040	940	1300	1260	1020
Pamplona	960	860	1220	1040	790
Casada	1070	960	1340	1090	820
Monflorite	1240	1090	1510	1360	1060
El Grado	1260	1110	1550	1390	1080
Zaragoza	1290	1120	1590	1480	1290
Escatrón	1380	1180	1640	1540	1340
Lérida	1060	1100	1320	1340	1100
Oliana	1140	1020	1320	1270	1040
Tortosa	1230	1180	1460	1410	1090
Daroca	1190	990	1460	1150	890

- Ambos estudios emplearon la metodología de Doorenbos y Pruitt (1976) para la obtención de los  $K_c$  con la salvedad de que para el periodo inicial CEDEX (1996) empleó una frecuencia de riego y lluvias fija para todos los cultivos (20 días) y CHE (1993a) empleó la frecuencia de lluvias obtenidas de las estaciones pluviométricas asociadas a cada una de las comarcas agrarias. Asimismo, CEDEX (1996) obtuvo estimas provinciales de  $K_c$  mientras que CHE (1993a) los obtuvo para cada comarca agraria.
- En CHE (1993a), los ciclos de cultivo se obtuvieron a partir de encuestas mientras que en CEDEX (1996) se obtuvieron a partir de MAPA (1992). Se compararon los valores mensuales de los  $K_c$  para algunos sistemas de riego (Monegros, CAC, Urgel, Canal Imperial, Bardenas, Delta) y para los cultivos más importantes (cereal, girasol, maíz, manzano, tomate y arroz). En algunos casos, las diferencias fueron bastante destacadas: tomate en Bardenas, cereal en la mayor parte de los sistemas y maíz (ciclo de cultivo prolongado dos meses más en CEDEX, 1996).

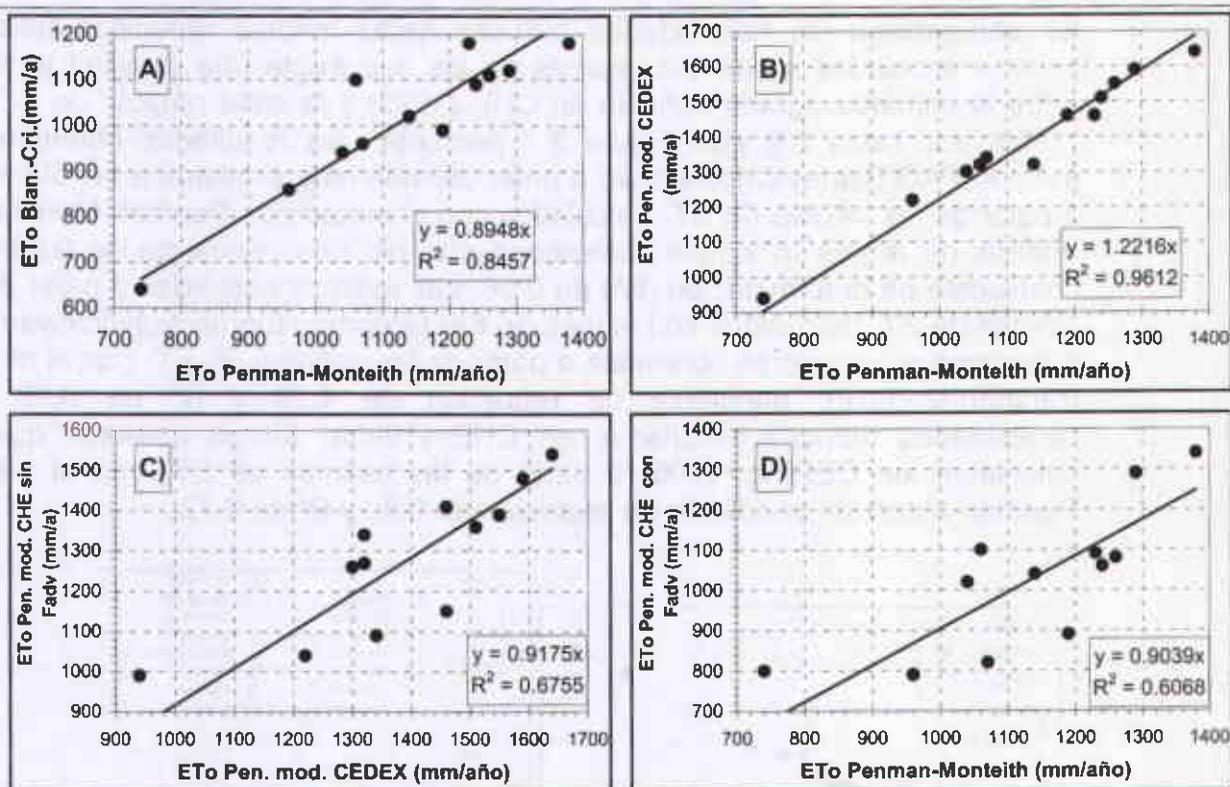


Figura 2.2. Comparación entre las estimas medias anuales de la  $ET_0$  obtenidas para doce estaciones meteorológicas en CHE (1993a) y CEDEX (1996).

- Para periodos sin cultivo, CEDEX (1996) adoptó el coeficiente de la fase inicial de los cultivos extensivos mientras que CHE (1993a) fijó su valor en 0.3.
- Para el cálculo de la precipitación efectiva, CEDEX (1996) varió el valor de la reserva en función de una tipología de cultivos, mientras que CHE (1993a) adoptó un valor fijo de 100 mm. Para realizar los balances de agua para el cálculo de las necesidades hídricas netas, CHE (1993a) consideró un valor de reserva máxima de agua en el suelo de 100 mm, mientras que CEDEX (1996) supuso un valor de 55 mm.
- CEDEX (1996) incorporó nuevos cultivos (soja, cereal de invierno forrajero, maíz forrajero, apio, berenjena, calabaza-calabacín, cebolla, col-repollo, espinaca, pepino) y agrupó los cultivos leñosos de otra forma sin que por ello el cálculo de la  $ET_c$  se viera afectado de manera sustancial.
- En ambos estudios, las dedicaciones productivas se obtuvieron del MAPA. Pero en CHE (1993a) se obtuvieron de las encuestas 1T y de características agronómicas, productivas, de comercialización, etc. Por su parte, CEDEX (1996) las obtuvo de MAPA (1992). Se compararon las dedicaciones productivas de ambos estudios para los sistemas CAC, Cinca, Flumen, Monegros, Bardenas, Piñana, Urgel, Lodosa, Tauste, Imperial y Delta. En algunos sistemas, las diferencias fueron importantes, como ocurre en Piñana.

- Se compararon las necesidades hídricas netas medias obtenidas para los cultivos asociados a nueve comarcas en las que existe una similitud territorial entre la comarca agraria definida en CHE (1993) y la zona regable de CEDEX (1996). La Tabla 2.9 y la Figura 2.3 presentan los resultados obtenidos. El método FAO Blaney-Criddle llevó a unas estimas muy similares a las obtenidas a partir de los valores de  $ET_0$  calculados con el método de Penman-Monteith. El análisis de regresión simple correspondiente dio una pendiente de 0.98 y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.98. Las estimas obtenidas a partir de los valores de  $ET_0$  calculados con el método FAO Penman fueron significativamente superiores a los valores obtenidos a partir de las estimas de  $ET_0$  con el método Penman-Monteith: pendiente de regresión de 1.26 y  $R^2$  de 0.98. Las necesidades hídricas calculadas en CHE (1993a) fueron menores que las calculadas en CEDEX (1996) a partir de las estimas de  $ET_0$  con el método Penman-Monteith: pendiente de regresión de 0.89 y  $R^2$  de 0.72.

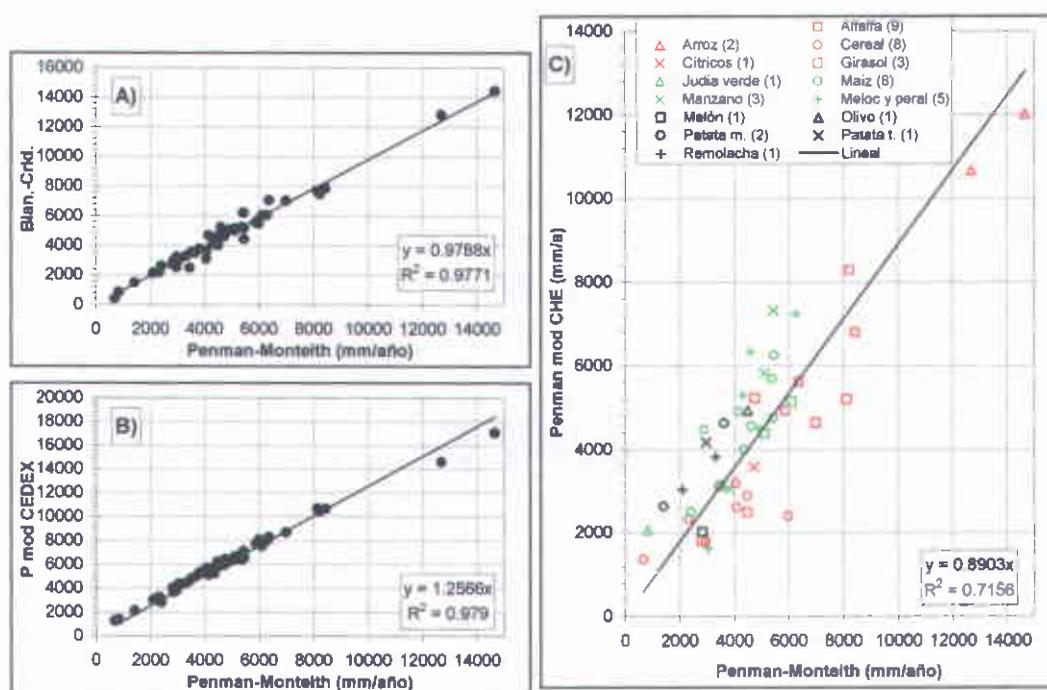


Figura 2.3. Comparación de las necesidades netas medias de nueve comarcas agrarias obtenidas por CHE (1993a) y CEDEX (1996).

## 2.7. CHE (1997). Análisis de las dotaciones de las zonas regables del río Huerva

En este trabajo se calcularon las dotaciones de agua para riego de las superficies de regadío de la cuenca del río Huerva. Este trabajo constituyó una revisión de detalle del estudio de CHE (1993a). Las aportaciones de este nuevo trabajo fueron las siguientes:

Tabla 2.9. Comparación de las necesidades netas medias ( $m^3 ha^{-1} año^{-1}$ ) de nueve comarcas agrarias obtenidas por CHE (1993a) y CEDEX (1996).

Comarca	Cultivo	CEDEX (1996)			CHE (1993a)
		Penman-Monteith	Blaney-Criddle	FAO Penman	FAO Penman
Vitoria	Patata m.	1415	1479	2107	2627
	Remolacha	2103	2136	3013	3025
	Alfalfa	2810	2740	3996	1805
	Judía verde	832	849	1375	2065
Pamplona	Cereal	686	406	1266	1357
	Girasol	3507	3543	4790	3127
	Maíz	2405	2634	2782	2489
	Remolacha	3314	3285	4431	3821
	Alfalfa	4484	4333	6215	2485
	Manzano	3813	3771	5316	3049
	Melocotonero y peral	3036	3005	4365	1630
Logroño	Cereal	4077	3642	5713	2601
	Maíz	4621	4598	5936	4552
	Patata m.	3638	3497	4949	4622
	Alfalfa	5872	5540	7727	4931
	Manzano	5104	4989	6680	5823
	Melocotonero y peral	4308	4161	5704	5283
Ágreda	Cereal	4480	4580	6243	2877
	Maíz	2901	3031	3777	4469
	Patata t.	2967	3255	4028	4166
	Alfalfa	4754	4750	6461	5234
Sarıfena	Arroz	14652	14425	17075	12020
	Cereal	5984	5454	8060	2401
	Girasol	5105	5136	6380	4382
	Maíz	5439	4416	6575	4750
	Alfalfa	8121	7681	10685	5198
Pina de Ebro	Cereal	3438	2469	4633	3096
	Maíz	5447	5148	6569	6253
	Alfalfa	8224	7470	10442	8287
Lérida	Cereal	2330	2173	3261	2320
	Maíz	4140	4690	5131	4899
	Alfalfa	6356	7052	8285	5615
	Manzano	5429	6204	7081	7317
	Melocotonero y peral	4590	5236	6077	6327
Alcañiz	Cereal	4051	3069	5401	3173
	Girasol	6093	6047	7519	5139
	Maíz	5371	5214	6368	5690
	Alfalfa	8432	7867	10655	6799
	Melocotonero y peral	6271	6046	7968	7242
	Olivo	4486	3998	5817	4926
Tortosa	Arroz	12686	12815	14599	10669
	Cereal	2966	2518	3806	1779
	Maíz	4347	4527	5192	4000
	Alfalfa	6983	7012	8650	4644
	Melón	2833	2957	3651	2013
	Cítricos	4711	4602	5921	3582
	Melocotonero y peral	4901	5042	6223	4509

- Además del método FAO Penman, se utilizó el método de Penman Monteith para el cálculo de la  $ET_0$ . Se plantearon dos hipótesis para el valor del factor de advección; en la primera, este factor se consideró igual a 0; en la segunda, se asignaron los mismos valores que en el trabajo de CHE (1993a).
- Se introdujo una zonificación distinta, basada en la incorporación de estaciones meteorológicas ficticias obtenidas de CHE (1993c).
- Para el cálculo de la precipitación efectiva, se consideró que el valor de la reserva variable es función del tipo de cultivo. Se utilizaron los mismos valores que los empleados en CEDEX (1996) (sección 2.1.5).

La Tabla 2.10 resume las estimas de las dotaciones comarcales calculadas para un nivel de probabilidad de ocurrencia del 80 %. Las estimas obtenidas en general fueron menores que las obtenidas en CHE (1993a) con el método FAO Penman con factor de advección. Las estimas menores se obtuvieron con el método Penman-Monteith con un factor de advección.

Tabla 2.10. Dotaciones de riego comarcales para una probabilidad de déficit hídrico del 80 % calculadas para las zonas regables del río Huerva.

Método	Calamochoa	Daroca	Cariñena Alto	Cariñena Bajo	Zaragoza
Penman Monteith con factor de advección	4000	4800	6700	6800	9000
Penman Monteith sin factor de advección	5500	6700	7800	8900	10500
FAO Penman con factor de advección (CHE, 1993a)	6000	5900	7900	7900	11200

El trabajo de CHE (1997) finalizó con una serie de recomendaciones para futuros trabajos relacionados con el estudio de las dotaciones de la cuenca del Ebro; entre ellas, destacan las siguientes:

- Introducción de los datos de las estaciones meteorológicas ficticias de CHE (1993c).
- Utilización del método de Penman-Monteith para el cálculo de la  $ET_0$ .
- Revisión de los coeficientes de cultivo especialmente considerando la implantación de nuevas especies en la cuenca del Ebro.
- Realización de experimentos locales para valorar la conveniencia de incluir el factor de advección.

## 2.8. CHE (1999). Fenología y necesidades hídricas de las especies leñosas

El objetivo de este trabajo fue la determinación de las superficies de cultivos leñosos, su fenología y la evaluación de sus necesidades hídricas en el valle del Ebro. La principal aportación del trabajo fue la recopilación de información fenológica de los cultivos leñosos en distintas zonas de regadío de la cuenca del Ebro. La metodología seguida constó de las siguientes fases:

- a) Recopilación de los datos de superficie, fenología y tipo de riego (localizado o inundación) por comarcas agrarias. La definición de la fenología se ha centrado en las fechas de floración y recolección. Los datos se han tomado de consultas a organismos oficiales, entidades asociativas (cooperativas o SAT) o asociaciones de tratamientos integrados (ATRIAS) de las comunidades autónomas. Los datos se han tomado para diversas variedades de cultivos leñosos en las zonas de riego principales de Aragón, Cataluña, La Rioja y Navarra. Para su tratamiento, las variedades se han clasificado en tres grupos: tempranos, de media estación y tardíos.
- b) Cálculo de los coeficientes de cultivo. Se utilizaron los valores de  $K_c$  de Doorenbos y Pruitt (1976) para todas las comarcas excepto para Aragón, que se tomaron de Martínez-Cob et al (1998), y Cataluña, que se tomaron del Departamento de Agricultura de la Generalitat de Cataluña. A partir de los datos fenológicos recopilados, y en función de que las variedades fueran tempranas, de media estación o tardías, se han aplicado los coeficientes de cultivo con las adaptaciones correspondientes según la época.
- c) Cálculo de las necesidades hídricas. La  $ET_0$  comarcal se obtuvo de CHE (1993a). En los cálculos realizados, se consideró en todos los casos que se trataba de plantaciones adultas con una cobertura del suelo de 100 %. Tampoco se tuvo en cuenta el sistema de riego utilizado.
- d) Cálculo de las necesidades hídricas netas. Para este cálculo se realizó un balance de agua mensual considerando que la precipitación efectiva corresponde al 75 % de la lluvia. Como resultados globales del análisis efectuado se obtuvo un consumo teórico calculado para los cultivos leñosos en toda la cuenca de  $620 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$  para una superficie de 117053 ha. Como dato de contraste de la superficie aportada en este trabajo debe considerarse que la superficie obtenida para los cultivos leñosos para todos los municipios de la cuenca del Ebro según el censo agrario de 1999 fue de 146067 ha.

Finalmente, el trabajo de CHE (1999) concluyó con un anejo en el que se realiza una introducción sobre los riegos deficitarios en cultivos leñosos. Esta es una técnica de riego en frutales denominado Riego Deficitario Controlado (RDC) para situaciones de disponibilidad limitada de agua. Se basa en la reducción de la cantidad de agua aplicada en ciertos periodos fenológicos en que las plantas son menos sensibles a la falta de humedad, es decir, que no afecta significativamente al rendimiento ni a la calidad de los frutos.

## **2.9. CHE (2001). Necesidades hídricas del almendro, vid y olivo en la cuenca del Ebro**

En este trabajo se revisaron las dotaciones de riego del almendro, la vid y el olivar en diversas comarcas agrarias de la cuenca del Ebro. El trabajo consta de tres partes claramente diferenciadas:

- a) Revisión de solicitudes para concesiones de regadíos de estos cultivos para ser informadas por la OPH en el periodo 1996-2000.

- b) Revisión bibliográfica sobre las necesidades hídricas de esos tres cultivos. Según los datos encontrados en esta revisión, las necesidades hídricas medias serían de  $6814 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  para el almendro,  $3685 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  para el olivo, y  $2514 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  para la viña.
- c) Cálculo de las dotaciones de los tres cultivos en todas las comarcas agrarias de la cuenca del Ebro. En este caso, se realizó un cálculo simplificado con las siguientes características:
- 1) Se realizaron para valores medios anuales de  $ET_0$  y precipitación.
  - 2) Se partió de las estimas anuales de  $ET_0$  calculadas en CHE (1993a).
  - 3) Se utilizaron coeficientes reductores ( $K_r$ ) en función del porcentaje de cobertura de las especies arbóreas. Se supuso un porcentaje de ocupación del 50 % que condujo a valores de  $K_r$  de 0.90 en el caso del olivar y el almendro. En el caso de la viña no se usó  $K_r$ . Los valores de  $K_c$  usados fueron de 0.70 (almendro), 0.50 (olivar) y 0.30 (viña). En consecuencia, la  $ET_c$  se calculó como el producto de la  $ET_0$ , el  $K_c$  y el  $K_r$  correspondientes.
  - 4) Se consideró que la precipitación efectiva es el 70 % de la precipitación total.
  - 5) Las dotaciones de riego se calcularon a pie de parcela y se consideró una eficiencia de riego por goteo del 85 %.
  - 6) Se calcularon dos estadísticos de la dotación: a) medias anuales de la  $ET_0$  y de la precipitación; y b) valor correspondiente al percentil 80 % de la  $ET_0$  y al percentil 20 % de la precipitación efectiva. Las dotaciones obtenidas con el segundo estadístico fueron mayores, entre  $900$  y  $1200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

Finalmente, se compararon las estimas de CHE (2001) con las obtenidas en CHE (1993a) en las comarcas agrarias comunes a ambos trabajos. En los datos de CHE (1993a) se corrigieron los valores de dotación con una eficiencia del 60 % a una eficiencia del 85 %. En todos los casos se compararon las dotaciones obtenidas en CHE (2001) con las dotaciones medias y la de una probabilidad de déficit del 80 % de CHE (1993a). Estas últimas dotaciones no se obtuvieron por métodos similares en ambos trabajos y por ello la comparación tuvo únicamente un carácter orientativo. Se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- a) Para el almendro la dotación media fue  $5304 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y la del percentil 80 % fue  $6199 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Estas dotaciones fueron superiores que las de CHE (1993a) en las cinco comarcas agrarias con estimas de ambas fuentes; la diferencia de dotaciones de ambos trabajos para el percentil 50 % fue de  $897 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ; para el percentil 80 %, esa diferencia fue de  $1775 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .
- b) Para el olivar la media de las dotaciones de la cuenca del Ebro fue  $2975 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y para las dotaciones del percentil 80 %,  $3694 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Estas dotaciones fueron superiores a las dotaciones medias de CHE (1993a) con una diferencia media de  $898 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . La comparación con las dotaciones del percentil 80 % de CHE (1993a) dio valores similares con una diferencia media de  $400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

- c) Para la viña la dotación media fue  $1206 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ; la del percentil 80 %,  $1971 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Estas dotaciones fueron notablemente menores que las de CHE (1993a) en las 29 comarcas agrarias con estimas de ambas fuentes con una diferencia media de  $2998 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y una diferencia para el percentil 80 % de  $2211 \text{ m}^3/\text{ha/año}$ .

### 3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

La metodología utilizada en este trabajo para calcular la evapotranspiración y las necesidades hídricas de los cultivos en las comarcas de la Cuenca del Ebro es bastante similar a la utilizada en trabajos anteriores como el de CHE (1993a). La metodología usada en este trabajo se basa en la descrita por Allen et al. (1998) que constituye una revisión de las directrices de cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos propuesta anteriormente por la FAO (Doorenbos y Pruitt, 1976). A continuación se describen las distintas etapas seguidas en el proceso de cálculo.

#### 3.1. Comarcas

Se partió del mapa de comarcalización agraria realizado por la CHE, disponible en la página web: (<http://oph.chebro.es/ContenidoCartoRegadios.htm>) y derivado del utilizado por CHE (1993a). En esta página web, diversos enclaves provinciales y municipales en otros territorios se consideraron como comarcas diferentes. En la inmensa mayoría de estos casos, la pequeña extensión territorial de esos enclaves y su gran similitud geográfica y climática con el territorio donde se encuadran aconsejaron agruparlos, para este trabajo, con las comarcas que les rodean y no considerarlos como comarcas diferentes. Además, en Navarra, se decidió utilizar la división comarcal proporcionada por Riegos de Navarra (<http://www.riegosdenavarra.com/agroind/regad/NaComTmm.pdf>). La Figura 3.1 muestra la división comarcal utilizada en este trabajo. La Tabla 3.1 lista el nombre de cada comarca, su Comunidad Autónoma y el número arbitrario asignado.

Tabla 3.1. Comarcas utilizadas en este trabajo. *NCO*, número arbitrario asignado a cada comarca en este trabajo. *Nan*, números de comarcas asignados en el mapa de la página web de la CHE (algunas de ellas agrupadas en este trabajo).

<i>NCO</i>	Nombre de comarca	Comunidad Autónoma	Provincia	<i>Nan</i>
1	Reinosa	Cantabria	Cantabria	7
2	Espinosa de los Monteros	Castilla y León	Burgos	2
3	Villarcayo	Castilla y León	Burgos	5
4	Villalba de Losa	Castilla y León	Burgos	6
5	Medina de Pomar	Castilla y León	Burgos	10
6	Sedano	Castilla y León	Burgos	18
7	Condado de Treviño	Castilla y León	Burgos	27
8	Briviesca	Castilla y León	Burgos	28
9	Miranda de Ebro	Castilla y León	Burgos	29
10	Belorado	Castilla y León	Burgos	43
11	Aguilar de Campoo	Castilla y León	Palencia	21, 23, 24, 25
12	San Pedro Manrique	Castilla y León	Soria	65
13	Ágreda	Castilla y León	Soria	78
14	Gomara	Castilla y León	Soria	90, 92
15	Almazán	Castilla y León	Soria	101

Tabla 3.1. (Continuación).

NCO	Nombre de comarca	Comunidad Autónoma	Provincia	Nan
16	Arcos de Jalón	Castilla y León	Soria	106
17	Vitoria	País Vasco	Álava	3
18	Murguía	País Vasco	Álava	9
19	Salvatierra	País Vasco	Álava	12
20	Espejo	País Vasco	Álava	13
21	Santa Cruz de Campezo	País Vasco	Álava	26
22	Laguardia	País Vasco	Álava	33
23	Oñate	País Vasco	Guipúzcoa	11
24	Durango	País Vasco	Vizcaya	4
25	Haro	La Rioja	La Rioja	35, 38, 39
26	Santo Domingo de la Calzada	La Rioja	La Rioja	44
27	Logroño	La Rioja	La Rioja	46
28	Nájera	La Rioja	La Rioja	48, 71
29	Calahorra	La Rioja	La Rioja	54
30	Torrecilla en Cameros	La Rioja	La Rioja	58, 68
31	Arnedo	La Rioja	La Rioja	60
32	Alfaro	La Rioja	La Rioja	62
33	Cervera del Río Alhama	La Rioja	La Rioja	66
34	Tierra Estella	Navarra	Navarra	
35	Ribera Alta-Aragón	Navarra	Navarra	
36	Ribera Baja Navarra	Navarra	Navarra	
37	Navarra Pirineos	Navarra	Navarra	
38	Navarra Noroccidental	Navarra	Navarra	
39	Navarra Media	Navarra	Navarra	
40	Cuenca de Pamplona	Navarra	Navarra	
41	Maranchón	Castilla La Mancha	Guadalajara	113
42	Molina de Aragón	Castilla La Mancha	Guadalajara	115
43	Jaca	Aragón	Huesca	14, 20
44	Sabiñánigo	Aragón	Huesca	17
45	Boltaña	Aragón	Huesca	22
46	Castejón de Sos	Aragón	Huesca	31
47	Ayerbe	Aragón	Huesca	45
48	Graus	Aragón	Huesca	49
49	Angüés	Aragón	Huesca	56
50	Huesca	Aragón	Huesca	57
51	Barbastro	Aragón	Huesca	59
52	Almudévar	Aragón	Huesca	64
53	Tamarite de Litera	Aragón	Huesca	67
54	Binéfar	Aragón	Huesca	69
55	Grañén	Aragón	Huesca	70
56	Monzón	Aragón	Huesca	72
57	Sarriena	Aragón	Huesca	74
58	Fraga	Aragón	Huesca	89
59	Sos del Rey Católico	Aragón	Zaragoza	30, 47
60	Sádaba	Aragón	Zaragoza	50, 51
61	Ejea de los Caballeros	Aragón	Zaragoza	55
62	Tauste	Aragón	Zaragoza	73

Tabla 3.1. (Continuación).

NCO	Nombre de comarca	Comunidad Autónoma	Provincia	Nan
63	Zuera	Aragón	Zaragoza	75
64	Tarazona	Aragón	Zaragoza	76
65	Borja	Aragón	Zaragoza	79
66	Zaragoza	Aragón	Zaragoza	80
67	Alagón	Aragón	Zaragoza	83
68	Pina de Ebro	Aragón	Zaragoza	87
69	Épila-La Almunia	Aragón	Zaragoza	88
70	Calatayud	Aragón	Zaragoza	93
71	Ateca	Aragón	Zaragoza	96
72	Quinto de Ebro	Aragón	Zaragoza	97
73	Cariñena	Aragón	Zaragoza	99
74	Belchite	Aragón	Zaragoza	100
75	Caspe	Aragón	Zaragoza	102
76	Ariza	Aragón	Zaragoza	103
77	Daroca	Aragón	Zaragoza	105
78	Híjar	Aragón	Teruel	109
79	Alcañiz	Aragón	Teruel	110
80	Muniesa	Aragón	Teruel	111
81	Calamocha	Aragón	Teruel	112
82	Valderrobres	Aragón	Teruel	114
83	Mas de las Matas	Aragón	Teruel	117
84	Montalbán	Aragón	Teruel	118
85	Monreal del Campo	Aragón	Teruel	119
86	Alfambra	Aragón	Teruel	123
87	Cantavieja	Aragón	Teruel	124
88	Cella	Aragón	Teruel	125
89	Mora de Rubielos	Aragón	Teruel	126
90	Val D'Aran	Cataluña	Lleida	15
91	Pallars Sobirà	Cataluña	Lleida	19
92	Alta Ribagorça	Cataluña	Lleida	32
93	Alt Urgell	Cataluña	Lleida	36
94	Pallars Jussà	Cataluña	Lleida	37
95	Solsonès	Cataluña	Lleida	61
96	Noguera	Cataluña	Lleida	63, 85
97	Urgell	Cataluña	Lleida	81, 98
98	Segrià	Cataluña	Lleida	82
99	Plà D'Urgell	Cataluña	Lleida	86
100	Garrigues	Cataluña	Lleida	94
101	Cerdanya	Cataluña	Girona	40, 41, 42, 53
102	Anoia	Cataluña	Barcelona	84
103	Segarra	Cataluña	Lleida	77, 91
104	Conca de Barberá	Cataluña	Tarragona	95
105	Priorat	Cataluña	Tarragona	104
106	Terra Alta	Cataluña	Tarragona	107
107	Ribera D'Ebre	Cataluña	Tarragona	108
108	Baix Ebre	Cataluña	Tarragona	116, 120
109	Montsià	Cataluña	Tarragona	122
110	Morella	Valencia	Castellón	121

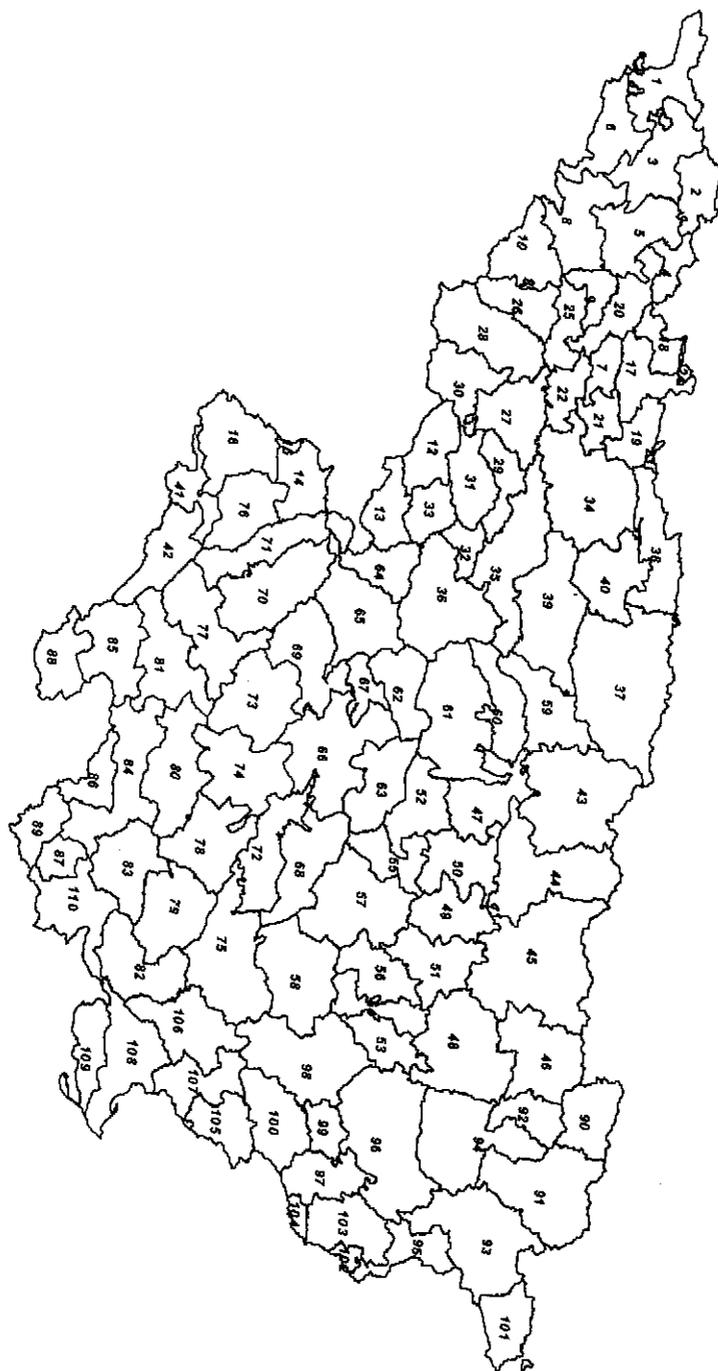


Figura 3.1. Comarcas de la cuenca del Ebro utilizadas en este trabajo.

### 3.2. Estaciones meteorológicas primarias

En este trabajo se denominan estaciones meteorológicas primarias a aquellas que registran temperatura y precipitación. Son las que se utilizaron para el cálculo de la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) como se describe en la sección 3.4.

Se partió de la red de estaciones termométricas y pluviométricas del Instituto Nacional de Meteorología (INM) en toda la cuenca del Ebro y en zonas limítrofes. Los datos disponibles en esta red se obtuvieron de la base de datos que posee la CHE y proporcionada en formato digital (ficheros de texto) por la Oficina de Planificación Hidrológica. Esta base de datos incluye los valores mensuales medios (temperatura máxima y mínima del aire) y totales (precipitación) registrados en un total de 1572 estaciones termométricas y 3143 estaciones pluviométricas desde la entrada de funcionamiento de cada estación hasta 2002. Como gran parte de las estaciones se instalaron después de, este trabajo se restringió al periodo 1961-2002.

Asimismo, las series históricas disponibles en buena parte de esas estaciones son cortas. Por eso, en un primer paso, se seleccionaron aquellas estaciones con al menos 20 años de datos dentro del periodo 1961-2002: 217 estaciones termométricas y 468 estaciones pluviométricas, incluyendo estaciones localizadas dentro de la cuenca del Ebro y en zonas limítrofes. En este proceso de selección, se consideró que un mes tenía datos de temperatura cuando al menos el 70 % de los días de ese mes disponía de dichos datos; asimismo, se consideró que un mes tenía datos de precipitación cuando todos los días de ese mes contaban con este dato.

En un segundo paso de selección, se realizó un análisis de doble masas para cada una de las 217 estaciones termométricas y 468 estaciones pluviométricas seleccionadas en el primer paso. Para una estación objetivo, este análisis se realizó con un máximo de 10 estaciones situadas dentro de un radio máximo de 50 km. Para cada mes se calcularon los valores acumulados de la variable de interés (temperatura o precipitación) para ambas series, la de la estación objetivo (variable independiente) y la de la estación de comparación (variable dependiente). Posteriormente, se representaron gráficamente ambas series acumuladas y se calculó el coeficiente de determinación del correspondiente análisis de regresión lineal simple (Allen et al., 1998). Se utilizaron dos programas informáticos (uno para temperatura y otro para precipitación), desarrollados y facilitados por Miguel Ángel García Vera, de la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHE.

Con este análisis de doble masas, se seleccionó toda estación que tenía un coeficiente de determinación superior o igual a 0.995 con, al menos, las dos estaciones más cercanas en un radio de 25 km o, si esta condición no se cumplía, en un radio de 50 km. El análisis de doble masas se realizó por separado para las tres variables disponibles: temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación. Así, se seleccionaron finalmente para este trabajo un total de 190 estaciones termométricas y 438 estaciones pluviométricas (Figuras 3.2 y 3.3). Las Tablas 3.2 y 3.3 listan los códigos que el INM usa para identificar las estaciones, su nombre, coordenadas UTM, elevación sobre el nivel del mar y el periodo de datos disponible. 65 de las estaciones termométricas seleccionadas se incluyeron en las 67

estaciones utilizadas en CHE (1993a), mientras que 80 y 52 de las estaciones pluviométricas seleccionadas se incluyeron en las 113 y 67 estaciones utilizadas en los trabajos de CHE (1993a) y CHE (2002).

Tabla 3.2. Estaciones termométricas seleccionadas en este trabajo, código de identificación usado por el INM, coordenadas UTM, elevación (*Elev*) sobre el nivel del mar y periodo con datos disponibles.

