

# NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO DE LOS CULTIVOS EN ARAGÓN

JOSÉ M.<sup>a</sup> FACI GONZÁLEZ  
y ANTONIO MARTÍNEZ COB  
Servicio de Investigación Agraria  
Diputación General de Aragón  
Apartado 727 - 50080 Zaragoza



*El riego por inundación es muy común en Aragón.*

La mayor parte del agua consumida por las plantas se evapora directamente a la atmósfera a través de los estomas de las hojas en el proceso de transpiración. Asimismo, además de la transpiración de las plantas, se produce una evaporación directa del agua de la superficie del suelo.

En la naturaleza, los procesos de transpiración y evaporación ocurren simultáneamente, sin que existan métodos sencillos para distinguirlos. Por ello, ambos procesos se engloban bajo el término de evapotranspiración. Así, en una comunidad vegetal la evapotranspiración incluye la transpiración de la cubierta vegetal y el agua evaporada directamente de la superficie del suelo y de las superficies vegetales vivas o muertas donde el agua se ha acumulado por el riego, lluvia o rocío. La humedad almacenada en la zona radicular del cultivo, proveniente del riego o de la precipitación, es la fuente de agua para los procesos de evapotranspiración.

La cuantificación de la evapotranspiración ha sido objeto de numerosos estudios desde hace mucho tiempo,

ya que su conocimiento es de vital importancia para el buen manejo de los recursos de agua y para los estudios del medio ambiente y de la productividad agrícola. El regadío es el mayor usuario de agua. Por ello, es muy importante que los métodos de cálculo de las necesidades de riego de los cultivos, empleados para el diseño y manejo de los sistemas de riego, sean fiables en las condiciones climáticas del área a regar y den predicciones que se acerquen lo más posible a la realidad. La demanda creciente de agua por los sectores agrícola, industrial y municipal obliga a un mayor esfuerzo por parte de la Administración y de los usuarios del agua para conseguir la mejor utilización de este recurso.

La mayor parte de los regadíos aragoneses se encuentran en zonas áridas y semiáridas donde la pluviometría anual no alcanza los 450 mm. En estas zonas la pluviometría es insuficiente para cubrir la totalidad de las necesidades de agua de los cultivos y por tanto el riego es necesario para obtener producciones óptimas de los mismos.

## BALANCE DE AGUA EN EL SUELO

Para una correcta determinación de las necesidades de riego de los cultivos, es conveniente una previa comprensión general del balance de agua en un suelo regado, representado esquemáticamente en la Figura 1. Las entradas de agua son el riego (R) y la precipitación (P), y las salidas son la evapotranspiración (ET) y las pérdidas de riego por escorrentía (N) y por percolación profunda (PP). Aplicando el principio de conservación de masas podemos escribir la ecuación:

$$R + P = ET + N + PP \pm \Delta\omega$$

El signo que precede a la variación de humedad del suelo ( $\Delta\omega$ ) será positivo o negativo según exista acumulación o extracción de agua en el suelo, respectivamente.

Para mantener un nivel de humedad del suelo, adecuado para un desarrollo óptimo de los cultivos, el agua consumida durante el proceso de evapotranspiración debe ser suministrada por la precipitación y por el agua de riego. Por ello, el cálculo de las necesidades de riego de los cultivos se realiza mediante un procedimiento en tres etapas:

a) Cálculo de la evapotranspiración de los cultivos ( $ET_c$ ). Los valores de  $ET_c$  constituyen las necesidades hídricas brutas de los cultivos para su desarrollo óptimo.

b) Cálculo de las necesidades hídricas netas de los cultivos ( $NH_n$ ). Para ello, se calcula la fracción del agua de lluvia que contribuye a satisfacer las necesidades de evapotranspiración de un cultivo en particular. Esta fracción

de agua de lluvia se denomina precipitación efectiva (PE) y su valor se descuenta del valor calculado de  $ET_c$  para determinar las necesidades hídricas netas de los cultivos, las cuales han de ser suministradas por el agua de riego.

c) Cálculo de las necesidades de agua de riego. Las necesidades de riego deben incluir la suma de las necesidades hídricas netas de los cultivos, de las pérdidas de agua producidas en el sistema de riego y de las necesidades de lavado del suelo. Las pérdidas de agua en el sistema de riego son función de su eficiencia, la cual depende fundamentalmente del manejo del mismo. El lavado del suelo es necesario para evitar la acumulación de sales en la zona radicular, ya que todas las aguas de riego contienen sales en mayor o menor medida que se concentran en el suelo durante el proceso de evapotranspiración. Las necesidades de lavado dependen por tanto de la salinidad del agua de riego y del grado de tolerancia del cultivo implantado a la salinidad del suelo en su zona radicular. En zonas regables con aguas de buena calidad y en suelos no salinos, las necesidades de lavado son muy pequeñas.

