

# Sequía y programación de riegos

Por: Javier Almorox Alonso y Roberto de Antonio García\*

## INTRODUCCION

El agua es un bien escaso y un factor limitante de la producción agraria en las zonas áridas y semiáridas. La gestión de este recurso natural se debe realizar mediante una ordenación y racionalización de la misma para satisfacer la demanda creciente.

En España se dedican 3,4 millones de hectáreas al regadío, lo que supone un 6,7 % de la superficie total española y un 16 % de la superficie de tierras de cultivo (tabla 1). En cuanto a la demanda de consumo de agua de la actividad agraria, ésta supone, aproximadamente, un 80 % del total (MOPU, 1990). No cabe duda de que el regadío es una actividad de enorme importancia social y económica, y que la conservación del recurso agua, tanto en cantidad como en calidad, debe considerarse fundamental en los sistemas agrícolas.

La utilización correcta de los limitados recursos de agua disponibles es tema fundamental. En esta línea, la estimación de las necesidades de riego sirve a efectos de planificación y análisis de la viabilidad de los proyectos de riego, y también para abordar el riego con los criterios técnicos que permitan un racionamiento de agua sin poner en peligro el rendimiento de los cultivos.



ña húmeda. Tampoco en los últimos cuarenta años han faltado frecuentes sequías locales, incluso durante los periodos más lluviosos. La novedad de la sequía actual

es la manipulación de ciertos sectores que no dudan en señalar al "cambio climático reciente" como causante del fenómeno.

El "clima" es el estado medio de la atmósfera referido a un determinado lugar y época, considerando el promedio y las variaciones extremas a que el estado atmosférico se encuentra sujeto. Desde esta perspectiva, los "cambios climáticos" que se producen en una escala de 10-100 años pueden estar dentro de las fluctuaciones propias del clima.

Como aproximación, si comparamos los datos medios de temperatura y precipitación de 67 observatorios completos de España (INM, 1982, 1995) observamos que no se puede concluir un aumento de las temperaturas medias (tabla 2), ni una disminución de las precipitaciones (tabla 3).

Por el momento, no hay una certeza científica con respecto al cambio climático. La variabilidad propia del clima año a año, o decenio a decenio, es muy elevada y, por de pronto, no se puede asegurar la existencia de un cambio climático como consecuencia de la acción de la actividad humana. Esto no implica que, para adelantarse a los posibles acontecimientos, no se deban tomar decisiones con respecto a los emisiones responsables de la contaminación térmica.

La sequía es un fenómeno característico del clima de España, por lo que debe-

## SEQUIA Y CAMBIO CLIMATICO

En la actualidad amplias zonas de España están sufriendo una gran sequía. Esta situación no es nueva en nuestro país. Entre 1901 y 1920 sobresalen las sequías de los años 1905, 1907, 1913 y 1918, durante los quince años siguientes la escasez de agua en España fue manifiesta, salvo en el Norte, destacando las sequías de los años 1923-24, 1930 y 1934. Desde 1942 a 1954, España sufrió prolongadas sequías que afectaron también a la Espa-

(\*) ETSI Agrónomos. Departamento de Edafología. Universidad Politécnica de Madrid.

Tab. 1  
DISTRIBUCION DE LA TIERRA (10<sup>3</sup> HA).

APROVECHAMIENTOS	SECANO	REGADIO	TOTAL
Tierras de cultivo	16739 (83,9 %)	3207,8 (16,1 %)	19946,8 (100 %)
Prados y pastos	6276,7	195,3	6472,0
Terreno forestal	15915,2		15915,2
Otras superficies	8145,5		8145,5
TOTAL (10 <sup>3</sup> ha)	47076,4 (93,25 %)	3403,1 (6,75 %)	50479,5 (100 %)

Fuente: Anuario de Estadística Agrario 1992.

**Tab. 2**

**TEMPERATURAS MEDIAS ORDENADAS SEGUN EL PORCENTAJE DE VARIACION. SE INDICAN LAS TEMPERATURAS MEDIAS (°C) PARA LOS PERIODOS 1931-60 y 1961-90, LA DIFERENCIA, Y EL PORCENTAJE DE VARIACION. INM, 1982 y 1995**