Código	Estación	Coordenadas UTM (km)		Elev (m)	Periodo con datos	
		Este-oeste	Norte-sur		Inicio	Fin
0001	El Perelló	813.3	4530.7	142	Feb. 1969	Dic. 2002
0002I	Vandellòs 'Central Nuclear'	825.9	4541.5	34	Mar. 1968	May. 2002
0016A	Reus 'Aeroport'	849.1	4563.4	73	Ene. 1961	Ago. 2003
0020O	Vimodí 'Monestir de Poblet'	841.1	4589.1	490	Dic. 1974	Jul. 2002
0022	Montblanc	848.4	4589.8	340	Nov. 1968	Dic. 2002
0024	Rocafort de Queralt	857.6	4601.4	510	Ene. 1974	Dic. 2002
0037I	Alcover 'Museu Municipal'	849.3	4576.3	240	Sep. 1973	Dic. 2002
0114	Prats de Lluçanes	916.9	4662.1	720	Ene. 1974	Dic. 2002
0158O	Montserrat	903.4	4616.1	730	Jul. 1970	Dic. 2002
0163A	Esparguera 'Aigües'	906.0	4610.1	206	Sep. 1979	Dic. 2002
0323	Ripoll 'Progrès'	928.5	4685.1	690	May. 1975	Dic. 2002
1001E	Maya de Baztan	623.6	4784.5	305	Jun. 1976	Dic. 2002
1001I	Arizkun de Baztan	623.3	4783.3	257	Ago. 1976	Dic. 2002
1007	Sumbilla	607.9	4780.0	120	Jul. 1979	Dic. 2002
1020	Goizueta	593.2	4780.3	320	Jun. 1977	Dic. 2002
1021E	Rentería 'Presa del Añarbe'	591.0	4785.0	120	Abr. 1971	Dic. 2002
1029E	Betelu	583.4	4764.1	237	Nov. 1976	Dic. 2002
1070	Abadiano 'Mendiola'	531.5	4776.7	160	Dic. 1967	Jun. 2002
1071	Durango 'Vivero'	528.8	4778.4	280	Dic. 1967	Dic. 1993
1075E	Arantzazu	517.1	4777.4	98	Dic. 1967	Dic. 2002
1078E	Valmaseda	484.6	4783.4	320	Ago. 1973	Dic. 2002
1083	Arcentales	482.3	4787.6	220	Nov. 1967	Dic. 2002
1104	Mirones	442.8	4793.8	200	Feb. 1977	Dic. 2002
1131I	Torrelavega 'Sniace'	416.1	4801.8	70	Ene. 1967	Dic. 2002
1139D	Cabezón de la Sal 'La Plata'	399.6	4796.7	160	Jun. 1977	Dic. 2002
1144	Molledo de Portolín	415.8	4777.5	242	Ene. 1961	Dic. 2002
1151	Los Corrales de Buelna	413.7	4790.1	100	Ene. 1961	Sep. 1997
1160I	Embalse de la Cohilla	386.6	4776.3	785	Ene. 1973	Ene. 1996
1161I	Rozadío	387.5	4786.5	210	Ene. 1973	Dic. 2002
1740	Cuevas de Altamira	409.4	4803.5	161	Mar. 1976	Dic. 2002
2010	Abejar	517.7	4628.6	1130	Jul. 1972	Mar. 1996
2017I	Barrionartín 'Molino Piqueras'	541.9	4649.5	1260	Ago. 1968	Dic. 2002
2060	Radona	545.9	4568.9	1095	Nov. 1974	Dic. 2002
2236	Pantano de Cervera	375.3	4747.2	1000	Jun. 1967	Dic. 2002
2261A	Olmos de Ojeda 'Propasi'	383.4	4730.7	930	Oct. 1958	Nov. 1996
3013	Molina de Aragón	594.0	4522.2	1063	Ene. 1961	Sep. 2003
3131	Valdelcubo	527.1	4564.2	1011	Jun. 1964	Dic. 2002
8489A	Villafranca del Cid 'Ayuntamiento'	732.9	4479.1	1120	Ene. 1977	Dic. 2002
8507	Alcalá de Xivert 'Avasa'	777.3	4464.4	200	Abr. 1981	Dic. 2002
8508U	Benicarló 'San Gregorio'	788.1	4479.9	23	Jun. 1981	Dic. 2002
8511A	Sant Mateu	769.3	4483.7	325	Dic. 1970	Ago. 2001
8518	Vinaròs 'Viveros Alcanar'	791.1	4493.3	100	Mar. 1968	Dic. 2002
9019	Polientes	423.1	4739.8	716	Nov. 1966	Sep. 2002
9044	Miñón	459.2	4754.9	595	Ago. 1966	Dic. 2002

Tabla 3.2. (Continuación).

Código	Estación	Coordenadas UTM (km)		Elev (m)	Periodo con datos	
		Este-oeste	Norte-sur		Inicio	Fin
9062V	Villanueva de Valdegovia	491.6	4744.1	590	Ene. 1977	Dic. 2002
9069	Miranda de Ebro	503.6	4725.2	520	Oct. 1928	Dic. 2002
9069A	Miranda de Ebro 'Azucarera'	505.8	4727.2	475	Ene. 1967	Abr. 1992
9072G	Izarra ' D.F.A.'	507.9	4755.8	634	Ene. 1977	Dic. 2002
9072X	Miranda de Ebro 'Montefibre'	505.8	4725.7	458	Ene. 1976	Dic. 2002
9074A	Salvatierra 'Col. Claret'	549.6	4744.8	590	Ene. 1977	Dic. 2002
9076	Ullívarri-Gamboa 'Presa'	531.8	4753.2	570	Jul. 1966	Nov. 2002
9080	Urrunaga 'Presa'	528.5	4756.3	540	Jul. 1966	Nov. 2002
9091O	Vitoria 'Aeropuerto de Foronda'	522.6	4748.0	508	Ene. 1976	Dic. 2002
9105	Pradoluengo	483.4	4686.0	960	Feb. 1961	Dic. 2002
9107	Belorado	484.3	4696.6	770	Abr. 1961	Jun. 1991
9115I	Cuzcurrita de Río Tirón	503.3	4709.9	519	May. 1975	Dic. 2002
9121	Haro	512.2	4713.7	479	Jul. 1936	Dic. 2002
9122E	San Asensio	520.5	4707.4	475	Ene. 1973	Ago. 1995
9139U	Pazuengos	506.0	4685.0	1162	Jun. 1977	Sep. 2002
9145	Cenicero 'Bodega'	529.0	4703.4	437	Oct. 1966	Dic. 2002
9145A	Cenicero 'Industrial'	529.4	4703.5	430	Jul. 1949	Dic. 2002
9146I	Laguardia	534.3	4711.5	620	Feb. 1980	Dic. 2002
9156C	Ortigosa 'Embalse'	526.6	4669.3	980	Jun. 1974	Ago. 2002
9160I	Viana	551.4	4707.0	430	Feb. 1982	Dic. 2002
9170	Logroño 'Agoncillo'	555.0	4700.2	352	Nov. 1948	Sep. 2003
9178C	Santa Cruz de Campezo 'D.F.A.'	553.7	4724.6	578	Ene. 1977	Dic. 2002
9178H	Galbarra	561.4	4729.1	579	Ago. 1975	Dic. 2002
9178O	Igúzquiza	575.2	4722.0	522	Jun. 1982	Dic. 2002
9179	Larraona	561.1	4736.6	771	Ene. 1975	Dic. 2002
9179U	Amillano	575.9	4729.9	495	Ene. 1975	Dic. 2002
9182I	Arróniz	574.8	4716.0	572	Ago. 1972	Dic. 2002
9182U	Lerín	584.4	4704.0	435	Ene. 1975	Dic. 2002
9194O	Rincón de Soto	594.7	4676.7	285	Jun. 1970	Dic. 2002
9199D	Aratorés 'Molino'	700.4	4725.5	920	May. 1973	Dic. 2002
9204	Canías	696.1	4719.1	855	May. 1970	Dic. 2002
9206E	Binacua	689.0	4713.0	762	Oct. 1969	Jul. 2002
9208	Aragüés del Puerto	690.6	4731.0	980	Feb. 1970	Dic. 2002
9209	Embún	686.5	4722.0	780	Feb. 1970	Dic. 2002
9210	Javierregay	685.8	4717.6	690	Feb. 1973	Dic. 2001
9210E	Bailo 'Puente La Reina'	680.6	4714.2	595	Nov. 1967	Dic. 2002
9212	Ansó	677.6	4735.6	820	Abr. 1970	Dic. 2001
9218E	Urzainqui	667.6	4744.0	717	May. 1980	Dic. 2002
9220	Sigüés	662.7	4721.6	495	Feb. 1970	Dic. 2002
9222U	Leyre 'Monasterio'	649.9	4722.0	756	Oct. 1973	Dic. 2002
9228U	Roncesvalles	636.8	4763.3	963	Sep. 1974	Dic. 1996
9233I	Eparoz	643.1	4737.3	605	Sep. 1974	Dic. 2002
9236	Abaurrea Alta	646.6	4751.9	1047	Abr. 1973	Dic. 2002
9237I	Esparza de Salazar	655.6	4746.8	687	Dic. 1974	Dic. 2002
9243O	Urríés	653.6	4709.2	557	Ene. 1973	Dic. 2002
9244O	Aibar	634.9	4716.9	555	Sep. 1974	Dic. 2002
9245E	Caseda	634.3	4709.2	435	Sep. 1974	Dic. 2002
9245I	Lerga	623.0	4714.0	615	Sep. 1974	Dic. 2002
9246	Carcastillo 'La Oliva'	626.3	4692.5	340	Oct. 1920	Dic. 2002
9248	Rada	619.5	4687.9	354	Nov. 1965	Jul. 1986
9248O	Olóriz 'Señorío de Bariáin'	616.7	4722.8	705	Ene. 1982	Dic. 2002

Tabla 3.2. (Continuación).

Código	Estación	Coordenadas UTM (km)		Elev (m)	Periodo con datos	
		Este-oeste	Norte-sur		Inicio	Fin
9249B	Barásoain	611.1	4717.8	524	Jul. 1975	Dic. 2002
9252	Olite	610.6	4705.1	395	Ene. 1938	Dic. 2002
9258	Zubiri	622.3	4754.2	536	Mar. 1966	Dic. 2002
9259E	Ulzama 'Gerdabel'	609.2	4761.9	543	Sep. 1971	Dic. 2002
9261E	Olague	612.7	4757.4	545	May. 1975	Dic. 2002
9262	Pamplona 'Observatorio'	611.5	4741.5	442	Sep. 1953	Dic. 2002
9263D	Pamplona 'Noain'	611.3	4736.1	452	Ene. 1975	Sep. 2003
9263I	Itundain 'Granja'	620.3	4737.2	572	Ago. 1979	Dic. 2002
9266I	Otazu	598.8	4739.3	387	Feb. 1976	Dic. 2002
9274U	Irurzun	595.3	4752.5	442	May. 1975	Dic. 2002
9275B	Goñi	589.6	4745.1	865	Ago. 1975	Dic. 2002
9279	Alloz 'Embalse'	586.3	4728.2	475	May. 1965	Dic. 2002
9280E	Miranda de Arga	596.3	4704.3	309	Feb. 1981	Dic. 2002
9283	Cadreita	606.4	4673.8	268	Ene. 1920	Dic. 2002
9290	Fitero	594.5	4657.0	438	Abr. 1973	Dic. 2002
9292	Corella	600.9	4663.3	370	Dic. 1974	Dic. 2002
9293	Alfaro 'Escuelas'	603.2	4670.9	300	Sep. 1979	Dic. 2002
9304E	Cabanillas	621.7	4654.4	257	Ene. 1981	Dic. 2002
9305	Buñuel	628.7	4648.6	242	Sep. 1964	Dic. 2002
9311B	Borja '3'	621.4	4632.4	448	Ene. 1968	Jun. 1995
9317A	Biota 'D.G.A.'	649.0	4680.2	480	Jul. 1979	Dic. 2002
9322	Biel	670.0	4695.0	760	Dic. 1966	Dic. 2002
9331F	El Bayo	643.3	4672.2	360	Oct. 1965	Dic. 2002
9333	Santa Anastasia	646.8	4666.1	321	Nov. 1965	Dic. 1994
9350A	Ariza 'P.F.E.'	579.1	4574.1	700	Jul. 1965	Oct. 1995
9364O	Jaraba 'P.F.E.'	595.5	4560.5	846	Feb. 1970	Feb. 1995
9376I	Bueña	646.4	4508.1	1230	Nov. 1972	Dic. 2002
9388	Báguena	638.0	4544.7	793	Ene. 1965	Dic. 1992
9390	Daroca 'Observatorio'	633.4	4552.8	779	Ene. 1919	Ago. 2003
9392	Atea	621.3	4557.6	842	Ene. 1978	Dic. 2002
9394U	Calatayud 'Aguas'	613.2	4576.4	600	Mar. 1975	Dic. 2002
9425C	La Almunia de Doña Godina 'La Redonda'	636.6	4590.7	398	Mar. 1979	Dic. 2002
9425I	Cariñena 'La Pardina'	649.1	4585.3	496	Abr. 1956	Dic. 1996
9428E	Calatorao 'Cooperativa'	640.1	4596.2	360	Mar. 1967	Dic. 2002
9433O	Alagón 'Gasolinera'	653.8	4625.6	235	Ene. 1965	Dic. 1986
9434	Zaragoza 'Aeropuerto'	665.9	4614.2	247	Ene. 1951	Sep. 2003
9434E	Zaragoza 'Pikolín'	670.4	4615.9	215	Feb. 1971	Oct. 1997
9453I	Aso de Sobremonte	716.0	4723.3	1240	Abr. 1970	Sep. 2002
9454A	Biescas 'Central II'	719.9	4723.1	855	Jul. 1971	Dic. 2002
9455	Yésero	725.3	4722.2	1132	May. 1970	Dic. 2002
9461	Yebra de Basa	723.5	4707.5	910	Feb. 1970	Dic. 2002
9476	Agüero	681.5	4691.6	696	Jul. 1973	Dic. 2002
9476U	Murillo de Gállego	685.2	4689.5	510	Feb. 1975	Dic. 2002
9481	Marracos	684.1	4662.3	400	Feb. 1961	Dic. 2002
9491	Almudévar 'Granja C.H.E.'	699.6	4656.0	390	Ene. 1929	Dic. 2002
9492	El Temple	686.2	4649.5	335	Ene. 1969	Dic. 1997
9495	Zuera 'El Vedado'	694.8	4638.7	298	Jun. 1965	Dic. 2002
9495F	Leciñena	698.6	4630.3	415	Mar. 1969	Ene. 1994
9495U	Zuera 'Aspasa'	685.6	4638.1	285	Nov. 1972	Dic. 2002
9499	Zaragoza 'Aula Dei'	682.1	4621.6	225	Jun. 1950	Dic. 2002
9537	Cueva Foradada 'Embalse'	693.9	4540.1	580	Dic. 1971	Dic. 2002

Tabla 3.2. (Continuación).

Código	Estación	Coordenadas UTM (km)		Elev (m)	Periodo con datos	
		Este-oeste	Norte-sur		Inicio	Fin
9544	Albalate del Arzobispo	709.3	4555.5	342	Sep. 1965	Mar. 1987
9561	Mas de las Matas 'Endesa'	732.3	4524.4	510	May. 1962	Abr. 2002
9575	Castejón de Monegros	730.5	4611.6	466	Oct. 1966	Jul. 1993
9578U	Mequinenza 'Embalse Asinel'	773.3	4584.8	125	Feb. 1972	Nov. 1998
9635	Organya	857.4	4682.5	540	Sep. 1972	Nov. 1999
9650	Artesa de Segre	835.8	4646.2	320	Nov. 1968	Dic. 2002
9669	Lladorre 'Tavascan Pesca'	848.6	4729.4	1100	Dic. 1967	Dic. 1994
9713	Agramunt	840.6	4634.4	349	Oct. 1966	Dic. 2002
9714	Montgai	829.4	4635.2	280	Ene. 1972	Dic. 2002
9714I	La Sentiu de Sió 'Sifo de Sió'	818.3	4635.0	240	Jun. 1971	Dic. 2002
9720N	La Guàrdia D'Urgell	839.3	4627.4	290	May. 1975	Abr. 1998
9720O	Anglesola 'C.U.'	838.5	4621.1	315	May. 1971	Oct. 2000
9726O	Ciutadilla	845.1	4609.5	510	Ene. 1978	Dic. 2002
9727U	Vilanova de Bellpuig 'C.U.'	830.1	4612.9	300	May. 1971	Dic. 2002
9729	Mollerussa 'Les Agraria L'Urgell'	822.0	4614.3	268	Abr. 1961	Dic. 2002
9729A	Mollerussa 'C.U.'	823.9	4616.0	250	May. 1971	Dic. 2002
9729I	Linyola	824.5	4625.0	245	Abr. 1971	Dic. 2002
9738	Caldas de Boi	814.8	4717.3	1280	Ene. 1965	Sep. 1998
9749	Escales 'Embalse'	808.7	4692.3	717	Ene. 1965	Oct. 1999
9760E	Santa Ana 'Central'	797.1	4642.9	315	Abr. 1967	Mar. 1994
9769I	Lleida 'Torrerribera'	807.9	4613.0	217	Dic. 1971	Dic. 2002
9770E	Lleida 'San Miguel'	804.1	4614.0	150	Ene. 1961	Jul. 2000
9771C	Lleida 'Observatorio 2'	799.5	4614.6	192	Mar. 1982	Ago. 2003
9772	Vilosell	830.1	4588.8	665	Oct. 1968	Dic. 2002
9841	Sesué 'Central'	784.8	4716.2	930	Jun. 1964	Jul. 1995
9878E	Alcolea de Cinca	759.5	4623.2	186	Ene. 1969	Abr. 1999
9885	Panzano	733.6	4677.0	650	Jun. 1969	Dic. 2002
9889	Nocito	726.1	4689.4	931	Ene. 1973	Dic. 2002
9897	Apiés	714.2	4678.1	680	May. 1970	Dic. 2002
9898	Monflorite 'Aeródromo'	721.2	4662.6	541	Mar. 1943	Ago. 2003
9900	Nueno	711.4	4682.5	726	Abr. 1973	Dic. 2002
9904I	Grañén 'Pinilla'	720.6	4648.2	335	Nov. 1968	Ene. 2000
9911	Ontiñena	756.9	4618.5	215	Nov. 1968	Ene. 1994
9914	Albelda 'La Serranía'	788.7	4636.5	282	Nov. 1964	May. 1986
9914E	Tamarite de Litera	781.0	4639.4	318	Nov. 1958	Dic. 2002
9918	Tamarite de Litera 'La Melusa'	780.4	4630.9	218	Ene. 1965	Dic. 2002
9941	Mazaleón	760.5	4549.1	359	Ene. 1961	Abr. 1994
9948	Vilalba dels Arcs	786.1	4557.7	442	May. 1977	Dic. 2002
9949E	Riba-Roja D'Ebre 'Asinel'	787.1	4571.5	80	Feb. 1972	Ago. 1998
9961	Cabaces	812.5	4573.1	357	Abr. 1967	Dic. 2002
9967	Tivissa 'Serra D'Almos'	814.5	4554.5	230	Mar. 1971	Dic. 2002
9968	Mora la Nova	809.6	4556.6	110	Jun. 1967	Dic. 1992
9981A	Tortosa 'Observatorio del Ebro'	794.5	4524.8	48	Ene. 1910	Sep. 2003
9998	Tornos	631.7	4535.8	1018	Feb. 1969	Dic. 2002

En el CD adjunto se almacena la base de datos *ConvenioCHE2004Meteo.mdb*, cuya tabla *TempMediasMes\_1961\_2002* contiene los valores mensuales de temperatura mínima y máxima para cada mes y año individuales desde 1961 a 2002; en aquellos meses sin dato disponible, el valor almacenado es -99.

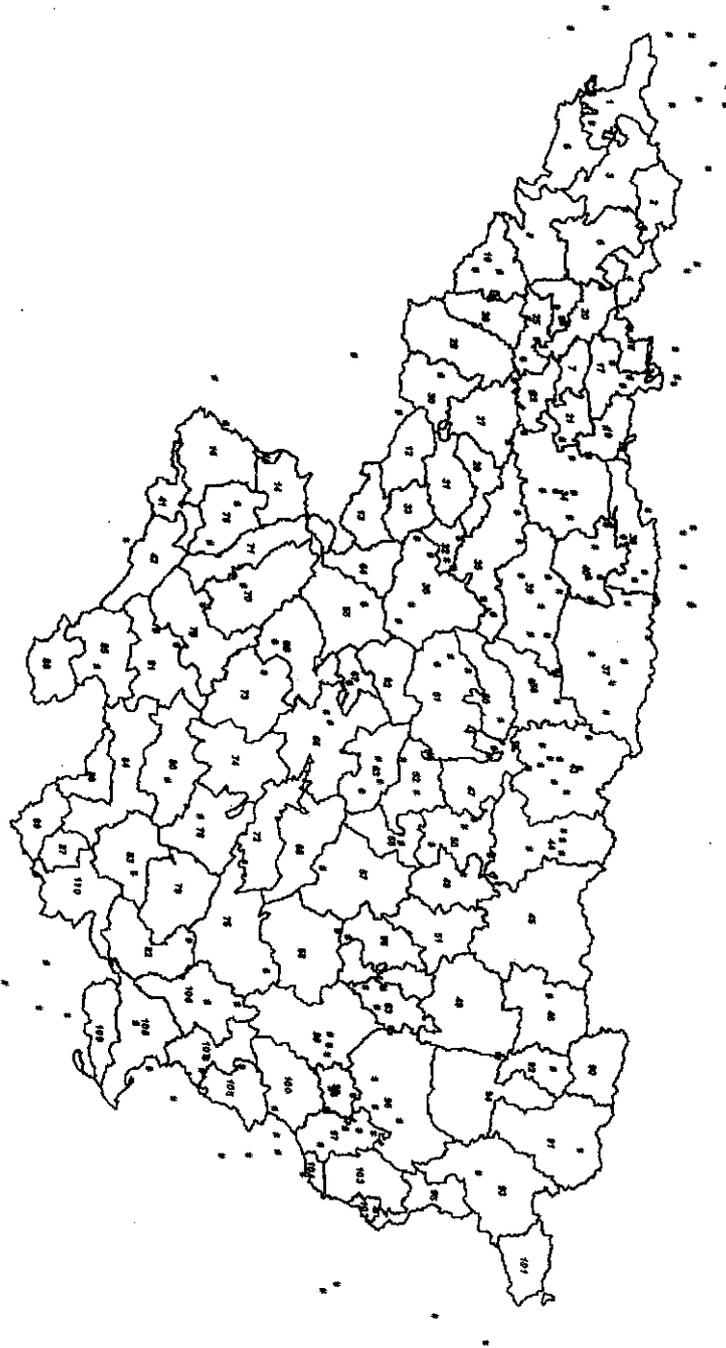


Figura 3.2. Ubicación de las estaciones termométricas utilizadas en este trabajo.

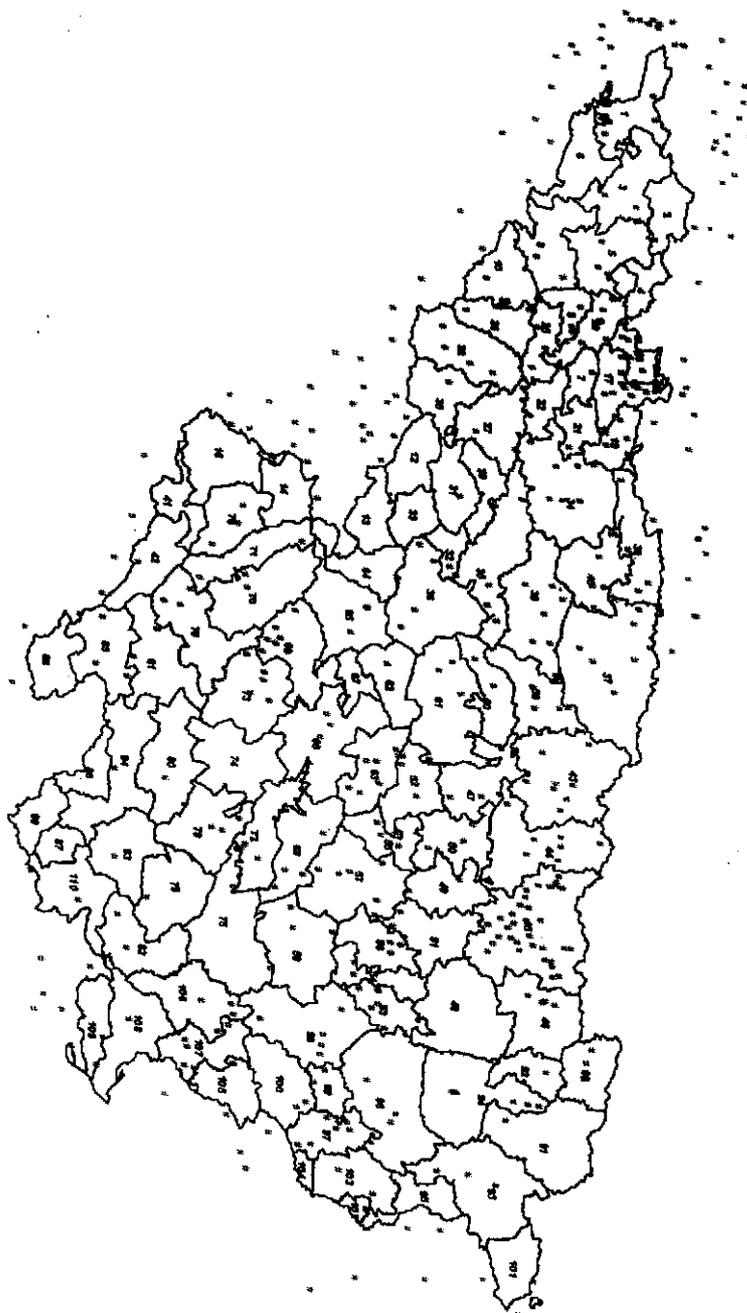


Figura 3.3. Ubicación de las estaciones pluviométricas utilizadas en este trabajo.

Tabla 3.3. Estaciones pluviométricas seleccionadas en este trabajo, código de identificación usado por el INM, coordenadas UTM, elevación (*Elev*) sobre el nivel del mar y periodo con datos disponibles.

Código	Estación	Coordenadas UTM (km)		Elev (m)	Periodo con datos	
		Este-oeste	Norte-sur		Inicio	Fin
0002I	Vandellòs 'Central Nuclear'	825.9	4541.5	34	Mar. 1968	Oct. 2002
0009	Alforja 'Hospital'	833.4	4569.6	370	Ene. 1982	Dic. 2002
0020O	Vimbodí 'Monestir de Poblet'	841.1	4589.1	490	Dic. 1974	May. 2002
0034C	Valls 'Sant Antoni'	856.0	4579.1	222	Ago. 1979	Dic. 2002
0037I	Alcover 'Museu Municipal'	849.3	4576.3	240	Dic. 1973	Dic. 2002
0082	Bagà 'Col.legi Galcerán de Pinós'	901.0	4689.5	780	Dic. 1976	Dic. 2002
0097	Casserres	900.9	4662.7	617	Ene. 1961	Dic. 2002
0131	Riner 'Xixons'	879.9	4654.3	610	Jul. 1961	Dic. 2002
0134E	Busa	880.5	4669.6	1200	Ago. 1968	Dic. 2002
0149C	Manresa 'Escola Politècnica'	900.5	4630.5	269	May. 1979	Dic. 2001
0163A	Esparreguera 'Aigües'	906.0	4610.1	206	Feb. 1979	Dic. 2002
0303	Vallter 2000	933.2	4711.6	2180	Ene. 1961	Dic. 2002
0323	Ripoll 'Progrès'	928.5	4685.1	690	May. 1975	Dic. 2002
0332	Santa Maria de Besora	935.3	4678.1	900	Sep. 1964	Dic. 2002
1001E	Maya de Baztan	623.6	4784.5	305	Sep. 1974	Dic. 2002
1001I	Arizkun de Baztan	623.3	4783.3	257	Ago. 1976	Dic. 2002
1007	Sumbilla	607.9	4780.0	120	Jul. 1979	Dic. 2002
1020I	Arano 'C. Arrambide'	591.2	4784.6	70	Ago. 1973	Dic. 2002
1021B	Artikutza 'Porteria'	597.2	4788.2	660	Jul. 1969	Oct. 1998
1021E	Renteria 'Presa del Añarbe'	591.0	4785.0	120	Abr. 1971	Dic. 2002
1022	Hernani 'Ereñozu'	586.5	4787.8	44	Ene. 1962	Oct. 1986
1029E	Betelu	583.4	4764.1	237	Nov. 1976	Dic. 2002
1037O	Azcoitia	554.5	4779.9	114	Mar. 1977	Dic. 2001
1048	Aretxabaleta 'Urkulu'	543.1	4763.8	335	Abr. 1979	Dic. 2002
1049U	Ermua	540.0	4782.2	240	Oct. 1982	Dic. 2002
1070	Abadiano 'Mendiola'	531.5	4776.7	160	Dic. 1967	Jun. 2002
1071	Durango 'Vivero'	528.8	4778.4	280	Jul. 1967	Dic. 1993
1075E	Arantzazu	517.1	4777.4	98	Dic. 1967	Dic. 2002
1078E	Valmaseda	484.6	4783.4	320	Mar. 1972	Dic. 2002
1090E	Fresnedo de Soba	461.5	4782.0	521	Ene. 1969	Dic. 1999
1092A	Ramales de la Victoria 'G.C.'	462.2	4789.1	84	Mar. 1973	Ene. 1995
1095E	Coterillo de Ampuero	464.9	4798.5	25	Mar. 1973	Dic. 2002
1104	Mirones	442.8	4793.8	200	Ene. 1968	Dic. 2002
1104O	El Mercadillo de Liérganes	439.5	4799.4	90	Ene. 1972	Dic. 2002
1115	Puente Arce	423.8	4806.7	13	Ene. 1961	Ago. 1991
1122I	Escobedo de Villafufre	426.1	4790.9	180	Sep. 1972	Nov. 1998
1127	San Martín de Villafufre	428.6	4790.0	300	May. 1966	Dic. 2002
1127U	Santa María de Cayón 'G.C.'	430.5	4795.5	100	Mar. 1973	Jul. 2002
1129	Castañeda	423.0	4796.5	121	Ene. 1961	Ago. 1992
1131I	Torrelavega 'Sniace'	416.1	4801.8	70	Ene. 1967	Dic. 2002
1136A	Valle de Cabuérniga 'G.C.'	394.5	4787.0	260	Mar. 1973	Dic. 1999
1139E	Ontoria	401.6	4795.9	120	Jun. 1970	Nov. 1996
1151	Los Corrales de Buelna	413.7	4790.1	100	Ene. 1961	Sep. 1997
1156	Cobreces	402.6	4804.2	80	Ene. 1961	Dic. 2002
1159O	Uznayo	385.7	4771.7	905	Feb. 1973	Ene. 1996
1160E	Polaciones 'La Laguna'	385.7	4775.4	790	Ene. 1973	Ene. 1996
1160I	Embalse de la Cohilla	386.6	4776.3	785	Ene. 1973	Ene. 1996
1163I	Celis	383.8	4793.4	100	Ene. 1973	Dic. 1995

Tabla 3.3. (Continuación).

Código	Estación	Coordenadas UTM (km)		Elev (m)	Periodo con datos	
		Este-oeste	Norte-sur		Inicio	Fin
1172U	Valdeprado 'Pesaguero'	376.6	4770.3	833	Ene. 1974	Dic. 2002
1740	Cuevas de Altamira	409.4	4803.5	161	Ene. 1961	Dic. 2002
2004	Covalada	509.6	4642.8	1210	Jul. 1968	Dic. 2002
2010	Abejar	517.7	4628.6	1130	Jul. 1968	Jun. 2001
2015	Cidones	529.8	4629.4	1080	Jul. 1968	Dic. 2002
2017I	Barriomartín 'Molino Piqueras'	541.9	4649.5	1260	Ene. 1968	Dic. 2002
2017O	Arévalo de la Sierra	549.6	4644.2	1190	Jul. 1968	Dic. 1995
2020	Molinos de Razón	532.9	4644.4	1160	Dic. 1965	May. 1994
2021	Villar del Ala	536.0	4640.5	1150	Dic. 1965	Dic. 2002
2023	Buitrago de la Sierra	549.1	4633.1	1033	Jul. 1968	Dic. 2002
2024A	Garray	546.0	4629.5	1010	Ene. 1961	Dic. 2002
2024O	Carrascosa de la Sierra	559.8	4638.5	1170	Ene. 1982	Dic. 2002
2028E	Renieblas	552.1	4630.0	1020	Jul. 1968	Dic. 2002
2031	Fuentetoba	536.5	4625.1	1090	Oct. 1968	Dic. 2002
2036E	Beratón	598.9	4619.1	1390	Oct. 1968	Dic. 2002
2037E	Torrubia de Soria	575.7	4609.1	1040	Oct. 1968	May. 1994
2042I	Tejado	561.1	4604.5	995	Dic. 1968	Dic. 1999
2043	Nolay	554.1	4597.5	1070	Oct. 1968	Dic. 2002
2043E	Cubo de la Solana	548.1	4605.9	988	Mar. 1969	Dic. 2002
2045E	Viana de Duero	545.0	4598.3	998	Oct. 1968	Jun. 1993
2047	Taroda	547.4	4576.8	1020	Ago. 1968	Dic. 2002
2050	Cobertelada	536.5	4585.8	1000	Jun. 1968	Dic. 2002
2051I	Tardelcuende	529.6	4604.9	998	Ene. 1968	Dic. 1998
2060	Radona	545.9	4568.9	1095	Jun. 1968	Dic. 2002
2062	Romanillos de Medinaceli	533.8	4567.6	1144	Jun. 1968	Dic. 2002
2086	Calatañazor	515.0	4616.4	1010	Oct. 1972	Dic. 2002
2223	Casavegas	376.7	4764.5	1210	Mar. 1963	Oct. 1992
2223E	Camasobres	378.7	4763.8	1201	Mar. 1963	Dic. 2002
2224	Lores	375.0	4761.9	1210	Mar. 1966	Dic. 2002
2225	El Campo 'Urbaneja'	376.8	4759.4	1185	Mar. 1967	Dic. 2002
2231	Polentinos	375.4	4755.2	1245	Mar. 1963	Dic. 2002
2232	Pantano de Requejada	375.1	4751.9	1024	Ene. 1961	Dic. 2002
2235E	Ventanilla	372.5	4748.8	1051	Feb. 1969	Mar. 1995
2241	Barrio de Santa María	387.2	4741.9	962	Mar. 1963	Mar. 1992
2243	Pantano de Aguilar	395.2	4738.7	903	Ene. 1961	Dic. 2002
2248	Quintanilla de las Torres	402.0	4741.7	913	Ene. 1961	Mar. 1987
2249U	Llanillo de Valdelucio	411.6	4731.4	951	Abr. 1966	Dic. 2002
2256	Prádanos de Ojeda	389.6	4726.3	945	Ene. 1961	Sep. 1986
2258A	Herrera de Pisuerga 'Farmacia'	390.8	4717.0	841	Ene. 1961	Dic. 1982
2260	Amayuelas de Ojeda	378.1	4738.1	996	Jul. 1961	Dic. 2002
2262	Perazancas de Ojeda	383.6	4737.8	1008	Jun. 1963	Dic. 1983
2267	La Vid de Ojeda	386.5	4724.0	877	Oct. 1967	Dic. 2002
2267E	Sotresgudo	403.4	4714.8	874	Dic. 1967	Dic. 1995
2285	Villadiego	417.0	4707.6	840	Nov. 1967	Dic. 2002
2296	Canicosa de la Sierra	496.4	4642.8	1125	Nov. 1967	Dic. 2002
2299E	Monasterio de la Sierra	484.0	4655.6	1162	Nov. 1967	Dic. 2002
2320E	Villasur de Herreros 'Presa de Usquíza'	471.2	4684.0	1050	Feb. 1979	Dic. 2002
2337	Ubierna	442.7	4704.8	886	Ene. 1961	Oct. 1985
2344	Revilla del Campo	455.6	4673.4	951	Oct. 1967	Dic. 2002
2347	Coculina	426.7	4714.6	985	Oct. 1967	Abr. 2000
2347E	Villanueva de Argaño	423.2	4692.5	838	Ene. 1968	Jun. 1993

Tabla 3.3. (Continuación).

Código	Estación	Coordenadas UTM (km)		Elev (m)	Periodo con datos	
		Este-oeste	Norte-sur		Inicio	Fin
3010	Ródenas	625.5	4500.0	1370	Ago. 1968	Dic. 2002
3011E	Setiles	616.5	4510.3	1256	Ago. 1968	Dic. 2002
3011I	Prados Redondos	601.7	4515.8	1165	Jun. 1968	Dic. 2002
3015	Corduente 'C.F.'	584.1	4523.3	1120	Sep. 1961	Dic. 2002
3023	Riba de Saelices	559.0	4529.2	1004	Ago. 1968	Dic. 2002
8354E	Albarracín 'P.F.E.'	631.1	4475.2	1350	Feb. 1961	Dic. 2002
8356U	San Blas	654.6	4469.2	920	Ene. 1972	Dic. 2002
8471	Noguerauelas 'Cuevas Labradas'	704.4	4458.4	950	Jun. 1980	Dic. 2002
8489A	Villafranca del Cid 'Ayuntamiento'	732.9	4479.1	1120	Abr. 1975	Dic. 2002
8509D	Benicarló 'La Salle'	790.9	4480.7	10	Feb. 1978	Jun. 2002
8511A	Sant Mateu	769.3	4483.7	325	Dic. 1970	Ago. 2001
8512	Calig	784.3	4485.0	122	Sep. 1961	Nov. 1984
8518	Vinaròs 'Viveros Alcanar'	791.1	4493.3	100	Nov. 1970	Dic. 2002
8522I	Embalse de Uldecona	772.9	4506.8	500	Mar. 1968	Dic. 2002
9001	Reinosa	407.2	4761.7	855	Jul. 1911	Dic. 1994
9008E	Villasuso	416.9	4762.7	864	Ene. 1968	Feb. 2002
9016	Castrillo de Valdelomar	408.4	4739.1	840	Sep. 1967	Dic. 2002
9016U	Cubillo de Ebro 'Iberduero'	415.6	4740.1	772	Ago. 1973	Dic. 2002
9019	Polientes	423.1	4739.8	716	Dic. 1960	Sep. 2002
9028O	Dobro los Altos 'Iberduero'	448.2	4739.7	1019	Ago. 1973	Dic. 2002
9030U	Briviesca	473.8	4709.0	765	Mar. 1929	Dic. 2002
9041	Villarcayo	453.3	4754.5	595	Sep. 1930	Dic. 2002
9044	Miñón	459.2	4754.9	595	May. 1964	Dic. 2002
9052U	Trespaderne 'Iberduero'	468.0	4739.0	551	Ago. 1973	Oct. 1999
9059O	Quintana-Martín Galíndez 'Central Iberduero'	478.6	4737.2	520	Ago. 1973	Dic. 2002
9060	Herrán de Tobalina	481.2	4741.3	697	Nov. 1967	Sep. 1995
9062V	Villanueva de Valdegovía	491.6	4744.1	590	Ene. 1977	Dic. 2002
9064	Salinas de Añana	501.0	4738.9	566	Ene. 1929	Dic. 2002
9064A	Salinas de Añana 'Monasterio'	501.3	4738.4	620	Feb. 1961	Dic. 2002
9064I	Espejo	496.0	4739.7	500	Oct. 1965	Mar. 1997
9065M	Santa Gadea del Cid 'Iberduero'	495.2	4729.3	507	Ago. 1973	Dic. 2002
9067U	Cubo de Bureba 'Iberduero'	483.1	4721.0	684	Ago. 1973	Dic. 2002
9069	Miranda de Ebro	503.6	4725.2	520	Ago. 1928	Dic. 2002
9069A	Miranda de Ebro 'Azucarera'	505.8	4727.2	475	Ene. 1967	Abr. 1992
9072	Murguía 'Iberduero'	514.0	4756.1	618	Oct. 1965	Jul. 1995
9072D	Domaikia 'Iberduero'	515.7	4752.9	652	Oct. 1965	Sep. 1991
9072G	Izarra 'D.F.A.'	507.9	4755.8	634	Ene. 1977	Dic. 2002
9072H	Anda 'Iberduero'	508.5	4751.9	606	Oct. 1965	Jul. 1995
9072I	Sendadiano	507.4	4748.6	604	Oct. 1965	Dic. 2002
9072J	Archua 'Iberduero'	502.0	4748.4	710	Oct. 1965	Jul. 1995
9072O	Subijana Morillas 'Iberduero'	508.3	4741.3	537	Feb. 1961	Dic. 1983
9072X	Miranda de Ebro 'Montefibre'	505.8	4725.7	458	Ene. 1976	Dic. 2002
9073I	Opakua	552.4	4741.9	674	Oct. 1965	Dic. 2002
9074C	Arriola	549.6	4751.3	638	Oct. 1965	Dic. 2002
9074F	Alaiza 'Iberduero'	547.8	4741.4	650	Ago. 1973	Jul. 1995
9074O	Audicana 'Iberduero'	541.9	4748.0	580	Ene. 1973	Jul. 1995
9076	Ullivarri-Gamboia 'Presa'	531.8	4753.2	570	Mar. 1943	Nov. 2002
9078	Albina 'Embalse'	530.2	4760.1	600	Ene. 1966	Dic. 2002
9080	Urrunaga 'Presa'	528.5	4756.3	540	Mar. 1943	Nov. 2002
9080C	Betolaza 'Iberduero'	527.2	4754.2	546	Oct. 1965	Jul. 1995
9081	Retana 'Amvisa'	528.5	4750.1	527	Abr. 1978	Dic. 2002

Tabla 3.3. (Continuación).