En este trabajo se presentan las necesidades hídricas brutas y netas mensuales ( $ET_c$  y  $NH_n$ , respectivamente) calculadas para los principales cultivos en seis comarcas de Aragón. Asimismo, se presentan las necesidades de riego de estos diferentes cultivos, determinadas a partir de los valores calculados de las  $NH_n$  y de una eficiencia determinada para un sistema de riego por inundación, con unas necesidades de lavado mínimas del suelo.

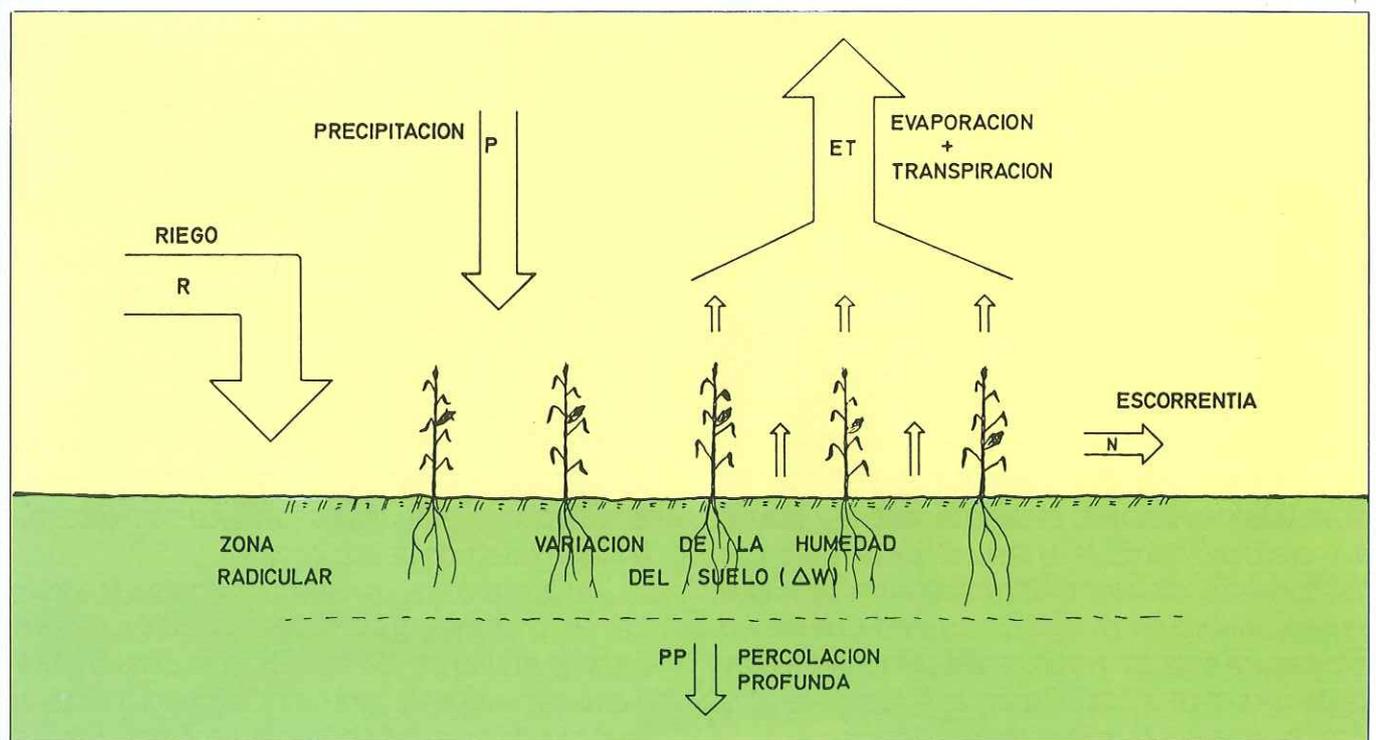


FIGURA 1. Esquema de los principales componentes del balance de agua en la zona radicular de un suelo regado.