ESTACION	PERIODOS		Var.	%
	31-60 (a)	61-90 (b)		
VIGO	15,0	13,4	-1,6	-11,9
LUGO-INSTITUTO	12,0	11,2	-0,8	-7,1
BARCELONA	16,5	15,4	-1,1	-7,1
GERONA	15,1	14,1	-1,0	-7,1
NAVACERRADA	6,5	6,1	-0,4	-6,6
SALAMANCA-MATACAN	12,2	11,6	-0,6	-5,2
CEUTA	16,8	16,1	-0,7	-4,3
SANTIAGO-UNIV.	12,8	12,3	-0,5	-4,1
PONFERRADA	13,1	12,6	-0,5	-4,0
MADRID-BARAJAS	14,4	13,9	-0,5	-3,6
VITORIA-INSTITUTO	11,7	11,3	-0,4	-3,5
TARIFA	18,1	17,5	-0,6	-3,4
LERIDA	15,0	14,6	-0,4	-2,7
BADAJOS	16,8	16,4	-0,4	-2,4
CASTELLON DE LA PLANA	17,1	16,7	-0,4	-2,4
CORDOBA	17,9	17,5	-0,4	-2,3
GIJON	14,1	13,8	-0,3	-2,2
MOLINA ARAGON	10,2	10,0	-0,2	-2,0
LEON	11,0	10,8	-0,2	-1,9
PAMPLONA	12,4	12,2	-0,2	-1,6
CIUDAD REAL	14,5	14,3	-0,2	-1,4
ZARAGOZA	14,8	14,6	-0,2	-1,4
GRANADA-ARMILLA	15,3	15,1	-0,2	-1,3
TARRAGONA	16,9	16,7	-0,2	-1,3
MAHON (MENORCA)	16,8	16,6	-0,2	-1,2
JAEN	17,1	16,9	-0,2	-1,2
ALICANTE-C. JARDIN	18,0	17,8	-0,2	-1,1
MALAGA-EL ROMPEDIZO	18,2	18,0	-0,2	-1,1
VALLADOLID-VILLANU.	11,1	11,0	-0,1	-0,9
VALLADOLID	12,1	12,0	-0,1	-0,8
SAN SEBASTIAN	13,1	13,0	-0,1	-0,8
GUADALAJARA	13,6	13,5	-0,1	-0,7
TOLEDO	15,0	14,9	-0,1	-0,7
CACERES	16,1	16,0	-0,1	-0,6
SAN JAVIER	17,0	16,9	-0,1	-0,6
AVILA	10,4	10,4	0,0	0,0
BILBAO-SONDICA	14,0	14,0	0,0	0,0
HUESCA-MONFLORITE	13,4	13,4	0,0	0,0
LOGROÑO-AGONCILLO	13,4	13,4	0,0	0,0
PALENCIA	11,7	11,7	0,0	0,0
BURGOS-VILLAFRIA	9,9	9,9	0,0	0,0
LAS PALMAS. PTO. LUZ	21,0	21,0	0,0	0,0
ALMERIA C. JARDIN	18,0	18,0	0,0	0,0
SORIA	10,5	10,5	0,0	0,0
SAN FERNANDO	18,0	18,0	0,0	0,0
ALBACETE-LOS LLANOS	13,4	13,5	0,1	0,7
LA CORUÑA	13,9	14,1	0,2	1,4
SANTA CRUZ DE TENERIFE	20,8	21,1	0,3	1,4
ARRECIFE (LANZAROTE)	20,2	20,5	0,3	1,5
MONTSENY	6,6	6,7	0,1	1,5
OVIEDO	12,5	12,7	0,2	1,6
ZAMORA	12,3	12,5	0,2	1,6
SEVILLA-TABLADA	18,0	18,3	0,3	1,8
IBIZA	17,4	17,7	0,3	1,7
ALCANTARILLA	17,4	17,7	0,3	1,7
SANTANDER	13,9	14,2	0,3	2,1
HUELVA	17,9	18,3	0,4	2,2
TORTOSA	16,8	17,2	0,4	2,3
SEGOVIA	11,5	11,8	0,3	2,5
PONTEVEDRA	14,6	15,0	0,4	2,7
MELILLA	18,0	18,5	0,5	2,7
MADRID-RETIRO	13,9	14,3	0,4	2,8
ORENSE	13,9	14,3	0,4	2,8
IZAÑA (TENERIFE)	9,4	9,7	0,3	3,1
VALENCIA	16,9	17,6	0,7	4,0
CUENCA	11,7	12,2	0,5	4,1
S.C. TENERIFE-RODEOS	15,1	16,1	1,0	6,2

**Tab. 3**

**PRECIPITACIONES MEDIAS ORDENADAS SEGUN EL PORCENTAJE DE VARIACION. SE INDICAN LAS PRECIPITACIONES MEDIAS (mm) PARA LOS PERIODOS 1931-60 y 1961-90, LA DIFERENCIA, Y EL PORCENTAJE DE VARIACION. INM, 1982 y 1995**

ESTACION	PERIODOS		Var.	%
	31-60 (a)	61-90 (b)		
PAMPLONA	1077,0	753,0	-324,0	-43,0
ARRECIFE (LANZAROTE)	146,0	112,0	-34,0	-30,4
LAS PALMAS. PTO. LUZ	139,0	112,0	-27,0	-24,1
PALENCIA	419,0	348,0	-71,0	-20,4
IBIZA	490,0	421,0	-69,0	-16,4
MADRID-BARAJAS	468,0	412,0	-56,0	-13,6
S.C. TENERIFE-RODEOS	697,0	618,0	-79,0	-12,8
ALMERIA-C. JARDIN	230,0	204,0	-26,0	-12,7
SORIA	574,0	514,0	-60,0	-11,7
CORDOBA	674,0	606,0	-68,0	-11,2
ALCANTARILLA	321,0	294,0	-27,0	-9,2
ZARAGOZA	338,0	314,0	-24,0	-7,6
GERONA	802,0	746,0	-56,0	-7,5
VITORIA-INSTITUTO	847,0	788,0	-59,0	-7,5
SANTA CRUZ DE TENERIFE	251,0	234,0	-17,0	-7,3
JAEN	593,0	558,0	-35,0	-6,3
MAHON (MENORCA)	637,0	600,0	-37,0	-6,2
GRANADA-ARMILLA	405,0	382,0	-23,0	-6,0
GIJON	1014,0	959,0	-55,0	-5,7
SAN JAVIER	342,0	328,0	-14,0	-4,3
TORTOSA	576,0	558,0	-18,0	-3,2
LERIDA	388,0	376,0	-12,0	-3,2
SALAMANCA-MATACAN	399,0	388,0	-11,0	-2,8
BURGOS-VILLAFRIA	587,0	573,0	-14,0	-2,4
LOGROÑO-AGONCILLO	397,0	388,0	-9,0	-2,3
BILBAO-SONDICA	1258,0	1230,0	-28,0	-2,3
CUENCA	572,0	561,0	-11,0	-2,0
CEUTA	590,0	586,0	-4,0	-0,7
SEGOVIA	464,0	461,0	-3,0	-0,7
AVILA	364,0	365,0	1,0	0,3
OVIEDO	964,0	971,0	7,0	0,7
SAN FERNANDO	573,0	579,0	6,0	1,0
CACERES	481,0	487,0	6,0	1,2
BADAJOS	477,0	486,0	9,0	1,9
ALBACETE-LOS LLANOS	357,0	366,0	9,0	2,5
LA CORUÑA	971,0	996,0	25,0	2,5
TOLEDO	376,0	388,0	12,0	3,1
SAN SEBASTIAN	1629,0	1581,0	52,0	3,3
MADRID-RETIRO	438,0	456,0	18,0	3,9
TARIFA	685,0	717,0	32,0	4,5
ORENSE	777,0	815,0	38,0	4,7
LUGO-INSTITUTO	1061,0	1116,0	55,0	4,9
LEON	532,0	560,0	28,0	5,0
ALICANTE-C. JARDIN	339,0	357,0	18,0	5,0
SANTANDER	1198,0	1268,0	70,0	5,5
MOLINA ARAGON	494,0	524,0	30,0	5,7
SEVILLA-TABLADA	557,0	595,0	38,0	6,4
PONTEVEDRA	1595,0	1720,0	125,0	7,3
IZAÑA (TENERIFE)	464,0	504,0	40,0	7,9
PONFERRADA	598,0	651,0	53,0	8,1
VALENCIA	426,0	464,0	38,0	8,2
BARCELONA	601,0	658,0	57,0	8,7
HUESCA-MONFLORITE	535,0	587,0	52,0	8,9
MONTSENY	976,0	1073,0	97,0	9,0
ZAMORA	352,0	388,0	36,0	9,3
HUELVA	462,0	516,0	54,0	10,5
CASTELLON DE LA PLANA	426,0	478,0	52,0	10,9
CIUDAD REAL	400,0	450,0	50,0	11,1
TARRAGONA	478,0	542,0	64,0	11,8
MALAGA-EL ROMPEDIZO	508,0	586,0	78,0	13,3
NAVACERRADA	1170,0	1409,0	239,0	17,0
MELILLA	289,0	368,0	79,0	21,5
GUADALAJARA	350,0	463,0	113,0	24,4
SANTIAGO-UNIV.	1417,0	1915,0	498,0	26,0
VIGO	1342,0	1952,0	610,0	31,3
VALLADOLID	373,0	571,0	198,0	34,7
VALLADOLID-VILLANU.	460,0	726,0	266,0	36,6