Código	Estación	Coordenadas UTM (km)		Elev (m)	Periodo con datos	
		Este-oeste	Norte-sur		Inicio	Fin
9085C	Araca 'Amvisa'	526.7	4748.6	563	Jun. 1977	Dic. 2002
9085I	Gamiz	531.2	4740.8	575	Oct. 1965	Dic. 2002
9086	Arkaute	530.7	4744.6	515	Dic. 1962	Dic. 2002
9089C	Murua 'Amvisa'	521.4	4758.4	618	Jun. 1977	Dic. 2002
9091I	Foronda 'Iberduero'	522.5	4749.7	517	Oct. 1965	Sep. 1991
9091O	Vitoria 'Aeropuerto de Foronda'	522.6	4748.0	508	Jul. 1977	Dic. 2002
9092	Hueto de Arriba 'Iberduero'	516.0	4748.8	550	Sep. 1965	Jul. 1995
9094U	Armiñón	510.4	4730.2	467	Feb. 1961	Jul. 2000
9097O	Arrieta	522.4	4735.0	640	Ago. 1973	Dic. 2002
9103X	Zambrana	509.9	4723.3	459	Oct. 1965	Dic. 2002
9105	Pradoluengo	483.4	4686.0	960	Ene. 1961	Dic. 2002
9113I	San Millán de Yécora 'Iberduero'	492.1	4710.6	675	Ago. 1973	Oct. 1995
9113U	Leiva	496.1	4705.7	578	May. 1975	Dic. 2002
9115I	Cuzcurrita de Río Tirón	503.3	4709.9	519	Abr. 1975	Dic. 2002
9115O	Posadas 'Central Iberduero'	496.9	4677.0	965	Ago. 1973	Dic. 2002
9121	Haro	512.2	4713.7	479	Ene. 1930	Dic. 2002
9122E	San Asensio	520.5	4707.4	475	Jun. 1974	Ago. 1995
9128U	Mansilla de la Sierra 'Iberduero'	503.7	4666.4	898	Ago. 1973	Oct. 1995
9133	Ventrosa 'Iberduero'	512.4	4667.4	1002	Ago. 1973	Dic. 2002
9137O	Anguiano 'Central Iberduero'	519.2	4679.2	640	Ago. 1973	Abr. 1996
9139	Camprovín	522.8	4689.0	690	Jul. 1968	Dic. 2002
9142O	Santa Coloma 'Iberduero'	528.3	4690.7	763	Ago. 1973	Oct. 1995
9145A	Cenicero 'Industrial'	529.4	4703.5	430	Feb. 1949	Dic. 2002
9156C	Ortigosa 'Embalse'	526.6	4669.3	980	Jun. 1974	Ago. 2002
9160	Varea 'Viveros Provedo'	548.8	4701.8	370	Sep. 1967	Dic. 2002
9160I	Viana	551.4	4707.0	430	Feb. 1982	Dic. 2002
9164	Soto en Cameros	547.4	4681.8	717	Jul. 1929	Dic. 2002
9170	Logroño 'Agoncillo'	555.0	4700.2	352	Ene. 1951	Sep. 2003
9171C	Cábrega	561.3	4719.0	594	Ago. 1975	Dic. 2002
9174	Sartaguda	578.0	4690.9	310	Abr. 1920	Dic. 2002
9178C	Santa Cruz de Campezo 'D.F.A.'	553.7	4724.6	578	Ene. 1977	Dic. 2002
9178H	Galbarra	561.4	4729.1	579	Ago. 1975	Dic. 2002
9178O	Igúzquiza	575.2	4722.0	522	Ene. 1983	Dic. 2002
9179	Larraona	561.1	4736.6	771	Feb. 1975	Dic. 2002
9179U	Amillano	575.9	4729.9	495	Ene. 1975	Dic. 2002
9182I	Arróniz	574.8	4716.0	572	Oct. 1967	Dic. 2002
9182O	Sesma	575.3	4703.6	415	May. 1975	Dic. 2002
9192	Arnedo 'Escuela'	574.1	4674.9	547	Nov. 1928	Dic. 2002
9199D	Aratorés 'Molino'	700.4	4725.5	920	May. 1973	Dic. 2002
9200	Bescós de Garcipollera	704.6	4722.4	920	Ago. 1955	Dic. 2002
9203U	Jaca 'Esc. Cap. Agric.'	693.7	4720.2	700	Feb. 1977	Dic. 2002
9204	Canias	696.1	4719.1	855	May. 1970	Dic. 2002
9205	Aisa de Jaca	694.8	4728.1	1040	Abr. 1968	Dic. 2002
9210E	Bailo 'Puente La Reina'	680.6	4714.2	595	Nov. 1967	Dic. 2002
9212	Ansó	677.6	4735.6	820	Feb. 1928	Dic. 2001
9219I	Salvatierra de Esca	662.3	4726.1	580	Oct. 1969	Dic. 2002
9220	Sigüés	662.7	4721.6	495	Feb. 1970	Dic. 2002
9222I	Los Pintanos	662.4	4710.4	809	May. 1974	Dic. 2002
9222U	Leyre 'Monasterio'	649.9	4722.0	756	Oct. 1973	Dic. 2002
9223	Yesa 'Embalse'	648.3	4720.1	515	May. 1929	Dic. 2002
9228E	Arive	641.7	4756.3	700	Nov. 1971	Dic. 2002
9228U	Roncesvalles	636.8	4763.3	963	Sep. 1974	Dic. 1996

Tabla 3.3. (Continuación).

Código	Estación	Coordenadas UTM (km)		Elev (m)	Periodo con datos	
		Este-oeste	Norte-sur		Inicio	Fin
9231E	Erro	626.5	4755.6	688	May. 1975	Dic. 2002
9232	Artieda	637.5	4730.8	450	Ago. 1950	Dic. 2002
9233I	Eparoz	643.1	4737.3	605	Sep. 1974	Dic. 2002
9237I	Esparza de Salazar	655.6	4746.8	687	Dic. 1974	Dic. 2002
9243O	Urriés	653.6	4709.2	557	Ene. 1973	Dic. 2002
9244O	Aibar	634.9	4716.9	555	Sep. 1974	Dic. 2002
9245E	Caseda	634.3	4709.2	435	Sep. 1974	Dic. 2002
9245I	Lerga	623.0	4714.0	615	May. 1975	Dic. 2002
9246	Carcastillo 'La Oliva'	626.3	4692.5	340	Mar. 1929	Dic. 2002
9248	Rada	619.5	4687.9	354	Nov. 1965	Jul. 1986
9248O	Olóriz 'Señorío de Bariáin'	616.7	4722.8	705	Ene. 1982	Dic. 2002
9249B	Barásain	611.1	4717.8	524	Jul. 1975	Dic. 2002
9252	Olite	610.6	4705.1	395	Ene. 1931	Dic. 2002
9255	Caparros	611.0	4688.6	304	Oct. 1929	Dic. 2002
9257E	Eugui - Esteribar	620.6	4757.8	615	Ene. 1968	Dic. 2002
9258O	Iroz	616.6	4746.6	472	Ene. 1975	Dic. 2002
9259E	Ulzama 'Gerdabel'	609.2	4761.9	543	Mar. 1970	Dic. 2002
9261E	Olague	612.7	4757.4	545	May. 1975	Dic. 2002
9262	Pamplona 'Observatorio'	611.5	4741.5	442	Ene. 1900	Dic. 2002
9263D	Pamplona 'Noain'	611.3	4736.1	452	Ene. 1975	Sep. 2003
9263I	Ilundain 'Granja'	620.3	4737.2	572	Ago. 1979	Dic. 2002
9266I	Otazu	598.8	4739.3	387	Feb. 1976	Dic. 2002
9269	Alsasua	566.8	4748.9	525	Oct. 1913	Dic. 2002
9274U	Irurzun	595.3	4752.5	442	May. 1975	Dic. 2002
9275B	Goñi	589.6	4745.1	865	Ago. 1975	Dic. 2002
9283	Cadreita	606.4	4673.8	268	Mar. 1920	Dic. 2002
9290	Fitero	594.5	4657.0	438	Jul. 1929	Dic. 2002
9292	Corella	600.9	4663.3	370	Abr. 1962	Dic. 2002
9293	Alfaro 'Escuelas'	603.2	4670.9	300	Feb. 1963	Dic. 2002
9301	Monteagudo	608.5	4646.2	410	Mar. 1929	Dic. 2002
9304E	Cabanillas	621.7	4654.4	257	Ene. 1982	Dic. 2002
9305	Buñuel	628.7	4648.6	242	Nov. 1928	Dic. 2002
9311A	Borja 'P.F.E.'	621.4	4632.6	448	Ene. 1966	Abr. 1994
9311B	Borja '3'	621.4	4632.4	448	May. 1967	Abr. 1994
9318	Farasdués	656.6	4676.6	463	May. 1968	Dic. 1994
9329	Uncastillo	653.7	4691.6	601	Ene. 1929	Dic. 2002
9330	Sádaba	642.3	4683.3	442	Ene. 1950	Dic. 2002
9331F	El Bayo	643.3	4672.2	360	Oct. 1965	Dic. 2002
9333	Santa Anastasia	646.8	4666.1	321	Nov. 1965	Dic. 1994
9336A	Tauste 'Instituto'	644.6	4642.3	262	May. 1967	Mar. 1997
9336O	Pozuelo de Aragón	631.4	4624.9	420	Ene. 1976	Dic. 2002
9350A	Ariza 'P.F.E.'	579.1	4574.1	700	Oct. 1949	Dic. 2002
9354	Cetina	586.7	4571.8	680	Nov. 1928	Dic. 2002
9356E	Cubillejo de la Sierra	603.3	4526.7	1180	May. 1968	Dic. 2002
9359	Cubel 'Casas Altas'	614.4	4550.4	1108	Jun. 1968	Dic. 2002
9359E	Abanto	609.3	4554.9	922	Mar. 1968	Dic. 2002
9364O	Jaraba 'P.F.E.'	595.5	4560.5	846	Feb. 1970	Feb. 1995
9371	Terrer 'Azucarera'	607.8	4575.8	570	May. 1922	Feb. 1999
9376I	Bueña	646.4	4508.1	1230	Nov. 1972	Dic. 2002
9377	Ojos Negros	626.6	4510.5	1196	Mar. 1968	Dic. 2002
9380	Bañón	651.1	4522.5	1141	Mar. 1965	Dic. 2002
9381	Calamocha 'V.O.R.'	642.9	4525.3	932	Ene. 1942	Jun. 1985

Tabla 3.3. (Continuación).

Código	Estación	Coordenadas UTM (km)		Elev (m)	Periodo con datos	
		Este-oeste	Norte-sur		Inicio	Fin
9390	Daroca 'Observatorio'	633.4	4552.8	779	Oct. 1909	Ago. 2003
9394U	Calatayud 'Aguas'	613.2	4576.4	600	Feb. 1975	Dic. 2002
9399	Malanquilla	593.7	4602.4	1050	Ene. 1941	Dic. 2002
9414	Niguella	623.1	4599.6	482	May. 1965	Dic. 2002
9420	La Almunia de Doña Godina 'Mularroya'	629.9	4590.5	460	Abr. 1961	Ene. 1992
9422	Aguarón 'P.F.E.'	641.0	4577.1	830	Jul. 1936	Dic. 2002
9424E	Tosos 'Lobera'	657.5	4578.5	660	May. 1968	Dic. 1994
9425	Alpartir	635.1	4586.5	510	Feb. 1949	Dic. 2002
9425C	La Almunia de Doña Godina 'La Redonda'	636.6	4590.7	398	Mar. 1979	Dic. 2002
9425F	Almonacid de la Sierra 'Cooperativa'	640.0	4584.2	598	Jul. 1968	Dic. 2002
9425I	Cariñena 'La Pardina'	649.1	4585.3	496	Nov. 1942	Ago. 1997
9426A	Longares '2'	652.6	4585.1	530	Oct. 1969	Dic. 2002
9427A	La Almunia de Doña Godina 'Frigorífico'	634.5	4592.9	380	May. 1968	Nov. 2001
9428E	Calatorao 'Cooperativa'	640.1	4596.2	360	Mar. 1967	Dic. 2002
9434	Zaragoza 'Aeropuerto'	665.9	4614.2	247	Ene. 1941	Sep. 2003
9434E	Zaragoza 'Pikolín'	670.4	4615.9	215	Ene. 1971	Oct. 1997
9443	Mezalocha 'Embalse'	660.6	4587.6	460	Mar. 1929	Feb. 1999
9443U	Zaragoza 'Botánico'	675.3	4611.4	221	Ene. 1974	Dic. 1993
9446E	Sallent de Gállego 'La Sarra'	718.6	4741.1	1460	Mar. 1960	Dic. 2002
9453I	Aso de Sobremonte	716.0	4723.3	1240	Abr. 1970	Dic. 2002
9454A	Biescas 'Central II'	719.9	4723.1	855	Jul. 1971	Dic. 2002
9455	Yésero	725.3	4722.2	1132	May. 1970	Dic. 2002
9460	Sabiñánigo	716.8	4710.9	790	Ene. 1941	Dic. 2002
9461	Yebra de Basa	723.5	4707.5	910	Feb. 1970	Dic. 2002
9470I	Botaya	693.0	4707.1	940	Jun. 1969	Dic. 2002
9470K	Javierrelatre	702.8	4698.1	709	Ene. 1974	Dic. 2002
9471O	Rasal	698.8	4694.6	695	Nov. 1973	Mar. 1997
9476U	Murillo de Gállego	685.2	4689.5	510	Feb. 1975	Dic. 2002
9481	Marracos	684.1	4662.3	400	Jun. 1945	Dic. 2002
9483A	Lupiñén 'Lloro'	699.8	4671.6	469	May. 1968	Dic. 2002
9484	Aniés	699.7	4686.5	760	Feb. 1950	Dic. 2002
9491	Almudévar 'Granja C.H.E.'	699.6	4656.0	390	Feb. 1929	Dic. 2002
9491U	La Paúl	683.0	4650.3	430	Mar. 1973	Dic. 2002
9491V	Zuera 'Salz'	682.9	4647.6	300	Feb. 1972	Feb. 1995
9492	El Temple	686.2	4649.5	335	Jul. 1919	Dic. 1997
9495	Zuera 'El Vedado'	694.8	4638.7	298	Mar. 1962	Dic. 2002
9495F	Leciñena	698.6	4630.3	415	Abr. 1969	Dic. 2002
9495U	Zuera 'Aspasa'	685.6	4638.1	285	Nov. 1972	Dic. 2002
9496	Zuera 'Casa Pérez'	680.5	4646.8	387	Jun. 1966	Dic. 2002
9497	Perdiguera	696.7	4625.2	473	Mar. 1951	Dic. 2002
9497E	San Mateo de Gállego	685.3	4633.5	280	Jul. 1967	Jul. 1993
9499	Zaragoza 'Aula Dei'	682.1	4621.6	225	Ene. 1950	Dic. 2002
9507	Monegrillo	715.2	4613.4	432	Jun. 1930	Dic. 2002
9509	Osera de Ebro	701.9	4601.1	172	May. 1965	Dic. 2002
9509D	Bujaraloz 'Rozas'	730.9	4596.2	380	Feb. 1978	Dic. 2002
9510A	Pina de Ebro 'P.F.E.'	706.3	4596.2	161	Ene. 1931	Dic. 2002
9521	Azaila	709.9	4574.2	273	Abr. 1950	Dic. 2002
9521R	Sástago 'La Balsa'	726.7	4583.0	342	May. 1974	Dic. 2002

Tabla 3.3. (Continuación).

Código	Estación	Coordenadas UTM (km)		Elev (m)	Periodo con datos	
		Este-oeste	Norte-sur		Inicio	Fin
9522	Sástago 'Central Eléctrica'	720.4	4577.1	153	Jul. 1945	Dic. 2002
9523	Escatrón	721.9	4575.1	143	Mar. 1947	Ene. 2000
9532	Palomar de Arroyos	689.8	4516.7	1206	Ene. 1957	Dic. 2002
9537	Cueva Foradada 'Embalse'	693.9	4540.1	580	Ene. 1972	Dic. 2002
9546	Hijar	713.7	4561.4	291	Dic. 1943	Mar. 1989
9547	La Puebla de Hijar	714.9	4566.4	245	Oct. 1953	Dic. 2002
9552O	Bujaraloz 'Petris'	738.5	4591.0	345	Oct. 1973	Dic. 2002
9553	Chiprana 'Torre Los Baños'	738.2	4571.9	187	Abr. 1949	Mar. 1994
9559	Santolea 'Embalse'	726.3	4517.2	583	Feb. 1923	Jul. 1996
9562	Morella	745.2	4500.7	990	Ene. 1916	Dic. 2002
9571	Torrevelilla	743.4	4532.3	611	Ene. 1961	Dic. 2002
9575	Castejón de Monegros	730.5	4611.6	466	Oct. 1953	May. 1996
9576	La Almolda	732.5	4604.1	491	Mar. 1965	Dic. 2002
9577E	Peñalba	746.9	4598.7	263	Nov. 1968	Jun. 1997
9578	Candasnos	755.2	4599.7	292	Oct. 1929	Dic. 2000
9579	Mequinenza	772.3	4589.8	321	Ago. 1949	Dic. 2002
9583F	La Tour de Carol	901.5	4713.2	1300	Ago. 1966	Sep. 1987
9583G	Valcebollere	915.7	4705.7	1600	Ago. 1966	Sep. 1987
9621	Adrall	862.1	4695.2	642	Nov. 1921	Ene. 2002
9635	Organya	857.4	4682.5	540	Ene. 1915	Nov. 1999
9638	Oliana 'Pantano'	855.9	4668.1	480	Ene. 1911	Oct. 1999
9647	Torà	866.2	4638.2	448	Feb. 1930	Dic. 2002
9650	Artesa de Segre	835.8	4646.2	320	Nov. 1968	Dic. 2002
9651U	Artesa de Segre 'Baldomar'	832.8	4648.5	325	Ago. 1972	Nov. 2000
9684	Escós	834.5	4699.3	790	Dic. 1920	Feb. 1988
9688	Estany 'Gento Llac'	828.7	4714.0	2120	Ago. 1925	Dic. 1985
9689	Cabdella	828.2	4709.2	1270	Ene. 1917	May. 1994
9690	Els Molins 'Monros'	826.9	4702.6	1020	Feb. 1928	Nov. 1995
9700	Talarn 'Presa'	822.8	4676.5	425	Sep. 1915	Jul. 1995
9701E	Vilamitjana	823.1	4674.7	415	Jul. 1968	Dic. 1997
9714I	La Sentiu de Sió 'Sifo de Sió'	818.3	4635.0	240	Ago. 1971	Dic. 2002
9717	Cervera	855.9	4622.1	540	Nov. 1915	Dic. 2002
9720N	La Guàrdia D'Urgell	839.3	4627.4	290	May. 1975	Abr. 1998
9720O	Anglesola 'C.U.'	838.5	4621.1	315	May. 1971	Ene. 2001
9721F	Tornabous 'El Tarròs'	835.7	4625.3	280	Mar. 1975	Dic. 2000
9726	Vallbona de Les Monjes 'Rocallaura'	846.1	4603.5	660	Dic. 1947	Dic. 2002
9726O	Ciutadilla	845.1	4609.5	510	Ene. 1978	Dic. 2002
9727I	Bellpuig	834.0	4616.4	295	Jul. 1971	Dic. 2002
9738	Caldas de Boi	814.8	4717.3	1280	Jun. 1948	Dic. 1998
9760E	Santa Ana 'Central'	797.1	4642.9	315	Feb. 1967	Mar. 1994
9766	Els Omellons	830.6	4602.1	386	Mar. 1944	Dic. 2002
9766E	Arbeca	827.8	4606.6	321	Nov. 1968	Dic. 2002
9767E	Torregrosa	819.4	4610.4	264	Ago. 1969	Dic. 2002
9768C	Bell-Lloch 'Semillas'	814.6	4615.5	199	May. 1971	Dic. 2002
9769I	Lleida 'Torrerribera'	807.9	4613.0	217	Dic. 1971	Dic. 2002
9770E	Lleida 'San Miguel'	804.1	4614.0	150	Jul. 1960	Jul. 2000
9771C	Lleida 'Observatorio 2'	799.5	4614.6	192	Ene. 1983	Ago. 2003
9777C	Maials	793.7	4585.0	375	Jul. 1979	Dic. 2002
9782	Pineta 'Presa'	762.5	4725.4	1150	Ene. 1928	Dic. 2002
9784E	Parzán	762.8	4728.2	1050	Oct. 1962	Dic. 2002
9787	San Juan de Plan	774.4	4720.6	1124	Oct. 1962	Dic. 2002

Tabla 3.3. (Continuación).

Código	Estación	Coordenadas UTM (km)		Elev (m)	Periodo con datos	
		Este-oeste	Norte-sur		Inicio	Fin
9789	Gistaín 'Molino'	774.2	4723.4	1000	Ene. 1951	Abr. 1994
9791	Serveto	770.3	4719.7	1306	Nov. 1961	Dic. 2002
9792	Saravillo	767.4	4716.6	1000	Nov. 1961	Dic. 2002
9793	Sin	767.8	4719.4	1218	Nov. 1961	Ene. 1998
9796	Lafortunada 'Central'	762.5	4715.4	700	Jul. 1951	Jun. 1985
9799G	Ceresa	761.2	4711.1	920	Ene. 1972	Jul. 1998
9804	Buerba	750.4	4714.1	1143	Abr. 1961	Mar. 2002
9805E	Muro de Bellos	757.4	4709.1	963	Nov. 1963	Ene. 1998
9806E	Labuerda	758.0	4695.4	569	Oct. 1962	Dic. 2002
9807	El Pueyo de Araguás	760.0	4703.7	699	Oct. 1962	Dic. 2002
9808	Ainsa	758.2	4701.0	589	Feb. 1961	Feb. 1999
9813	Linás de Broto	732.1	4722.6	1333	Abr. 1961	Dic. 2002
9814	Torla	736.9	4723.6	1053	Jul. 1953	Dic. 2002
9814E	Fragén	734.5	4721.7	1113	Nov. 1963	Dic. 2002
9815	Broto	736.1	4721.0	1005	May. 1949	Dic. 2002
9815I	Sarvisé	736.8	4718.1	863	Feb. 1961	Dic. 2002
9816	Asín de Broto	736.0	4713.0	1103	Oct. 1962	Ene. 1996
9817I	San Juste	738.4	4707.5	767	Oct. 1962	Dic. 1997
9818E	Javierre de Ara	740.8	4707.3	738	Feb. 1961	Dic. 2002
9818I	Santa Olaria de Ara	741.3	4707.1	740	Sep. 1962	Dic. 2002
9819E	Burgasé 'Campol'	745.7	4708.6	870	Nov. 1963	Dic. 1996
9820E	San Felices	744.4	4704.6	812	Oct. 1961	Dic. 2002
9821E	Campodarbe	748.1	4701.1	1040	Oct. 1961	Dic. 2002
9821I	Ascaso	750.5	4707.4	915	Dic. 1962	Dic. 1996
9823	Sieste	752.5	4702.2	716	Dic. 1961	Dic. 2002
9824I	Latorrecilla	753.9	4699.3	666	Dic. 1962	Dic. 2002
9824O	La Lecina	750.1	4695.8	775	Dic. 1962	Nov. 1993
9826	Los Molinos	763.6	4704.7	800	Ene. 1972	Dic. 2002
9828U	Camporrotuno	760.6	4692.7	560	Oct. 1979	Dic. 2002
9829	Mediano 'Embalse'	763.9	4690.1	504	Ene. 1922	Dic. 2002
9829E	Arcusa	753.0	4690.4	869	Ene. 1964	Dic. 2002
9840	Eriste 'Central'	786.5	4721.0	1100	May. 1964	Dic. 2002
9841	Sesué 'Central'	784.8	4716.2	930	Jun. 1964	Dic. 2002
9842	Villanova 'Presa'	784.9	4715.6	928	Ene. 1946	Jul. 1985
9843	Seira 'Central'	782.5	4708.5	816	Ene. 1919	Abr. 1994
9869E	Castejón del Puente	761.9	4650.3	382	May. 1967	Dic. 2002
9871B	Monzón 'Silo'	765.0	4645.5	280	Dic. 1976	Dic. 2002
9874	Berbegal	748.0	4649.8	480	Ago. 1951	Dic. 2002
9874U	Monesma	753.9	4646.1	300	Jul. 1975	Dic. 2002
9874V	Selgua 'Silo'	760.3	4645.3	290	Jul. 1977	Dic. 2002
9875	El Tormillo 'Terreu'	749.6	4637.8	400	Mar. 1949	Dic. 2002
9878	Belver de Cinca 'Monte Julia'	769.0	4629.2	340	May. 1955	Dic. 2002
9885	Panzano	733.6	4677.0	650	Jun. 1969	Dic. 2002
9888I	Pertusa	738.9	4653.4	400	Nov. 1969	Dic. 2002
9893E	Lastanosa 'Lasesa'	743.4	4638.2	410	Oct. 1962	Dic. 2002
9896	San Julián de Banzo	718.3	4678.5	720	Mar. 1950	Dic. 2002
9898	Monflorite 'Aeródromo'	721.2	4662.6	541	Ene. 1951	Ago. 2003
9900	Nueno	711.4	4682.5	726	May. 1961	Dic. 2002
9903E	Almuniente	714.7	4647.4	357	Nov. 1968	Mar. 1990
9904I	Grañén 'Pinilla'	720.6	4648.2	335	Nov. 1968	Ene. 2000
9905	Robres	710.8	4638.5	400	Dic. 1962	Mar. 1994
9906E	Grañén 'Montesusín'	716.1	4640.1	350	Mar. 1969	Dic. 2002

Tabla 3.3. (Continuación).

Código	Estación	Coordenadas UTM (km)		Elev (m)	Periodo con datos	
		Este-oeste	Norte-sur		Inicio	Fin
9907I	Grañén 'Monte Sodeto'	727.8	4641.4	365	Mar. 1960	Dic. 2002
9908O	San Juan de Flumen	730.8	4626.0	282	Sep. 1977	Dic. 2002
9910	Pallaruelo de Monegros	732.0	4620.8	356	Ene. 1953	Dic. 2002
9911	Ontiñena	756.9	4618.5	215	Nov. 1968	Dic. 2002
9914	Albelda 'La Serranía'	788.7	4636.5	282	Jul. 1962	May. 1986
9914E	Tamarite de Litera	781.0	4639.4	318	Dic. 1955	Dic. 2002
9914I	Albelda 'El Saladar'	786.9	4639.6	361	Mar. 1969	Dic. 2002
9918	Tamarite de Litera 'La Melusa'	780.4	4630.9	218	Ene. 1965	Dic. 2002
9920	Almacelles	789.1	4622.8	250	Ene. 1963	Jul. 2001
9920E	Esplús 'Rafales 2'	773.8	4628.4	234	Feb. 1966	Dic. 2002
9920I	Esplús 'Rafales 1'	773.9	4628.4	225	Feb. 1966	Dic. 2002
9932	Pena 'Embalse'	764.4	4523.7	620	Feb. 1919	Dic. 2002
9938I	Monroyo	750.3	4519.2	857	Dic. 1974	Dic. 2002
9948	Vilalba dels Arcs	786.1	4557.7	442	Ene. 1950	Dic. 2002
9949E	Riba-Roja D'Ebre 'Asinel'	787.1	4571.5	80	Feb. 1972	Dic. 1998
9950	Riba-Roja D'Ebre	791.9	4572.6	76	Dic. 1931	Dic. 2002
9951	Flix 'Seq'	796.2	4570.5	56	Ene. 1918	Dic. 2002
9953E	Ascó	799.2	4565.1	69	Nov. 1965	Dic. 2002
9961	Cabaces	812.5	4573.1	357	Ago. 1951	Dic. 2002
9967	Tivissa 'Serra D'Almos'	814.5	4554.5	230	Ene. 1971	Dic. 2002
9971	Tivissa	813.7	4550.4	310	Oct. 1911	Dic. 2002
9972	Benissanet	805.5	4551.4	34	Sep. 1911	Dic. 2002
9974	Miravet	803.0	4550.0	25	Jul. 1949	Dic. 2002
9981A	Tortosa 'Observatorio del Ebro'	794.5	4524.8	48	Ene. 1910	Sep. 2003
9987	Amposta	802.3	4513.0	8	Feb. 1919	Dic. 2002
9987O	Amposta 'Erms Salats'	814.1	4510.1	1	Jul. 1970	Dic. 2002
9990	Arties	817.6	4735.0	0	Ene. 1961	Dic. 1991
9991	Biela	811.1	4735.8	940	Ene. 1911	Ago. 1993
9993I	Es Bordes 'Benos'	805.4	4738.4	890	Ago. 1966	Jun. 1993
9995X	Valcarlos	638.6	4773.1	320	Sep. 1974	Dic. 2002
9997E	Used	621.2	4545.8	1043	Jun. 1968	Dic. 2002
9997U	Las Cuerlas 'Gasolinera'	619.5	4538.8	1025	May. 1975	Nov. 2002
9998	Tornos	631.7	4535.8	1018	Dic. 1943	Dic. 2002

En el CD adjunto se almacena la base de datos *ConvenioCHE2004Meteo.mdb*, cuya tabla *PrecMediasMes\_1961\_2002* contiene los valores mensuales de precipitación para cada mes y año individuales desde 1961 a 2002; en aquellos meses sin dato disponible, el valor almacenado es -99.

Posteriormente, se calcularon las coordenadas UTM del punto centroide de cada comarca utilizada en este trabajo (Tabla 3.1) mediante la utilidad externa *XToolsPro* creada para el programa *ArcGIS Desktop* de la empresa Environmental Systems Research Institute (Redlands, California, EE.UU.). La Tabla 3.4 lista las coordenadas UTM y geográficas de cada centroide comarcal. En cada uno de ellos, se obtuvieron estimas de temperatura máxima y mínima y de precipitación en cada mes y año desde 1961 a 2002. Para ello se realizó una interpolación mediante el método de la inversa de la distancia al cuadrado (Isaaks y Srivastava, 1989):

$$y_{ic}^* = \frac{\sum_{e=1}^n \frac{y_{ie}}{d_{ce}^2}}{\sum_{e=1}^n \frac{1}{d_{ce}^2}} \quad (3.1)$$

donde:  $y_{ic}^*$ , estima de la variable de interés (temperatura máxima, temperatura mínima o precipitación) en el mes y año  $i$  en el centroide comarcal  $c$ ;  $y_{ie}$ , valor de la variable de interés en el mes y año  $i$  en la estación meteorológica  $e$  (termométrica o pluviométrica según corresponda);  $n$ , número de estaciones disponibles en el mes y año  $i$ ;  $d_{ce}$ , distancia (km) entre el centroide comarcal  $c$  y la estación meteorológica  $e$  (no se establecieron radios máximos de búsqueda).

Tabla 3.4. Coordenadas UTM y geográficas de los centroides comarcales utilizados en este trabajo. NCO, número arbitrario asignado a cada comarca (Tabla 3.1).

NCO	Nombre de comarca	Coordenadas UTM (m)		Coordenadas geográficas	
		Este-Oeste	Norte-Sur	Longitud	Latitud
13	Ágreda	580109	4634356	2.0349° O	41.8563° N
11	Aguilar de Campoo	416410	4739062	4.0222° O	42.7988° N
67	Alagón	652100	4628899	1.1694° O	41.7966° N
79	Alcañiz	741216	4545157	0.1312° O	41.0212° N
86	Alfambra	695715	4502648	0.6852° O	40.6508° N
32	Alfaro	597098	4668679	1.8246° O	42.1635° N
15	Almazán	558868	4588342	2.2953° O	41.4438° N
52	Almudévar	696121	4653846	0.6316° O	42.0115° N
93	Alt Urgell	864160	4685917	1.4131° E	42.2398° N
92	Alta Ribagorça	814877	4708917	0.8298° E	42.4678° N
49	Angüés	735115	4672696	0.1537° O	42.1704° N
102	Anoia	870853	4629438	1.4584° E	41.7295° N
16	Arcos de Jalón	559463	4564784	2.2905° O	41.2315° N
76	Ariza	584824	4569466	1.9873° O	41.2715° N
31	Arnedo	569406	4672863	2.1593° O	42.2041° N
71	Ateca	600014	4577246	1.8047° O	41.3398° N
47	Ayerbe	691122	4687377	0.6810° O	42.3144° N
108	Baix Ebre	801232	4527366	0.5727° E	40.8413° N
51	Barbastro	758254	4663964	0.1222° E	42.0845° N
74	Belchite	688483	4573180	0.7492° O	41.2874° N
10	Belorado	477737	4692956	3.2705° O	42.3878° N
54	Binéfar	775595	4640435	0.3205° E	41.8671° N
45	Boltaña	753997	4710702	0.0913° E	42.5062° N
65	Borja	620626	4624337	1.5490° O	41.7610° N
8	Briviesca	468449	4718006	3.3847° O	42.6131° N
29	Calahorra	571841	4685806	2.1282° O	42.3204° N
81	Calamocha	640302	4540112	1.3319° O	40.9994° N
70	Calatayud	614655	4584843	1.6283° O	41.4062° N
87	Cantavieja	721996	4492517	0.3783° O	40.5530° N

Tabla 3.4. (Continuación).

NCO	Nombre de comarca	Coordenadas UTM (m)		Coordenadas geográficas	
		Este-Oeste	Norte-Sur	Longitud	Latitud
73	Cariñena	657818	4577603	1.1141° O	41.3337° N
75	Caspe	751520	4570155	0.0014° E	41.2430° N
46	Castejón de Sos	789709	4714225	0.5270° E	42.5254° N
88	Cella	642840	4489634	1.3132° O	40.5445° N
101	Cerdanya	905457	4696310	1.9191° E	42.3127° N
33	Cervera del Río Alhama	582642	4653894	2.0017° O	42.0320° N
104	Conca de Barberá	856851	4606464	1.2768° E	41.5295° N
7	Condado de Treviño	525253	4729684	2.6916° O	42.7185° N
40	Cuenca de Pamplona	604558	4736952	1.7219° O	42.7772° N
77	Daroca	631625	4558945	1.4310° O	41.1705° N
24	Durango	525606	4767272	2.6856° O	43.0569° N
61	Ejea de los Caballeros	659256	4673266	1.0713° O	42.1946° N
69	Épila - La Almunia	640625	4602127	1.3137° O	41.5577° N
20	Espejo	499093	4733522	3.0111° O	42.7535° N
2	Espinosa de los Monteros	455373	4769489	3.5482° O	43.0760° N
58	Fraga	763404	4601800	0.1568° E	41.5238° N
100	Garrigues	820144	4594695	0.8317° E	41.4393° N
14	Gomara	574256	4597847	2.1100° O	41.5281° N
55	Grañén	717641	4640801	0.3768° O	41.8885° N
48	Graus	788377	4679089	0.4932° E	42.2100° N
25	Haro	508238	4711635	2.8997° O	42.5563° N
78	Híjar	713614	4558541	0.4545° O	41.1494° N
50	Huesca	718244	4673827	0.3573° O	42.1854° N
43	Jaca	691575	4726968	0.6622° O	42.6706° N
22	Laguardia	533576	4713679	2.5909° O	42.5740° N
27	Logroño	544741	4687837	2.4569° O	42.3408° N
41	Maranchón	575288	4545213	2.1041° O	41.0540° N
83	Mas de las Matas	726130	4523919	0.3182° O	40.8344° N
5	Medina de Pomar	474201	4742457	3.3157° O	42.8335° N
9	Miranda de Ebro	498482	4722665	3.0185° O	42.6557° N
42	Molina de Aragón	602618	4530348	1.7814° O	40.9171° N
85	Monreal del Campo	642207	4510915	1.3159° O	40.7362° N
84	Montalbán	707913	4514226	0.5373° O	40.7520° N
109	Montsià	798179	4507081	0.5269° E	40.6600° N
56	Monzón	759028	4639250	0.1206° E	41.8620° N
89	Mora de Rubielos	710271	4482200	0.5200° O	40.4632° N
110	Morella	745725	4498150	0.0962° O	40.5970° N
80	Muniesa	684328	4543402	0.8078° O	41.0203° N
18	Murguía	512663	4754595	2.8448° O	42.9431° N
28	Nájera	513043	4677470	2.8419° O	42.2486° N
39	Navarra Media	620051	4710697	1.5381° O	42.5386° N
38	Navarra Noroccidental	594014	4756482	1.8475° O	42.9544° N
37	Navarra Pirineos	645510	4744809	1.2195° O	42.8413° N

Tabla 3.4. (Continuación).