## CÁLCULO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS BRUTAS DE LOS CULTIVOS

Las necesidades hídricas brutas o evapotranspiración de los cultivos ( $ET_c$ ) se definen como la altura de agua necesaria para el desarrollo óptimo de un cultivo exento de enfermedades que crece en un campo extenso, en condiciones óptimas de suelo y fertilidad y con agua suficiente.

Un grupo de investigadores adscritos a la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO) desarrolló, durante la década de los 70, una metodología de cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos con el objetivo de facilitar y mejorar la estimación de dichas necesidades. Para ello, estos investigadores calibraron y modificaron diversos métodos utilizando los datos de la evapotranspiración medida directamente en 20 lugares de todo el mundo, los cuales representaban una amplia gama de condiciones climáticas.

El cálculo de la  $ET_c$  propuesto por la metodología de FAO es un procedimiento en dos etapas: a) cálculo del

efecto del clima, que viene dado por la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ); b) cálculo del efecto de las características del cultivo, que viene dado por el coeficiente de cultivo ( $k_c$ ).

### Evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ )

La  $ET_0$  se define como la tasa de evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas, verde, de 8 a 15 cm de altura, uniforme, en crecimiento activo, sombreado totalmente el suelo y sin falta de agua. En este trabajo, se calcularon valores mensuales de  $ET_0$  a partir de datos meteorológicos (temperatura, humedad relativa, horas de sol y velocidad del viento) registrados en seis estaciones climáticas para un período de entre 10 y 20 años. El método empleado fue el de FAO Blaney-Criddle, con diversos ajustes adaptados a la climatología aragonesa. Estas estaciones fueron las de Zaragoza-Aeropuerto, Caspe-ENHER, Daroca-Observatorio, Huesca-Monflorite, Jaca-EMM y Calamocha-VOR. Se supone que la climatología de estas seis estaciones es representativa de las comarcas de Zaragoza, Caspe, Daroca, Huesca, Jaca y Calamocha, respectivamente.

La Tabla 1 muestra los valores medios mensuales de la  $ET_0$  total, expresados en mm/mes, para el año medio en las seis estaciones mencionadas. La Figura 2 presenta los valores medios mensuales de la  $ET_0$  media diaria, expresados en mm/día, para el año medio en esas mismas estaciones.



*La alfalfa es un cultivo plurianual, con un alto consumo de agua.*



*Las estaciones agroclimáticas proporcionan los datos necesarios para estimar las necesidades hídricas de los cultivos.*

**TABLA 1.**

Valores medios mensuales (mm/mes) de la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) total para el año medio en diversas estaciones meteorológicas de Aragón: ZA, Zaragoza-Aeropuerto; CE, Caspe-ENHER; DO, Daroca-Observatorio; HM, Huesca-Monflorite; JE, Jaca-EMM; CV, Calamocha-VOR.

Mes	ZA (1)	CE (2)	DO (3)	HM (1)	JE (4)	CV (1)
Enero	24	25	13	16	8	10
Febrero	45	40	27	39	21	23
Marzo	83	72	56	78	46	49
Abril	112	106	77	106	70	71
Mayo	145	135	106	135	94	98
Junio	172	161	135	170	123	124
Julio	188	180	159	195	145	146
Agosto	161	151	136	164	127	133
Septiembre	115	110	102	124	92	96
Octubre	88	86	74	89	62	65
Noviembre	39	37	27	36	25	25
Diciembre	22	18	14	14	11	9
Total anual	1.194	1.121	926	1.166	824	849

(1) Medias de 1970 a 1989.  
(2) Medias de 1972 a 1981.

(3) Medias de 1971 a 1989.  
(4) Medias de 1971 a 1987.

En todas las estaciones los valores máximos de  $ET_0$  se produjeron en el mes de julio. En este mes, los valores más altos se produjeron en Huesca-Monflorite con 195 mm/mes (6.3 mm/día) y los más bajos en Jaca-EMM con 145 mm/mes (4.7 mm/día). Los valores de la  $ET_0$  anual variaron entre los 824 mm de Jaca-EMM y los 1 194 mm de Zaragoza-Aeropuerto.