### Cálculo de la dotación y frecuencia de riego

“

**Una correcta aplicación del agua para evitar el tradicional despilfarro**

“

**Necesidad de una ordenación y racionalización de la gestión del agua, con el fin de satisfacer las demandas presente y futura**

mos habituarnos a convivir con ella. Sin embargo, la demanda de agua ha aumentado, y seguirá aumentando, debido al incremento de la población y las demandas turísticas, las industrias, la introducción de nuevas tecnologías, al cambio a cultivos de mayores consumos, y al aumento de la superficie de regadío. Todo ello ha dado origen a la aparición de situaciones de sobreexplotación de acuíferos, secado de determinados tramos de ríos y lagunas, perjuicios a los usuarios situados aguas abajo con derechos preexistentes, disputas entre regantes, y déficit de agua potable para núcleos urbanos. Todo ello nos obliga a profundizar más en buscar soluciones y paliar sus efectos.

### ACTUACIONES ANTE LA SEQUIA

La única forma de luchar contra la sequía es mitigar sus efectos. Esto se consigue mediante tres líneas fundamentales de actuación: 1) usando el agua disponible de un modo más eficiente; 2) conservando el agua de los períodos húmedos para ser utilizada en los secos; y 3) desplazando el agua de las zonas más húmedas a las secas. Debe ser en la primera línea donde se deben emprender las acciones inmediatas y primordiales.

Desde hace años se viene insistiendo en tres actuaciones: 1) un mayor aprovechamiento de los grandes acuíferos, 2) la construcción de embalses, y 3) la construcción de grandes tuberías o canales para transvasar el agua desde las cuencas excedentarias.

La explotación actual de las aguas

subterráneas se caracteriza por la ausencia de una planificación hidrológica previa a la extracción de las aguas. Como consecuencia de esta carencia destacamos tres problemas: 1) afecciones a espacios naturales protegidos, 2) procesos de avance de la intrusión salina y 3) situaciones de sobreexplotación (en la actualidad se estima que se está sometiendo a las aguas subterráneas españolas a una sobreexplotación de un kilómetro cúbico en el año hidrológico medio). Para evitar estos problemas, el aprovechamiento de los acuíferos debe ajustarse a cada situación específica siguiendo pautas compatibles con los flujos de recarga y evitando la degradación de la calidad del agua. En resumen, hay que evitar poner en peligro la subsistencia de los aprovechamientos económicos, sociales y ambientales que se obtienen del provecho del agua subterránea.

Los embalses permiten el almacenamiento y regulación de las aportaciones hídricas concentradas en el deshielo y las épocas de lluvia para su posterior aprovechamiento en el estiaje. La construcción de grandes embalses ha tenido beneficiosos efectos al posibilitar el desarrollo de grandes regadíos y la regulación de los cauces, reduciendo además la posibilidad de inundaciones. Su mayor inconveniente es el anegamiento de grandes superficies, con el consecuente impacto ecológico al inundar gran parte del patrimonio de nuestra diversidad biológica. A la vez, se desvincula a los lugareños de sus propiedades y recuerdos, con el tremendo impacto social que supone. Consecuentemente, toda construcción de una presa debe llevar asociada una exhaustiva evaluación de

impacto ambiental, y un riguroso estudio social y económico que justifique la actuación.

La construcción de grandes redes de distribución, con el fin de transvasar el agua, debe sustentarse en un sólido estudio técnico y económico, a la vez que necesita de un amplio consenso social. Se deben fijar claramente cuáles son los verdaderos excedentes, ya que se ha apreciado un cambio de tendencia en la relación aportación-precipitación que apunta a recortar los hipotéticos excedentes en las cuencas del Duero, Ebro y Tajo, así como a acentuar los ya tradicionales déficits en las cuencas del Sur y el Este peninsular. Tan sólo después de un exhaustivo análisis se podrá precisar el grado de adecuación de las disponibilidades a las demandas.

Según el Plan Hidrológico Nacional las cuencas encargadas de suministrar el agua serían las de Norte, Duero y Ebro. Esta acción debería contar con los apoyos de las Comunidades afectadas y evitar agravar aún más los desequilibrios regionales. Si bien es cierto que las zonas del Sur-Sureste del país podrían obtener un mayor valor añadido del agua con los cultivos extratempranos o de primor, no se les puede negar a las cuencas cedentes un incremento de su superficie de regadío. Compaginar los diferentes intereses regionales es tarea árdua, y no puede ser obviada por las Autoridades.