NCO	Nombre de comarca	Coordenadas UTM (m)		Coordenadas geográficas	
		Este-Oeste	Norte-Sur	Longitud	Latitud
96	Noguera	826532	4646976	0.9365° E	41.9065° N
23	Oñate	562058	4754239	2.2394° O	42.9375° N
94	Pallars Jussà	825222	4689557	0.9444° E	42.2896° N
91	Pallars Sobirà	844032	4716331	1.1880° E	42.5220° N
68	Pina de Ebro	719017	4603668	0.3739° O	41.5540° N
99	Plà D'Urgell	823571	4617705	0.8850° E	41.6447° N
105	Priorat	823916	4569792	0.8634° E	41.2140° N
72	Quinto de Ebro	711952	4589698	0.4635° O	41.4302° N
1	Reinosa	409611	4752474	4.1074° O	42.9188° N
35	Ribera Alta - Aragón	598250	4693045	1.8065° O	42.3827° N
36	Ribera Baja Navarra	617839	4661837	1.5750° O	42.0990° N
107	Ribera D'Ebre	808306	4559450	0.6724° E	41.1271° N
44	Sabiñánigo	715923	4717116	0.3692° O	42.5755° N
60	Sádaba	655317	4688279	1.1149° O	42.3305° N
19	Salvaterra	548559	4744045	2.4057° O	42.8467° N
12	San Pedro Manrique	558357	4653335	2.2951° O	42.0291° N
21	Santa Cruz de Campezo	545294	4728630	2.4469° O	42.7081° N
26	Santo Domingo de la Calzada	503514	4689739	2.9573° O	42.3592° N
57	Sariñena	731812	4628305	0.2111° O	41.7720° N
6	Sedano	432160	4726159	3.8280° O	42.6842° N
103	Segarra	860481	4630653	1.3348° E	41.7452° N
98	Segrià	795532	4607479	0.5439° E	41.5636° N
95	Solsonès	868052	4655488	1.4410° E	41.9647° N
59	Sos del Rey Católico	654912	4711032	1.1137° O	42.5354° N
53	Tamarite de Litera	787758	4644326	0.4687° E	41.8977° N
64	Tarazona	606364	4632233	1.7191° O	41.8341° N
62	Tauste	652631	4643412	1.1592° O	41.9272° N
106	Terra Alta	786271	4552850	0.4074° E	41.0758° N
34	Tierra Estella	571323	4724141	2.1297° O	42.6657° N
30	Torrecilla en Cameros	536335	4669613	2.5601° O	42.1771° N
97	Urgell	840502	4620612	1.0894° E	41.6638° N
90	Val D'Aran	814146	4737630	0.8367° E	42.7261° N
82	Valderrobres	759061	4530741	0.0747° E	40.8861° N
4	Villalba de Losa	485352	4759605	3.1797° O	42.9882° N
3	Villarcayo	441948	4748473	3.7109° O	42.8859° N
17	Vitoria	527843	4753508	2.6588° O	42.9329° N
66	Zaragoza	677813	4616368	0.8638° O	41.6785° N
63	Zuera	688736	4636433	0.7263° O	41.8566° N

### 3.3. Estaciones meteorológicas secundarias

El cálculo de la evapotranspiración de los cultivos requiere otras variables meteorológicas aparte de la temperatura y de la precipitación. Por ello, se procedió a

recopilar datos de otras variables meteorológicas en las denominadas, en este trabajo, como estaciones meteorológicas secundarias. En concreto, se seleccionaron estaciones con registros de velocidad de viento y humedad relativa mínima medias mensuales durante al menos 5 años completos. En este caso, se redujo la longitud de las series históricas, respecto a la seleccionada en el caso de la temperatura y la precipitación, debido a que los registros de las variables velocidad de viento y humedad relativa mínima es bastante menor, tanto en cuanto a su duración en el tiempo como en el número de estaciones donde se realizan dichos registros. Estas circunstancias obligaron a seleccionar estaciones meteorológicas secundarias no sólo del INM sino también de otras instituciones. En total, se seleccionaron 81 estaciones con registros de velocidad de viento y 78 con registros de humedad relativa mínima. Sus nombres, coordenadas UTM, instituciones propietarias de las estaciones y periodos de registro se listan en la Tabla 3.5.

En el caso de las estaciones del INM, se dispuso de dos tipos de estaciones: a) automáticas; y b) horas tipo. En las primeras, los valores suministrados fueron medias cada 10 minutos durante los periodos listados en la Tabla 3.5; en las segundas, valores puntuales registrados diariamente en las denominadas horas tipo (0, 7, 13 y 18). En el caso de las estaciones de la red del Gobierno de Aragón para el seguimiento de la contaminación atmosférica (RRICAA), los valores proporcionados también fueron medias diezminutales. En las restantes estaciones, los valores suministrados fueron medias semihorarias (Laboratorio Asociado de Agronomía y Medio Ambiente), diarias (red del Ministerio de Agricultura para la lucha contra la mosca del olivo) y mensuales (Riegos de Navarra y Servei Meteorològic de Catalunya) durante el periodo indicado en la Tabla 3.5.

Los valores de velocidad de viento suministrados se transformaron a sus equivalentes a 2 m de altura sobre el suelo en el caso de las estaciones del INM y de la red RRICAA ya que en las restantes estaciones, esta variable se midió a la altura mencionada. Para ello, se utilizó la siguiente expresión (Allen et al., 1994b):

$$U_2 = U_z \ln\left(\frac{2-d}{z_{0m}}\right) / \ln\left(\frac{z-d}{z_{0m}}\right) \quad (3.2)$$

donde:  $z$ , altura de medida de la velocidad del viento;  $U_z$ , valor de la velocidad del viento a  $z$  m de altura;  $U_2$ , valor de la velocidad del viento a 2 m de altura;  $d$ , altura del plano de desplazamiento 0 (m);  $z_{0m}$ , longitud de rugosidad de la transferencia de momento (m);  $d$  y  $z_{0m}$  son dos parámetros que representan la rugosidad de la superficie sobre la que fluye el viento; según, Allen et al. (1994b, 1996),  $d = 0.12 h_c$ , mientras que  $z_{0m} = 0.123 h_c$ , siendo  $h_c$ , la altura de la superficie sobre la que se realizan las medidas; en general, las estaciones del INM y de la red RRICAA se encuentran ubicadas en sitios de escasa o ninguna vegetación; según Allen et al. (1996), para un suelo desnudo se puede considerar una "altura" 0.04 m.

Los valores suministrados de las dos variables, velocidad de viento y humedad relativa mínima, en todas las estaciones se promediaron para obtener medias mensuales para el año medio. Es decir, para cada mes se promediaron los  $m$  valores disponibles para la variable en cuestión, siendo  $m$  el número de años con

dato disponible para esa variable y mes en cuestión. Estos valores se interpolaron a los centroides de las comarcas utilizadas en este trabajo mediante la ecuación (3.1). Por tanto, en cada comarca se dispuso finalmente de 12 valores medios mensuales de velocidad de viento a 2 m de altura y de otros 12 de humedad relativa mínima.

En el CD adjunto se almacena la base de datos *ConvenioCHE2004Meteo.mdb*, cuyas tablas *VientoMes\_AñoMedio* y *HRminMes\_AñoMedio* contienen, respectivamente, los valores medios mensuales (año medio) de la velocidad del viento a 2 m y la humedad relativa mínima disponibles en las estaciones meteorológicas secundarias seleccionadas.

Tabla 3.5. Estaciones meteorológicas secundarias utilizadas en este trabajo. Coordenadas UTM, fuente de los datos y periodos disponibles de registros de velocidad de viento y humedad relativa mínima del aire.

Estación	Coordenadas UTM (km)		Fuente <sup>(1)</sup>	Periodos	
	Este-Oeste	Norte-Sur		Viento	Humedad
Aitona	788.6	4598.1	SMC	1998-2003	1998-2003
Alagón	654.4	4625.2	RRICAA	1995-2002	1995-2002
Albesa	805.3	4629.7	SMC	1999-2003	1999-2003
Alcanar	798.4	4494.9	SMC	1991-2003	1991-2003
Alcañiz	740.5	4548.9	INM-EMA	1990-2001	1990-2001
Alcarràs	796.2	4608.2	SMC	1997-2003	1997-2003
Alcorisa	720.7	4530.3	DACUS		1993-2001
Aldover	795.0	4529.2	SMC	1995-2003	1995-2003
Alfarràs	797.9	4632.2	SMC	1997-2003	1997-2003
Almudévar	699.6	4655.7	INM-HT	1988-1999	1988-1999
Amposta	806.7	4512.5	SMC	1992-2003	1992-2003
Ascó	794.2	4566.1	SMC	1998-2003	1998-2003
Bardenas Reales	611.0	4680.2	RDN	1997-2003	1997-2003
Bellvis	817.0	4624.2	SMC	1997-2003	1997-2003
Benissanet	805.5	4552.2	SMC	1993-2003	1993-2003
Bordeta - Lleida	803.9	4612.0	SMC	1997-2003	1997-2003
Bujaraloz	735.9	4600.5	INM-EMA	1992-2003	1992-2003
Cadreita	605.9	4673.9	RDN	1997-2003	1997-2003
Calamocha 'San Roque'	643.6	4531.7	INM-HT	1992-2001	1992-2001
Calamocha 'Observatorio'	643.6	4530.9	INM-HT	1984-2000	
Calamocha 'V.O.R.'	642.9	4525.3	INM-HT	1961-1985	
Calanda	733.2	4536.0	DACUS		1991-2001
Candasnos	755.8	4599.2	LAAMA	1985-1991	
Castelldans	813.2	4604.5	SMC	1997-2003	1997-2003
Clariana de Cardener	880.1	4654.8	SMC	1996-2003	1996-2003
Cretas	770.5	4536.0	DACUS		1995-2001
Daroca	633.4	4552.5	INM-EMA	1992-2001	1992-2001
El Canós - Els Plans de Sió	849.9	4623.9	SMC	1998-2003	1998-2003
El Fangar - Deltebre	815.8	4522.0	SMC	1992-2003	1992-2003
El Perelló	813.3	4531.2	SMC	1998-2003	1998-2003
El Poal	822.8	4620.8	SMC	1989-2003	1989-2003

Tabla 3.5. (Continuación).

Estación	Coordenadas UTM (km)		Fuente <sup>(1)</sup>	Periodos	
	Este-Oeste	Norte-Sur		Viento	Humedad
El Pont de Suert	807.9	4700.2	SMC	1996-2003	1996-2003
El Redal	564.4	4687.8	INM-HT	1974-1997	
Els Alfacs – Sant Carles de la Ràpita	809.8	4504.0	SMC	1994-2003	1994-2003
Els Valentins - Ulldesona	785.1	4503.0	SMC	1990-2003	1990-2003
Falset	820.7	4562.6	SMC	1996-2003	1996-2003
Gandesa	789.0	4550.6	SMC	1994-2003	1994-2003
Gimenells	782.5	4617.5	SMC	1996-2003	1996-2003
Horta de Sant Joan	778.3	4538.9	SMC	1996-2003	1998-2003
Isona i Conca Dellà	833.7	4673.0	SMC	1992-2003	1996-2003
Juneda	820.0	4607.2	SMC	1992-2003	1992-2003
La Granadella	806.8	4585.4	SMC	1992-2003	1992-2003
La Molina 'Observatorio'	906.8	4698.8	INM-HT	1962-1998	
La Pobla de Segur	826.7	4683.8	SMC	1996-2003	1996-2003
La Seu d'Urgell	865.1	4700.4	SMC	1996-2003	1996-2003
Lac Redon - Vielha e Mijaran	809.1	4727.8	SMC	1999-2003	1999-2003
L'Aldea	805.3	4519.6	SMC	1991-2003	1991-2003
L'Ametlla de Mar	817.1	4535.7	SMC	1995-2003	1995-2003
Lleida 'Observatorio'	801.5	4614.0	INM-HT <sup>(2)</sup>	1961-1983	1971-1988
Les Avellanets - Ós de Balaguer	811.9	4643.1	SMC	1995-2003	1995-2003
Lladurs	865.9	4668.9	SMC	1998-2003	1998-2003
Lleida 'Observatori 2'	799.5	4614.6	INM-HT	1983-2000	
Logroño 'Agoncillo'	555.0	4700.2	INM-HT <sup>(2)</sup>	1961-2000	1971-1993
Logroño 'Agrometeorológico'	551.0	4701.6	INM-HT	1977-1994	
Logroño 'Agrometeorológico 2'	544.6	4702.7	INM-HT	1961-1976	
Maella	763.6	4557.3	DACUS		1991-2001
Margalef	814.3	4577.3	SMC	1996-2003	1996-2003
Mas de Barberans	788.6	4512.9	SMC	1992-2003	1992-2003
Miralcamp	823.0	4613.9	SMC	1997-2003	1997-2003
Molina de Aragón	624.5	4485.5	INM-HT <sup>(2)</sup>		1975-1991
Monflorit 'Aeródromo'	721.1	4662.3	INM-EMA	1990-2003	1990-2003
Montañana - Zaragoza	681.3	4620.9	LAAMA	1994-2003	1994-2003
Monte Julia - Belver	768.3	4628.7	SMC	1988-2003	1988-2003
Monzón	765.1	4645.8	RRICAA	1996-2003	1996-2003
Organyà	857.1	4683.0	SMC	1996-2003	1996-2003
Ortigosa 'Embalse'	526.6	4669.3	INM-HT	1974-1985	
Pamplona 'Observatorio'	611.5	4741.5	INM-HT <sup>(2)</sup>	1961-1976	1971-1993
Pinós	875.8	4637.2	SMC	1995-2003	1995-2003
Raimat - Lleida	787.1	4620.5	SMC	1988-2003	1988-2003
Riba-Roja d'Ebre	787.7	4571.7	SMC	1996-2003	1996-2003
Rincón de Soto	594.7	4676.7	INM-HT	1974-1998	
Sariñena	736.4	4630.3	INM-EMA	1990-2003	1990-2003
Sartaguda	578.2	4690.6	RDN	1997-2003	1997-2003
Seròs	784.6	4595.6	SMC	1998-2003	1998-2003

Tabla 3.5. (Continuación).

Estación	Coordenadas UTM (km)		Fuente <sup>(1)</sup>	Periodos	
	Este-Oeste	Norte-Sur		Viento	Humedad
Soria	544.3	4624.1	INM-HT <sup>(2)</sup>		1976-1990
Sort	839.4	4703.1	SMC	1993-2003	1993-2003
Tamarite de Litera	780.4	4630.6	LAAMA	1997-2003	1997-2003
Teruel	659.4	4468.3	INM-HT	1990-2001	1990-2001
Tornabous	912.1	4627.1	SMC	1997-2003	1997-2003
Torres de Segre	794.4	4603.4	SMC	1996-2003	1996-2003
Tortosa	796.6	4524.9	INM-HT <sup>(2)</sup>		1976-1991
Ulldemolins	824.3	4581.4	SMC	1996-2003	1996-2003
Vallfogona de Balaguer	818.2	4633.1	SMC	1990-2003	1990-2003
Vielha e Mijaran	810.5	4733.8	SMC	1996-2003	1996-2003
Vilanova de Meià	833.2	4656.7	SMC	1996-2003	1996-2003
Vinebre	801.1	4565.5	SMC	1998-2003	1998-2003
Vitoria - Gasteiz	528.2	4744.4	INM-HT <sup>(2)</sup>		1971-1993
Vitoria 'Aeropuerto de Foronda'	522.6	4748.0	INM-HT	1977-2000	
Zaragoza 'Aeropuerto'	665.9	4614.2	INM-HT	1990-2001	1990-2001

<sup>(1)</sup> INM-HT, Instituto Nacional de Meteorología ('horas tipo').

INM-EMA, Instituto Nacional de Meteorología (automáticas).

LAAMA, Laboratorio Asociado de Agronomía y Medio Ambiente (DGA-CSIC).

SMC, Servei Meteorològic de Catalunya.

RDN, Riegos de Navarra S.A.

RRICAA, red del Gobierno de Aragón para el seguimiento de la contaminación atmosférica.

DACUS, red del Ministerio de Agricultura para la lucha contra la mosca de la oliva.

<sup>(2)</sup> Datos de humedad relativa mínima obtenidos de CEDEX (1996).

### 3.4. Evapotranspiración de referencia

De acuerdo con la metodología propuesta por la FAO para el cálculo de la evapotranspiración y las necesidades hídricas de los cultivos (Allen et al., 1998), el primer paso consiste en el cálculo de la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ). Este término representa la demanda evaporativa de la atmósfera, es decir, el efecto del clima sobre el proceso de evapotranspiración. Según la propuesta de Allen et al. (1998), la  $ET_0$  es la tasa de evapotranspiración de un cultivo hipotético de 12 cm de altura, con una resistencia aparente de la cubierta vegetal al flujo de vapor de agua ( $r_c$ ) de  $70 \text{ s m}^{-1}$ , con una arquitectura similar a la de una gramínea pratense, cubriendo uniformemente el suelo, creciendo activamente y sin ninguna limitación de agua, nutrientes, enfermedades o plagas.

Según Allen et al. (1998), el método más adecuado para el cálculo de la  $ET_0$  es el de FAO Penman-Monteith. Este método ha sido evaluado positivamente en distintas zonas del mundo (Jensen et al., 1990; Smith et al., 1991; Choissnel et al., 1992; Allen et al., 1994a, 1996; Hussein, 1999; Ventura et al., 1999). Asimismo, en España, este método ha mostrado su idoneidad para el cálculo de la  $ET_0$  horaria y diaria (Berengena et al., 2001; Lecina et al., 2003).

Sin embargo, este método presenta el inconveniente de que precisa de datos medidos no sólo de temperatura del aire, sino de velocidad de viento, radiación solar

y humedad relativa. Estas tres últimas variables se miden en un número limitado de estaciones meteorológicas. De hecho, la radiación solar prácticamente no se mide en ninguna de las estaciones de la red del INM. Esta variable se mide sobre todo en estaciones automáticas instaladas en los últimos años dentro de distintas redes, como la del Ministerio de Agricultura para el Asesoramiento al Regante (red SIAR), la de Riegos de Navarra o la del Servei Meteorològic de Catalunya. Excepto en esta última, las series históricas de radiación solar son muy cortas aún. En algunas estaciones del INM se mide la insolación, variable que está relacionada con la radiación solar pero a través de unos coeficientes empíricos que precisan de ajustes locales (Allen et al., 1998).

En un trabajo como éste, la utilización del método FAO Penman-Monteith precisaría de datos medidos de todas las variables citadas con el mismo nivel de incertidumbre que el de la temperatura del aire. Pero esta no es la situación debido a las causas citadas anteriormente. La misma FAO sugiere que, para estimas mensuales de la  $ET_0$  y cuando la mayor parte de los datos disponibles son temperatura del aire, un método alternativo de cálculo de esta variable es el de Hargreaves (Allen et al., 1998). En el valle medio del Ebro, las estimas mensuales de este método se han comparado positivamente con datos medidos de  $ET_0$  con lisímetros de pesada (Martínez-Cob, 2002; Martínez-Cob y Tejero, 2004). En estos dos trabajos, la incertidumbre de estas estimas mensuales fue similar a la obtenida con el método FAO Penman-Monteith a escala diaria. El rendimiento del método de Hargreaves dependió, no obstante, de la zona donde se evaluó. Martínez-Cob y Tejero (2004) pusieron de manifiesto que el método de Hargreaves produjo estimas mensuales de  $ET_0$  no significativamente diferentes de las obtenidas con el método FAO Penman-Monteith en zonas 'ventosas', en las que la velocidad del viento mensual fue mayor de  $2.0 \text{ m s}^{-1}$  en la mayor parte de los meses del año. Pero en zonas 'no ventosas', el método de Hargreaves sobrestimó significativamente la  $ET_0$  mensual. No obstante, en estos casos, una ligera modificación de uno de los coeficientes empíricos del método de Hargreaves fue suficiente para anular esa sobrestimación (Martínez-Cob y Tejero, 2004).

De ninguna forma este trabajo sugiere que el método FAO Penman-Monteith sea menos adecuado que el de Hargreaves. Para estimas horarias y diarias de la  $ET_0$  y cuando se dispone de datos medidos de todas las variables meteorológicas necesarias, el método de FAO Penman-Monteith es superior indudablemente. Pero cuando se quieren calcular estimas mensuales de  $ET_0$  y sólo se dispone de datos medidos de temperatura del aire en la mayor parte de las estaciones meteorológicas, la incertidumbre asociada a la estimación de la velocidad del viento, la humedad relativa del aire y la radiación solar en las estaciones donde no se dispone de estos datos y a la aplicación del método FAO Penman-Monteith es de la misma magnitud que la asociada al empleo del método de Hargreaves, que es más sencillo de aplicar y que requiere de menos etapas de cálculo.

Por tanto, en este trabajo se decidió utilizar el método de Hargreaves para estimar la  $ET_0$  a escala mensual. La expresión de cálculo empleada fue la siguiente (Martínez-Cob y Tejero, 2004):

$$ET_0 = f_H \frac{0.0864 R_a}{\lambda} (T_x - T_n)^{0.5} (T_m + 17.8) \quad (3.3)$$

donde:  $R_a$ , radiación atmosférica ( $W m^{-2}$ );  $T_x$  y  $T_n$ , medias mensuales de las temperaturas máxima y mínima ( $^{\circ}C$ ), respectivamente;  $T_m$ , media de  $T_x$  y  $T_n$ ;  $\lambda$ , calor latente de vaporización ( $MJ kg^{-1}$ );  $f_H$ , factor empírico.

El Anejo 1 explica cómo se calcularon el calor latente de vaporización y la radiación atmosférica. La ecuación (3.3) se aplicó para calcular la  $ET_0$  para cada año y mes individuales del periodo 1961-2002 en cada uno de los centroides comarcales listados en la Tabla 3.4. En estos cálculos se utilizaron las estimas mensuales de temperatura máxima y mínima interpoladas en cada centroide comarcal para cada año y mes del periodo 1961-2002 con la ecuación (3.1). Los mismos 12 valores mensuales de  $R_a$  se aplicaron para cada año.

El factor empírico  $f_H = 0.0023$  en zonas 'ventosas', mientras que en zonas 'no ventosas'  $f_H = 0.0020$  (Martínez-Cob y Tejero, 2004). En este trabajo se consideró 'ventosa' a toda comarca con un valor medio anual y, al menos, 8 valores medios mensuales de velocidad del viento superiores a  $2.0 m s^{-1}$ . En total, 36 comarcas se definieron como 'ventosas' (Tabla 3.6).

### 3.5. Fenología de cultivos

#### 3.5.1. Selección de cultivos

Para la selección de cultivos, inicialmente, se utilizaron las estadísticas municipales de ocupación de superficies de regadío del Instituto Nacional de Estadística (INE) de 1999. Estas estadísticas tienen el problema, sin embargo, de que los cultivos aparecen agrupados en grandes categorías, salvo excepciones. Así, por ejemplo, en la inmensa mayoría de los municipios, los cultivos hortícolas aparecen agrupados en esta categoría, sin más indicaciones.

Por ello, se buscaron otras estadísticas más recientes de ocupación de superficies en los regadíos. En este caso, la mayor dificultad estribó en la falta de una única publicación que agrupara todas las estadísticas de ocupación de superficies, denominadas 1-T, que se obtienen anualmente en cada comunidad autónoma. En algunas de estas comunidades sí se pudo disponer de esta información detallada mientras que en otras las únicas estadísticas disponibles fueron las derivadas de las del INE de 1999 o las estadísticas provinciales agrupadas y derivadas de las denominadas 1-T.

En Aragón, se dispuso de las estadísticas 1-T de 2002 publicadas por el Gobierno de Aragón en su página web ([www.aragob.es](http://www.aragob.es)). Estas estadísticas vienen detalladas por municipios. Las superficies municipales ocupadas por los distintos cultivos se agruparon por las comarcas aragonesas listadas en la Tabla 3.1. De esta forma, se seleccionaron aquellos cultivos cuya superficie representaba al menos el 2.5 % de la superficie total en regadío de la comarca o era al menos de 25 ha, excepto en el caso de hortalizas y frutales. En este grupo, se seleccionaron los

cultivos cuya superficie representaba al menos el 0.5 % de la superficie total en regadío o era al menos de 5 ha.

Tabla 3.6. Velocidad media mensual y anual (año medio) en las 36 comarcas consideradas ventosas en este trabajo. NCO, número arbitrario asignado a cada comarca en este trabajo (Tabla 3.1).

NCO	Velocidad del viento, m s <sup>-1</sup>												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
12	2.11	2.34	2.39	2.45	2.09	2.06	2.03	1.82	1.69	1.78	1.99	2.02	2.06
13	2.16	2.44	2.46	2.59	2.21	2.24	2.19	1.94	1.81	1.83	2.07	2.04	2.16
29	2.45	2.69	2.77	2.65	2.20	2.17	2.15	1.92	1.83	1.98	2.26	2.32	2.28
31	2.36	2.56	2.65	2.61	2.20	2.16	2.15	1.94	1.82	1.94	2.19	2.24	2.23
32	2.43	2.65	2.74	2.86	2.46	2.47	2.37	1.99	1.84	1.91	2.27	2.23	2.35
33	2.28	2.54	2.59	2.68	2.29	2.30	2.24	1.96	1.82	1.88	2.16	2.14	2.24
34	2.19	2.42	2.43	2.45	2.11	2.08	2.07	1.87	1.73	1.84	2.04	2.13	2.11
35	2.42	2.71	2.76	2.82	2.42	2.49	2.39	2.05	1.89	1.94	2.27	2.24	2.36
36	2.48	2.85	2.85	2.98	2.59	2.69	2.53	2.14	1.99	2.00	2.39	2.25	2.47
39	2.18	2.49	2.49	2.61	2.25	2.29	2.23	1.97	1.80	1.83	2.07	2.05	2.19
46	1.88	2.32	2.42	2.65	2.25	2.36	2.36	2.26	2.06	2.07	1.98	1.78	2.20
47	2.03	2.41	2.40	2.65	2.22	2.31	2.28	2.05	1.96	1.89	2.04	1.95	2.18
49	2.03	2.39	2.31	2.69	2.22	2.33	2.30	2.07	2.03	1.94	2.07	1.99	2.20
50	2.23	2.58	2.46	2.90	2.38	2.50	2.47	2.23	2.24	2.15	2.31	2.24	2.39
52	1.96	2.49	2.70	2.75	2.32	2.32	2.28	2.15	2.03	1.95	2.07	2.01	2.25
55	2.04	2.44	2.37	2.69	2.22	2.32	2.29	2.05	2.00	1.91	2.06	1.97	2.19
58	2.08	2.52	2.46	2.72	2.06	2.36	2.24	2.12	1.87	1.83	2.13	1.87	2.18
59	2.07	2.41	2.40	2.58	2.20	2.27	2.23	1.98	1.85	1.83	2.02	1.96	2.15
60	2.14	2.50	2.50	2.69	2.28	2.37	2.32	2.05	1.93	1.89	2.11	2.02	2.23
61	2.14	2.52	2.51	2.72	2.31	2.41	2.36	2.09	1.97	1.91	2.14	2.03	2.26
62	2.25	2.68	2.71	2.92	2.49	2.66	2.61	2.28	2.16	2.05	2.38	2.15	2.44
63	2.18	2.64	2.55	2.81	2.38	2.48	2.45	2.17	2.09	1.97	2.20	2.06	2.33
64	2.20	2.52	2.53	2.70	2.31	2.38	2.32	2.03	1.90	1.89	2.15	2.06	2.25
65	2.18	2.53	2.54	2.74	2.34	2.44	2.40	2.11	1.98	1.93	2.20	2.06	2.29
66	2.45	3.01	2.73	3.04	2.63	2.75	2.70	2.34	2.29	2.09	2.42	2.23	2.55
67	2.28	2.82	2.96	3.10	2.67	2.94	2.88	2.45	2.35	2.16	2.68	2.25	2.63
68	2.11	2.55	2.40	2.72	2.24	2.36	2.35	2.09	2.03	1.95	2.14	1.97	2.24
69	2.20	2.57	2.58	2.84	2.41	2.55	2.53	2.23	2.10	2.01	2.27	2.10	2.36
72	2.05	2.45	2.33	2.64	2.18	2.29	2.28	2.03	1.96	1.87	2.05	1.91	2.17
82	2.19	2.56	2.29	2.67	2.22	2.27	2.33	2.07	2.03	1.95	2.18	2.06	2.23
90	2.01	2.30	2.50	2.55	2.21	2.37	2.36	2.40	2.17	2.18	1.89	1.96	2.24
93	1.93	2.31	2.47	2.65	2.39	2.77	2.76	2.61	2.30	2.02	2.06	1.77	2.33
105	2.18	2.46	2.39	2.76	2.39	2.56	2.62	2.36	2.24	2.00	2.11	2.04	2.34
106	2.93	3.39	2.72	3.27	3.03	3.23	3.27	2.93	2.86	2.57	2.92	2.63	2.97
107	2.32	2.52	2.37	2.76	2.32	2.55	2.59	2.33	2.11	1.86	1.97	1.89	2.30
109	2.15	2.31	2.11	2.52	2.12	2.06	2.03	1.78	1.79	1.84	2.08	2.03	2.07

En La Rioja, se utilizó la publicación Gobierno de La Rioja (2003), obtenida de la página web <http://www.larioja.org/agricultura/>. En esta publicación, se listan las superficies ocupadas por distintos cultivos en las comarcas agrarias de La Rioja. La comarcalización agraria de esta Comunidad Autónoma, 6 comarcas según Gobierno

de La Rioja (2003), es diferente de la comarcalización utilizada en este trabajo (9 comarcas, Tabla 3.1). Afortunadamente, se dispuso de las superficies ocupadas por los distintos municipios de las comarcas agrarias de La Rioja (Gobierno de La Rioja, 2003) y de la lista de municipios de cada comarca riojana listada en la Tabla 3.1, obtenida de la página web de la CHE. De esta forma, las superficies ocupadas por distintos cultivos en las comarcas agrarias listadas en Gobierno de La Rioja (2003) se ponderaron por la proporción que cada una de ellas representaba de las comarcas de la Tabla 3.1.

En Navarra, se dispuso de la superficie ocupada por distintos cultivos en las principales zonas regables de la Comunidad Autónoma (Riegos de Navarra, 2003). Casi todas estas zonas se encuentran en las comarcas de Ribera Alta – Aragón y Ribera Baja Navarra. En las restantes comarcas navarras, las superficies ocupadas por distintos cultivos se obtuvieron de las estadísticas del INE de 1999.

En Cataluña, se dispuso de las publicaciones Generalitat de Catalunya (2000, 2002a, b), obtenidas en la página web del *Departament de Agricultura, Ramaderia i Pesca* (<http://www.gencat.net/darp/c/dades/publicac/public01.htm>). En la primera publicación, se listan estadísticas de superficies de ocupación muy detalladas para todo tipo de cultivos pero a nivel provincial. Asimismo, se listan las superficies regadas en las distintas comarcas catalanas definidas por la Generalitat de Catalunya (2000) que en este caso sí coinciden con las comarcas catalanas listadas en la Tabla 3.1. Las otras dos publicaciones listan estadísticas de ocupación de superficies de distintos cultivos leñosos en las comarcas de Lleida y Tarragona. En base a estas cifras, se estimaron superficies de ocupación comarcales para los distintos cultivos, herbáceos y leñosos.

En Castilla y León, se utilizaron estadísticas de ocupación de cultivos a escala provincial (Burgos, Soria y Palencia) disponibles en la página web de la Junta de Castilla y León ([www.jcyl.es](http://www.jcyl.es)). Estas estadísticas se refieren al avance de la campaña 2003-2004. Asimismo, se utilizaron las estadísticas por comunidades autónomas disponibles para 2003 en la página web del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPYA) ([www.mapya.es](http://www.mapya.es)). Ambas fuentes estadísticas se combinaron con las del INE de 1999 para estimar las superficies de ocupación de los cultivos en las comarcas de Castilla y León listadas en la Tabla 3.1. En las comarcas de Castilla La Mancha, País Vasco, Cantabria y Comunidad Valenciana listadas en la Tabla 3.1 se utilizaron las estadísticas del MAPYA de 2003 y del INE de 1999 para estimar dichas superficies.

En todas las comunidades autónomas, una vez estimadas las superficies ocupadas por los distintos cultivos en las diferentes comarcas, se siguieron los mismos criterios que en Aragón para seleccionar los cultivos. Posteriormente, algunos cultivos seleccionados en algunas comarcas, como plantas madres de viñas portainjertos o viveros, se eliminaron de la selección por no existir suficiente información adecuada sobre sus coeficientes de cultivo o sobre su fenología. Asimismo, en el caso de una buena parte de los cultivos frutales y hortícolas, se decidió establecer, en general, dos o tres tipos diferentes en función de diferencias

varietales en fechas de recolección y longitud de ciclo y en función de las características climáticas de las comarcas donde esos cultivos fueron seleccionados.

### 3.5.2. Información fenológica de los cultivos

Para el cálculo de los coeficientes de cultivo (sección 3.6) siguiendo la metodología de la FAO descrita en Allen et al. (1998), los ciclos de cultivo se deben dividir en cuatro fases:

- a) Fase inicial. Desde siembra o transplante hasta que se alcanza aproximadamente un 10 % de suelo sombreado.
- b) Fase de desarrollo. Desde el final de la fase inicial hasta que se alcanza la cobertura efectiva completa (70-80 % de suelo sombreado).
- c) Fase de mediados. Desde el final de la fase de desarrollo hasta que se producen los primeros síntomas de senescencia del cultivo.
- d) Fase final. Desde el final de la fase de mediados hasta la madurez fisiológica o cosecha del cultivo.

Esta es la división clásica de la FAO de las etapas de los ciclos de cultivo que ya se había propuesto en Doorenbos y Pruitt (1976). Esta división suele adaptarse de forma relativamente aceptable a los ciclos de los cultivos extensivos pero presenta problemas importantes en algunos cultivos hortícolas y, sobre todo, en cultivos frutales para su correcta identificación.

El trabajo de CHE (1993a) presenta una división de los ciclos de algunos cultivos herbáceos (alcachofa, alfalfa, arroz, cebada, coliflor, espárrago, girasol, guisante verde, judía verde, lechuga, maíz, melón, patata, pimiento, remolacha azucarera, tabaco, tomate, trigo y zanahoria) con el fin de adaptar las etapas fenológicas definidas por la FAO a la fenología fácilmente observable en campo para esos cultivos. En CHE (1993a) no se indica cómo se estableció la equivalencia entre aquéllas y ésta, si se realizaron medidas experimentales o si se debió a un exhaustivo trabajo bibliográfico. Sólo se indica que en algún caso se realizaron consultas al Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias en La Rioja (actualmente Centro de Investigación y Desarrollo Agrario de La Rioja, CIDA) y al Instituto Técnico y de Gestión Agrícola (ITGA, entonces ITGC) de Navarra. Asimismo, las fechas de ocurrencia de las distintas etapas fenológicas establecidas en CHE (1993a) se obtuvieron de un exhaustivo trabajo de encuestas en campo por lo que, en principio, se debería suponer que la precisión de esas fechas debería ser alta. En CHE (1993a), sin embargo, no se presentó información de fechas de ocurrencia de las etapas fenológicas de los cultivos frutales y otros leñosos.

En base a encuestas realizadas a los Agentes de Extensión Agraria de Aragón por Tejero Juste (2003), a la información fenológica de Girona (1996) para Cataluña, a la de CHE (1999) para La Rioja, Navarra, Aragón y Cataluña, y a consultas con expertos en fruticultura del Gobierno de Aragón (Joaquín Gómez Aparisi, com. pers.), se decidió establecer la siguiente división de las cuatro fases en cultivos frutales:

- 1) Frutales de hueso (albaricoquero, cerezo, ciruelo y melocotonero): a) fase inicial, desde desborre de yemas a la floración; b) fase de desarrollo, hasta el endurecimiento del hueso; c) fase de mediados, hasta unos 10 días después de la recolección; d) fase final, hasta la caída de las hojas.
- 2) Frutales de pepita (manzano y peral): a) fase inicial, desde desborre de yemas a la floración; b) fase de desarrollo, hasta unos 15 días antes del aclareo fisiológico; c) fase de mediados, hasta 10 días después de la recolección; d) fase final, hasta la caída de las hojas.
- 3) Almendro: a) fase inicial, desde desborre de yemas a la floración; b) fase de desarrollo, hasta que el fruto está totalmente formado; c) fase de mediados, hasta la cosecha; d) fase final, hasta la caída de las hojas.

En el viñedo se consultó a Riegos de Navarra (Idoia Ederra, com. pers.), a CHE (1999), a la Oficina del Regante del Gobierno de Aragón (Miguel Ortega, com. pers.) y a Pérez Marín (1991). De resultados de lo cual, se establecieron las cuatro fases siguientes: a) fase inicial, desde la yema algodón hasta la mitad del periodo entre la brotación y la floración; b) fase de desarrollo, hasta el cuajado; c) fase de mediados, hasta la vendimia; d) fase final, hasta la caída de las hojas.