### Necesidades hídricas brutas de los cultivos ( $ET_c$ )

Una vez calculada la  $ET_0$  se procedió a estimar el efecto de las características del cultivo, que viene dado por el coeficiente de cultivo ( $k_c$ ). Este coeficiente varía con el tipo de cultivo, su estado vegetativo y las condiciones climáticas generales de la zona. En consecuencia,

**FIGURA 2.** Valores medios mensuales de la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) media diaria (mm/día) para el año medio en diversas estaciones meteorológicas de Aragón: ZA, Zaragoza-Aeropuerto; CE, Caspe-ENHER; DO, Daroca-Observatorio; HM, Huesca-Monflorite; JE, Jaca-EMM; CV, Calamocha-VOR.

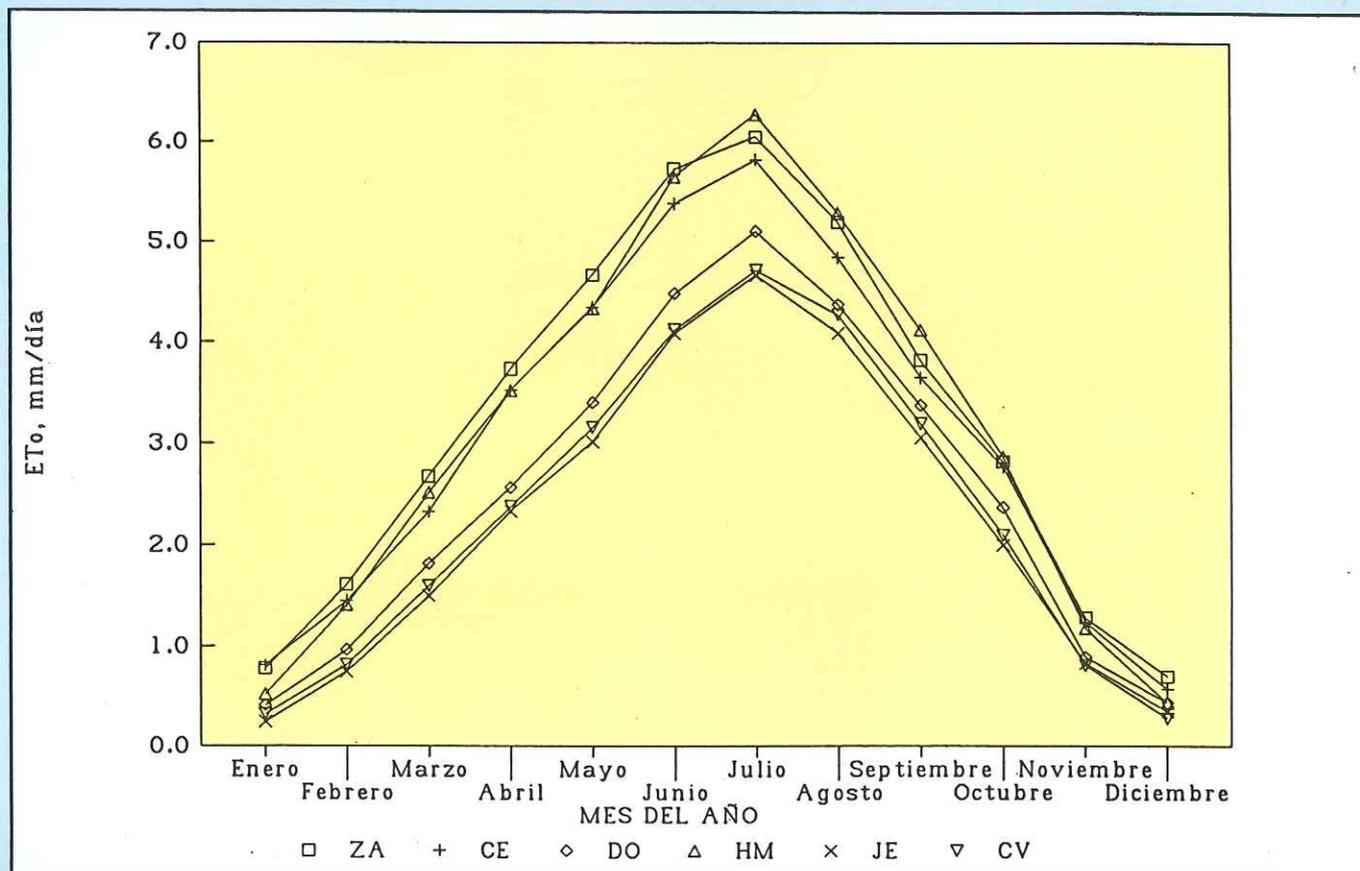


TABLA 2. Valores totales mensuales (mm/mes) de la evapotranspiración de cultivo ( $ET_c$ ) de los principales cultivos en distintas comarcas de Aragón: ZA, Zaragoza; CE, Caspe; DO, Daroca; HM, Huesca; JE, Jaca; CV, Calamocho.

Com	Cultivo	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Total
ZA	Trigo		8	16	34	79	124	158	115	19				553
	Cebada	13	16	17	40	88	127	145	69					515
	Maíz							71	135	204	180	126	66	782
	Alfalfa	33	20	20	40	76	101	129	152	166	144	104	76	1.061
	Girasol						29	77	158	207	173	74		718
	Manzano						48	84	136	179	152	101	54	754
	Melocotón						48	76	120	159	135	81	50	669
	Tomate							75	157	212	182	127	20	773
	Pimiento							71	127	185	163	116	36	698
Cebolla							75	156	188	165	51		635	
CE	Trigo		7	10	31	69	116	144	110	18				505
	Cebada	12	13	11	35	77	118	132	65					463
	Maíz							66	129	203	164	121	68	751
	Alfalfa	31	17	13	36	64	98	120	147	166	132	101	79	1.004
	Manzano						45	77	132	175	139	99	57	724
	Melocotón						45	70	116	156	124	80	53	644
DO	Trigo		7	10	20	52	78	119	120	41				447
	Cebada	17	10	10	22	57	81	116	86	7				406
	Maíz							58	103	165	153	115	61	655
	Alfalfa	24	11	11	23	51	66	100	122	138	122	93	65	826
	Girasol							29	72	145	151	111	28	536
HM	Trigo		8	11	29	74	113	148	143	51				577
	Cebada	20	11	11	33	79	116	145	104	8				527