Más sencillo que todo lo anterior sería comenzar a paliar los efectos de la sequía consiguiendo un uso más eficiente del agua. Según el PHN la demanda de consumo de la actividad agraria supone un 82 % del total, siendo la demanda urbana de un 11,9 % y la industrial de un 6,1 %. La eficiencia de nuestros regadíos es muy baja y se podría ahorrar mucha agua con una adecuada gestión. La mejora de las técnicas agronómicas asociadas al regadío (labores del suelo, ordenación de cultivos, dotaciones de riego, sistemas y métodos de riego) debe ser una parte fundamental de la labor del técnico y del agricultor, y constituir una política prioritaria de las Autoridades. Tanto la Administración Central como las Comunidades Autónomas deberían potenciar la introducción de nuevas tecnologías: utilización del riego por goteo, programación automatizada de riegos, regulación diaria mediante balsas, riegos nocturnos, etc... Así como, la reutilización y depuración del agua o la conservación de la calidad del agua. A nuestro juicio tres actuaciones son básicas: la mejora y mantenimiento de las redes de distribución del agua, una adecuada planificación de los cultivos (considerando la productividad en términos de kg/ha y de kg/m<sup>3</sup> de agua), y la eficiencia de aplicación del agua de riego. Una acertada programación de riegos es fundamental para el manejo y utilización idónea del agua.

SALON INTERNACIONAL DE LA TECNICA AVÍCOLA Y GANADERA

# EXPOAVIGA

95

## TECNOGA

MUESTRA COMERCIAL DE  
TECNOLOGIA GANADERA

## GANASEL

VIII MUESTRA INTERNACIONAL DE GANADO SELECTO  
DESFILE DE CAMPEONES DE LA GANADERIA ESPAÑOLA

## PROGALTER

SALON INTERNACIONAL DE LA  
TECNOLOGIA PARA LAS PRODUCCIONES  
GANADERAS ALTERNATIVAS

JORNADAS TECNICAS Y SYMPOSIUMS

más de 1.150 empresas  
expositoras

40.000  
compradores profesionales

30.000 m<sup>2</sup> superficie  
real neta de stands

del 7 al 10  
Noviembre 1995  
Barcelona

152 sesiones impartidas por 174  
eminentes técnicos y científicos,  
procedentes de 17 países, esperan  
la presencia de 1.400 participantes

NOVEDAD

LA INVERSION MAS RENTABLE  
EN TECNOLOGIA GANADERA.  
SU VISITA A EXPOAVIGA 95



Fira de Barcelona

Avda. Reina M.<sup>ª</sup> Cristina, s/n - Tel. (93) 233 20 00\* - Fax (93) 233 22 99 - 08004 Barcelona



Ministerio de Agricultura,  
Pesca y Alimentación

ICEX  
Instituto Español  
de Comercio Exterior

tve

masa

# Piense en todo lo que desearía obtener de un tractor...



**Lamborghini Crono.** Concéntrese. Piense en todo lo que desearía obtener de un tractor. Ahora mire los nuevos Lamborghini Crono.

Tractores que se adaptan a todas las necesidades de las pequeñas explotaciones, pero que también son indispensables en las grandes. Pequeños en los consumos, grandes en cuanto

prestaciones. Motores modulares con refrigeración triple y mixta, puesto de conducción cómodo y ergonómico, velocidad máxima de 40 km/h en las versiones de doble tracción, hacen posible que los



Crono se adapten a todo tipo de usos. De un Lamborghini Crono se puede esperar el máximo.



Lamborghini. El toro más fuerte de la tierra

## PROGRAMACION DE RIEGOS

Una adecuada programación de riegos permite un mejor uso de los recursos hídricos y una reducción de pérdidas de agua por percolación (evitando la contaminación por lixiviación). Todo ello unido a una reducción de los costes.

Los dos métodos de programación de riegos más extendidos son los basados en el estado hídrico del suelo y los apoyados en el balance hídrico en el continuo suelo-planta-atmósfera.

Los métodos basados en el estado hídrico del suelo proporcionan información puntual sobre los niveles de agua en el suelo. Los aportes de agua se realizan cuando el potencial de agua del suelo alcanza en la zona de máxima actividad radicular un valor, previamente fijado, en función del tipo de cultivo, estado vegetativo y demanda evaporativa prevista (tabla 4).

Para el control del potencial matricial, se deben utilizar, por ejemplo, tensiómetros o bloques de yeso e instalarlos a un mínimo de dos profundidades: en la zona de la máxima actividad radicular y a la profundidad máxima que pueden alcanzar las raíces. La medida del potencial matricial (media de los diferentes valores tomados) en la zona de máxima actividad radicular nos indica el momento de iniciar el riego. Mientras que la media de los potenciales mátricos a la máxima profundidad de enraizamiento permite dosificar la cantidad de agua que se aplica. Los tensiómetros se están utilizando para programar el riego en cultivos intensivos. En estos casos, un grupo de tensiómetros distribuidos, por ejemplo en un invernadero, se conectan a un programador que pone en marcha el dispositivo de riego cuando se alcanza un determinado valor de potencial.

En la tabla 5 se expresan diferentes métodos para la determinación del potencial del agua del suelo y sus componentes.

Con problemas de salinidad hay que considerar: 1) que normalmente se deben incrementar las dosis de riego para provocar un lavado adicional de sales; y 2) que hay que tomar en consideración el potencial osmótico (una fuerte concentración de sal aumenta la tensión de humedad total del suelo). El efecto neto respecto a la disponibilidad de agua, se obtiene por suma del potencial matricial que corresponde a un contenido de humedad, y el potencial osmótico para el mismo porcentaje de humedad.