El número de cultivos seleccionados en cada comarca en CHE (1993a) fue bastante menor en casi todos los casos al número de cultivos seleccionado en este trabajo. Por ello, para un número apreciable de cultivos y comarcas, no se dispuso de la información fenológica requerida en el trabajo de CHE (1993a). Por tanto, se decidió consultar otras fuentes aunque una dificultad añadida fue la diferente división comarcal empleada en este trabajo (derivada de la que se dispone en la página web de la CHE) y la utilizada en los trabajos que se citan a continuación o la definida oficialmente en las distintas comunidades autónomas.

Se consultó la información fenológica proporcionada para Aragón por Martínez Cob et al. (1998), los cuales obtuvieron la misma mediante encuestas realizadas a Agentes de Extensión Agraria. Martínez-Cob et al. (1998) tampoco proporcionaron información fenológica para frutales y otros leñosos.

Asimismo, se consultó la información fenológica que se emplea en la actualidad en Riegos de Navarra para establecer recomendaciones de riego a los regantes de Navarra (Idoia Ederra, com. pers.). En esta información no se realiza ninguna distinción comarcal ya que la misma se emplea fundamentalmente en las zonas regables de las comarcas de Ribera Baja Navarra y Ribera Alta-Aragón. Según Idoia Ederra (com. pers.) no se observaron diferencias significativas en la fenología de cultivos entre ambas comarcas cuando dicha información se recopiló experimentalmente con la participación de técnicos del ITGA de Navarra. Curiosamente, en la información fenológica utilizada por Riegos de Navarra se observaron algunas contradicciones con la información suministrada por CHE (1993a) a pesar de que tanto este último como Riegos de Navarra justifican la información en base a campañas experimentales desarrolladas por el ITGA de Navarra.

Otra fuente de información consultada fue la de Girona (1996) que ofrece un resumen de fenología de distintos cultivos en Cataluña. De nuevo, en este trabajo no se indican diferencias comarcales, aunque sí de tipos de cultivo, básicamente en frutales. No obstante, la información de Girona (1996) se usa en las recomendaciones de riego que el *Servei de Recomanacions de Reg* de Cataluña (<http://www.ruralcat.net/ruralcatApp/regcalcul.ruralcat?sectorid=5&jsp=reg>) ofrece a sus regantes.

También se consultaron la información fenológica suministrada para algunos cultivos herbáceos a escala regional por el Sistema Inforiego de Castilla y León a través de su página web ([http://www.jcyl.es/jcyl/cag/dgdr/riac/inforiego\\_ie.html](http://www.jcyl.es/jcyl/cag/dgdr/riac/inforiego_ie.html)) y a escala provincial por CEDEX (1996). Otros dos trabajos consultados fueron el de CHE (1999), donde se proporcionan fechas de floración y de recolección de diversas variedades de distintas especies frutales obtenidas mediante encuestas a Agentes de Extensión Agraria de Navarra, Aragón, La Rioja y Cataluña, y el de Tejero Juste (2003), donde se proporcionan fechas de duración de las cuatro fases del ciclo de cultivo para distintos tipos varietales de frutales en Aragón, también obtenidas de encuestas a Agentes de Extensión Agraria.

La información fenológica suministrada por estas fuentes se comparó detalladamente con el fin de reducir en lo posible algunas contradicciones observadas en algunos casos. En general, se dio prioridad a la información de la CHE (1993a) y, en el caso de frutales, a CHE (1999) y Girona (1996) pero también se procuró que la información fenológica obtenida no difiriera significativamente de los valores tabulados por Allen et al. (1998) en lo que se refiere a la proporción de la duración de cada una de las cuatro fases respecto a la duración total del ciclo.

De esta forma, se pudo recopilar información fenológica para un número importante de los cultivos seleccionados en este trabajo. Aún así quedaron otros cultivos, sobre todo hortícolas, leguminosas grano y forrajeras, cuya información fenológica no se encontró en las fuentes antes citadas. En estos casos, se consultó a Agentes de Extensión Agraria e investigadores de la cuenca del Ebro (Miguel Ortega, Ignacio Delgado, Miguel Gutiérrez, Alfonso Pardo, Joan Girona, com. pers.) y a distintas publicaciones (Martínez Planas y Tico Roig, 1974; Guerrero García, 1982, 1992; Rincón y Saez, 1996; Sajardo et al., 1999; Moreno Valencia et al., 2000; Maroto, 2002; Gutiérrez López, 2004; Imas y Blázquez, 2004) para obtener, al menos, las fechas del inicio y del final del ciclo de cultivo. A partir de esta información se determinó la duración de las cuatro fases definidas por la FAO suponiendo que los valores tabulados en Allen et al. (1998) son correctos en cuanto a la proporción de la duración de cada fase respecto a la duración total del ciclo.

### 3.6. Coeficientes de cultivo

La metodología FAO (Allen et al., 1998) de cálculo de los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) consiste en los siguientes pasos: a) cálculo del  $K_c$  en la fase inicial ( $K_{c_{ini}}$ ); b) cálculo del  $K_c$  en la fase de mediados ( $K_{c_{med}}$ ); c) cálculo del  $K_c$  en la fase final ( $K_{c_{fin}}$ ); d) construcción de la curva del  $K_c$ . Salvo que se indique otra cosa, todas las fórmulas y procedimientos descritos en esta sección se describen

detalladamente en Allen et al. (1998). Para realizar estos cálculos se utilizaron los valores de duración de cada una de las 4 fases de cultivo recopilados como se describe en la sección 3.5.2. Asimismo, recuérdese que el cálculo de coeficientes de cultivo se realizó siempre para cada combinación de cultivo y comarca.

#### Cálculo del coeficiente de cultivo en la fase inicial

Durante la fase inicial, la evapotranspiración de un cultivo ( $ET_c$ ) depende fundamentalmente de la evaporación de agua desde la superficie del suelo puesto que la planta tiene todavía un tamaño pequeño, escaso desarrollo radicular y apenas cubre el suelo por lo que la transpiración es reducida. Por tanto, durante la fase final, la  $ET_c$  depende casi exclusivamente de que exista agua en la superficie del suelo susceptible de ser evaporada. La existencia de este agua depende a su vez de la frecuencia de humedecimiento de esa superficie del suelo y de la demanda evaporativa de la atmósfera, es decir de la  $ET_0$ .

La frecuencia de humedecimiento de la superficie del suelo engloba a la frecuencia de precipitaciones y a la frecuencia de riegos durante esta fase inicial. En este trabajo sólo se ha considerado la frecuencia de precipitación ( $f_{pr}$ ). No se ha considerado la frecuencia de riegos porque depende del sistema de riego y de otras prácticas culturales por lo que la casuística a considerar es diversa y sería difícil tenerla en cuenta en un trabajo de estas características en el que se han seleccionado ya un gran número de comarcas y cultivos.

La frecuencia de precipitación se define como el intervalo medio entre dos eventos de precipitación. En este trabajo, se ha considerado como evento de precipitación todo registro de precipitación diaria superior a 2.0 mm. En cada estación meteorológica pluviométrica seleccionada (Tabla 3.3), para cada mes, se contabilizó el número total de eventos de precipitación y se dividió por el número total de días en la serie histórica de ese mes. La inversa del valor resultante fue la frecuencia de precipitación ( $f_{pr}$ ) media mensual para un año medio obtenida para ese mes y estación pluviométrica. De esta forma, se obtuvieron 12 valores de  $f_{pr}$  en cada estación. Posteriormente, en los centroides comarcales (Tabla 3.4) se estimaron 12 valores mensuales de  $f_{pr}$  aplicando la ecuación (3.1). En el CD adjunto se almacena la base de datos *ConvenioCHE2004Meteo.mdb*, cuya tabla *FrecPrecMes\_AñoMedio* contiene los valores medios mensuales (año medio) de frecuencia de precipitación calculados en las 438 estaciones pluviométricas seleccionadas.

Para cada cultivo y comarca se calcularon los promedios de  $ET_0$  y  $f_{pr}$  (para un año medio) durante la fase inicial de ese cultivo en esa comarca. Suponiendo que la fase inicial transcurre por  $j$  meses, estos promedios se obtuvieron a partir de los correspondientes valores mensuales (año medio) ponderados con como sigue:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^j n_i x_i}{N_{ini}} \quad (3.4)$$

donde:  $\bar{x}$ , media ponderada de la  $ET_0$  ( $\overline{ET_0}$ ) o la  $f_{pr}$  ( $\overline{f_{pr}}$ ) durante la fase inicial;  $x_i$ , valor medio mensual de la  $ET_0$  o la  $f_{pr}$  en el mes  $i$ ;  $n_i$ , número de días que hay del mes  $i$  en la fase inicial;  $N_{ini}$ , duración total de la fase inicial por lo que  $N_{ini} = \sum_{i=1}^j n_i$ .

El cálculo del coeficiente de cultivo durante la fase inicial se basa en que el proceso de evaporación de agua de la superficie del suelo se realiza en dos etapas. En la primera etapa, la evaporación sólo depende de la demanda evaporativa de la atmósfera y, por tanto, la tasa de evaporación,  $E_{s0}$ , es proporcional a la tasa de  $ET_0$ . Esta etapa transcurre hasta que se ha evaporado una altura de agua igual a la denominada *agua fácilmente evaporable* ( $REW$ ). En la segunda etapa, la tasa de evaporación de agua del suelo empieza a disminuir a medida que la superficie del suelo se va secando y la conductividad hidráulica del suelo no es capaz de mantener una tasa de ascenso capilar equivalente a la demanda evaporativa de la atmósfera.

Allen et al. (1998) propusieron que  $E_{s0} = 1.15 \overline{ET_0}$ . La duración de la etapa 1 de evaporación,  $t_1$ , se calculó como el cociente entre  $REW$  y  $E_{s0}$ . En cuanto, a la variable  $REW$  se calculó con la siguiente expresión:

$$REW = \min \left[ \max \left( 2.5, \frac{6}{\overline{ET_0}^{0.5}} \right), 7 \right] \quad (3.5)$$

Por tanto, para cada combinación de cultivo y comarca, el coeficiente de cultivo en la fase inicial,  $Kc_{ini}$ , se calculó con la siguiente expresión:

$$Kc_{ini} = \frac{\left\{ 10 - (10 - REW) \exp \left[ \frac{-(\overline{f_{pr}} - t_1) E_{s0} \left( 1 + \frac{REW}{10 - REW} \right)}{10} \right] \right\}}{\overline{f_{pr}} \overline{ET_0}} \quad (3.6)$$

si  $t_1 < \overline{f_{pr}}$ ; en caso contrario,  $Kc_{ini} = 1.15$ .

Esta ecuación es válida sólo si se considera que la intensidad media de los eventos de precipitación es menor de 10 mm. Si se hubiera considerado una intensidad mayor, hubiera sido necesario tener en cuenta si los suelos eran ligeros, medios o gruesos para poder aplicar correctamente la metodología descrita por Allen et al. (1998). De nuevo, el gran número de casos ya contemplado en este trabajo (cada combinación de cultivo y comarca) llevó a descartar la consideración de qué posible textura podría tener el suelo de cultivo.

En el arroz, Allen et al. (1998) presentan valores tabulados de  $Kc_{ini}$  en función de los promedios de humedad relativa mínima y velocidad de viento durante la fase inicial. La justificación es que este cultivo se realiza con una lámina permanente de agua. Por ello, en este trabajo, para aquellas comarcas en que se seleccionó el arroz, se calcularon los promedios ponderados de la humedad relativa mínima y la velocidad de viento durante la fase inicial mediante la ecuación (3.4) y,

posteriormente, se escogió el coeficiente tabulado (Allen et al., 1998) más adecuado a los valores obtenidos de estas dos variables meteorológicas.

#### Cálculo del coeficiente de cultivo en la fase de mediados

Para cada comarca y modalidad de cultivo, el valor de  $Kc_{med}$  se calculó con la siguiente expresión:

$$Kc_{med} = Kc_{medTab} + [0.04 (\overline{U}_{med} - 2) - 0.004 (\overline{HRn}_{med} - 45)] \left( \frac{hc_{max}}{3} \right)^{0.3} \quad (3.7)$$

donde:  $Kc_{medTab}$ , valor tabulado de  $Kc_{med}$  para el cultivo en cuestión en Allen et al. (1998);  $\overline{U}_{med}$ , media de la velocidad del viento a 2 m de altura durante la fase de mediados;  $\overline{HRn}_{med}$ , media de la humedad relativa mínima durante la fase de mediados;  $hc_{max}$ , máxima altura esperada del cultivo en cuestión, valor que se ha obtenido de las tablas de Allen et al. (1998). Los valores de  $\overline{U}_{med}$  y  $\overline{HRn}_{med}$  se obtuvieron como medias ponderadas de los correspondientes valores medios mensuales interpolados en los centroides comarcales mediante la ecuación (3.4). La Tabla 3.7 lista los valores de  $Kc_{medTab}$  y  $hc_{max}$  disponibles en Allen et al. (1998) para los cultivos seleccionados en este trabajo.

#### Cálculo del coeficiente de cultivo en la fase final

Para cada comarca y modalidad de cultivo, el valor de  $Kc_{fin}$  se calculó con la siguiente expresión:

$$Kc_{fin} = Kc_{finTab} + [0.04 (\overline{U}_{fin} - 2) - 0.004 (\overline{HRn}_{fin} - 45)] \left( \frac{hc_{max}}{3} \right)^{0.3} \quad (3.8)$$

donde:  $Kc_{finTab}$ , valor tabulado de  $Kc_{fin}$  para el cultivo en cuestión en Allen et al. (1998);  $\overline{U}_{fin}$ , media de la velocidad del viento a 2 m de altura durante la fase final;  $\overline{HRn}_{fin}$ , media de la humedad relativa mínima durante la fase final. Los valores de  $\overline{U}_{fin}$  y  $\overline{HRn}_{fin}$  se obtuvieron como medias ponderadas de los correspondientes valores medios mensuales interpolados en los centroides comarcales mediante la ecuación (3.4). La Tabla 3.7 lista los valores de  $Kc_{finTab}$  disponibles en Allen et al. (1998) para los cultivos seleccionados en este trabajo.

#### Construcción de la curva de coeficientes de cultivo

Para cada cultivo y comarca, la curva de coeficientes de cultivo se determinó en dos etapas. En la primera etapa, se establecieron valores diarios de  $Kc$  durante todos los días de duración del ciclo de cultivo. En la segunda etapa, los valores diarios se promediaron por meses naturales para obtener medias mensuales de los correspondientes  $Kc$ . En el primer y último meses de cada ciclo de cultivo, los valores medios mensuales de  $Kc$  sólo se calcularon con los días de esos meses en que se calcularon valores diarios de  $Kc$ .

Tabla 3.7. Valores de  $KC_{medTab}$ ,  $KC_{finTab}$  y  $hc_{max}$  tabulados en Allen et al. (1998) para los cultivos seleccionados en este trabajo.

Cultivo	$KC_{medTab}$	$KC_{finTab}$	$hc_{max}$	Observaciones
Acelga	1.00	0.95	0.30	Valores tabulados por Allen et al. (1998) para la espinaca (Martínez-Cob et al., 1998; Idoia Ederra, com. pers.)
Ajo	1.00	0.70	0.30	
Albaricoquero	0.90	0.20	3.00	Allen et al. (1998) sugieren este valor de $KC_{finTab}$ en la nota 18 de su Tabla 12, similar a lo recomendado por Girona (1996)
Alcachofa	1.00	0.95	0.70	
Alfalfa	1.20	1.15	0.70	
Almendro	0.90	0.20	5.00	Allen et al. (1998) sugieren este valor de $KC_{finTab}$ en la nota 18 de su Tabla 12, similar a lo recomendado por Girona (1996)
Apio	1.05	1.00	0.60	
Arroz	1.20	0.90	1.00	
Avellano	1.10	0.20	4.00	Valores tabulados por Allen et al. (1998) para el nogal
Avena	1.15	0.25	1.00	
Ballico	1.05	1.00	0.30	
Berenjena	1.05	0.90	0.80	
Borraja	1.00	0.95	0.60	Valores tabulados por Allen et al. (1998) para la espinaca (Idoia Ederra, com. pers.)
Brócoli	1.05	0.95	0.30	
Calabacín	0.95	0.75	0.30	
Cardo	1.00	0.95	0.70	Valores tabulados por Allen et al. (1998) para la alcachofa (Idoia Ederra, com. pers.)
Cebada	1.15	0.25	1.00	
Cebolla	1.05	0.75	0.40	
Cerezo	0.95	0.20	4.00	Allen et al. (1998) sugieren este valor de $KC_{finTab}$ en la nota 18 de su Tabla 12, similar a lo recomendado por Girona (1996)
Ciruelo	0.90	0.20	3.00	Allen et al. (1998) sugieren este valor de $KC_{finTab}$ en la nota 18 de su Tabla 12, similar a lo recomendado por Girona (1996)
Col repollo	1.05	0.95	0.40	
Col de Bruselas	1.05	0.95	0.40	
Coliflor	1.05	0.95	0.40	
Colza	1.15	0.35	0.60	
Escarola	1.00	0.95	0.30	Valores tabulados por Allen et al. (1998) para la lechuga
Esparceta	1.20	1.15	0.70	Valores tabulados por Allen et al. (1998) para alfalfa
Espárrago	0.95	0.30	0.80	Allen et al. (1998) y Pardo et al. (1997).
Espinaca	1.00	0.95	0.30	
Fresa	0.85	0.75	0.20	
Girasol	1.15	0.35	2.00	
Guisante grano	1.15	0.30	0.50	
Guisante verde	1.15	1.10	0.50	
Haba verde	1.15	1.10	0.80	
Judía grano	1.15	0.35	0.40	
Judía verde	1.05	0.90	0.40	

Tabla 3.7. (Continuación).

Cultivo	$Kc_{medTab}$	$Kc_{finTab}$	$hc_{max}$	Observaciones
Lechuga	1.00	0.95	0.30	
Maíz forrajero	1.20	1.00	2.00	
Maíz grano	1.20	0.35	2.00	
Manzano	0.95	0.20	4.00	Allen et al. (1998) sugieren este valor de $Kc_{finTab}$ en la nota 18 de su Tabla 12, similar a lo recomendado por Girona (1996)
Melocotonero	0.90	0.20	3.00	Allen et al. (1998) sugieren este valor de $Kc_{finTab}$ en la nota 18 de su Tabla 12, similar a lo recomendado por Girona (1996)
Melón	1.05	0.75	0.40	
Nogal	1.10	0.20	4.50	Allen et al. (1998) sugieren este valor de $Kc_{finTab}$ en la nota 18 de su Tabla 12, similar a lo recomendado por Girona (1996)
Patata	1.15	0.75	0.60	
Peral	0.95	0.20	4.00	Allen et al. (1998) sugieren este valor de $Kc_{finTab}$ en la nota 18 de su Tabla 12, similar a lo recomendado por Girona (1996)
Pimiento	1.05	0.90	0.70	
Praderas polifitas	1.15	1.10	0.60	Valores tabulados por Allen et al. (1998) para trébol
Puerro	1.05	0.75	0.40	Valores tabulados por Allen et al. (1998) para la cebolla (seca)
Remolacha azucarera	1.20	0.70	0.50	
Romanesco	1.05	0.95	0.40	Valores tabulados por Allen et al. (1998) para las crucíferas
Sandía	1.00	0.75	0.40	
Soja	1.15	0.50	0.75	
Sorgo	1.00	0.55	1.00	
Tomate	1.15	0.90	0.60	Para seleccionar $Kc_{finTab}$ se consideró el caso de cosecha en fresco
Trébol	1.15	1.10	0.60	
Trigo	1.15	0.25	1.00	Valores tabulados por Allen et al. (1998) para trigo de primavera
Veza forrajera	1.15	0.90	1.00	Martínez-Cob et al. (1998) (pero $Kc_{medTab}=1.15$ )
Veza grano	1.15	0.30	0.70	Valores tabulados por Allen et al. (1998) para leguminosas grano
Viñedo	0.70	0.45	1.50	Valores tabulados por Allen et al. (1998) para viñedo para vinificación

Para establecer los valores diarios de  $Kc$  se siguieron los siguientes criterios:

- Durante todos los días de la fase inicial, los valores diarios de  $Kc$  fueron iguales a  $Kc_{ini}$ .
- Durante los días de la fase de desarrollo se realizó una interpolación lineal entre  $Kc_{ini}$  y  $Kc_{med}$  con la siguiente expresión:

$$Kc_{di} = Kc_{ini} + \frac{Kc_{med} - Kc_{ini}}{F2} (D_i - D_{fini}) \quad (3.9)$$

donde:  $Kc_{di}$ , valor de  $Kc$  en el día  $i$  de la fase de desarrollo;  $F2$ , duración (días) de la fase de desarrollo;  $D_i$ , fecha (día del año) del día  $i$ ;  $D_{fini}$ , fecha (día del año) del último día de la fase inicial.

- c) Durante todos los días de la fase de mediados, los valores diarios de  $K_c$  fueron iguales a  $K_{C_{med}}$ .
- d) Durante los días de la fase final se realizó una interpolación lineal entre  $K_{C_{med}}$  y  $K_{C_{fin}}$  con la siguiente expresión:

$$K_{C_{fi}} = K_{C_{med}} + \frac{K_{C_{fin}} - K_{C_{med}}}{F4} (D_i - D_{fmed}) \quad (3.10)$$

donde:  $K_{C_{fi}}$ , valor de  $K_c$  en el día  $i$  de la fase final;  $F4$ , duración (días) de la fase final;  $D_i$ , fecha (día del año) del día  $i$ ;  $D_{fmed}$ , fecha (día del año) del último día de la fase de mediados.

- e) En el último día del ciclo, el valor de  $K_c$  se igualó a  $K_{C_{fin}}$ .

Con el procedimiento descrito, se obtuvieron  $k$  valores mensuales de  $K_c$  para cada cultivo y comarca, siendo  $k$  el número de meses con presencia en el campo de ese cultivo en esa comarca. Los mismos  $k$  valores mensuales de  $K_c$  se aplicaron en el cálculo de la evapotranspiración de referencia (sección 3.7) en todos los años de 1961 a 2002 en que se calcularon estimas mensuales de  $ET_0$  (sección 3.4).

Hasta aquí se ha descrito la metodología de cálculo de los  $K_c$  utilizado en la mayoría de los cultivos. Sin embargo, en algunos cultivos, el procedimiento de cálculo fue algo distinto. Estas excepciones se describen a continuación.

### Casos especiales

#### *Cultivos forrajeros*

En los cultivos forrajeros (excepto maíz forrajero y veza forrajera) se consideró que a lo largo del año se producen varios ciclos de corte. Por tanto, en este caso la fenología que se definió fueron las fechas de cada corte y las fechas de ocurrencia de las cuatro etapas fenológicas definidas por Allen et al. (1998) dentro de cada ciclo de corte. A efectos del cálculo de los  $K_c$ , cada ciclo de corte se trató como si fuera un *cultivo* y se aplicaron las ecuaciones (3.4) a (3.10) como se ha descrito anteriormente. Una vez obtenida la curva de  $K_c$  para todos los ciclos de corte de un determinado cultivo en una determinada comarca, se procedió a calcular valores mensuales de  $K_c$  promediando todos los valores obtenidos en cada mes individual independientemente del ciclo de corte al que pertenecían.

#### *Cítricos*

En cuanto a los cítricos (limonero, mandarino y naranjo), la única información disponible fue la de Girona (1996) y la proporcionada por investigadores del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (Juan Ramón Castel, com. pers.). En base a esta información se decidió utilizar el mismo conjunto de 12 valores mensuales de  $K_c$  para cada comarca y cada uno de los tres cultivos cítricos considerados (Tabla 3.8). En este trabajo, los cítricos sólo se seleccionaron en las comarcas catalanas de Baix Ebre, Montsià, Ribera D'Ebre y, en el caso del mandarino, Terra Alta.

Tabla 3.8. Valores mensuales de  $K_c$  seleccionados para los cultivos cítricos (Girona, 1996).

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0.66	0.66	0.66	0.61	0.55	0.61	0.68	0.78	0.80	0.84	0.75	0.63

### Olivar

En el caso del olivar, Allen et al. (1998) presentan valores tabulados de  $K_c$  para ser aplicados siguiendo la metodología anteriormente descrita. Girona (1996) recomienda usar esos valores con ligeras modificaciones. Sin embargo, Allen et al. (1998), en la nota 24 de su Tabla 12, también proponen utilizar los  $K_c$  de olivar obtenidos en el sur de España por Pastor y Orgaz (1994) para una superficie sombreada del 60 %. Fernández et al. (1998) indican que los valores de Pastor y Orgaz (1994) se deberían incrementar en 0.05 aunque, extrañamente, Fernández et al. (1998) indican que este aumento se debe realizar para una superficie de suelo sombreado del 34 %. Pastor y Orgaz (1994) supusieron que la evaporación de suelo es despreciable. Sin embargo, Orgaz y Fereres (1997), también para el sur de España, recomiendan unos valores algo más altos de  $K_c$  del olivar ya que consideran que dicha evaporación pudiera ser de importancia.

En este trabajo, se supuso que las plantaciones de olivar de la cuenca del Ebro no tienen cubierta vegetal permanente entre los árboles, es decir, se consideró que el suelo entre árboles está desnudo. Asimismo, se consideró que la mayor parte de las plantaciones de olivar en regadío se riegan por goteo por lo que la mayor parte del suelo desnudo de dichas plantaciones sólo evapora agua si se producen eventos de precipitación. Por tanto, en todas las comarcas donde se seleccionó el olivar, se decidió utilizar los 12 valores mensuales de  $K_c$  propuestos por Pastor y Orgaz (1994), salvo en algunas comarcas donde la climatología general es más húmeda; en estos casos, se decidió utilizar los 12 valores mensuales de Orgaz y Fereres (1997) (Tabla 3.9). Los números  $NCO$  (Tabla 3.1) de las 48 comarcas donde se utilizaron los  $K_c$  mensuales de Pastor y Orgaz (1994) son los siguientes:

13	29	31	32	33	35	36	52	53	54	55	56	57
58	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	72
73	74	75	77	78	79	80	82	83	84	96	97	98
99	100	103	104	105	106	107	108	109				

Tabla 3.9. Valores mensuales de  $K_c$  seleccionados para el olivar. Fuentes: *PO*, Pastor y Orgaz (1994); *OF*, Orgaz y Fereres (1997).

Fuente	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>PO</i>	0.50	0.50	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45	0.45	0.55	0.60	0.65	0.50
<i>OF</i>	0.65	0.65	0.65	0.60	0.55	0.55	0.50	0.50	0.55	0.60	0.65	0.65

Los números  $NCO$  (Tabla 3.1) de las 11 comarcas donde se utilizaron los  $K_c$  mensuales de Orgaz y Fereres (1997) son los siguientes:

22	27	34	45	47	48	49	50	51	93	94
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

### Endrino

El endrino sólo se seleccionó en la comarca navarra de Ribera Alta – Aragón. En este caso, se decidió utilizar los valores mensuales de  $K_c$  que se utilizan en Riegos de Navarra (Idoia Ederra, com. pers.) y que se listan en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Valores mensuales de  $K_c$  del endrino (Idoia Ederra, com. pers.).

Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct
0.40	0.40	0.61	0.80	0.80	0.79	0.62	0.41

### Viñedo

En este trabajo sólo se consideró el caso de viñedo para vinificación. En este cultivo, es práctica habitual cortar por completo el riego durante cierto periodo del ciclo de cultivo; de hecho, en las zonas con denominación de origen está prohibido el riego durante parte de su ciclo de cultivo. Por ello, de acuerdo con Pérez Marín (1991), Miguel Ortega (com. pers.) e Idoia Ederra (com. pers.), se decidió dividir la fase de mediados en dos partes: a) desde el inicio de la fase de mediados hasta el envero; b) desde el envero hasta la recolección. Durante la primera parte de la fase de mediados, el cálculo de  $K_c$  se realizó como se describió anteriormente para la generalidad de los cultivos, mientras que en la segunda parte de la fase de mediados, se utilizó un valor de  $K_c = 0.0$  (es decir,  $ET_c = 0.0$ ). Durante el resto del ciclo de cultivo del viñedo, el cálculo de  $K_c$  se realizó como se describió anteriormente para la generalidad de los cultivos.

### Riego deficitario

En los cultivos frutales, un importante número de agricultores realiza riegos deficitarios durante parte de su ciclo de cultivo. Una de las razones que mueve a estos agricultores a disminuir la dosis de riego durante esos periodos es evitar un excesivo crecimiento vegetativo del árbol que redundaría en un aumento de los costes de poda en el año siguiente. Asimismo, en bastantes ocasiones se busca optimizar el uso del agua de riego sobre todo cuando las dotaciones concedidas no son suficientes para satisfacer las necesidades máximas del cultivo. Existe cierta controversia sobre los momentos más adecuados para realizar estos riegos deficitarios (es decir, riegos con dotaciones inferiores a las máximas) en los distintos cultivos frutales (CHE, 1999). Asimismo, para realizar un adecuado riego deficitario controlado se necesita conocer la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo para evitar un estrés hídrico excesivo al cultivo.

Como ya se ha repetido en ocasiones anteriores, en este trabajo el número de casos contemplados, resultado de la combinación de cultivo y comarca, ha sido bastante alto. Por ello, se pensó que superaba los límites de este trabajo el considerar toda la casuística relacionada con la aplicación de riegos deficitarios controlados de manera adecuada a cada cultivo frutal y tipo de suelo. Por ello, se decidió realizar una aproximación muy general mediante la estimación de las necesidades hídricas de algunos frutales de dos formas: a) mediante la aplicación de la metodología general de cálculo de los  $K_c$  antes descrita; b) mediante el empleo de

un coeficiente reductor ( $K_{rd}$ ) de los  $K_c$  en determinados periodos en el caso de algunos frutales. Este segundo caso se calculó más bien a modo de ejemplo de la reducción relativa de las necesidades hídricas netas del cultivo que se podría producir si se considerara el caso de un riego deficitario. Los cultivos frutales en los que se decidió usar este coeficiente  $K_{rd}$  fueron almendro, cerezo y melocotonero.

Por tanto, en el caso de estos tres frutales, para cada tipo varietal considerado (temprano, media estación y tardío), se calcularon las necesidades hídricas netas para dos casos: a) el máximo donde  $K_c$  se calculó con las ecuaciones (3.4) a (3.10); y b) el correspondiente a un *riego deficitario* en donde se utilizó un coeficiente  $K_{rd}$ . Para establecer los periodos en que se aplicó este coeficiente reductor se siguieron los criterios de Girona (1996) y de Gómez Aparisi (com. pers.). En el caso del almendro, desde un mes después del inicio de la fase de mediados hasta la cosecha se aplicó un valor de  $K_{rd} = 0.20$ . En el cerezo, después de la cosecha se aplicó un valor de  $K_{rd} = 0.80$ . Por último, en el caso del melocotonero, se aplicó un valor de  $K_{rd} = 0.50$  desde el inicio de la fase de mediados hasta unos 25 días después, así como un valor de  $K_{rd} = 0.80$  después de la cosecha.

### 3.7. Evapotranspiración y necesidades hídricas netas de los cultivos

#### 3.7.1. Evapotranspiración de los cultivos

La evapotranspiración de los cultivos ( $ET_c$ , mm mes<sup>-1</sup>) se calculó con la siguiente expresión:

$$ET_c = ET_0 K_c N_{mes} \quad (3.11)$$

donde:  $N_{mes}$ , número de días de un determinado mes con presencia del cultivo; es decir, en el primer y último meses del ciclo de cultivo es el número de días de esos meses con presencia del cultivo; en los restantes meses,  $N_{mes}$  es el número de días del mes en cuestión.

Recuérdese que, en la ecuación (3.11), sólo los valores de  $ET_0$  variaron entre meses y años individuales, además de variar entre comarcas. Los valores de  $K_c$  y  $N_{mes}$  fueron los mismos para cada ciclo de cultivo para una comarca y cultivo particulares y, por tanto, no variaron entre años individuales.

El trabajo de CHE (1993a) utilizó dos factores de corrección en la ecuación (3.11) como se indicó en la sección 2.1.2. Estos factores fueron los de advección y los de potencial productivo del suelo. Sin embargo, en este trabajo se optó por no utilizarlos. En primer lugar, el establecimiento del factor de advección hubiera requerido la visita detallada de las estaciones seleccionadas para poder determinar las características que definen dicho factor. Pero las limitaciones de tiempo y materiales de este trabajo no permitieron realizar dicha tarea. Además, las estaciones seleccionadas en este trabajo fueron diferentes que las seleccionadas en CHE (1993a), fundamentalmente por escoger estaciones con al menos 20 años de datos, en vez de 7. No obstante, los autores de este trabajo son conscientes de que la exclusión del factor de advección pudiera introducir una incertidumbre adicional en

las estimas calculadas puesto que, efectivamente, los datos meteorológicos registrados en una determinada estación pudieran no ser los mismos que se registrarían en ese lugar si los alrededores de la estación fueran de regadío.

En cuanto al factor de potencial productivo del suelo, CHE (1993a) realizó un loable esfuerzo para su estimación en distintas zonas de la cuenca del Ebro. Sin embargo, ese cálculo se realizó a partir de los potenciales productivos de unos pocos cultivos y dividiendo la cuenca en zonas bastante grandes en las que, presumiblemente, pudieran existir diferencias importantes en cuanto a las características de sus suelos. Los autores de este trabajo, aunque admiten como razonable la justificación de CHE (1993a) para el uso de este factor, consideran que su estimación requiere de un conocimiento mayor de los suelos y de las respuestas de más cultivos a las características de los mismos que el que se utilizó en CHE (1993a). Además, la idea de este trabajo es la de calcular las necesidades hídricas de los cultivos en condiciones óptimas en las que las características de los suelos no sean limitantes del buen desarrollo de los cultivos.

### 3.7.2. Precipitación efectiva

Las necesidades hídricas brutas de los cultivos, definidas por la  $ET_c$ , pueden ser satisfechas parcialmente por la precipitación. Se conoce como precipitación efectiva ( $P_{ef}$ ) a aquella fracción de la precipitación que permanece en el suelo para satisfacer las necesidades de agua de un cultivo. En este trabajo, se decidió utilizar el método del del Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura de los EE.UU. tal como se describe en Cuenca (1989). Este método también se empleó en los estudios previos de CHE (1993a) y CEDEX (1996). Según este método, para cada cultivo y comarca determinadas, y para cada mes y año individuales,  $P_{ef}$  se calculó con la siguiente expresión:

$$P_{ef} = F_{ct} (1.25 P^{0.824} - 2.93) 10^{0.000955 ET_c} \quad (3.12)$$

donde  $P$  es la precipitación mensual del mes y año en cuestión ( $\text{mm mes}^{-1}$ );  $ET_c$  es la evapotranspiración de cultivo ( $\text{mm mes}^{-1}$ ) correspondiente calculada con la ecuación (3.11); y  $F_{ct}$  es un factor que depende de la altura de agua del suelo consumida entre dos riegos consecutivos. Si dicha altura es igual a 75 mm,  $F_{ct} = 1.0$ . En CHE (1993a) se empleó  $F_{ct} = 1.033$  y en CEDEX (1996) se empleó un valor variable de  $F_{ct}$ . Debido a que la altura de agua consumida entre dos riegos consecutivos depende del tipo de suelo y de la respuesta de cada cultivo a una disminución del contenido de agua del suelo, la consideración de este factor en la ecuación (3.12) desbordaría las posibilidades de este trabajo en el que el número de casos considerados (cultivos y comarcas) ya es bastante elevado. Por estas razones, se decidió en este trabajo usar el valor de  $F_{ct} = 1.0$  antes indicado en todos los casos, excepto en el arroz; en este cultivo, se decidió utilizar un valor de  $F_{ct} = 0.53$  que es el que equivale a una altura de agua del suelo consumida entre dos riegos consecutivos igual a 0, para así simular la situación frecuente en este cultivo de riego por superficie continuo.

Como se ha indicado en la sección (3.6), en el caso del almendro, cerezo y melocotonero, los cálculos de  $ET_c$  y de necesidades hídricas netas se realizaron

para dos casos: a) el correspondiente a un consumo máximo de agua; en este caso, se aplicó la ecuación (3.11) tal cual; b) el correspondiente a un 'riego deficitario controlado' en donde se utilizó un coeficiente  $Kr_{rd}$ ; en este caso, la ecuación (3.11) se modificó y se utilizó la siguiente expresión:

$$ET_c = ET_0 K_c Kr_{rd} N_{mes} \quad (3.13)$$

### 3.7.3. Necesidades hídricas netas de los cultivos

Asimismo, el agua almacenada en el suelo contribuye a satisfacer las necesidades hídricas brutas de un cultivo. Por ello, las necesidades hídricas netas de un determinado cultivo en una determinada comarca en el mes  $i$  ( $NHn_i$ ) se calcularon con la expresión:

$$NHn_i = ET_{c_i} - (As_{i-1} + Pef_i) \quad (3.14)$$

donde:  $ET_{c_i}$  y  $Pef_i$ , evapotranspiración del cultivo y precipitación efectiva en el mes  $i$ , respectivamente;  $As_{i-1}$ , agua almacenada en el suelo en el mes  $i-1$ . Si  $NHn_i$  en la ecuación (3.14) para el mes  $i$  es  $< 0$ , entonces  $NHn_i = 0$  para ese mes y el excedente de agua se almacena en el suelo; en este caso, el valor del agua almacenada en el suelo en el mes  $i$  ( $As_i$ ) para su uso en el mes siguiente se calculó con la expresión:

$$As_i = (As_{i-1} + Pef_i) - ET_{c_i} \quad (3.15)$$

En este trabajo se decidió utilizar un valor de 100 mm como límite para el valor de  $As_i$ ; es decir, si  $As_i$  en la ecuación (3.15) para un determinado mes superaba el valor de 100 mm, entonces  $As_i = 100$ . Se utilizó este valor por considerarlo como un valor representativo de los suelos medios de la cuenca del Ebro y por ser el valor utilizado en CHE (1993a).