	Maíz							67	133	216	184	134	74	808
	Alfalfa	29	12	13	34	70	95	120	145	174	146	108	79	1.025
	Girasol						27	73	152	220	176	77		725
JE	Trigo		8	4	14	42	72	97	114	68				419
	Cebada	19	8	4	15	45	75	97	94	26				383
	Alfalfa	22	10	5	15	40	62	78	105	124	113	80	54	708
CV	Trigo		6	6	18	43	73	101	117	72				436
	Cebada	18	6	6	18	47	77	101	96	26				395
	Maíz							53	93	164	147	106	54	617
	Alfalfa	22	8	7	21	42	62	84	107	134	118	85	58	748
	Girasol							26	68	141	147	102	25	509

las necesidades hídricas brutas de los cultivos ( $ET_c$ ) se calcularon mediante la expresión:

$$ET_c = k_c \times ET_o$$

En este trabajo se emplearon los coeficientes de cultivo ( $k_c$ ) proporcionados por la FAO, adaptados a las condiciones climáticas locales y a las prácticas culturales de cada una de las comarcas estudiadas: fechas de siembra y recolección, períodos de crecimiento, etc. La Tabla 2 presenta los valores mensuales y estacionales de la  $ET_c$  de los principales cultivos de cada comarca, expresados en mm/mes y considerados representativos de un año medio. Los valores de la  $ET_c$  muestran gran variabilidad, dependiendo del ciclo y tipo de cultivo y de las condicio-

nes climáticas de la comarca considerada. Así, por ejemplo, en el caso del trigo, la  $ET_c$  total varió entre 553 mm en Zaragoza y 419 mm en Jaca.

### CÁLCULO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS NETAS DE LOS CULTIVOS

Tras el cálculo de los valores de la  $ET_c$ , el paso siguiente es la determinación de las necesidades hídricas netas de los cultivos ( $NH_n$ ), que vienen dadas por la expresión:

$$NH_n = ET_c - PE$$

donde PE es la precipitación efectiva que se calculó para cada cultivo a partir de la precipitación total mensual

**TABLA 3.**

Valores medios mensuales (mm/mes) de la precipitación total para el año medio en diversas estaciones meteorológicas de Aragón:  
 ZA, Zaragoza-Aeropuerto;  
 CE, Caspe-ENHER;  
 DO, Daroca-Observatorio;  
 HM, Huesca-Monflorite;  
 JE, Jaca-EMM;  
 CV, Calamocha-VOR.