También, se puede controlar el contenido de humedad del suelo por medio de mediciones directas o indirectas (dispersión de neutrones, atenuación de rayos gamma, y reflectometría en el tiempo).

Estos métodos están dando muy buenos resultados en trabajos de investigación. Su extensión en las explotaciones agrícolas requiere la existencia de un ser-

Tab. 4

### NIVELES DE AGOTAMIENTO DEL AGUA DEL SUELO TOLERADOS POR DISTINTOS CULTIVOS PARA OBTENER RENDIMIENTOS MAXIMOS

	Atm.	kPa
Alfalfa *	0,8-1,5	81-152
Banana	0,3-1,5	30-152
Coles	0,6-1	61-101
Zanahorias +	0,5-0,7	51-71
Cítricos	0,5-1	51-101
Trébol +	0,3-0,6	30-61
Algodón	1-3	101-304
Pepino	1-3	101-304
Flores y ornamentales +	0,1-0,5	10-51
Uva	0,4-1	41-101
Gramíneas	0,4-1	41-101
Lechuga +	0,4-0,6	41-61
Maíz *	0,5-1,5	51-152
Melón +	0,3-0,8	30-81
Cebolla +	0,4-0,7	41-71
Guisantes +	0,3-0,8	30-81
Patatas +	0,3-0,7	30-71
Sorgo *	0,6-1,3	61-132
Soja	0,5-1,5	51-152
Fresas +	0,2-0,5	20-51
Remolacha azucarera +	0,6-0,8	61-81
Caña de azúcar	0,8-1,5	81-152
Tabaco temprano +	0,3-0,8	30-81
Tabaco tardío	0,8-2,5	81-253
Tomates	0,5-1,5	51-152
Trigo	0,8-1,5	81-152
Trigo en maduración	3-4	304-405

\* valores más altos durante la fase de maduración.  
+ dentro del rango de actuación del tensiómetro.

Fuente: Doorenbos y Pruitt, 1990.

Tab. 5

### MÉTODOS PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DEL AGUA DEL SUELO Y SUS COMPONENTES

COMPONENTE	METODO	RANGO ACTUACION
$\psi_m + \psi_o$	→ tensiómetro	0 a -85 kPa
$\psi_m$	→ placa de succión	0 a -10 kPa
	→ membrana de Richards	0 a -2000 kPa
	→ bloque de yeso	-100 a -1500 kPa
$\psi_o$	→ sensores salinidad	0 a -1500 kPa
	→ conductímetro	
$\psi_m + \psi_o + \psi_p$	→ psicrómetro	10 a -7000 kPa

$$\Psi = \psi_o + \psi_m + \psi_o + \psi_o + \psi_n$$

$\Psi$  : POTENCIAL TOTAL DEL AGUA DEL SUELO  
 $\psi_o$  : POTENCIAL GRAVITATORIO  
 $\psi_m$  : POTENCIAL MATRICIAL  
 $\psi_o$  : POTENCIAL OSMÓTICO  
 $\psi_o$  : POTENCIAL DE SOBREPRESIÓN  
 $\psi_n$  : POTENCIAL NEUMÁTICO

## COLABORACIONES TECNICAS

vicio técnico de asesoramiento para su calibración, aplicación, automatización y evaluación. En el futuro, puede ser la mejor forma de proporcionar al cultivo el agua suficiente en el momento oportuno.

Los métodos más ampliamente difundidos para la programación de riegos se basan en la estimación del balance de humedad en la unidad de cultivo cuya programación se pretende. Para poder llevar a cabo la programación es preciso disponer de información sobre el clima, el suelo, los cultivos y sobre el sistema de riego. En el caso de existir problemas de salinidad se precisa información sobre la conductividad del extracto de saturación del suelo y del agua de riego, y tolerancia de los cultivos a la salinidad.

Para la determinación de las necesidades de agua hay que estimar la evapotranspiración potencial, así como los coeficientes de consumo de los cultivos de la alternativa. Esta fase requiere la elección del método para su determinación y el ajuste local de los coeficientes de cultivo o consumo kc.

Un servicio de asesoramiento de riegos debe sustentarse en una red de estaciones meteorológicas representativas que nos permita resolver el balance hídrico. Para la programación día a día se deben utilizar los datos meteorológicos del día anterior. La utilización de series climatológicas está indicada para programaciones colectivas, para el diseño agronómico de los proyectos de riego o para planificación.

La elección de la fórmula empírica de cálculo de la ETP requiere averiguar cual se ajusta más a las condiciones climáticas de la zona. Entre los métodos más utilizados para el cálculo de la evapotranspiración potencial destacamos el de Penman-Monteith, cuando se dispone de los datos necesarios, y el de Hargreaves.

A la hora de establecer el volumen de agua que debe emplearse en cada riego nos tenemos que basar en las condiciones físicas del suelo que va a ser regado. Desde esta visión la programación del riego se basa en el conocimiento del agua útil del suelo.

El agua útil es la diferencia entre los valores de la capacidad de campo y el coeficiente de marchitamiento.

$$AU = [CC - PM]$$

AU: agua útil (%)

CC: capacidad de campo (%)

PM: coeficiente de marchitamiento (%)

Para la dosificación del riego se establece una fracción del agua útil, con el fin de que el suelo esté siempre a un valor alejado del punto de marchitamiento y la planta no sufra estrés hídrico (nuestra agua utilizable). La reserva de agua en el suelo debe variar dentro de los límites de

agotamiento permisible (NAP), esto es, limitarse al agua utilizable.

$$\text{Agua utilizable} = AU \cdot NAP$$

NAP: nivel de agotamiento permisible del agua útil.

Pese a las críticas recibidas, los conceptos característicos del suelo: capacidad de campo y punto de marchitez permanente, se siguen considerando útiles por razones prácticas. Son muy empleados en cualquier estudio de puesta en regadío para la determinación de las dosis de riego, como se pone de manifiesto en la

bibliografía, máxime cuando sólo se dispone de datos de textura en los suelos. En estos casos podemos hacer uso de ecuaciones de regresión para la estimación de los valores técnicos del agua del suelo en las que intervienen junto a la textura, la densidad aparente y el contenido en materia orgánica.