Asimismo, para cada cultivo y comarca, en el primer mes del ciclo de cultivo, se consideró que  $As_{i-1} = 0$ . En la mayor parte de los casos, los ciclos de cultivo considerados fueron más cortos de 12 meses; por ello, al cambiar de año y empezar un nuevo ciclo de cultivo se consideró  $As_{i-1} = 0$  independientemente del valor de  $As_i$  en el último mes del ciclo del año anterior. Sólo en el caso de los cítricos, el olivar y (en algunas comarcas) la alcachofa, con ciclos de cultivo de 12 meses, el valor de  $As_i$  del último mes de cada ciclo anual se utilizó como valor de  $As_{i-1}$  para el siguiente ciclo anual.

Como ya se ha comentado, para cada cultivo y comarca, las ecuaciones (3.11) a (3.15) se aplicaron para cada mes  $i$  en el periodo 1961 a 2002 con presencia del cultivo. Por consiguiente, para cada cultivo, comarca y mes  $i$ , se obtuvieron 42 valores de  $ET_c$  y otros tantos de necesidades hídricas netas ( $NHn$ ). A partir de estos dos conjuntos de 42 valores, se calcularon los siguientes percentiles tanto para la  $ET_c$  como para la  $NHn$ : a) percentil 50 (mediana, probabilidad de ocurrencia del 50 %); b) percentil 80 (probabilidad de ocurrencia del 80 %); c) percentil 90 (probabilidad de ocurrencia del 90 %); y d) percentil 95 (probabilidad de ocurrencia del 95 %). Para realizar estos cálculos, para cada cultivo, comarca y mes  $i$ , los 42 valores de  $ET_c$  se ordenaron de menor a mayor y se determinaron aquellos valores con una frecuencia acumulada del 50, 80, 90 y 95 %, respectivamente. Lo

mismo se realizó para los valores de  $NHn$ . Para cada cultivo, comarca y mes  $i$ , los valores estacionales de  $ETc$  y  $NHn$  para un determinado nivel de probabilidad se obtuvieron sumando los correspondientes valores mensuales de ese nivel de ocurrencia.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Caracterización meteorológica comarcal

En la base de datos *ConvenioCHE2004CalculoKc.mdb*, almacenada en el CD adjunto a esta memoria, la tabla *EstimasComarcalesEToPr1961\_2002* contiene los valores mensuales de  $ET_0$  y precipitación interpolados en los 110 centroides comarcales para los años 1961 a 2002. Estos son los valores que se utilizaron en este trabajo para realizar los cálculos de evapotranspiración y necesidades hídricas de cultivos descritos en la sección 3.7 para cada uno de los cultivos seleccionados en las 110 comarcas estudiadas en el periodo de 1961 a 2002.

Asimismo, el Anejo 2 lista las medias mensuales para un año medio de las temperaturas máxima y mínima, precipitación, frecuencia de precipitación (intervalo medio entre dos eventos de precipitación), velocidad de viento a 2 m de altura y humedad relativa mínima que se calcularon en los 110 centroides comarcales. En el caso de la frecuencia de precipitación, la velocidad de viento y la humedad relativa mínima son los valores utilizados en el cálculo de los coeficientes de cultivo (sección 3.6). En el caso de las temperaturas máxima y mínima y de la precipitación, los valores del Anejo 2 se listan a modo de resumen de los valores listados en la base de datos mencionada en el párrafo anterior.

Los Anejos 3 y 4 muestran unos mapas de rangos de los valores de temperatura media y de precipitación mensuales y anuales obtenidos para un año medio en los centroides comarcales. Es decir, en cada centroide comarcal y mes son los promedios de los 42 valores obtenidos en el periodo 1961 a 2002. Estos mapas se han elaborado simplemente para obtener una valoración general de la variabilidad espacial de estas dos variables. En ambos casos, y a grandes rasgos, se observó una variación a lo largo del eje central del valle del Ebro así como otra variación de norte al sur en función de la elevación sobre el nivel del mar.

La Tabla 4.1 lista las diferencias obtenidas, dentro de cada mes, entre los valores comarcales más alto y más bajo de las distintas variables meteorológicas recopiladas en este trabajo y cuyos valores medios (año medio) se listan en la Tabla A2.1. Estos valores sugieren que existen diferencias importantes en las características meteorológicas entre las comarcas de la cuenca del Ebro. Así, por ejemplo, en el caso de la temperatura máxima, la diferencia entre los valores más alto y más bajo varió entre 6.2 °C en el mes de marzo y 8.8 °C en el mes de julio. Diferencias similares se observaron en el caso de la temperatura mínima. En el caso de la precipitación, esas diferencias variaron entre 48 mm en el mes de julio y 94 mm en el de noviembre. Hay que resaltar que estas diferencias son realmente menores que las que realmente se producen en la cuenca ya que se refieren a valores comarcales obtenidos por interpolación y todo proceso de interpolación reduce la variabilidad real de la variable interpolada. Asimismo, en el caso de la humedad relativa mínima y la velocidad del viento, el menor número de estaciones

utilizado en la interpolación y su distribución desigual en la cuenca (el mayor número de estaciones se localizaba en Cataluña, sección 3.3) fueron factores adicionales que redujeron las diferencias entre las distintas comarcas (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Diferencias obtenidas dentro de cada mes entre los valores comarcales más alto y más bajo de las distintas variables meteorológicas (año medio). *Tmax*, temperatura máxima. *Tmin*, temperatura mínima. *Prec*, precipitación. *FPr*, frecuencia de precipitación. *VelVto*, velocidad del viento a 2 m de altura. *HRmin*, humedad relativa mínima.

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
<i>Tmax</i> (°C)	7.0	6.9	6.2	7.3	8.5	8.3	8.8	7.8	6.4	7.5	7.2	8.6	6.6
<i>Tmin</i> (°C)	8.4	6.5	6.4	6.2	6.0	6.6	9.7	8.0	8.2	7.5	7.6	6.5	6.9
<i>Prec</i> (mm)	81.8	72.6	68.1	74.0	66.4	58.4	48.4	58.7	63.4	66.0	93.5	91.0	682.9
<i>FPr</i> (días)	8.8	9.3	9.8	6.1	4.7	8.2	17.4	9.6	8.0	5.9	8.9	8.8	7.2
<i>VelVto</i> (m s <sup>-1</sup> )	2.3	2.7	2.3	2.6	2.4	2.6	2.7	2.4	2.4	2.1	2.4	2.1	2.4
<i>HRmin</i> (%)	22.0	24.6	24.3	29.1	27.6	26.7	28.8	26.3	24.4	27.2	19.1	22.2	21.2

La variabilidad de las variables meteorológicas recopiladas en este estudio resulta mayor si se combinan la variabilidad espacial y la temporal. La Tabla 4.2 lista los máximos y mínimos de los valores comarcales medios mensuales listados en la Tabla A2.1. Así, por ejemplo, los valores medios comarcales (año medio) de la temperatura máxima variaron entre 5.5 °C (mes de diciembre, comarca 18), y 32.0 °C (mes de julio, comarca 99); los de la temperatura mínima variaron entre -3.4 °C (mes de enero, comarca 46) y 18.1 °C (mes de agosto, comarca 107); y los de precipitación variaron entre 14 mm (mes de julio, comarca 106) y 131 mm (mes de noviembre, comarca 38). Por tanto, estos resultados indican que existe una importante variabilidad espacial y temporal en la cuenca del Ebro. Se debe insistir en que la variabilidad real aún tiene que ser mayor debido a la suavización ocasionada por el proceso de interpolación utilizado para obtener los valores meteorológicos empleados en este trabajo.

Tabla 4.2. Mínimos y máximos de los valores comarcales medios mensuales listados en la Tabla A2.1. *Tmax*, temperatura máxima. *Tmin*, temperatura mínima. *Prec*, precipitación. *FPr*, frecuencia de precipitación. *VelVto*, velocidad del viento a 2 m de altura. *HRmin*, humedad relativa mínima. *NCO*, número de comarca (Tabla 3.1). Valores derivados de los listados en la Tabla A2.1.

Variable	Mínimos			Máximos		
	Valor	Mes	NCO	Valor	Mes	NCO
<i>Tmax</i> (°C)	5.5	Dic	18	32.0	Jul	99
<i>Tmin</i> (°C)	-3.4	Ene	46	18.1	Ago	107
<i>Prec</i> (mm)	14	Jul	106	131	Nov	38
<i>FPr</i> (días)	6.0	Abr	18	26.0	Jul	107
<i>VelVto</i> (m s <sup>-1</sup> )	0.4	Sep, Oct	98	3.4	Feb	106
<i>HRmin</i> (%)	30	Jul	83	77	Dic	102

## 4.2. Evapotranspiración de referencia

Como se indicó en la sección anterior, en la base de datos *ConvenioCHE2004CalculoKc*, almacenada en el CD adjunto a esta memoria, la tabla *EstimasComarcalesEToPr1961\_2002* contiene los valores mensuales de  $ET_0$  interpolados en los 110 centroides comarcales para los años 1961 a 2002. Estos son los valores que se utilizaron en este trabajo para realizar los cálculos de evapotranspiración y necesidades hídricas de cultivos descritos en la sección 3.7 para cada uno de los cultivos seleccionados en las 110 comarcas estudiadas en el periodo de 1961 a 2002. A modo de resumen, el Anejo 5 lista los valores medios mensuales y anuales (año medio) de  $ET_0$  obtenidos en los correspondientes centroides comarcales. Estos son los valores utilizados en el cálculo del coeficiente de cultivo inicial descrito en la sección 3.6.

El Anejo 5 muestran unos mapas de rangos de los valores de  $ET_0$  mensuales y anuales obtenidos para un año medio en los centroides comarcales. Es decir, en cada centroide comarcal y mes son los promedios de los 42 valores obtenidos en el periodo 1961 a 2002. Estos mapas se han elaborado simplemente para obtener una valoración general de la variabilidad espacial de esta variable. A grandes rasgos, se observó una variación a lo largo del eje central del valle del Ebro así como otra variación de norte al sur en función de la elevación sobre el nivel del mar. Asimismo, en términos generales, los valores más altos de  $ET_0$  se obtuvieron en la zona central del valle medio del Ebro y los valores más bajos en las zonas pirenaicas y en la cabecera de la cuenca.

Como en el caso de las variables meteorológicas analizadas en la sección 4.1, también para la  $ET_0$  se observó una importante variabilidad espacial. La Tabla 4.3 lista las diferencias obtenidas dentro de cada mes entre los valores comarcales más alto y más bajo de los listados en el Anejo 5. La diferencia menor se obtuvo en el mes de diciembre (13 mm) y la mayor en el mes de julio (61 mm). Asimismo, se observó también una importante variabilidad temporal. El valor comarcal mensual (año medio) más bajo de  $ET_0$  se obtuvo en el mes de diciembre en la comarca 10 (17 mm), mientras que el valor más alto se obtuvo en el mes de julio en la comarca 69 (192 mm). Los valores comarcales anuales (año medio) variaron entre 806 mm (comarca 18) y 1157 (comarca 107).

Tabla 4.3. Diferencias (mm) obtenidas dentro de cada mes entre los valores comarcales más alto y más bajo de la  $ET_0$ . Valores derivados de los listados en la Tabla A5.1.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
13.8	18.0	27.0	37.3	45.7	52.7	61.1	49.5	31.4	22.5	15.7	12.9	350.9

La Tabla 4.4 lista los cocientes ( $P/ET_0$ ) entre los valores comarcales medios anuales (año medio) de la precipitación (Tabla A2.1, Anejo 2) y los de la  $ET_0$  (Tabla A5.1, Anejo 5). De acuerdo con FAO (1977), estos cocientes se pueden utilizar para clasificar los climas de la siguiente forma: a) clima árido, si  $P/ET_0 \leq 0.2$ ; b) clima

semiárido, si  $0.2 < P/ET_0 \leq 0.5$ ; c) clima semihúmedo, si  $0.5 < P/ET_0 \leq 0.8$ ; d) clima húmedo, si  $P/ET_0 > 0.8$ . Ninguna comarca de la cuenca se clasificó como árida.

Tabla 4.4. Cocientes ( $P/ET_0$ ) entre los valores comarcales medios anuales (año medio) de la precipitación (Tabla A2.1, Anejo 2) y los de la  $ET_0$  (Tabla A5.1, Anejo 5). NCO, número de comarca (Tabla 3.1).

NCO	$P/ET_0$								
1	0.97	23	1.17	45	1.12	67	0.45	89	0.58
2	1.09	24	1.19	46	0.99	68	0.40	90	0.89
3	0.93	25	0.65	47	0.69	69	0.38	91	0.97
4	1.00	26	0.85	48	0.83	70	0.47	92	1.08
5	0.86	27	0.69	49	0.67	71	0.47	93	0.65
6	0.85	28	0.82	50	0.65	72	0.38	94	0.85
7	0.88	29	0.57	51	0.69	73	0.45	95	0.65
8	0.83	30	0.75	52	0.46	74	0.49	96	0.57
9	0.73	31	0.54	53	0.49	75	0.48	97	0.45
10	0.90	32	0.43	54	0.48	76	0.40	98	0.45
11	0.75	33	0.51	55	0.43	77	0.48	99	0.44
12	0.61	34	0.72	56	0.49	78	0.41	100	0.48
13	0.54	35	0.58	57	0.46	79	0.51	101	0.80
14	0.57	36	0.47	58	0.39	80	0.50	102	0.57
15	0.58	37	1.11	59	0.66	81	0.48	103	0.53
16	0.56	38	1.27	60	0.57	82	0.48	104	0.52
17	1.07	39	0.75	61	0.52	83	0.47	105	0.48
18	1.24	40	0.98	62	0.47	84	0.53	106	0.42
19	1.04	41	0.55	63	0.38	85	0.52	107	0.42
20	0.80	42	0.52	64	0.47	86	0.54	108	0.55
21	0.92	43	1.13	65	0.44	87	0.58	109	0.50
22	0.76	44	1.16	66	0.36	88	0.53	110	0.61

Las necesidades de riego en las zonas semiáridas son muy altas debido al importante déficit hídrico potencial existente. En las zonas semihúmedas, las necesidades de riego son menores ya que, en general, los déficits hídricos significativos se producen sólo en periodos determinados del año. Obviamente, en las zonas húmedas las necesidades de riego son, en general, de pequeña cuantía porque prácticamente en todo el año la precipitación puede satisfacer la demanda hídricas de los cultivos.

Las 8 comarcas con valores de  $P/ET_0$  más bajos se encuentran en la zona media de la cuenca del Ebro, en Aragón. La Tabla 4.5 lista, por CC.AA., el número de comarcas que se clasifican en las distintas categorías antes mencionadas. En Aragón y Cataluña se encuentran 36 de las 38 comarcas que se clasificaron como semiáridas; las otras dos se encuentran en La Rioja y Navarra. En Aragón, casi el 60 % de las comarcas se clasificó como semiárida y en Cataluña, el 40 %. Por tanto, estas cifras indican que las mayores necesidades de riego se encuentran, en términos generales, en estas dos comunidades autónomas. En total, 43 comarcas se

clasificaron como semihúmedas (la mitad de ellas también se encuentran en Aragón y Cataluña) y 29 como húmedas.

Tabla 4.5. Número de comarcas, por CC.AA., clasificadas como semiáridas, semihúmedas y húmedas de acuerdo a la razón entre los valores comarcales medios anuales (año medio) de la precipitación y la  $ET_0$ .

CC.AA.	Semiáridas	Semihúmedas	Húmedas	Total
Aragón	28	14	5	47
Cantabria			1	1
Castilla La Mancha		2		2
Castilla y León		7	8	15
Cataluña	8	8	4	20
La Rioja	1	6	2	9
Navarra	1	3	3	7
País Vasco		2	6	8
Valencia		1		1
Total	38	43	29	110

### 4.3. Fenología de cultivos

La Tabla 4.6 lista los cultivos considerados en este trabajo y el número total de comarcas en que han sido seleccionados. En total se han seleccionado 63 cultivos diferentes. Asimismo, en un número importante de cultivos se han distinguido distintos tipos varietales generales con el fin de tener en cuenta las diferencias varietales generales existentes en esas especies. Así, por ejemplo, en diversos cultivos hortícolas se han considerado tipos varietales de primavera, verano y otoño o bien tipos varietales de ciclos corto, medio y largo. Igualmente, en el caso de los frutales se han distinguido tipos varietales tempranos, de media estación y tardíos. Teniendo en cuenta esta circunstancia, se han seleccionado en total 92 cultivos y tipos varietales (Tabla 4.6). En lo que sigue de estado, se denominará *cultivo*, tanto a un cultivo como a un tipo varietal.

Si se consideran el total de combinaciones entre comarcas y *cultivos*, se estudiaron 2039 casos. Además, como se indicó en la sección 3.6, para todos los casos estudiados del almendro, el cerezo y el melocotonero se consideró además la situación de *riego deficitario*; bien entendido que, más que de verdadero riego deficitario controlado, se trató más bien de remedar una situación de menor aporte hídrico que el máximo potencial, siguiendo prácticas culturales comunes en los frutales y que se escogió esta situación a modo de ejemplo de la disminución del consumo de agua que se podría esperar si se aplican ese tipo de prácticas. Considerando, pues, esta situación de *riego deficitario* el total de casos estudiados ascendió a 2320. De ellos, 1272 fueron de herbáceos y 1048 de leñosos.

La alfalfa ha sido el cultivo seleccionado en un mayor número de comarcas, 93 en total; a continuación, vienen la cebada (92 comarcas), el trigo (91 comarcas), el maíz grano (81 comarcas) y el girasol (67 comarcas). Se trata de los cultivos con

una mayor ocupación en el regadío de la cuenca. Por el otro extremo, el endrino, la fresa, el romanesco, la soja y el trébol sólo se han seleccionado en una comarca.

Tabla 4.6. Cultivos y tipos varietales seleccionados y número total de comarcas ( $n_c$ ) en que se seleccionaron.

Cultivo y tipo varietal	$n_c$	Cultivo y tipo varietal	$n_c$	Cultivo y tipo varietal	$n_c$
Acelga (primavera)	6	Coliflor (ciclo corto)	24	Manzano (tardío)	59
Acelga (verano)	2	Coliflor (ciclo medio)	9	Melocotonero (temprano)	29
Acelga (otoño)	6	Coliflor (ciclo largo)	5	Melocotonero (media estación)	42
Ajo	12	Colza	7	Melocotonero (tardío)	30
Albaricoquero	15	Endrino	1	Melón	18
Alcachofa (1º año)	15	Escarola (invierno)	8	Naranja	3
Alcachofa (2º año)	15	Escarola (otoño)	6	Nogal	31
Alfalfa	93	Esparceta	11	Olivar	59
Almendro	52	Espárrago	13	Patata (temprana)	5
Apio	2	Espinaca (primavera)	10	Patata (media estación)	35
Arroz	17	Espinaca (otoño)	10	Patata (tardía)	35
Avellano	9	Fresa	1	Patata (siembra)	14
Avena	27	Girasol	67	Peral (temprano)	31
Ballico	10	Girasol (2ª ocupación)	2	Peral (media estación)	44
Berenjena	8	Guisante grano	14	Peral (tardío)	47
Borraja (primavera)	3	Guisante verde	38	Pimiento	29
Borraja (otoño)	3	Haba verde	22	Praderas polifitas	24
Brócoli (primavera)	2	Judía grano	5	Puerro (primavera)	6
Brócoli (otoño)	9	Judía verde (ciclo temprano)	2	Puerro (otoño)	15
Calabacín	11	Judía verde (ciclo normal)	30	Remolacha azucarera	24
Cardo	8	Judía verde (ciclo tardío)	16	Romanesco	1
Cebada	92	Lechuga (ciclo 1)	22	Sandía	7
Cebolla	37	Lechuga (ciclo 2)	14	Soja	1
Cerezo (temprano)	34	Lechuga (ciclo 3)	22	Sorgo	11
Cerezo (media estación)	42	Limonero	3	Tomate	27
Cerezo (tardío)	52	Maíz forrajero	27	Trébol	1
Ciruelo (tipo julio)	18	Maíz grano	81	Trigo	91
Ciruelo (tipo agosto-septiembre)	31	Maíz grano (2ª ocupación)	4	Veza forrajera	25
Col de Bruselas	2	Mandarino	4	Veza grano	14
Col repollo (primavera)	19	Manzano (temprano)	33	Viñedo	46
Col repollo (otoño)	20	Manzano (media estación)	52		

La Tabla 4.7 lista el número de *cultivos* seleccionados en las distintas comarcas. Las comarcas con mayor número de *cultivos* seleccionados fueron la 98 (Segrià, 58 *cultivos*), 27 y 66 (Logroño y Zaragoza, respectivamente, 51 *cultivos* cada una), 109 (Montsià, 50 *cultivos*) y 35, 99 y 108 (Ribera Alta-Aragón, Plà D'Urgell y Baix Ebre, respectivamente, 48 *cultivos* cada una). Las comarcas con menor número de *cultivos* seleccionados fueron la 87 (Cantavieja, 1 *cultivo*), 23 y 90 (Oñate y Val D'Aran, respectivamente, 2 *cultivos* cada una), y 24 y 86 (Durango y Alfambra, respectivamente, 3 *cultivos* cada una).

Tabla 4.7. Número de cultivos seleccionados en cada comarca. *NCO*, número de comarca (Tabla 3.1). *n<sub>cu</sub>*, número de cultivos seleccionado.

<i>NCO</i>	<i>n<sub>cu</sub></i>														
1	4	15	8	29	45	43	4	57	46	71	12	85	7	98	58
2	14	16	9	30	20	44	8	58	32	72	32	86	3	99	48
3	22	17	8	31	43	45	7	59	8	73	28	87	1	100	32
4	12	18	4	32	42	46	4	60	10	74	16	88	9	101	7
5	21	19	6	33	39	47	12	61	24	75	27	89	5	102	5
6	21	20	5	34	27	48	7	62	34	76	8	90	2	103	7
7	15	21	6	35	48	49	8	63	17	77	16	91	6	104	4
8	20	22	6	36	41	50	9	64	20	78	21	92	5	105	19
9	17	23	2	37	13	51	21	65	24	79	25	93	7	106	12
10	19	24	3	38	10	52	18	66	51	80	8	94	7	107	37
11	14	25	31	39	15	53	28	67	23	81	12	95	5	108	48
12	13	26	25	40	18	54	32	68	10	82	9	96	41	109	50
13	13	27	51	41	9	55	13	69	33	83	8	97	30	110	8
14	13	28	29	42	6	56	33	70	22	84	9				

Los Anejos 7 y 8 listan la información fenológica recopilada para los cultivos seleccionados en las distintas comarcas, excepto en el caso de los cítricos, el olivar y el endrino cuyos coeficientes de cultivo mensuales se listan en las Tablas 3.7, 3.8 y 3.9, respectivamente. La recopilación de esta información ha sido laboriosa tal como se indicó en la sección 3.5.2. Se ha observado que la definición de las etapas fenológicas descrita en Allen et al. (1998) resulta de difícil interpretación cuando se procede a realizar encuestas entre los Agentes de Extensión Agraria y los Agricultores. Esas etapas fenológicas para nada tienen equivalentes claros en la fenología que dominan las mencionadas personas. CHE (1993a) realizó un esfuerzo loable para realizar una equivalencia entre la fenología definida por Doorenbos y Pruitt (1977) (la misma que usan Allen et al., 1998) y la fenología 'real' identificada por los Agentes de Extensión Agraria, Agricultores y otros expertos. Pero esa equivalencia sólo se realizó para un número limitado de cultivos. Asimismo, en distintos casos se observó una discrepancia importante entre la fenología listada en CHE (1993a) y la empleada en diversos Servicios de Asesoramiento al Regante, como el de Riegos de Navarra o el de la Generalitat de Catalunya.

Por otra parte, la información fenológica disponible para un número importante de cultivos, sobre todo en el caso de los tipos varietales seleccionados en los cultivos hortícolas, ha sido limitada a las fechas de transplante y de recolección. En estos cultivos además se da la circunstancia de que las fechas de recolección se realizan a lo largo de un determinado periodo, es decir son indeterminadas. Estas circunstancias dificultaron aún más el establecimiento de una fecha de recolección para realizar los correspondientes cálculos de *Kc*.

En definitiva, los valores listados en los Anejos 7 y 8 se deberían interpretar como aproximaciones relativamente aceptables a la fenología verdadera de los cultivos listados. El grado de incertidumbre no es pequeño aunque su efecto sobre la precisión de las estimas de las *ETc* y las *NHn* sea difícil de establecer. Realmente, el

tema de la fenología sigue siendo un asunto pendiente de mejor definición y determinación para que su precisión se pueda definir como excelente.

Asimismo, se debe mencionar que en el caso de las hortalizas las fechas de los ciclos de cultivo dependen, en muchas ocasiones, no sólo de las condiciones meteorológicas de la zona sino también de los calendarios de siembra y recolección establecidos por las empresas conserveras y congeladoras que se suministran de esos cultivos para elaborar sus productos. Estos calendarios pueden verse afectados por las condiciones de mercado y sufrir cambios importantes de un año para otro.

#### 4.4. Coeficientes de cultivo

En la base de datos *ConvenioCHE2004CalculoKc.mdb* (incluida en el CD adjunto), en las tablas *KcCultivosHerb*, *KcCultivosForr*, *KcCultivosFrut* y *NoCiclosCultivosForr*, se almacena la información fenológica de los cultivos seleccionados en este trabajo, así como los valores de  $Kc_{ini}$ ,  $Kc_{med}$  y  $Kc_{fin}$  calculados con las ecuaciones (3.4) a (3.8) para cada cultivo y comarca, excepto para los cítricos, el olivar y el endrino porque en este caso se han utilizado los valores de las Tablas 3.7, 3.8 y 3.9, respectivamente. La sección 8 describe el contenido del CD adjunto por lo que en esta sección no se añade más respecto a los valores de  $Kc_{ini}$ ,  $Kc_{med}$  y  $Kc_{fin}$  obtenidos.

La Ficha de Resultados 1 lista los valores mensuales de  $Kc$  obtenidos para cada cultivo y comarca. Los comentarios realizados en la sección 4.3 sobre la incertidumbre de la fenología de los cultivos son aplicables igualmente en el caso de los valores calculados de  $Kc$ . Por ello, estos valores deben tomarse con precaución y sólo deberían considerarse como aproximaciones relativamente razonables. Pero en situaciones reales concretas, los verdaderos valores mensuales de  $Kc$  podrían diferir de los valores listados en la Ficha de Resultados 1 a causa de diferencias varietales, prácticas culturales, disponibilidad de agua justo después de los riegos, prácticas de manejo, etc.

Como se ha comentado anteriormente, en este trabajo se han considerado 2320 combinaciones de cultivo y comarca. En algunas de estas combinaciones, sólo se han calculado valores de  $Kc$  para 3 meses, mientras que en otras se han calculado para 12 meses (sin incluir los cítricos y el olivar). En total, se han calculado 16963 valores mensuales de  $Kc$ . Mayo ha sido el mes en el que se ha calculado el  $Kc$  mensual para un mayor número de casos, 2098 (12.4 %); es decir, en mayo se ha calculado valor mensual de  $Kc$  en el 90.4 % de todas las combinaciones de comarca y cultivo. Siguen junio (2043 casos) y julio (1925 casos). Los meses en los que el  $Kc$  mensual se ha calculado para un número menor de casos han sido enero (443 casos) y diciembre (442 casos). De los 16963 valores mensuales de  $Kc$  calculados, 3248 (19.1 %) estuvieron entre 0.9 y 1.0, mientras que 1718 (10.1 %) estuvieron entre 0.3 y 0.4. Sólo se obtuvieron 132 valores (0.8 %) superiores a 1.2.

La Tabla 4.8 lista los valores máximos y mínimos de los valores mensuales de  $Kc$  obtenidos. Los valores mínimos se produjeron en el verano. Estos mínimos

corresponden a la fase inicial de varios cultivos. En el verano, el menor número de eventos de precipitación y las mayores tasas de evapotranspiración hicieron que los valores de  $K_{Cini}$  fueran menores de acuerdo con las ecuaciones (3.4) a (3.6). En el mes de agosto, hubo varios casos de  $K_c = 0.0$ . Se trató del periodo entre envero y maduración del cultivo del viñedo, periodo en el que se consideró que la práctica cultural habitual en este cultivo es el corte total del riego. Los valores máximos de  $K_c$  también se produjeron en verano, en cultivos con elevados consumos de agua y en periodos en los que también coincidieron valores de humedad relativa mínima menores. En cualquier caso, las diferencias entre meses fueron bastante menores para el caso de los máximos que para el de los mínimos.

Tabla 4.8. Máximos y mínimos de los  $K_c$  mensuales calculados en cada mes.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Mín	0.43	0.27	0.26	0.23	0.17	0.09	0.08	0.00	0.18	0.17	0.22	0.50
Máx	1.15	1.17	1.19	1.22	1.19	1.18	1.24	1.25	1.21	1.16	1.15	1.15

A grandes rasgos, y promediando todos los valores mensuales de  $K_c$  de cada caso considerado, los mayores valores de esta variable se obtuvieron para el cultivo del arroz, mientras que los valores menores se obtuvieron para el viñedo y las variantes de *riego deficitario* del almendro

#### 4.5. Evapotranspiración y necesidades hídricas netas de los cultivos

La Ficha de Resultados 2 (Tomos 4 a 7 del informe) lista los percentiles (50, 80, 90 y 95 %) de los valores mensuales de la evapotranspiración ( $ET_c$ ) y necesidades hídricas ( $NH_n$ ) de los cultivos calculados para cada combinación de comarca y *cultivo*. Dichos valores también se encuentran en el CD adjunto, en el fichero EXCEL *TablaFinalPercentiles.xls* (ver sección 8 para una descripción del CD adjunto y de este fichero). Los valores de  $ET_c$  y  $NH_n$  estacionales listados en la Ficha de Resultados 2 para cada comarca y *cultivo* se obtuvieron como la suma de los valores mensuales obtenidos para los distintos percentiles.

La Ficha de Resultados 2 muestra una gran variabilidad en los valores calculados para un mismo cultivo entre las distintas comarcas y, para una misma comarca, entre los distintos cultivos. Asimismo, y como es lógico, los valores calculados aumentaron del percentil del 50 % al percentil del 95 %. A modo de resumen, la Tabla 4.9 lista los mínimos y máximos de los percentiles del 50, 80, 90 y 95 % de las necesidades hídricas netas estacionales listados en la Ficha de Resultados 2 para cada *cultivo*. En todos los percentiles, el valor más alto de estos mínimos y máximos correspondió al arroz, excepto en el caso del valor más alto de los mínimos del percentil del 95 % que correspondió al avellano. Por su parte, el valor más bajo de los mínimos correspondió a la cebada (en el percentil del 50 %, junto a la acelga de otoño, apio, escarola de invierno, lechuga ciclo 3, trigo y veza forrajera) y el valor más bajo de los máximos correspondió al apio, excepto en el percentil del 95 % (lechuga de ciclo 3).

La mayor diferencia entre el máximo valor del percentil del 95 % de *NHn* estacional y el mínimo valor del percentil del 50 % de *NHn* estacional se ha obtenido en la cebolla (719 mm); siguen la alfalfa (669 mm) y el almendro (627 mm). Por el lado contrario, las menores diferencias entre los dos valores de *NHn* mencionados se han obtenido en los casos de la acelga de verano (82 mm), la judía verde de ciclo temprano (83 mm) y la lechuga ciclo 3 (93 mm). No obstante, estas diferencias se refieren a los rangos de variación de un *cultivo* en toda la cuenca del Ebro, sin tener en cuenta la comarca.

El cultivo de ballico en la comarca de Castejón de Sos ha sido la combinación en la que se obtuvo la mayor diferencia entre los percentiles del 95 y 50 % de *NHn* estacional, 406 mm; siguen el ballico en la comarca de Huesca (341 mm) y el olivar en la misma comarca (308 mm). Por el otro extremo, el cultivo de cebada en la comarca de Navarra Noroccidental ha sido la combinación donde se obtuvo la menor diferencia entre los percentiles del 95 y 50 % de *NHn* estacional, 18 mm; siguen la lechuga (ciclo 2) en la comarca de Cervera del Río Alhama (49 mm) y la lechuga (ciclo 3) en la comarca de Noguera (50 mm).

Tabla 4.9. Mínimos y máximos de los percentiles del 50, 80, 90 y 95 % de las necesidades hídricas netas estacionales listadas en la Ficha de Resultados 2 para cada *cultivo*.

<i>Cultivo</i>	Percentil 50 %		Percentil 80 %		Percentil 90 %		Percentil 95 %	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Acelga (otoño)	0	52	37	104	59	123	86	137
Acelga (primavera)	71	146	121	183	149	195	158	208
Acelga (verano)	174	203	216	237	224	248	227	256
Ajo	173	305	249	390	319	436	348	473
Albaricoquero	370	553	462	672	505	726	535	761
Alcachofa (1º año)	132	443	223	590	303	663	354	732
Alcachofa (2º año)	66	357	148	522	223	586	262	626
Alfalfa	204	708	307	798	347	838	366	873
Almendro	309	685	440	839	518	895	565	936
Almendro (RD)	121	309	215	429	261	475	302	507
Apio	0	0	19	28	55	73	102	118
Arroz	579	828	637	915	651	951	664	976
Avellano	477	669	587	799	639	862	674	903
Avena	75	392	131	457	195	498	243	516
Ballico	95	409	222	602	285	669	371	715
Berenjena	259	511	320	593	335	626	346	646
Borraja (otoño)	20	48	68	95	94	112	108	133
Borraja (primavera)	236	283	276	322	296	350	315	367
Bróculi (otoño)	18	164	64	223	92	254	111	272
Bróculi (primavera)	79	105	131	151	153	177	189	201
Calabacín	12	322	60	374	86	401	101	416
Cardo	24	99	66	206	127	248	176	298
Cebada	0	307	0	395	10	431	18	470
Cebolla	13	586	48	669	87	708	116	732
Cerezo (media estación)	204	496	285	601	326	644	363	673

Tabla 4.9. (Continuación).

Cultivo	Percentil 50 %		Percentil 80 %		Percentil 90 %		Percentil 95 %	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Cerezo (media estación) (RD)	157	420	236	518	275	557	308	581
Cerezo (tardío)	224	502	308	596	355	640	388	671
Cerezo (tardío) (RD)	198	440	277	531	322	569	353	598
Cerezo (temprano)	194	484	272	575	330	615	372	644
Cerezo (temprano) (RD)	141	397	217	484	271	518	312	548
Ciruelo (tipo agosto-septiembre)	341	664	432	781	475	845	506	886
Ciruelo (tipo julio)	394	618	495	733	535	794	569	841
Col de Bruselas	27	31	76	94	101	126	124	147
Col repollo (otoño)	44	133	106	203	150	256	182	278
Col repollo (primavera)	226	344	292	411	322	453	340	476
Coliflor (ciclo corto)	73	173	143	233	178	260	202	276
Coliflor (ciclo largo)	10	20	34	74	59	107	82	142
Coliflor (ciclo medio)	1	35	43	101	81	132	98	147
Colza	89	119	167	205	204	241	250	292
Endrino	380	380	487	487	540	540	584	584
Escarola (invierno)	0	36	25	85	47	101	73	110
Escarola (otoño)	164	225	211	264	232	290	243	312
Esparceta	345	541	459	638	519	687	550	718
Espárrago	284	406	366	506	421	556	446	584
Espinaca (otoño)	1	83	48	133	86	153	98	171
Espinaca (primavera)	48	146	102	186	123	207	144	219
Fresa	209	209	304	304	339	339	379	379
Girasol	199	543	305	638	366	686	396	714
Girasol (2ª ocupación)	170	206	218	259	232	277	248	293
Guisante grano	263	414	345	531	384	581	411	611
Guisante verde	50	299	94	370	133	419	169	439
Haba verde	55	252	104	333	133	378	189	432
Judía grano	263	302	327	366	365	392	382	404
Judía verde (ciclo normal)	144	279	186	321	199	338	212	347
Judía verde (ciclo tardío)	70	200	121	242	140	266	150	275
Judía verde (ciclo temprano)	123	151	165	190	183	201	189	206
Lechuga (ciclo 1)	55	175	118	241	146	269	184	285
Lechuga (ciclo 2)	92	159	119	196	134	212	155	222
Lechuga (ciclo 3)	0	17	3	61	25	82	50	93
Limonero	324	494	483	653	541	730	588	786
Maíz forrajero	193	419	263	470	295	489	316	512
Maíz grano	215	544	331	618	393	671	429	704
Maíz grano (2ª ocupación)	169	222	240	307	263	331	282	345
Mandarino	324	494	483	653	541	730	588	786
Manzano (media estación)	299	612	403	717	442	766	482	805
Manzano (tardío)	222	615	346	732	403	783	425	824
Manzano (temprano)	272	607	404	716	447	770	490	811
Melocotonero (media estación)	258	555	360	663	423	721	469	758
Melocotonero (media estación) (RD)	185	462	290	564	343	616	391	650
Melocotonero (tardío)	379	592	476	691	522	745	548	788
Melocotonero (tardío) (RD)	322	518	413	609	461	659	483	698

Tabla 4.9. (Continuación).