Mes	ZA (1)	CE (2)	DO (3)	HM (1)	JE (4)	CV (1)
Enero	24	22	25	43	81	24
Febrero	21	15	27	39	75	23
Marzo	22	32	34	38	62	27
Abril	32	39	48	56	74	41
Mayo	41	52	67	68	101	61
Junio	40	39	56	55	72	62
Julio	17	15	29	22	44	31
Agosto	18	27	37	42	57	31
Septiembre	23	37	31	48	57	30
Octubre	26	20	29	53	89	33
Noviembre	32	13	33	49	83	31
Diciembre	24	25	28	50	98	21
Total anual	320	336	444	563	893	415

(1) Medias de 1970 a 1989.

(2) Medias de 1972 a 1981.

(3) Medias de 1971 a 1989.

(4) Medias de 1971 a 1987.

durante el período de cultivo y de sus necesidades hídricas brutas durante dicho período.

A título indicativo, la Tabla 3 presenta los valores medios mensuales de la precipitación total, expresados en mm/mes, para el año medio, registrados en las estaciones de Zaragoza-Aeropuerto, Caspe-ENHER, Daroca-Observatorio, Huesca-Monflorite, Jaca-EMM y Calamocha-VOR. En las seis estaciones estudiadas, la precipitación total anual es sensiblemente inferior a la  $ET_0$  anual, con la excepción de la estación de Jaca-EMM. Sin embargo, sólo en los meses de invierno la precipitación total men-

sual iguala o supera a la  $ET_0$ . Además, recuérdese que no toda la precipitación contribuye a mantener la humedad del suelo, ya que se producen pérdidas por escorrentía y percolación profunda. Por ello, los valores de precipitación efectiva calculados para cada cultivo estudiado fueron siempre menores que los valores de precipitación total presentados en la Tabla 3.

La Tabla 4 muestra los valores mensuales y estacionales de la  $NH_n$  de los principales cultivos de cada comarca estudiada, expresados en mm/mes. Estos valores se consideran representativos de las necesidades

*Los lisímetros se utilizan para medir las necesidades hídricas de los cultivos. La foto muestra un lisímetro con maíz en la finca experimental del Servicio de Investigación Agraria.*



**TABLA 4.** Valores totales mensuales (mm/mes) de las necesidades hídricas netas ( $NH_n$ ) de los principales cultivos en distintas comarcas de Aragón: ZA, Zaragoza; CE, Caspe; DO, Daroca; HM, Huesca; JE, Jaca; CV, Calamocha.

Com	Cultivo	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Total
ZA	Trigo		1	7	19	66	103	136	87	18				437
	Cebada	8	2	5	24	73	106	123	46					387
	Maíz							49	99	192	171	113	53	677
	Alfalfa	19	7	6	24	63	82	100	113	156	137	92	64	863
	Girasol						21	53	120	197	164	64		619
	Manzano						31	59	103	167	142	90	40	632
	Melocotón						31	50	88	149	130	72	37	557
	Tomate							52	116	195	171	113	17	664
	Pimiento							48	92	169	156	104	31	600
	Cebolla							52	118	177	157	45		549
CE	Trigo		1	10	23	55	91	111	85	17				393
	Cebada	11	1	11	28	62	93	101	46					353
	Maíz							40	104	184	132	94	53	607
	Alfalfa	27	3	12	28	53	72	87	122	150	103	75	65	797
	Manzano						24	48	105	160	116	74	42	569
	Melocotón						24	43	89	142	102	57	42	499
DO	Trigo		1	1	5	31	43	69	83	30				263
	Cebada	2	1	1	7	34	45	68	58	6				222
	Maíz							13	71	148	117	99	50	498
	Alfalfa	4	1	1	8	31	32	48	88	121	93	77	57	561
	Girasol							3	44	122	117	95	22	403
HM	Trigo		1	2	5	55	76	103	110	43				395
	Cebada	3	1	2	8	63	79	100	73	8				337
	Maíz							29	103	197	142	102	44	617
	Alfalfa	5	1	3	10	54	58	76	112	159	118	81	53	730
	Girasol						14	32	119	201	140	52		558
JE	Trigo		0	1	0	6	31	37	73	41				189
	Cebada	2	0	1	0	10	34	36	59	13				155
	Alfalfa	2	0	1	0	5	20	20	68	91	71	42	6	326
CV	Trigo		0	1	5	27	46	65	78	49				271
	Cebada	2	0	1	7	29	49	65	60	19				232
	Maíz							21	59	136	122	88	32	458
	Alfalfa	2	1	1	7	26	37	49	69	109	94	68	35	498
	Girasol							8	34	114	122	84	12	374