El estudio edafológico previo a la puesta en regadío, debe considerarse básico y fundamental en toda transformación. Entre los datos analíticos a incluir deben estar los valores de capacidad de campo y coeficiente de marchitamiento. Tradicionalmente, la capacidad de campo se ha relacionado con la retención de hu-

Tab. 6

**RELACION ENTRE LA HUMEDAD Y DISTINTOS PARAMETROS DEL SUELO (RAWLS ET AL., 1982 y GUPTA Y LARSON, 1979).**  
**LA ECUACION TIENE LA FORMA  $\theta_{vm} = a + b \cdot \text{arena} (\%) + c \cdot \text{limo} (\%) + d \cdot \text{arcilla} (\%) + e \cdot \text{M.O.} (\%) + f \cdot \text{densidad aparente} + g \cdot \text{humedad a 33 kPa} + h \cdot \text{humedad a 1500 kPa}$ , donde:  $\theta_{vm}$  es el contenido de humedad  $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$  a la succión  $\psi_{m^*}$ .**

Potencial matricial kPa $\psi_m$	a	Arena 2-0,05 mm b	Limo 0,05-0,002 mm c	Arcilla < 0,002 mm d	Materia orgánica % e	Densidad aparente $\text{g/cm}^3$ f	Humedad a 33 kPa $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ g	Humedad a 1500 kPa $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ h	Coe. Cor. R
-4	0,7899 0,6275 0,1829	-0,0037 -0,0041			0,0100 0,0239 -0,0246	-0,1315 -0,0376	1,89	-0,08 -1,38	0,58 0,57 0,77
-7	0,7135 0,4829 0,0888	-0,0030 -0,0035 -0,0003		0,0017	0,0263 -0,0107	-0,1693	1,53	0,25 -0,81	0,74 0,74 0,91
-10	0,4118 0,4103 0,0619	-0,0030 -0,0031 -0,0002 0,005018	0,008548	0,0023 0,008833	0,0317 0,0260 -0,0067 0,004966	-0,24230	1,34	0,41 -0,51	0,81 0,81 0,95 0,96
-20	0,3121 0,3000 0,0319	-0,0024 0,0024 -0,0002		0,0032	0,0314 0,0235		1,01	0,61 -0,06	0,86 0,89 0,99
-33	0,2576 0,2391	-0,0020 -0,0019 0,003075	0,005886	0,0036 0,008039	0,0299 0,0210 0,002208	-0,14340		0,72	0,87 0,92 0,96
-60	0,2065 0,1814 0,0136	-0,0018 -0,0015 0,002181	0,004557	0,0040 0,007557	0,0275 0,0178 0,002191	-0,0091 -0,09276	0,66	0,80 0,39	0,87 0,84 0,99 0,96
-100	0,0349 0,1417 -0,0034	-0,0012 0,001563	0,0014 0,003620	0,0055 0,007154	0,0251 0,0151 0,0022 0,002388	-0,05759	0,52	0,85 0,54	0,87 0,96 0,99 0,97
-200	0,0281 0,0986 -0,0043	-0,0009	0,0011	0,0054	0,0200 0,0116 0,0026		0,36	0,90 0,69	0,86 0,97 0,99
-400	0,0238 0,0649 -0,0038	-0,0006	0,0008	0,0052	0,0190 0,0085 0,0026		0,24	0,93 0,79	0,84 0,98 0,99
-700	0,0216 0,0429 -0,0027	-0,0004	0,0006	0,0050	0,0167 0,0062 0,0024		0,16	0,94 0,86	0,81 0,98 0,99
-1000	0,0205 0,0309 -0,0019	-0,0003	0,0005	0,0049	0,0154 0,0049 0,0022		0,11	0,95 0,89	0,81 0,99 0,99
-1500	0,0260	-0,000059	0,001142	0,0050 0,005766	0,0158 0,002228	0,00267			0,80 0,95



$k_{cm}$ : coeficiente de cultivo máximo

Esta formulación es válida desde el inicio del ciclo de cultivo hasta que el  $k_c$  alcanza su valor máximo. El coeficiente de cultivo expresa la relación entre la ET del cultivo y la ETP de referencia. Su valor es empírico y es función de multitud de factores. Fundamentalmente depende de las características del cultivo, las fechas de siembra o plantación, el ritmo de desarrollo del cultivo y la duración del ciclo de cultivo. En Doorenbos y Pruitt, 1990, se recogen coeficientes de consumo para diferentes cultivos que se deben ajustar según las diferentes etapas locales del ciclo de crecimiento. La fiabilidad de los valores necesita establecerse mediante una buena correlación con datos experimentales obtenidos mediante lisimetría.

El agua utilizable  $m^3/ha$  será:  
 $D_n = AU \cdot NAP \cdot z \cdot \rho_b$

$D_n$ : agua utilizable ( $m^3/ha$ )  
 AU: agua útil (%)  
 $\rho_b$ : densidad aparente ( $t/m^3$ )  
 NAP: nivel de agotamiento permisible del agua útil (%)  
 z: profundidad radicular efectiva (m)

medad a un determinado potencial mátrico, a menudo de -33 kPa en suelos de textura fina y de -10 kPa en suelos de textura gruesa, y el punto de marchitamiento permanente se ha relacionado con el contenido de humedad a un potencial matricial de -1500 kPa. Cuando se carece de estimaciones directas, la tabla 6 nos permite el cálculo de los valores técnicos capacidad de campo (-33 kPa) y punto de marchitez (-1500 kPa).