Cultivo	Percentil 50 %		Percentil 80 %		Percentil 90 %		Percentil 95 %	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Melocotonero (temprano)	318	518	409	629	448	682	483	716
Melocotonero (temprano) (RD)	233	409	320	510	361	558	393	589
Melón	224	362	302	406	317	436	331	453
Naranja	324	494	483	653	541	730	588	786
Nogal	314	654	443	794	503	842	541	885
Olivar	5	339	68	477	129	539	189	588
Patata (media estación)	234	511	308	609	338	646	366	676
Patata (siembra)	207	372	298	439	334	486	356	514
Patata (tardía)	238	614	334	694	371	757	412	787
Patata (temprana)	249	491	323	586	351	617	364	633
Peral (media estación)	310	620	411	755	488	808	517	845
Peral (tardío)	251	613	363	746	409	795	455	834
Peral (temprano)	376	624	496	744	549	802	584	842
Pimiento	271	483	341	557	378	604	406	624
Praderas polifitas	208	597	309	701	352	749	387	780
Puerro (otoño)	147	259	214	324	236	350	250	369
Puerro (primavera)	166	260	219	318	240	345	262	368
Remolacha azucarera	324	634	444	753	510	804	553	846
Romanesco	129	129	198	198	228	228	244	244
Sandía	243	361	301	411	318	437	332	464
Soja	394	394	480	480	514	514	538	538
Sorgo	237	426	341	506	380	533	405	568
Tomate	273	610	329	687	355	747	377	791
Trébol	294	294	458	458	534	534	600	600
Trigo	0	384	54	487	89	530	103	551
Veza forrajera	0	168	46	263	95	336	138	377
Veza grano	37	237	105	326	134	372	190	409
Viñedo	62	361	128	458	159	501	182	534

La combinación de *cultivo* y comarca en la que se obtuvo un valor más alto del percentil del 50 % de *NHn* estacional fue la del arroz en Grañén (828 mm); siguen el arroz en Fraga (826 mm) y el arroz en Tauste (807 mm). Las 8 posiciones siguientes también las ocupó el arroz en distintas comarcas, superando en todos los casos los 700 mm. En cuanto al valor más alto del percentil del 95 % de *NHn* estacional se obtuvo también en el arroz en Grañén (976 mm); siguen el arroz en Fraga (959 mm) y el arroz en Tauste (940 mm). Las 5 posiciones siguientes también las ocupó el arroz en distintas comarcas, excepto el almendro en Ribera D'Ebre, superando en todos los casos los 900 mm. Por tanto, el arroz resultó ser el cultivo en el que se han estimado unos percentiles de *NHn* estacional más grandes, en términos generales. Recuérdese que para calcular las dotaciones de riego a nivel de parcela para todo cultivo, no sólo hay que tener en cuenta las necesidades hídricas que ese cultivo tiene para satisfacer la demanda evaporativa de la atmósfera, y que son las necesidades calculadas en este trabajo, sino las posibles necesidades de lavado de sales y las pérdidas que en todo sistema de riego se producen. Pero además, en el arroz existen requerimientos adicionales de agua derivados de la

necesidad del mantenimiento de una lámina libre de agua permanente con el fin de mejorar el control de malas hierbas, el efecto de las fluctuaciones de temperatura del aire, etc. Por todas estas circunstancias, las necesidades hídricas *NHn* calculadas en este trabajo para el arroz son bastante menores que las obtenidas en otros trabajos anteriores (por ejemplo, CHE, 1993a) ya que en ellos sí se tuvieron en cuenta estas necesidades agronómicas adicionales de agua del arroz.

En el otro extremo, en 24 combinaciones de comarca y *cultivo*, el percentil del 50 % de *NHn* estacional calculado ha sido 0 mm: la lechuga (ciclo 3) en 12 comarcas (Arnedo, Baix Ebre, Garrigues, Montsià, Noguera, Plà D'Urgell, Ribera Alta-Aragón, Ribera D'Ebre, Sariñena, Segrià, Urgell y Zaragoza), la cebada en 4 comarcas (Cuenca de Pamplona, Espinosa de los Monteros, Navarra Nordoccidental y Navarra Pirineos), la acelga de otoño, el apio y la escarola de invierno en Baix Ebre y Montsià, el trigo en Navarra Noroccidental y la veza forrajera en Belorado. Por su parte, las 10 combinaciones de comarca y *cultivo* con menores valores del percentil del 95 % de *NHn* estacional han sido la cebada en la comarca de Navarra Noroccidental (18 mm) y la lechuga (ciclo 3) en las comarcas de Noguera (50 mm), Garrigues (51 mm), Segrià y Arnedo (55 mm), Baix Ebre (57 mm), Urgell (59 mm), Plà D'Urgell (60 mm), Montsià (62 mm) y Sariñena (68 mm).

La Tabla 4.10 lista las frecuencias relativas de distintos rangos de los percentiles del 50, 80, 90 y 95 % de *NHn* estacional calculados. En los rangos de menos de 400 mm, la frecuencia relativa disminuyó con el percentil. Por su parte, en los rangos de más de 500 mm, la frecuencia relativa aumentó con el percentil. Las frecuencias de las combinaciones *cultivo* y comarca con *NHn* estacionales menores de 400 mm fueron de 65.6, 44.1, 34.5 y 28.5 %, respectivamente, para los percentiles del 50, 80, 90 y 95 %. En el percentil del 50 %, el rango más frecuente de valores estacionales de *NHn* fue el de 300-400 mm, mientras que en los percentiles del 80, 90 y 95 % el rango más frecuente fue el de 400-500 mm.

Tabla 4.10. Frecuencias relativas de distintos rangos de los valores de percentiles del 50, 80, 90 y 95 % de *NHn* estacional calculados.

Rango (mm)	Percentil 50 %	Percentil 80 %	Percentil 90 %	Percentil 95 %
< 100	8.5	3.8	2.5	1.6
100-200	12.9	8.3	6.2	4.4
200-300	19.7	11.9	10.2	9.7
300-400	24.4	20.0	15.6	12.8
400-500	21.9	22.3	22.1	21.4
500-600	9.9	19.4	20.2	20.2
600-700	2.2	10.7	15.3	17.6
700-800	0.3	3.2	6.5	9.1
> 800	0.2	0.4	1.4	3.1

La Tabla 4.11 lista las frecuencias relativas de distintos rangos de los valores de percentiles del 50, 80, 90 y 95 % de *NHn* mensual calculados para los diferentes meses. Considerando todos los meses conjuntamente, las frecuencias relativas de valores mensuales de *NHn* = 0 mm fueron de 31.0, 16.9, 11.0 y 6.8 % para los

percentiles del 50, 80, 90 y 95 %, respectivamente. Por tanto, en un número importante de comarcas, *cultivos* y meses se han estimado unas necesidades hídricas nulas. De hecho, en conjunto, en el 6.8 % de las combinaciones comarca, *cultivo* y mes estudiadas, los cuatro percentiles (50, 80, 90 y 95 %) de *NHn* mensual fueron igual a 0 mm, aunque la frecuencia de esta circunstancia fue diferente según el mes considerado: en noviembre, 42.3 %; en enero, octubre y diciembre, superior a 20.0 %; junio a septiembre, menor de 1.0 %. Algo lógico, por otra parte, por la mayor demanda evaporativa que se produce en verano. En enero y diciembre, ningún percentil de *NHn* mensual superó 30 mm; en junio, julio y agosto, hubo algunas estimas de *NHn* superiores a 180 mm en casi todos los percentiles.

Tabla 4.11. Frecuencias relativas de distintos rangos de los valores de los percentiles del 50, 80, 90 y 95 % de *NHn* mensual.

Mes	Rango (mm)	Percentil				Mes	Rango (mm)	Percentil			
		50 %	80 %	90 %	95 %			50 %	80 %	90 %	95 %
Enero	0	91.2	54.0	37.7	22.6	Febrero	0	77.1	43.7	24.5	8.7
	0-30	8.8	46.1	62.3	77.4		0-30	23.0	53.6	60.2	63.5
	30-60	0.0	0.0	0.0	0.0		30-60	0.0	2.7	15.3	27.8
	60-90	0.0	0.0	0.0	0.0		60-90	0.0	0.0	0.0	0.0
	90-120	0.0	0.0	0.0	0.0		90-120	0.0	0.0	0.0	0.0
	120-150	0.0	0.0	0.0	0.0		120-150	0.0	0.0	0.0	0.0
	150-180	0.0	0.0	0.0	0.0		150-180	0.0	0.0	0.0	0.0
	180-210	0.0	0.0	0.0	0.0		180-210	0.0	0.0	0.0	0.0
	210-240	0.0	0.0	0.0	0.0		210-240	0.0	0.0	0.0	0.0
> 240	0.0	0.0	0.0	0.0	> 240	0.0	0.0	0.0	0.0		
Marzo	0	49.0	17.6	9.1	4.0	Abril	0	29.3	13.4	8.5	5.6
	0-30	38.3	60.9	63.0	59.2		0-30	39.0	36.9	32.5	28.7
	30-60	11.2	11.9	14.5	19.8		30-60	20.0	29.2	34.3	35.9
	60-90	1.6	9.6	13.1	15.3		60-90	11.7	17.2	18.6	20.9
	90-120	0.0	0.0	0.3	1.7		90-120	0.2	3.3	6.2	8.9
	120-150	0.0	0.0	0.0	0.0		120-150	0.0	0.0	0.0	0.1
	150-180	0.0	0.0	0.0	0.0		150-180	0.0	0.0	0.0	0.0
	180-210	0.0	0.0	0.0	0.0		180-210	0.0	0.0	0.0	0.0
	210-240	0.0	0.0	0.0	0.0		210-240	0.0	0.0	0.0	0.0
> 240	0.0	0.0	0.0	0.0	> 240	0.0	0.0	0.0	0.0		
Mayo	0	17.3	7.6	3.8	1.9	Junio	0	3.9	1.4	1.1	0.9
	0-30	15.6	15.2	16.4	15.9		0-30	10.9	6.9	4.9	4.6
	30-60	24.6	20.0	16.2	14.4		30-60	16.6	12.1	9.6	8.8
	60-90	31.0	30.7	28.6	27.4		60-90	23.0	18.6	18.6	16.8
	90-120	11.0	24.4	29.0	31.5		90-120	32.4	30.1	27.0	25.7
	120-150	0.6	2.1	5.9	8.7		120-150	12.3	25.8	29.6	29.7
	150-180	0.0	0.0	0.1	0.2		150-180	1.0	4.8	8.3	12.5
	180-210	0.0	0.0	0.0	0.0		180-210	0.0	0.3	0.8	1.2
	210-240	0.0	0.0	0.0	0.0		210-240	0.0	0.0	0.0	0.0
> 240	0.0	0.0	0.0	0.0	> 240	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabla 4.11. (Continuación).

Mes	Rango (mm)	Percentil				Mes	Rango (mm)	Percentil			
		50 %	80 %	90 %	95 %			50 %	80 %	90 %	95 %
Julio	0	5.4	2.6	0.7	0.3	Agosto	0	4.2	1.2	0.7	0.5
	0-30	6.7	8.3	9.7	9.6		0-30	8.2	9.8	9.6	9.2
	30-60	4.6	3.2	3.2	3.3		30-60	17.9	10.7	8.6	6.6
	60-90	11.1	8.6	7.6	7.0		60-90	12.3	16.6	17.5	18.7
	90-120	20.3	13.9	11.3	10.2		90-120	29.0	16.8	12.6	10.5
	120-150	28.7	23.2	22.0	19.8		120-150	23.5	31.9	31.2	28.5
	150-180	18.5	29.3	28.6	28.8		150-180	4.5	11.0	16.1	20.8
	180-210	4.5	9.3	13.1	15.7		180-210	0.4	2.1	3.8	5.0
	210-240	0.4	1.8	3.7	4.6		210-240	0.0	0.0	0.0	0.2
> 240	0.0	0.0	0.2	0.6	> 240	0.0	0.0	0.0	0.0		
Septiembre	0	14.7	2.7	0.5	0.1	Octubre	0	67.1	41.9	28.9	20.2
	0-30	36.4	33.9	27.6	20.1		0-30	30.4	41.3	46.0	49.3
	30-60	36.3	28.2	28.4	30.1		30-60	2.6	16.0	22.3	26.3
	60-90	12.2	29.5	32.2	32.1		60-90	0.0	0.8	2.9	4.3
	90-120	0.4	5.7	10.9	16.1		90-120	0.0	0.0	0.0	0.0
	120-150	0.0	0.1	0.5	1.6		120-150	0.0	0.0	0.0	0.0
	150-180	0.0	0.0	0.0	0.0		150-180	0.0	0.0	0.0	0.0
	180-210	0.0	0.0	0.0	0.0		180-210	0.0	0.0	0.0	0.0
	210-240	0.0	0.0	0.0	0.0		210-240	0.0	0.0	0.0	0.0
> 240	0.0	0.0	0.0	0.0	> 240	0.0	0.0	0.0	0.0		
Noviembre	0	92.7	72.1	56.9	42.3	Diciembre	0	99.1	76.7	56.1	35.3
	0-30	7.3	27.8	42.5	55.2		0-30	0.9	23.3	43.9	64.5
	30-60	0.0	0.1	0.7	2.4		30-60	0.0	0.0	0.0	0.2
	60-90	0.0	0.0	0.0	0.0		60-90	0.0	0.0	0.0	0.0
	90-120	0.0	0.0	0.0	0.0		90-120	0.0	0.0	0.0	0.0
	120-150	0.0	0.0	0.0	0.0		120-150	0.0	0.0	0.0	0.0
	150-180	0.0	0.0	0.0	0.0		150-180	0.0	0.0	0.0	0.0
	180-210	0.0	0.0	0.0	0.0		180-210	0.0	0.0	0.0	0.0
	210-240	0.0	0.0	0.0	0.0		210-240	0.0	0.0	0.0	0.0
> 240	0.0	0.0	0.0	0.0	> 240	0.0	0.0	0.0	0.0		
Todos meses	0	31.0	16.9	11.0	6.8						
	0-30	20.8	27.0	28.3	28.5						
	30-60	14.8	14.2	15.2	16.5						
	60-90	11.9	14.8	15.5	15.7						
	90-120	10.8	11.0	11.3	12.1						
	120-150	7.4	9.5	10.3	10.2						
	150-180	2.7	5.1	6.0	7.1						
	180-210	0.6	1.3	2.0	2.5						
	210-240	0.0	0.2	0.4	0.5						
> 240	0.0	0.0	0.0	0.1							

Los valores del percentil del 50 % de *NHn* mensual más altos se obtuvieron en julio: arroz en las comarcas de Grañén y Almodévar (221 mm), Fraga (219 mm) y Tauste y Terra Alta (212 mm) y maíz grano en Zaragoza (212 mm). Por su parte, los

percentiles del 95 % de *NHn* mensual más altos también se obtuvieron en julio: tomate en Épila-La Almunia (247 mm), arroz en Almodévar (247 mm) y Fraga (246 mm) y maíz grano en Épila-La Almunia y Zaragoza (246 mm).

La Tabla 4.12 lista las medias y los coeficientes de variación de las diferencias entre los percentiles del 50, 80, 90 y 95 % de *NHn* estacional calculados para algunos frutales (almendro, cerezo temprano, cerezo media estación, cerezo tardío, melocotonero temprano, melocotonero media estación y melocotonero tardío) y los calculados para el caso de *riego deficitario* (RD) considerado en esos frutales. Las mayores diferencias se obtuvieron en el almendro (302 – 339 mm en promedio) y las menores en el cerezo tardío (50 – 58 mm en promedio). Aun así, en todos los casos se obtuvieron coeficientes de variación superiores al 10 %, lo que sugiere que esas diferencias tuvieron cierta variabilidad en función de la comarca considerada. Destacan los coeficientes de variación obtenidos en el cerezo tardío que superaron el 22 %. Aun cuando, estos casos de *riego deficitario* deben considerarse en este trabajo más como una aproximación general, los resultados de la Tabla 4.12 indican que se pueden conseguir ahorros importantes de agua si se tienen en cuenta estas prácticas de manejo. En cualquier caso, antes de aplicarla conviene estudiar más detenidamente y con mayor profundidad cada caso. Las cifras obtenidas en este trabajo sólo deben tomarse como indicadores de la posible disminución de las necesidades hídricas de esos frutales cuando se plantea el *riego deficitario*.

Tabla 4.12. Medias y coeficientes de variación (C.V.) de las diferencias entre los percentiles del 50, 80, 90 y 95 % de *NHn* estacional calculados para algunos frutales (almendro, cerezo temprano, cerezo media estación, cerezo tardío, melocotonero temprano, melocotonero media estación y melocotonero tardío) y los calculados para el caso de *riego deficitario* (RD) considerado en esos frutales.

Cultivo	Percentil 50 %		Percentil 80 %		Percentil 90 %		Percentil 95 %	
	Media	C.V.	Media	C.V.	Media	C.V.	Media	C.V.
Almendro	302	15.1	323	13.4	332	13.7	339	14.0
Cerezo (media estación)	63	13.6	69	12.4	71	13.6	73	13.1
Cerezo (tardío)	50	26.5	55	22.1	57	22.7	58	23.0
Cerezo (temprano)	72	14.0	77	12.1	80	13.4	82	12.8
Melocotonero (media estación)	85	10.2	90	10.8	94	11.1	97	11.0
Melocotonero (tardío)	69	10.9	74	10.8	77	11.1	80	11.4
Melocotonero (temprano)	102	10.0	107	9.9	112	11.1	114	10.6

El Anejo 9 lista una serie de Cuadros y Figuras en los que se comparan los resultados obtenidos en este trabajo para varios cultivos y comarcas con los que se obtuvieron en CHE (1993a). Un resumen de las comparaciones efectuadas en el Anejo 9 se incluye en la sección de *Resumen* de este trabajo.

## 5. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES FINALES

Este trabajo ha revisado las necesidades hídricas de los cultivos de las comarcas de la cuenca del Ebro. Para ello, se recopilaron datos meteorológicos registrados en las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología y otras instituciones. Con estos datos se estimaron medias mensuales de evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) en el periodo 1961-2002 en todas las comarcas estudiadas. Como se esperaba, se obtuvieron importantes diferencias entre comarcas en los valores medios de la  $ET_0$  y de otras variables (precipitación, temperatura del aire, velocidad del viento y humedad relativa mínima del aire).

Asimismo, se seleccionaron cultivos a partir de las estadísticas agrarias de las diferentes comunidades autónomas incluidas en la cuenca del Ebro. Se observaron ciertas diferencias entre CC.AA. en cuanto al grado de detalle de estas estadísticas. Las más precisas se obtuvieron en las CC.AA. cuyo territorio se incluye mayoritariamente en la cuenca del Ebro: Aragón, La Rioja, Cataluña y Navarra.

La parte más difícil de este trabajo ha sido la obtención de la información fenológica de los cultivos seleccionados. La metodología de la FAO (Allen et al., 1998) divide el ciclo de los cultivos en cuatro fases cuya identificación en campo o mediante encuestas a expertos, agentes de extensión agraria o agricultores es complicada porque esa división no corresponde en general a la fenología real de los cultivos. Por ello, se observaron diferencias importantes en la fenología obtenida de distintas fuentes para los mismos cultivos. En otros casos, sólo se pudieron identificar las fechas aproximadas de siembra (o transplante) y de cosecha, madurez fisiológica o caída de hojas por lo que la duración de las restantes fases se estableció proporcionalmente en base a la duración de fases sugerida por la FAO (Allen et al., 1998) para esos cultivos. En consecuencia, se considera que actualmente la limitación más importante para estimar las necesidades hídricas de los cultivos con cierta precisión es la identificación correcta de la fenología de los cultivos. Sería preciso revisar con detalle de los distintos criterios establecidos por distintas fuentes y tratar de uniformizarlos. En este sentido, resultan esperanzadores algunos trabajos que se están llevando a cabo en España y otros países para el uso de la teledetección para identificar las etapas de desarrollo de los cultivos.

Otra limitación importante en este tipo de trabajos es su extensión: se pretendió abarcar un área extensa y un número amplio de cultivos. Existen unas casuísticas muy diversas en cuanto a tipos varietales, prácticas de manejo, sistemas de riego, respuesta de los cultivos a la falta de agua en distintas fases de su desarrollo, capacidades de retención de agua en los suelos, etc. Abordar todos estos factores estaba fuera de los límites de este trabajo. Por ello, se debe aceptar que las estimas de necesidades hídricas de los cultivos obtenidas son sólo aproximaciones con un grado de incertidumbre relativamente importante. Todas estas incertidumbres, inherentes a este tipo de trabajo, son la razón principal de las diferencias que se pueden encontrar en los distintos trabajos que han abordado la

problemática de la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos. Las cifras presentadas en la Ficha de Resultados 2 sólo se deben utilizar de modo orientativo a la hora de planificar y diseñar sistemas de riego, establecer dotaciones de riego, etc. Asimismo, recuérdese que las dotaciones de riego, además de las necesidades hídricas netas, deben incluir las posibles necesidades de lavado de sales y las pérdidas de agua que se producen en todo sistema de riego a nivel de parcela. Y en cultivos como el arroz, asimismo existen unas necesidades de agua adicionales debido a las prácticas culturales del mismo, como el mantenimiento de una lámina libre de agua permanente. Por ello, las necesidades de agua calculadas para el arroz en este trabajo son menores significativamente a las dotaciones de riego estimadas en otros trabajos previos.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Allen R.G., Smith M., Perrier A., Pereira L.S. 1994a. An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*. 43 (2): 1-34.
- Allen R.G., Smith M., Pereira L.S., Perrier A. 1994b. An update for the calculation of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*. 43 (2): 35-92.
- Allen R.G., Pruitt W.O., Businger J.R., Fritschen L.J., Jensen M.E., Quinn F.H. 1996. Evaporation and transpiration. En: *Hydrology Handbook* (2ª edición). Wootton T.P., Cecilio C.B., Fowler L.C., Hui S.L. (Task Committee). 125-252. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 28. American Society of Civil Engineers, Nueva York, EE.UU.
- 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.
- CEDEX. 1991. Dotaciones de riego máximas. Serie: Planificación hidrológica. Código del archivo de la OPH: 575-A.
- 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. Avance de la revisión del estudio de dotaciones por cultivos y comarcas en la cuenca del Ebro. Empresa consultora: INYPSA. Septiembre de 1993. Código del archivo de la OPH: 955-A.
- CHE. 1993c. Estudio de recursos hidráulicos de la cuenca del Ebro. Empresa consultora: INYPSA. Informe interno. Zaragoza.
- CHE. 1996a. 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. 1996b. Nota informativa sobre el estudio de determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la cuenca del Ebro. Diciembre de 1996. Sin código del archivo de la OPH.

- 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. 1999. Establecimiento de la fenología de las especies leñosas y su relación con las necesidades hídricas (Plan Hidrológico). Empresa consultora: Escuela Técnica Universitaria de La Almunia (Profesores Gómez Aparisi y Lorén Zaragoza). Diciembre de 1999. Sin código de archivo de la OPH.
- 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 2002. Los recursos en los aprovechamientos de la cuenca del Ebro: tendencias en las precipitaciones estacionales 1920-2000 y análisis previo del periodo 1951-2000. Consultor: Jesús Abaurrea. Diciembre de 2002.
- Choisnel E., de Villele O., Lacroze F. 1992. Une approche uniformisée du calcul de l'évapotranspiration potentielle pour l'ensemble des pays de la Communauté Européenne. EUR 14223. Commission of the European Communities, Luxembourg.
- Cuenca R.H. 1989. Irrigation system design: an engineering approach. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, EE.UU. 552 pp.
- Doorenbos J., Kassam .1986. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje, nº 33. ONU-FAO, Roma, Italia. Edición en español del trabajo original en inglés 'Yield response to water', publicado en 1979.
- 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.
- FAO. 1977. Carte mondiale de la désertification a l'échelle de 1:25,000,000. Conférence des Nations Unies sur la désertification. 29 agosto – 9 septembre. Note Explicative FAO, 11 pp. FAO.
- Fernández J.E., Díaz-Espejo A., Palomo M.J., Girón I.F., Moreno F. 1998. Riego y fertilización del olivar en la comarca de El Aljarafe (Sevilla). Folleto divulgativo, pp. 32.
- Generalitat de Catalunya. 2000. Anuari d'Estadístiques Agràries i Pesqueres de Catalunya. Departament de Agricultura, Ramaderia i Pesca. 60 pp.
- Generalitat de Catalunya. 2002a. Inventari fructícola de Catalunya. Zona fruitera de Lleida. Fruiters de pinyol. Departament de Agricultura, Ramaderia i Pesca. 18 pp.
- Generalitat de Catalunya. 2002b. Inventari fructícola de Catalunya. Zona fructícola de Tarragona. Departament de Agricultura, Ramaderia i Pesca. 7 pp.
- Girona J. 1996. Coeficients de cultiu. Centre R+D de Lleida. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries. Lleida, España.

- Gobierno de La Rioja. 2003. Estadística Agraria Regional 2001. Consejería de Agricultura y Desarrollo Económico, Gobierno de La Rioja, Logroño, España. 118 pp.
- Guerrero García A. 1982. El cultivo de las leguminosas de grano. En: Leguminosas de grano. Cubero J.I., Moreno M.T. (eds.). 121-174. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Guerrero García A. 1992. Cultivos herbáceos extensivos. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 779 pp.
- Gutiérrez López M. 2004. El cultivo de brócoli en Aragón. Informaciones Técnicas del Centro de Técnicas Agrarias Nº 142. Dirección General de Desarrollo Rural, Servicio de Programas Rurales, Gobierno de Aragón, Zaragoza, España, 16 pp.
- Hussein A.S.A. 1999. Grass ET estimates using Penman-type equations in central Sudan. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 125 (6): 324-329.
- Imas A., Blázquez S. 2004. Congeladoras (Bonduelle). I Foro Valdizarbe. Agroindustria y regadíos del Canal de Navarra. 61-70. Secretaría Técnica, Departamento de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Gobierno de Navarra. Pamplona, España.
- Isaaks E., Srivastava R.M. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University, Nueva York, EE.UU. 561 pp.
- Jensen M.E., Burman R.D., Allen R.G. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No 70. ASCE, Nueva York, EE.UU. 350 pp.
- 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.
- MAPA. 1992. Calendario de siembra, recolección y comercialización. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España.
- Maroto J.V. 2002. Horticultura herbácea especial. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 702 pp.
- Martínez Cob A. 2002. Evaluación de métodos de cálculo de la evapotranspiración de referencia diaria y mensual en Aragón. ITEA. Vol. extra (23): 126-132.
- Martínez Cob A., Tejero Juste 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 González J.M., Bercero 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.

- Martínez Planas M., Tico Roig L. 1974. Agricultura Práctica. Colección Biblioteca Hispania Ilustrada. Ed. Ramón Sopena. Barcelona, España. 680 pp.
- MIMAM. 1992. Mejora y modernización de infraestructuras de regadíos existentes. Ahorro de agua. Empresa consultora: PROINTEC. Octubre de 1992. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España.
- Moreno Valencia M.M., Cabello Cabello M.J., Ribas Elcorobarrutia F., Moreno Valencia A. 2000. Necesidades hídricas del pimiento (*Capsicum annum* L.) y respuesta del rendimiento a diferentes dosis de riego. XVIII Congreso Nacional de Riegos. Huelva, 20-22 de junio de 2000. Dirección General de Investigación y Formación Agraria, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla, España.
- Orgaz F., Fereres E. 1997. Riego. En: El cultivo del olivo. 1ª ed. Junta de Andalucía y Grupo Mundi Prensa. 251-272.
- Pardo A., Arbizu J., Suso M.L. 1997. Evapotranspiration and crop coefficients in white asparagus. Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Sym. on Irrigation of Hort. Crops. Chartzoulakis K.S. (ed.). Acta Horticulturae 449 (vol. 1): 187-192.
- Pastor M., Orgaz . 1994. Riego deficitario del olivar. Agricultura. 746: 768-776.
- Pérez Marín J.L. 1991. Estados Fenológicos. En: Plagas y Enfermedades de la Vid. Secretaría General Técnica, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.
- Riegos de Navarra. 2003. Oferta agroindustrial: balance global 2003. Servicio de Oferta Agroindustrial, Riegos de Navarra S.A., Pamplona, España, 83 pp. Dirección web: <http://www.riegosdenavarra.com/agroind/2003/BCE2003.pdf>.
- Rincón L., Sáez J. 1996. Evapotranspiración y coeficientes de cultivo de la lechuga en riego por surcos. XIV Congreso Nacional de Riegos. Aguadulce, Almería, 11-13 de junio de 1996. 110-117. Dirección General de Investigación Agraria, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla, España.
- Sajardo E., De Juan J.A., Montero F.J., Cuesta A., Claramunt J., López H. 1999. Evolución diaria y estacional del potencial hídrico foliar en un viñedo sometido a diferentes estrategias de programación del riego. XVII Congreso Nacional de Riegos. Murcia, 11-13 de mayo de 1999. 43-51. Asociación Española de Riegos y Drenajes, Madrid, España.
- Smith M., Allen R.G., Monteith J., Perrier A., Pereira L., Segeren A. 1991. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. ONU-FAO, Roma, Italia. 54 pp.
- Tejero Juste 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.
- Ventura F., Spano D., Duce P., Snyder R.L. 1999. An evaluation of common evapotranspiration equations. Irrigation Science. 18 (4): 163-170.

## 7. GLOSARIO DE SÍMBOLOS

### Símbolos latinos en mayúsculas

$A_{s_i}$	Altura de agua en el suelo en el mes $i$ .
$A_{su}$	Altura de agua del suelo consumida entre dos riegos consecutivos.
$C_1$	Coefficiente empírico de la ecuación (2.3).
$C_2$	Coefficiente empírico de la ecuación (2.3).
$C_3$	Coefficiente empírico de la ecuación (2.3).
$C_4$	Coefficiente empírico de la ecuación (2.3).
$D_{fini}$	Fecha (día del año) del último día de la fase inicial del ciclo de cultivo.
$D_{fmed}$	Fecha (día del año) del último día de la fase de mediados del ciclo de cultivo.
$D_i$	Fecha (día del año) del día $i$ de la fase de desarrollo del ciclo de cultivo.
$D_{jul}$	Día del año (1, 1 de enero; 32; 31 de diciembre, 365).
$E_{s0}$	Tasa de evaporación durante la fase 1 del proceso de evaporación.
$ET_0$	Evapotranspiración de referencia.
$\overline{ET_0}$	Media ponderada de la $ET_0$ durante la fase inicial del ciclo de cultivo.
$ET_c$	Evapotranspiración de cultivo.
$ET_{c_i}$	Evapotranspiración de cultivo en el mes $i$ .
$F_2$	Duración de la fase de desarrollo del ciclo de cultivo.
$F_4$	Duración de la fase final del ciclo de cultivo.
$F_{adv}$	Factor de advección.
$F_{ct}$	Factor que depende de la altura de agua de suelo consumida entre dos riegos consecutivos, ecuación (3.12).
$F_{prod}$	Factor de potencial productivo del suelo.
$F_{res}$	Factor de reserva de agua del suelo.
$G_{sc}$	Constante solar ( $1367 \text{ W m}^{-2}$ ).
$HR_n$	Humedad relativa mínima.
$\overline{HR_n}_{fin}$	Media ponderada de la humedad relativa mínima durante la fase final del ciclo de cultivo.
$\overline{HR_n}_{med}$	Media ponderada de la humedad relativa mínima durante la fase de mediados del ciclo de cultivo.

$K_c$	Coefficiente de cultivo.
$K_{c_{di}}$	Valor diario del coeficiente de cultivo en el día $i$ de la fase de desarrollo del ciclo de cultivo.
$K_{c_{fi}}$	Valor diario del coeficiente de cultivo en el día $i$ de la fase final del ciclo de cultivo.
$K_{c_{fin}}$	Coefficiente de cultivo en la fase final del ciclo de cultivo.
$K_{c_{finTab}}$	Valor tabulado del coeficiente de cultivo en la fase final del ciclo de cultivo.
$K_{c_{ini}}$	Coefficiente de cultivo en la fase inicial del ciclo de cultivo.
$K_{c_{med}}$	Coefficiente de cultivo en la fase de mediados del ciclo de cultivo.
$K_{c_{medTab}}$	Valor tabulado del coeficiente de cultivo en la fase de mediados del ciclo de cultivo.
$K_r$	Coefficiente reductor del coeficiente de cultivo debido al porcentaje de suelo sombreado.
$K_{r_{rd}}$	Coefficiente reductor del coeficiente de cultivo en los casos de riego deficitario.
$NCO$	Número arbitrario asignado a cada comarca.
$NH_n$	Necesidades hídricas netas de un cultivo.
$NH_{n_i}$	Necesidades hídricas netas de un cultivo en el mes $i$ .
$N_{ini}$	Duración total de la fase inicial del ciclo de cultivo.
$N_{mes}$	Número de días con presencia del cultivo en un determinado mes.
$P$	Precipitación.
$P_{ef}$	Precipitación efectiva.
$P_{ef_i}$	Precipitación efectiva en el mes $i$ .
$R_a$	Radiación atmosférica extraterrestre.
$REW$	Altura de agua fácilmente evaporable.
$T_m$	Temperatura media del aire.
$T_n$	Temperatura mínima del aire.
$T_x$	Temperatura máxima del aire.
$U_2$	Velocidad de viento a 2.0 m de altura.
$\overline{U_{fin}}$	Media ponderada de la velocidad del viento a 2.0 m de altura durante la fase final del ciclo de cultivo.
$\overline{U_{med}}$	Media ponderada de la velocidad del viento a 2.0 m de altura durante la fase de mediados del ciclo de cultivo.

$U_z$  Velocidad de viento a  $z$  m de altura.

### Símbolos latinos en minúsculas

$d$	Altura del plano de desplazamiento 0.
$d_{ce}$	Distancia entre el centroide comarcal $c$ y la estación meteorológica $e$ .
$d_r$	Distancia relativa entre la Tierra y el Sol.
$f_H$	Factor empírico usado en la fórmula de Hargreaves, ecuación (3.3).
$f_{pr}$	Frecuencia de precipitación (inversa del número medio de eventos de precipitación en un determinado mes).
$\overline{f_{pr}}$	Media ponderada de la frecuencia de precipitación durante la fase inicial del ciclo de cultivo.
$h_c$	Altura de la superficie (vegetal o no) sobre el que se realizan las medidas meteorológicas.
$hc_{max}$	Valor tabulado de altura máxima de un cultivo.
$n$	Número de estaciones meteorológicas disponibles en el mes y año $i$ .
$n_i$	Número de días del mes $i$ en la fase inicial del ciclo de cultivo.
$r_c$	Resistencia aparente de la cubierta vegetal al flujo de vapor de agua.
$t_1$	Duración de la etapa 1 del proceso de evaporación.
$\overline{x}$	Media ponderada de la variable de interés durante la fase inicial del ciclo de cultivo.
$x_i$	Valor medio de la variable de interés durante el mes $i$ .
$y_{ic}^*$	Estima de la variable de interés en el mes y año $i$ , en el centroide comarcal $c$ .
$y_{ie}$	Valor de la variable de interés en el mes y año $i$ , en la estación meteorológica $e$ .
$z$	Altura de medida de la velocidad del viento.
$z_{0m}$	Longitud de rugosidad de la transferencia de momentum.

### Símbolos griegos en minúsculas

$\lambda$	Calor latente de vaporización.
$\delta$	Declinación solar.
$\varphi$	Latitud del lugar de ubicación de la estación meteorológica.
$\omega_s$	Ángulo de la hora del anochecer.

## 8. DESCRIPCIÓN DEL CD ADJUNTO

El CD que se adjunta con la Memoria (Tomo 1) de este trabajo tiene las siguientes carpetas: 1) *Coberturas*; 2) *DatosMeteo*; 3) *ETyNHn*; 4) *InfoDadaporMAGV*; 5) *Informe*; 6) *Comparaciones*. En esta última carpeta se almacena el fichero *ComparacionConCHE1993.xls* que contiene las comparaciones efectuadas entre los resultados de este trabajo y los de CHE (1993a) (Anejo 9).

### **Carpeta Coberturas**

En esta carpeta se encuentran las siguientes subcarpetas: a) *CentroidesComarcas*; b) *prec gis estaciones seleccionadas*; c) *temp gis estaciones seleccionadas*. Además se encuentra el fichero comprimido (WinZip) *CoberturasMeteo.zip*. En este último fichero se encuentran todos los ficheros necesarios para realizar la coberturas incluidas en los Anejos 3, 4 y 6 además de otros mapas de variables meteorológicas estimadas en los centroides de las comarcas. Estos ficheros se crearon con ArcView.

En la subcarpeta *CentroidesComarcas* se encuentran los ficheros necesarios para las coberturas de la división comarcal utilizada en este trabajo y la suministrada para Navarra por Riegos de Navarra. En las subcarpetas *prec gis estaciones seleccionadas* y *temp gis estaciones seleccionadas* se encuentran los ficheros de las coberturas que muestran la ubicación de las estaciones termopluviométricas utilizadas en este trabajo.

### **Carpeta DatosMeteo**

En esta carpeta se encuentran dos ficheros, *ConvenioCHE2004Meteo.mdb* y *DecidiendoComarcasVentosas.xls*. En este último fichero se listan las velocidades medias mensuales del viento a 2 m estimadas en los centroides comarcales y se realizan los cálculos necesarios para establecer si una comarca es o no ventosa.

Además se encuentran las siguientes subcarpetas: a) *EstacionesLAAMA*; b) *EstsINM*; c) *OtrasEstacsNoINM*; d) *RadiacionAtmosferica*; e) *TP-DoblesMasas*. A continuación se describen brevemente el fichero *ConvenioCHE2004Meteo.mdb* y estas subcarpetas.

#### **Fichero *ConvenioCHE2004Meteo.mdb***

Este fichero contiene las siguientes tablas: 1) *Estaciones\_HRminima*; 2) *Estaciones\_Prec*; 3) *Estaciones\_Temp*; 4) *Estaciones\_Viento*; 5) *FrecPrecMes\_AñoMedio*; 6) *HRminMes\_AñoMedio*; 7) *PrecMediasMes\_1961\_2002*; 8) *TempMediasMes\_1961\_2002*; 9) *VientoMes\_AñoMedio*.

### Tabla Estaciones HRminima

Contiene las coordenadas de las estaciones de las que se obtuvieron valores medios mensuales (año medio) de humedad relativa mínima. Estos datos se listan en la Tabla 3.5 de la Memoria (sección 3.3). Los campos son los siguientes:

*Codigo\_Est.* Código arbitrario asignado a cada estación.

*Nombre\_Estacion.* Nombre de la estación.

*UTMEste\_Oeste.* Coordenada UTM este-oeste, km.

*UTMNorte\_Sur.* Coordenada UTM norte-sur, km.