hídricas netas de los cultivos  $NH_n$ ) en un año medio. Los bajos valores de  $NH_n$  en los meses invernales indican que la precipitación efectiva (PE) satisface gran parte de las necesidades hídricas brutas de los cultivos ( $ET_c$ ). Sin embargo, en los meses de verano, y para los cultivos cuyo ciclo se desarrolla durante los mismos, los valores de  $NH_n$  son considerables debido a la alta demanda evaporativa y a la escasa aportación de la PE.

## NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO DE LOS CULTIVOS

El objetivo primordial de un manejo eficiente del riego es el suministro a la zona radicular del cultivo de agua

suficiente y en la época adecuada. Por ello, las necesidades de riego de los cultivos deben incluir, como ya se indicó anteriormente, la suma de las necesidades hídricas netas de los cultivos ( $NH_n$ ), de las pérdidas de agua producidas en el sistema de riego, que son función de la eficiencia del sistema, y de las necesidades de lavado del suelo.

A título ilustrativo, en la Tabla 5 se presentan las necesidades estacionales de riego de los cultivos en las comarcas estudiadas. En estos cálculos se consideró una eficiencia de riego de un 80%, en la cual se incluían las necesidades de lavado del suelo. Este valor puede considerarse adecuado para un sistema eficiente de riego

**TABLA 5.**

Cantidad estacional de agua de riego (mm) de los principales cultivos en distintas comarcas de Aragón. Entre paréntesis se indica el número aproximado de riegos para una dosis de riego de unos 100 mm.

Cultivo	Comarca					
	Zaragoza	Caspe	Daroca	Huesca	Jaca	Calamocha
Trigo	546 (5)	491 (5)	329 (3)	494 (5)	236 (2)	339 (3)
Cebada	484 (5)	441 (4)	278 (3)	421 (4)	194 (2)	290 (3)
Maíz	846 (9)	759 (8)	623 (6)	771 (8)		574 (5)
Alfalfa	1079 (11)	996 (10)	701 (7)	913 (9)	408 (4)	623 (6)
Cirasol	774 (7)		504 (5)	698 (6)		468 (4)
Manzano	790 (8)	711 (7)				
Melocotón	696 (7)	624 (6)				
Tomate	830 (8)					
Pimiento	750 (7)					
Cebolla	686 (7)					

por inundación. Por tanto, los valores de la Tabla 5 se obtuvieron dividiendo los valores estacionales de las necesidades hídricas netas de los cultivos (Tabla 4) por la mencionada eficiencia expresada en fracción. Asimismo, la Tabla 5 presenta el número total aproximado de riegos para cada cultivo asumiendo una dosis de riego de unos 100 mm. Sin embargo, según sea el sistema de riego utilizado y el manejo del mismo, los valores de eficiencia y de dosis de riego pueden ser muy diferentes a los mencionados.

Hay que destacar que los resultados obtenidos a lo largo de este trabajo son válidos para un año medio. Sin embargo, tanto las necesidades de riego dependen de la climatología específica de cada año, así como del manejo y diseño del sistema de riego utilizado. Por ello, las cifras aquí reseñadas sólo deberían utilizarse como valores orientativos de las posibles necesidades hídricas reales de los diferentes cultivos estudiados.

*Las necesidades de riego de los cultivos dependen del sistema de riego utilizado y de su manejo.*



**NOTA:**

Unidades: 1 mm de altura de agua equivale a 1 l/m<sup>2</sup> y a 10 m<sup>3</sup>/ha.

*Los ensayos del Servicio de Investigación Agraria analizan las fases de desarrollo de los cultivos más sensibles al estrés hídrico.*