Es difícil adoptar un valor de *nivel de agotamiento permisible* válido para todas las situaciones, pues depende del cultivo, de la tasa de evapotranspiración, y del factor de ahorro de agua que quiera establecerse. Doorenbos et al., 1988, agrupan los cultivos en función del nivel de agotamiento permisible de la reserva disponible y el valor del nivel de agotamiento en función de la evapotranspiración (tablas 7 y 8). En la tabla 9 se indican los valores recomendados de NAP por la ASCE, 1990, valores recomendados para una tasa de evapotranspiración de alrededor de 5-6 mm/día, estos valores se disminuirán en un 10 por ciento cuando la tasa de evapotranspiración exceda los 6 mm/día. Los valores expresados se deben tomar como orientativos.

Para expresar el agua utilizable en  $m^3/ha$  hay que considerar la densidad aparente del suelo y la profundidad de las raíces. Esta hace referencia a la profundidad radicular efectiva, esto es, a la que el cultivo puede extraer agua. Dependerá del estado de desarrollo del cultivo (se entiende que no hay limitaciones de profundidad en el suelo) y se estima mediante la expresión:

$$z/k_{ct} = z_m/k_{cm}$$

z: profundidad radicular efectiva en el tiempo "t"(m)  
 $z_m$ : profundidad radicular efectiva máxima (m)  
 $k_{ct}$ : coeficiente de cultivo en el tiempo "t"

Para la *programación día a día* se parte de un suelo a capacidad de campo. Calculamos diariamente la evapotranspiración del cultivo  $ET_c$  y vamos acumulando los valores. Cuando se produzca una lluvia, determinamos la precipitación efectiva  $P_e$  y restamos el valor de la suma anterior al

**Tab. 7**  
**GRUPOS DE CULTIVOS. Doorenbos et al., 1988**

GRUPO	CULTIVO
1	· Cebolla, pimentero, patata
2	· Banana, col, vid, guisante, tomate
3	· Alfalfa, judía, cítricos, cacahuete, piña, girasol, sandía, trigo, cebada
4	· Algodón, maíz, olivo, cártamo, sorgo, soja, remolacha azucarera, caña de azúcar, tabaco.

**Tab. 8**  
**VALORES DE NAP PARA LOS DIFERENTES GRUPOS DE CULTIVOS Y LA TASA DE EVAPOTRANSPIRACION. Doorenbos et al., 1988**

GRUPO	ETP (cultivo, mm/día)									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0,50	0,425	0,35	0,30	0,25	0,225	0,20	0,20	0,175	
2	0,675	0,575	0,475	0,4	0,35	0,325	0,275	0,25	0,225	
3	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,425	0,375	0,35	0,3	
4	0,875	0,8	0,7	0,6	0,55	0,5	0,45	0,425	0,4	

**Tab. 9**  
**VALORES DEL AGOTAMIENTO PERMISIBLE PARA DIFERENTES CULTIVOS Y**  
**RANGO DE PROFUNDIDAD EFECTIVA RADICULAR MAXIMA.**  
**Fuente: ASCE, 1990.**

CULTIVO	Prof. raíces (m)	NAP %
Alfalfa	1-2	55
Alcachofa	0,6-0,9	45
Esparrago	1,2-1,8	45
Aguacate	0,6-0,9	40
Platanera	0,5-0,8	35
Cebada	1-1,5	55
Juóia verde	0,5-0,7	45
Judía	0,6-0,9	45
Remolacha	0,6-1,0	50
Brocolí	0,6	40
Col de Bruselas	0,6	40
Repollo	0,4-0,5	45
Melón (cantaloupe)	0,6-1,2	40
Zanahoria	0,5-1,0	35
Apio	0,3-0,5	20
Cítricos	1,2-1,5	50
Trébol	0,6-0,9	50
Algodón	0,8-1,7	60
Pepino	0,7-1,2	50
Dátil	1,5-2,5	50
Berenjena	0,8	45
Higuera	0,9	50
Lino	1-1,5	50
Cereales grano pequeño	0,9-1,5	60
Cereales grano pequeño de invierno	1,5-2	60
Vides	1-2	35-45
Cacahuete	0,5-1,0	50
Pratenses	0,5-1,5	50
Lúpulo	1-1,2	50
Lechuga	0,3-0,5	30

CULTIVO	Prof. raíces (m)	NAP %
Maiz	1-1,7	60
Melón (melons)	1-1,5	35
Menta	0,4-0,8	40
Olivo	1,2-1,7	65
Cebolla	0,3-0,5	25
Palmas	0,7-1	65
Guisante	0,6-1	40
Pimiento	0,5-1	25
Piña	0,3-0,6	50
Patata	0,4-0,6	35
Calabaza	0,9-1,2	40
Rábano	0,3	30
Sisal	0,5-1	80
Sorgo	1-2	55
Soja	0,6-1,3	55
Espinaca	0,3-0,5	20
Calabaza	0,6-0,9	50
Fresa	0,2-0,3	15
Remolacha azucarera	0,7-1,2	55
Caña azucar	0,8-1,8	65
Girasol	0,8-1,5	45
Batata	1-1,5	65
Tabaco	0,5-1	55
Tomate	0,4-0,8	40
Nabo	0,5-0,8	40
Nogal	1,7-2,4	50
Sandía	1-1,5	45
Trigo primavera	1-1,5	55
Trigo invierno	1,5-1,8	55



producirse un aporte de agua. En la ocasión en que el sumatorio ( $ET_c - P_e$ ) sea igual al volumen de agua utilizable definido se procede a un riego en una cantidad igual a éste. Si se trabaja con series climatológicas, la mecánica sería la misma pero prescindiendo de los valores de precipitación efectiva. Volvemos a insistir que el agua utilizable fijada es una fracción del agua útil con el fin de que el suelo esté siempre a un valor alejado del punto de marchitamiento y la planta no sufra estrés hídrico.