### Tabla Estaciones Prec

Contiene las coordenadas de las estaciones pluviométricas disponibles en este trabajo. Estos datos se listan en la Tabla 3.3 de la Memoria (sección 3.2). Los campos son los siguientes:

*Cod\_Estacion.* Código que el Instituto Nacional de Meteorología (INM) asigna a la estación.

*Nombre\_Estacion.* Nombre de la estación.

*UTMEste\_Oeste.* Coordenada UTM este-oeste, km.

*UTMNorte\_Sur.* Coordenada UTM norte-sur, km.

### Tabla Estaciones Temp

Contiene las coordenadas de las estaciones termométricas disponibles en este trabajo. Estos datos se listan en la Tabla 3.2 de la Memoria (sección 3.2). Los campos son los siguientes:

*Cod\_Estacion.* Código que el INM asigna a la estación.

*Nombre\_Estacion.* Nombre de la estación.

*UTMEste\_Oeste.* Coordenada UTM este-oeste, km.

*UTMNorte\_Sur.* Coordenada UTM norte-sur, km.

### Tabla Estaciones Viento

Contiene las coordenadas de las estaciones de las que se obtuvieron valores medios mensuales (año medio) de velocidad del viento a 2.0 m. Estos datos se listan en la Tabla 3.5 de la Memoria (sección 3.3). Los campos son los siguientes:

*Codigo\_Est.* Código arbitrario asignado a cada estación.

*Nombre\_Estacion.* Nombre de la estación.

*UTMEste\_Oeste.* Coordenada UTM este-oeste, km.

*UTMNorte\_Sur.* Coordenada UTM norte-sur, km.

### Tabla FrecPrecMes AñoMedio

Contiene los valores medios mensuales (año medio) de la frecuencia de los eventos de precipitación (inversa del número días con eventos de precipitación) en las estaciones pluviométricas seleccionadas. Los campos son los siguientes:

*Cod\_Estacion*. Código que el INM asigna a la estación.

*Mes*. Mes (de 1 a 12).

*FPr*. Media mensual (año medio) de la frecuencia de los eventos de precipitación (inversa del número días con eventos de precipitación). Unidad: días.

Tabla *HRminMes AñoMedio*

Contiene los valores medios mensuales (año medio) de la humedad relativa mínima en las estaciones seleccionadas con este dato disponible. Los campos son los siguientes:

*Codigo\_Est*. Código arbitrario asignado a la estación.

*Mes*. Mes (de 1 a 12).

*HRmin*. Media mensual (año medio) de la humedad relativa mínima, %.

Tabla *PrecMediasMes 1961 2002*

Contiene los valores medios mensuales para el periodo 1961-2002 de la precipitación en las estaciones seleccionadas con este dato disponible. Los campos son los siguientes:

*Cod\_Estacion*. Código que el INM asigna a la estación.

*Mes*. Mes (de 1 a 12).

*Año*. Año (1961 a 2002).

*Precipitación*. Total mensual de la precipitación, mm. Valores de -99 indican dato no disponible.

*Id\_Datos*. Número arbitrario asignado a cada registro.

Tabla *TempMediasMes 1961 2002*

Contiene los valores medios mensuales para el periodo 1961-2002 de las temperaturas máxima y mínima en las estaciones seleccionadas con este dato disponible. Los campos son los siguientes:

*Cod\_Estacion*. Código que el INM asigna a la estación.

*Mes*. Mes (de 1 a 12).

*Año*. Año (1961 a 2002).

*Tempmin*. Media mensual de la temperatura mínima, °C. Valores de -99 indican dato no disponible.

*Tempmax*. Media mensual de la temperatura máxima, °C. Valores de -99 indican dato no disponible.

*Id\_Datos*. Número arbitrario asignado a cada registro.

Tabla *VientoMes AñoMedio*

Contiene los valores medios mensuales (año medio) de la velocidad del viento a 2.0 m en las estaciones seleccionadas con este dato disponible. Los campos son los siguientes:

*Codigo\_Est*. Código arbitrario asignado a la estación.

Mes. Mes (de 1 a 12).

VelVto. Media mensual (año medio) de la velocidad del viento a 2.0 m,  $m s^{-1}$ .

### **Subcarpeta EstacionesLAAMA**

Contiene 4 ficheros comprimidos (WinZip). Cada fichero corresponde a una estación meteorológica y a una variable. Las estaciones incluidas en esta subcarpeta son las 2 que corresponden a la Institución del autor de este informe (Montañana y Tamarite) y las variables consideradas son velocidad de viento y humedad relativa del aire. Dentro de cada fichero comprimido hay 12 ficheros, cada uno corresponde a un mes y contiene todos los datos de la variable y estación en cuestión registrados en los distintos años en ese mes.

### **Subcarpeta EstsINM**

Contiene a su vez dos subcarpetas: a) *EMAs*; b) *Secundarios*. En la subcarpeta *EMAs* se incluyen 5 ficheros comprimidos (WinZip) cada uno de los que corresponde a una de las cinco estaciones meteorológicas automáticas del INM incluidas en este estudio como estaciones meteorológicas secundarias. Estos ficheros contienen 12 ficheros cada uno, correspondiendo cada fichero a los datos (humedad relativa y velocidad de viento) de una estación y mes para todos los años disponibles. La subcarpeta *Secundarios* contiene los ficheros con los datos de humedad relativa y velocidad de viento usados en este trabajo y provenientes de estaciones del INM de las denominadas *Horas Tipo*. Además se listan las alturas de medida de la velocidad del viento.

### **Subcarpeta OtrasEstacsNoINM**

Contiene 4 subcarpetas: a) *DACUS*Aragon; b) *Ests-RRICAA*; c) *RiegosNavarra*; d) *SMCataluña*. La primera contiene los datos de humedad relativa mínima y velocidad de viento registrados en las estaciones meteorológicas secundarias de la red DACUS seleccionadas en este trabajo. La subcarpeta *Ests-RRICAA*, lo mismo pero en este caso de las dos estaciones de la red RRICAA seleccionadas, Monzón y Alagón. La carpeta *RiegosNavarra* contiene los datos obtenidos de las estaciones de la red de Riegos de Navarra y la otra carpeta, *SMCataluña*, lo mismo pero de las estaciones correspondientes al Servei Meteorològic de Cataluña. Se trata en todos los casos de los valores mensuales, diarios u horarios suministrados por estas distintas instituciones.

### **Subcarpeta RadiacionAtmosferica**

Contiene el fichero utilizado como plantilla para realizar los cálculos de la radiación atmosférica (Anejo 1) y los valores calculados en cada comarca. En el fichero usado como plantilla, *PlantillaCalculoRaComarcas.xls*, los cálculos se realizan en la hoja *Dia*. El usuario sólo debe introducir la latitud y longitud de la comarca (o estación meteorológica) en las celdillas C6 y C7 si se tienen en grados, minutos o segundos, o en las celdillas K4 y K5 si se tienen en grados y fracción decimal de grado.

### **Subcarpeta TP-DoblesMasas**

Contiene dos subcarpetas, *Precipitacion* y *Temperatura*. En la primera se tienen los ficheros con los valores calculados de frecuencia de humedecimiento por precipitación en cada estación y en cada centroide comarcal. Asimismo se tienen los ficheros utilizados para realizar el análisis de dobles masas para seleccionar estaciones pluviométricas. Por su parte, la subcarpeta *Temperatura* contiene los ficheros necesarios para realizar el análisis de dobles masas para seleccionar estaciones termométricas. Asimismo, ambas subcarpetas tienen los datos mensuales de temperatura y precipitación de las estaciones seleccionadas en este trabajo, en el formato de texto suministrado por la OPH de la CHE.

### **Carpeta ETyNHn**

En esta carpeta se encuentran los siguientes ficheros: a) *CalculoKcMes.zip*; b) *ConvenioCHE2004CalculoKc.mdb*; c) *NumerosdelasComarcas.xls*; d) *CalculoPercentilesETcNHn.zip*; e) *CalculoEToEnComarcas.xls*; f) *CalculoETcyNHn.zip*. Además, la subcarpeta *Fenologia*.

### **Fichero ConvenioCHE2004CalculoKc.mdb**

Este fichero contiene las siguientes tablas: 1) *Comarcas*; 2) *Cultivos*; 3) *EstimasComarcalesEToPr1961\_2002*; 4) *KcCultivosHerb*; 5) *KcCultivosFrut*; 6) *KcCultivosForr*; 7) *MeteoComarcaAñoMedio*; 8) *NoCiclosCultivosForr*.

#### **Tabla Comarcas**

Contiene coordenadas de los centroides de las comarcas utilizadas en este trabajo. Estos datos se listan en las Tablas 3.1 (sección 3.1) y 3.4 (sección 3.2). Los campos son los siguientes:

*Cod\_Comarca*. Código arbitrario asignado a cada comarca.

*Nombre\_Comarca*. Nombre de la comarca.

*UTMEste\_Oeste*. Coordenada UTM este-oeste, km.

*UTMNorte\_Sur*. Coordenada UTM norte-sur, km.

#### **Tabla Cultivos**

Contiene los valores de *Kc* tabulados por Allen et al. (1998), y otras fuentes, y listados en la Tabla 3.7 (sección 3.6) de la Memoria. Los campos son los siguientes:

*Cod\_Cultivo*. Número arbitrario asignado a cada cultivo.

*Nombre\_Cultivo*. Nombre del cultivo.

*KciniTab*. Valor tabulado de  $K_c$  en la fase inicial.

*Kc3Tab*. Valor tabulado de  $K_c$  en la fase de mediados.

*Kc4Tab*. Valor tabulado de  $K_c$  en la fase final.

*Hcmax*. Altura máxima de la planta según Allen et al. (1998).

*RDFase3*. Coeficiente reductor ( $K_{r_{rd}}$ ) del  $K_c$  en la fase de mediados en el caso de riego deficitario considerado para algunos frutales (sección 3.6 de la Memoria).

*RDFase4*. Coeficiente reductor ( $K_{rfd}$ ) del  $K_c$  en la fase final en el caso de riego deficitario considerado para algunos frutales (sección 3.6 de la Memoria).

#### Tabla *EstimasComarcalesEToPr1961 2002*

Contiene los valores mensuales de  $ET_0$  y precipitación interpolados en los centroides comarcales en el periodo 1961-2002. Los campos son los siguientes:

*Cod\_Comarca*. Código arbitrario asignado a cada comarca.

*Año*. Año.

*Mes*. Mes.

*ETo(mm/dia)*. Valor mensual de la  $ET_0$  para el año *Año* y el mes *Mes* interpolado en el centroide comarcal de la comarca *Cod\_Comarca*,  $\text{mm día}^{-1}$ .

*Prec(mm/mes)*. Valor mensual de la precipitación para el año *Año* y el mes *Mes* interpolado en el centroide comarcal de la comarca *Cod\_Comarca*,  $\text{mm mes}^{-1}$ .

#### Tabla *MeteoComarcaAñoMedio*

Contiene los valores mensuales de distintas variables meteorológicas interpolados en los centroides comarcales para un año medio. Estos datos se listan en las Tablas A2.1 (Anejo 2) y A5.1 (Anejo 5). Los campos son los siguientes:

*Cod\_Comarca*. Código arbitrario asignado a cada comarca.

*Mes*. Mes.

*Tem\_Max*. Media mensual (año medio) de la temperatura máxima, °C.

*Tem\_Min*. Media mensual (año medio) de la temperatura mínima, °C.

*Tem\_Med*. Media mensual (año medio) de la temperatura media, °C.

*Precipitacion*. Media mensual (año medio) de la precipitación,  $\text{mm mes}^{-1}$ .

*Vel\_Viento*. Media mensual (año medio) de la velocidad del viento a 2.0 m de altura,  $\text{m s}^{-1}$ .

*HR\_Minima*. Media mensual (año medio) de la humedad relativa mínima, %.

*EToMed(mm/dia)*. Media mensual (año medio) de la  $ET_0$  para,  $\text{mm día}^{-1}$ .

*EToMed(mm/mes)*. Media mensual (año medio) de la  $ET_0$  para,  $\text{mm mes}^{-1}$ .

*FPr*. Media mensual (año medio) de la frecuencia de precipitación (inversa del número de eventos de precipitación), días.

*Id\_Dato*. Número arbitrario asignado al registro de la comarca *Cod\_Comarca* y mes *Mes*.

#### Tabla *KcCultivosHerb*

Contiene la fenología de los cultivos herbáceos seleccionados (menos los forrajeros con varios cortes anuales) y listada en la Tabla A7.1 (Anejo 7). Asimismo, se listan los diversos valores calculados con las ecuaciones (3.4) a (3.8) descritas en la sección 3.6 de la Memoria. Los campos son los siguientes:

*Cod\_Comarca*. Código arbitrario asignado a cada comarca.

*CCAA*. Nombre de la Comunidad Autónoma a la que pertenece la comarca.

*Nombre\_Comarca*. Nombre de la comarca.

*Cod\_Cultivo*. Código arbitrario asignado al cultivo.

*Nombre\_Cultivo*. Nombre del cultivo.

*TipoVarietal*. Tipo varietal seleccionado para el cultivo en cuestión. Nótese que a efectos de cálculos y de los resultados presentados en las secciones 4.3 a 4.6 de la Memoria, este *TipoVarietal* se denomina *cultivo*, mientras que el cultivo indicado en *Nombre\_Cultivo* se refiere a la especie, sin especificar tipo varietal.

*D1*. Fecha de comienzo de la fase inicial del ciclo de cultivo. Día y mes. Es el día siguiente a la fecha de siembra o transplante que es la que se lista en la Tabla A7.1 (Anejo 7).

*D2*. Fecha de comienzo de la fase de desarrollo del ciclo de cultivo. Día y mes.

*D3*. Fecha de comienzo de la fase de mediados del ciclo de cultivo. Día y mes.

*D4*. Fecha de comienzo de la fase final del ciclo de cultivo. Día y mes.

*D5*. Fecha de fin de la fase final del ciclo de cultivo (madurez fisiológica o cosecha). Día y mes.

*F1*. Duración de la fase inicial, días.

*F2*. Duración de la fase de desarrollo, días.

*F3*. Duración de la fase de mediados, días.

*F4*. Duración de la fase final, días.

*EToini*. Media de la  $ET_0$  durante la fase inicial del ciclo de cultivo,  $\text{mm día}^{-1}$ .

*FPrini*. Media de la frecuencia de eventos de precipitación durante la fase inicial del ciclo de cultivo, días.

*Kci*. Valor calculado del coeficiente de cultivo en la fase inicial.

*HRminmed*. Media de la humedad relativa mínima durante la fase de mediados del ciclo de cultivo, %.

*Vtomed*. Media de la velocidad del viento a 2.0 m de altura durante la fase de mediados del ciclo de cultivo,  $\text{m s}^{-1}$ .

*Kc3*. Valor calculado del coeficiente de cultivo en la fase de mediados.

*HRminfin*. Media de la humedad relativa mínima durante la fase final del ciclo de cultivo, %.

*Vtfin*. Media de la velocidad del viento a 2.0 m de altura durante la fase final del ciclo de cultivo,  $\text{m s}^{-1}$ .

*Kc4*. Valor calculado del coeficiente de cultivo en la fase final.

*HRminini*. Media de la humedad relativa mínima durante la fase inicial del ciclo de cultivo, % (sólo calculado en el caso del arroz).

*Vtolni*. Media de la velocidad del viento a 2.0 m de altura durante la fase inicial del ciclo de cultivo, % (sólo calculado en el caso del arroz).

*Id\_Dato*. Número arbitrario asignado al registro.

#### Tabla KcCultivosForr

Contiene la fenología de los cultivos forrajeros seleccionados (excepto maíz forrajero y veza forrajera) y listada, parcialmente, en la Tabla A8.1 (Anejo 8).

Asimismo, se listan los diversos valores calculados con las ecuaciones (3.4) a (3.8) descritas en la sección 3.6 de la Memoria. Los campos son los siguientes:

*Id\_Ciclo\_Cultivo*. Número arbitrario asignado al ciclo de corte del cultivo en cuestión.

*Ciclo*. Número de ciclo del cultivo en cuestión. Los valores del registro se refieren a este ciclo. Por tanto, a efectos de cálculo, cada ciclo de corte se ha considerado como si fuera un "cultivo" distinto.

*D1*. Fecha de comienzo de la fase inicial del ciclo de corte *Ciclo*. Día y mes. Es el día siguiente a la fecha de inicio de la actividad fisiológica tras la parada invernal y que es la que se lista en la Tabla A8.1 (Anejo 8).

*D2*. Fecha de comienzo de la fase de desarrollo del ciclo de corte *Ciclo*. Día y mes.

*D3*. Fecha de comienzo de la fase de mediados del ciclo de corte *Ciclo*. Día y mes.

*D4*. Fecha de comienzo de la fase final del ciclo de corte *Ciclo*. Día y mes.

*D5*. Fecha de fin de la fase final del ciclo de corte *Ciclo* (corte). Día y mes.

*EToini*. Media de la  $ET_0$  durante la fase inicial del ciclo de corte *Ciclo*,  $\text{mm día}^{-1}$ .

*FPrini*. Media de la frecuencia de eventos de precipitación durante la fase inicial del ciclo de corte *Ciclo*, días.

*Kci*. Valor calculado del coeficiente de cultivo en la fase inicial.

*HRminmed*. Media de la humedad relativa mínima durante la fase de mediados del ciclo de corte *Ciclo*, %.

*Vtomed*. Media de la velocidad del viento a 2.0 m de altura durante la fase de mediados del ciclo de corte *Ciclo*,  $\text{m s}^{-1}$ .

*Kc3*. Valor calculado del coeficiente de cultivo en la fase de mediados.

*HRminfin*. Media de la humedad relativa mínima durante la fase final del ciclo de corte *Ciclo*, %.

*Vtofin*. Media de la velocidad del viento a 2.0 m de altura durante la fase final del ciclo de corte *Ciclo*,  $\text{m s}^{-1}$ .

*Kc4*. Valor calculado del coeficiente de cultivo en la fase final.

*Id\_Dato*. Número arbitrario asignado al registro.

#### Tabla KcCultivosFrut

Contiene la fenología de los cultivos frutales seleccionados y listada en la Tabla A7.1 (Anejo 7). Asimismo, se listan los diversos valores calculados con las ecuaciones (3.4) a (3.8) descritas en la sección 3.6 de la Memoria. Los campos son los siguientes:

*Cod\_Comarca*. Código arbitrario asignado a cada comarca.

*CCAA*. Nombre de la Comunidad Autónoma a la que pertenece la comarca.

*Nombre\_Comarca*. Nombre de la comarca.

*Cod\_Cultivo*. Código arbitrario asignado al cultivo.

*Nombre\_Cultivo*. Nombre del cultivo.

*TipoVarietal*. Tipo varietal seleccionado para el cultivo en cuestión. Nótese que a efectos de cálculos y de los resultados presentados en las secciones 4.3 a 4.6 de

la Memoria, este *TipoVarietal* se denomina *cultivo*, mientras que el cultivo indicado en *Nombre\_Cultivo* se refiere a la especie, sin especificar tipo varietal.

- D1*. Fecha de comienzo de la fase inicial del ciclo de cultivo. Día y mes. Es el día siguiente a la fecha de desborre que es la que se lista en la Tabla A7.1 (Anejo 7).
- D2*. Fecha de comienzo de la fase de desarrollo del ciclo de cultivo. Día y mes.
- D3*. Fecha de comienzo de la fase de mediados del ciclo de cultivo. Día y mes.
- D4*. Fecha de comienzo de la fase final del ciclo de cultivo. Día y mes.
- D5*. Fecha de fin de la fase final del ciclo de cultivo (madurez fisiológica o cosecha).  
Día y mes.
- F1*. Duración de la fase inicial, días.
- F2*. Duración de la fase de desarrollo, días.
- F3*. Duración de la fase de mediados, días.
- F4*. Duración de la fase final, días.
- RD*. Fecha utilizada para definir el periodo de *riego deficitario* (sección 3.6 de la memoria) en el almendro y melocotonero.
- EToini*. Media de la  $ET_0$  durante la fase inicial del ciclo de cultivo,  $\text{mm día}^{-1}$ .
- FPrini*. Media de la frecuencia de eventos de precipitación durante la fase inicial del ciclo de cultivo, días.
- Kci*. Valor calculado del coeficiente de cultivo en la fase inicial.
- HRminmed*. Media de la humedad relativa mínima durante la fase de mediados del ciclo de cultivo, %.
- Vtomed*. Media de la velocidad del viento a 2.0 m de altura durante la fase de mediados del ciclo de cultivo,  $\text{m s}^{-1}$ .
- Kc3*. Valor calculado del coeficiente de cultivo en la fase de mediados.
- HRminfin*. Media de la humedad relativa mínima durante la fase final del ciclo de cultivo, %.
- Vtofin*. Media de la velocidad del viento a 2.0 m de altura durante la fase final del ciclo de cultivo,  $\text{m s}^{-1}$ .
- Kc4*. Valor calculado del coeficiente de cultivo en la fase final.
- Id\_Dato*. Número arbitrario asignado al registro.

#### Tabla NoCiclosCultivosForr

Contiene el número de ciclos de corte anuales considerados en el caso de los cultivos forrajeros (excepto maíz forrajero y veza forrajera). Esta tabla está asociada a la tabla *KcCultivosForr* descrita anteriormente. Los campos son los siguientes:

- Cod\_Comarca*. Código arbitrario asignado a cada comarca.
- CCAA*. Nombre de la Comunidad Autónoma a la que pertenece la comarca.
- Nombre\_Comarca*. Nombre de la comarca.
- Cod\_Cultivo*. Código arbitrario asignado al cultivo.
- Nombre\_Cultivo*. Nombre del cultivo.

*TipoVarietal*. Tipo varietal seleccionado para el cultivo en cuestión. En este tipo de cultivos, *TipoVarietal* coincide con el *Nombre\_Cultivo* ya que en los cultivos forrajeros no se han considerado tipos varietales.

*Ciclos*. Número de ciclos de corte anuales considerados.

*Id\_Dato*. Número arbitrario asignado al registro.

### Fichero *CalculoKcMes.zip*

En este fichero se encuentran comprimidos cuatro ficheros creados con la aplicación EXCEL: *CalculoKcMesGrupoAB.xls*, *CalculoKcMesGrupoC.xls*, *CalculoKcMesGrupoD.xls* y *TablaKcMensuales.xls*.

#### Fichero *CalculoKcMesGrupoAB.xls*

Contiene los cálculos de los valores mensuales de los *Kc* de los cultivos herbáceos menos los forrajeros con varios ciclos de corte anuales. En este fichero hay 9 hojas, denominadas *H<sub>x</sub>* (donde *x* es un dígito de 1 a 8) y *Hoja3*. Las hojas *H<sub>x</sub>* tienen la misma estructura.

Cada hoja *H<sub>x</sub>* incluye los cálculos de *Kc* mensual de varios *cultivos* en todas las comarcas donde se seleccionó, estando en columnas contiguas todas las comarcas de un mismo *cultivo*. Debido a que el número de comarcas donde se seleccionó cada *cultivo* fue muy variable (Tabla 4.6, sección 4.3), el número de columnas incluido en cada hoja *H<sub>x</sub>* también lo fue. En las columnas B y siguientes, filas 2 a 12 se listan el nombre de comarca, el *cultivo*, los valores de fenología (*D1* a *D5*, Tabla A7.1, Anejo 7) y los valores calculados de *Kc<sub>ini</sub>*, *Kc<sub>med</sub>* y *Kc<sub>fin</sub>*, listados en la tabla *KcCultivosHerb* de la base de datos *ConvenioCHE2004CalculoKc.mdb*.

En las filas 15 a 26 se calcularon los valores medios mensuales de *Kc* a partir de los valores diarios que se calcularon en las filas 43 a 407. Estos valores diarios se obtuvieron a partir de los valores de *Kc<sub>ini</sub>*, *Kc<sub>med</sub>* y *Kc<sub>fin</sub>* siguiendo el procedimiento descrito en la sección 3.6, incluyendo las ecuaciones (3.9) y (3.10). En las filas 29 a 40 se calcularon el número de días con presencia del cultivo en cada mes. Las fórmulas de cálculo sólo se conservan en las filas 15 a 26 y 29 a 40 de la columna B y en la fila 43 de todas las columnas. Los valores listados en las filas 15 a 26 y 29 a 40 son los que se copiaron a los ficheros *CalculoETcNHn<sub>x</sub>.xls*, filas 513 a 536 de sus respectivas hojas.

La hoja *Hoja3* lista de forma resumida los valores mensuales de *Kc* calculados en las otras 8 hojas.

#### Fichero *CalculoKcMesGrupoC.xls*

La estructura de este fichero es muy similar a la descrita para el fichero *CalculoKcMesGrupoAB.xls*. En este caso se incluyen las siguientes hojas: *Almendro* (cálculos para el almendro), *Frut2* (cálculos para el albaricoquero, avellano, ciruelo y manzano), *Cerezo1* (cálculos para el cerezo de media estación y tardío), *Cerezo2* (cálculos para el cerezo temprano), *Melocot1* (cálculos para el melocotonero de media estación y tardío), *Melocoton2* (cálculos para el melocotonero temprano), *Frut3* (cálculos para el nogal y peral), *Viña* (cálculos para el viñedo) y *Hoja2*. La

única diferencia que existe en las hojas *Almendro*, *Melocot1*, *Melocoton2* y *Viña* respecto a las restantes hojas y las hojas  $H_x$  del fichero *CalculoKcMesGrupoAB.xls* es la inclusión de la fecha *RD* (*riego deficitario*) en la fila 9. El resto de la estructura de estas hojas es como la descrita para el fichero *CalculoKcMesGrupoAB.xls*. La hoja *Hoja2* lista un resumen de los valores mensuales de *Kc* calculados.

#### Fichero *CalculoKcMesGrupoD.xls*

La estructura de este fichero es similar a la de los dos anteriores. En este caso, hay 5 hojas  $H_x$  (donde  $x$  es un dígito de 1 a 5) y una hoja *Hoja3*. En cada hoja  $H_x$  se incluyen las mismas columnas y filas que en las hojas  $H_x$  del fichero *CalculoKcMesGrupoAB.xls*. Pero en la fila 4 se incluye el ciclo de corte considerado y en la fila 5 el número total de ciclos de corte considerados para el cultivo y comarca en cuestión. Asimismo, las medias mensuales de los valores de *Kc* no incluyen sólo los valores diarios de su misma columna sino que se calculan con los valores diarios de las  $n$  columnas que hay para cada cultivo y comarca, siendo  $n$  el número de ciclos de corte. Por ejemplo, en la hoja *H1*, en las columnas B a G se realizaron los cálculos de la alfalfa en Caspe. En este caso se consideraron 6 ciclos de corte anuales (fila 5). La columna B se usó para el ciclo 1, la columna C para el ciclo 2 y así sucesivamente. Pues bien, las medias mensuales de *Kc* calculadas en las filas 17 a 28 se realizaron con los valores diarios de *Kc* calculados en las columnas B a G. Y así sucesivamente. La hoja *Hoja3* lista un resumen de los valores mensuales de *Kc* calculados.

#### Fichero *TablaKcMensuales.xls*

Fichero creado con EXCEL. Tiene dos hojas, *Hoja1* y *Hoja2*. Esta última hoja lista los valores mensuales de *Kc* listados en las hojas *Hoja3*, *Hoja2* y *Hoja3* de los 3 ficheros antes descritos. La hoja *Hoja1* lista la misma información que la hoja *Hoja2* pero ordenada de forma adecuada para su importación en Word, en la Ficha de Resultados 1. La información contenida en este fichero es suficientemente autoexplicativa por lo que no se realiza una descripción más detallada del mismo.

#### **Fichero *CalculoETcyNHn.zip***

En este fichero se encuentran comprimidos 10 ficheros creados con la aplicación EXCEL (MS Office 2000). Se denominan *CalculoETcNHnxx.xls*, donde  $xx$  son dos dígitos que van de 01 a 10. Todos los ficheros tienen la misma estructura por lo que su descripción será conjunta.

Cada fichero tiene una serie de hojas identificadas con la letra C y un número igual al código NCO indicado en la Tabla 3.1 de la Memoria (sección 3.1). La estructura de cada hoja es igual. Las celdas C1 y B2 tienen el nombre de la comarca y el código NCO. Las celdas de la columna A, desde la fila 4 hasta la 508 tienen el año. En la columna B, mismas filas, se indica el mes. En las columnas C y D, filas 4 a 508, se listan los correspondientes valores medios mensuales de  $ET_0$  y precipitación, respectivamente, interpolados en el centroide comarcal de la comarca en cuestión.

A partir de la columna E se listan grupos de 4 columnas. Cada uno de estos grupos contienen los cálculos de *ETc*, *Pef*, *NHn* y agua en el suelo, respectivamente, correspondientes al *cultivo* indicado en la fila 2 y calculados con las ecuaciones (3.11) a (3.15) (sección 3.7). Estos grupos de 4 columnas van de las filas 4 a la 508. Las fórmulas necesarias para realizar estos cálculos sólo se mantienen en las columnas E a H. Si se quisieran rehacer los cálculos en los restantes *cultivos*, es decir, en los restantes grupos de 4 columnas, habría que copiar las fórmulas de las celdas E5 a H508 y pegarlas en las restantes columnas.

En las filas 513 a 524 de cada grupo de 4 columnas (empezando en la columna E) se listan los valores de *Kc* mensual calculados para el *cultivo* indicado en la fila 2. En la carpeta *CalculoKcMes* se explican los ficheros utilizados para obtener estos valores de *Kc* mensuales. En las filas 525 a 536 de cada grupo de 4 columnas (empezando en la columna E) se listan el número de días con presencia del *cultivo* en cada mes.

Todos los ficheros *CalculoETcNHnxx.xls* tienen 11 hojas, es decir, contienen los cálculos de 11 comarcas. La excepción es el último fichero, *CalculoETcNHn10.xls*. En el fichero *CalculoETcNHn09.xls* se realizaron los cálculos de la comarca 98, Segriá. Debido al número elevado de *cultivos* seleccionado en esta comarca (Tabla 4.7, sección 4.3), no hubo espacio suficiente para realizar los cálculos de todos ellos en una sola hoja. Por ello, en este caso se usaron dos hojas, *C98a* y *C98b*. Y, en consecuencia, en el fichero *CalculoETcNHn10.xls* se incluyeron 12 hojas, las de las comarcas 99 a 110.

### **Fichero *CalculoPercentilesETcNHn.zip***

En este fichero se encuentran comprimido 11 ficheros creados con la aplicación EXCEL (MS Office 2000). Se denominan *CalculoPercentilesETcNHnxx.xls*, donde *xx* son dos dígitos que van de 01 a 11. Todos los ficheros tienen la misma estructura por lo que su descripción será conjunta. Asimismo el fichero *CalculoPercentilesETcNHn* contiene otro fichero comprimido más, *TablaPercentiles.xls*.

#### Ficheros *CalculoPercentilesETcNHnxx.xls*

En cada fichero hay dos hojas, *Hoja1* y *Hoja3*.

En la hoja *Hoja1* las columnas A a F tienen los siguientes campos: *Comarca*, *Cultivo*, *Año*, *Mes*, *ETc* y *NHn*. Se listan los valores calculados con los ficheros *CalculoETcNHnxx.xls* descritos anteriormente para todos los meses del periodo 1961 a 2002 de tantas combinaciones de *cultivo* y comarca como caben en la hoja. En las columnas G a Q se calcularon los siguientes campos: *Comarca*, *Cultivo*, *Mes*, *ETc* (percentil del 50 %), *NHn* (percentil del 50 %), *ETc* (percentil del 80 %), *NHn* (percentil del 80 %), *ETc* (percentil del 90 %), *NHn* (percentil del 90 %), *ETc* (percentil del 95 %) y *NHn* (percentil del 95 %) para todas las combinaciones de *cultivo* y comarca incluidas en la hoja.

La hoja *Hoja3* tiene una tabla dinámica en las columnas A a E con la que se obtuvieron los valores estacionales de cada año individual del periodo 1961 a 2002

para cada combinación de *cultivo* y comarca incluida en la hoja *Hoja1*. En las columnas F a P se calcularon los respectivos percentiles de estos valores estacionales. Este cálculo se realizó como un ejercicio académico para su comparación con los valores estacionales obtenidos como sumas de los correspondientes percentiles de valores mensuales (siendo estos últimos los que finalmente se incluyeron en la Ficha de Resultados 2).

#### Fichero *TablaFinalPercentiles.xls*

Este fichero es el más importante de todos pues tiene el producto final de este trabajo. Este fichero tiene varias hojas. Todas ellas son suficientemente autoexplicativas y no se describirán con más detalle, excepto la hoja *Hoja1*. Esta hoja tiene los siguientes campos:

Columna A. Un número arbitrario asignado a cada combinación de *cultivo*, comarca y mes.

Columna B. Mes. Nótese que el mes 'Estacional' es la suma estacional de los valores mensuales de los correspondientes percentiles. Estos valores son los incluidos en la Ficha de Resultados 2, no los calculados en la hoja *Hoja3* de los ficheros *CalculoPercentilesETcNHnxx.xls*.

Columna C. Percentil del 50 % de la *ETc*.

Columna D. Percentil del 50 % de la *NHn*.

Columna E. Percentil del 80 % de la *ETc*.

Columna F. Percentil del 80 % de la *NHn*.

Columna G. Percentil del 90 % de la *ETc*.

Columna H. Percentil del 90 % de la *NHn*.

Columna I. Percentil del 95 % de la *ETc*.

Columna J. Percentil del 95 % de la *NHn*.

Nótese que estos registros están colocados en forma de tabla. Al final de los valores estacionales de cada combinación de *cultivo* y comarca se han insertado tres filas para escribir la comarca y el *cultivo* de la siguiente combinación. De esta forma, cada tabla 'individual' (combinación de *cultivo* y comarca) se ha importado a los documentos Word (MS Office 2000) en los que se almacena la Ficha de Resultados 2, el producto final de este trabajo.

Las restantes hojas de este fichero contienen los análisis estadísticos incluidos en las Tablas 4.9 y siguientes (sección 4.5) de la Memoria.

#### **Fichero *NumerodelasComarcas.xls***

En este fichero se listan las comarcas utilizadas en este trabajo con el número de identificación que se usa en las coberturas proporcionadas por la CHE y el número de identificación que finalmente se usó en este trabajo.

**Fichero *CalculoEToEnComarcas.xls***

Este fichero contiene los datos y fórmulas necesarios para estimar la  $ET_0$  en cada centroide comarcal, para cada mes y año individuales en el periodo 1961-2002.

**Subcarpeta *Fenologia***

En esta subcarpeta se encuentran diversos ficheros que contienen las estadísticas agrarias utilizadas en este trabajo, la información fenológica recopilada de distintas fuentes, la lista de cultivos seleccionados, los valores tabulados de  $K_{C_{med}}$  y  $K_{C_{fin}}$ , y unos textos en Word que explican los procedimientos de cálculo de la  $ET_c$  y de las  $NH_n$ . Se considera que los ficheros son suficientemente autoexplicativos porque contienen diversos textos que exponen los diversos cálculos y la información recopilada. Por ello, no se describirán más detalladamente en esta sección.

**Carpeta *InfoDadapormAGV***

Esta carpeta contiene algunos de los ficheros proporcionados por Miguel Ángel García Vera (OPH de la CHE) sobre dotaciones de riego en la Cuenca del Ebro. Por ello, se remite al lector a la OPH para más detalles sobre los mismos.

**Carpeta *Informe***

Esta carpeta tiene una serie de ficheros realizados con MS Word (MS Office 2000), el fichero *ConvenioCHE2004DotacionesRiego.zip* y dos subcarpetas (*MapasIncluidos* y *MapasNoIncluidos*). Los ficheros de MS Word ficheros son:

*InformeConvCHENechHidr2004Texto.doc*. Texto de la Memoria del informe de este trabajo.

*InformeConvCHENechHidr2004Anejos.doc*. Los Anejos del informe.

*InformeConvCHENechHidr2004FichRes1.doc*. La Ficha de Resultados 1.

*InformeConvCHENechHidr2004FichRes2A.doc*. Primera parte de la Ficha de Resultados 2.

*InformeConvCHENechHidr2004FichRes2B.doc*. Segunda parte de la Ficha de Resultados 2.

*InformeConvCHENechHidr2004FichRes2C.doc*. Tercera parte de la Ficha de Resultados 2.

*InformeConvCHENechHidr2004FichRes2D.doc*. Cuarta parte de la Ficha de Resultados 2.

Debido a su tamaño, la Ficha de Resultados 2 se ha dividido en varios ficheros para conseguir que el manejo de los ficheros fuera más sencillo y cómodo.

El fichero *ConvenioCHE2004DotacionesRiego.zip* contiene diversos textos realizados con MSWord en los que se encuentra el convenio firmado entre el CSIC y la CHE para realizar este trabajo, la justificación realizada ante los Servicios Centrales del CSIC para contratar al titulado medio (Víctor del Río) que colaboró en la ejecución del trabajo y otros textos.

**Subcarpeta MapasIncluidos**

Esta subcarpeta tiene los siguientes ficheros de MS Word:

*Fig3-1\_Mapa\_Comarcas.doc*. Figura 3-1 de la Memoria.

*Fig3-2\_Mapa\_EstsTermometricas.doc*. Figura 3-2 de la Memoria.

*Fig3-3\_Mapa\_EstsPrecipitacion.doc*. Figura 3-3 de la Memoria.

*FigsA3-1\_A3-13MapasTemperaturaMedia.doc*. Figuras A3-1 a A3-13 del Anejo 3.

*FigsA4-1\_A4-13MapasPrecipitacion.doc*. Figuras A4-1 a A4-13 del Anejo 4.

*FigsA6-1\_A6-13MapasETo.doc*. Figuras A6-1 a A6-13 del Anejo 6.

Estos ficheros son los mapas que se incluyen en la Memoria y los Anejos tal como se acaba de indicar.

**Subcarpeta MapasNoIncluidos**

Mapas de humedad relativa mínima, velocidad de viento, frecuencia de precipitación y división de comarcas por Comunidades Autónomas incluidos en ficheros de MS Word pero que finalmente se decidió que no se incluyeran en el informe.