Para obviar los fallos de la aplicación de agua, es preciso aumentar las necesidades netas de riego en función de la eficiencia de aplicación del riego. La dosis

bruta o la dotación de agua real a aplicar en la parcela será:

$$\text{Dotación bruta (m}^3/\text{ha)} = \text{Dotación neta (m}^3/\text{ha)} / E_a$$

$E_a$ : eficiencia del riego

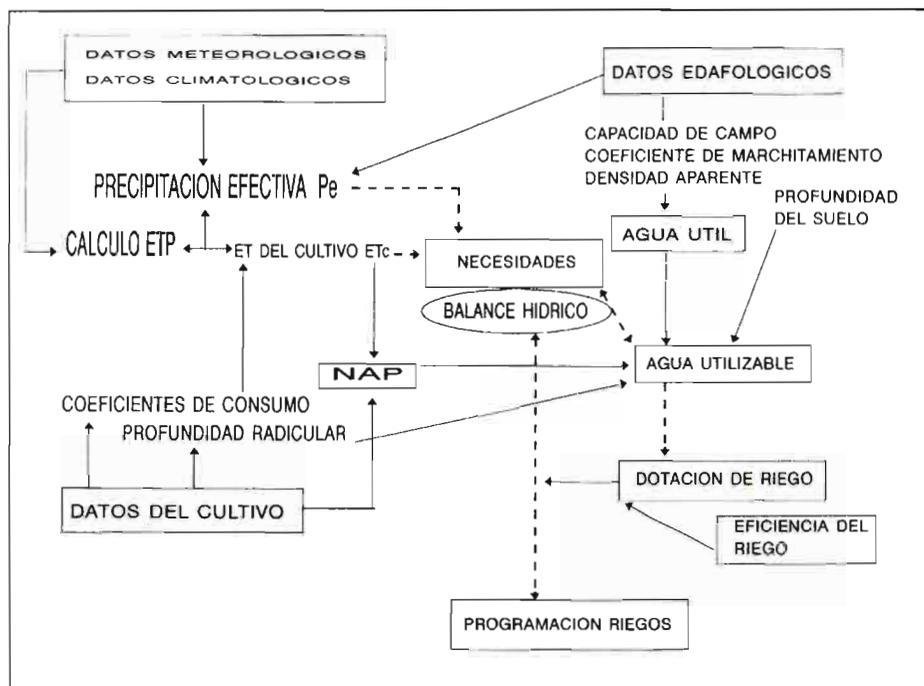
La eficiencia de aplicación varía normalmente entre el 55% al 90%. Con un buen diseño de los elementos del riego, se pueden tomar como valores máximos de  $E_a$  los indicados en la tabla 10.

En resumen, para el cálculo de la dotación del riego se debe considerar el agua útil del suelo referida a la profundidad de las raíces, el nivel de agotamiento permisible del suelo y la eficiencia del riego con el fin de compensar las posibles pérdidas. Por último, la frecuencia de riego se obtiene considerando las necesidades de agua a partir del balance de humedad del suelo (figura 1).

La metodología basada en el balance de humedad es adecuada a efectos de planificación y debe servir de guía al experto de campo. Se deberá ajustar mediante datos de campo disponibles localmente y el ajuste experimental. El principal problema que puede presentar la programación de riegos es que los regantes no sean capaces de utilizar la información recibida. Esto podría ser debido a la falta de flexibilidad en los sistemas de riego y distribución utilizados; también podría deberse a una falta de coordinación entre el nivel de información ofrecida y el nivel que el regante puede hacer uso. No cabe duda que la programación de riegos debería acompañarse de un servicio de extensión agraria para su evaluación y adaptación.

Para finalizar, volvemos a insistir en la necesidad de una ordenación y racionalización de la gestión del agua con el fin de satisfacer las demandas presentes y futu-

**Figura 1:**  
**PROGRAMACION DE RIEGOS**



ras. Una línea primordial de actuación es la de evitar el despilfarro producido frecuentemente en nuestros regadíos, para lo cual se tendrá que realizar una correcta aplicación del agua con el fin de conseguir la optimización del riego.

#### BIBLIOGRAFIA

- ASCE. 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE. Manuals and Reports on Engineering Practice. Nº 70. Editado por Jensen, Burman y Allen. New York. 332 p.

- Doorenbos, J. y Kassam, A.H. 1988. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 33. 212 p.

- Doorenbos, J. y Pruitt, W.O. 1990. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje. 24. 194 p.

- Gupta, S.C. y Larson, W.E. 1979. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. Water Resources Res. 15. p. 1633-1635.

- INM. 1982. Guía resumida del Clima de España. Publicación D-25. 52 p.

- INM. 1995. Guía resumida del clima de España 1961-1990. Serie estadísticas. 110 p.

- López Camacho, B. 1993. La gestión del agua. En "Hacia una ciencia de los recursos naturales". J.M. Naredo y F. Parra (comps.). Siglo Veintiuno de España Editores, S.A. 175-207 p.

- Martín de Santa Olalla, J. y De Juan, J.A. 1993. La programación de riegos. En Agronomía del Riego. Obra dirigida por Martín de Santa Olalla y De Juan Valero. Ed. Mundi-Prensa. Univ. de Castilla-La Mancha. 550-595 p.

- MOPU. 1990. Plan Hidrológico. Síntesis de la documentación básica. Dirección General de Obras Hidráulicas.

- Rawls, W.J.; Brakensiek, D.L. y Saxton, K.E. 1982. Estimation of soil water properties. Trans. ASAE. 25. 1316(1320)-1328 p.

- Villalobos, F.J. y Fereres, E. 1987. Necesidades hídricas de los cultivos y programación de los riegos en las Vegas Bajas del Guadiana. Servicio de Investigación Agraria. Junta de Extremadura. 109 p.

**Tab. 10.**  
**EFICIENCIA DEL RIEGO.**  
**Fuente: Doorenbos y Pruitt, 1990.**

SISTEMA DE RIEGO	$E_a$ SCS(EE.UU.)
Fajas	0,60-0,75
Inundación	0,60-0,80
Surcos a nivel	0,50-0,55
Surcos	0,55-0,70
Infiltración subterránea	0,80 (máx.)
Aspersión:	
Clima seco y cálido	0,60
Clima moderado	0,70
Clima húmedo y frío	0,80
Arrozales	0,35
Goteo:	
Zonas áridas	0,90
Aguas de calidad y buen manejo	0,95