

Programación óptima de los calendarios de riego por aspersión

Método de cálculo de las necesidades hídricas de un cultivo regado mediante aspersión



Estación meteorológica automática con sensores de radiación solar, radiación neta, velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa del aire.

En este artículo se abordan los pasos lógicos que hay que seguir para realizar una programación óptima del riego por aspersión de cultivos extensivos. A título ilustrativo, se presentan algunos ejemplos de programación de tres cultivos (alfalfa, maíz y trigo) en cuatro zonas regables del Valle del Ebro.

José María Faci González¹ y Antonio Martínez Cob².

¹Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria. Gobierno de Aragón (CITA).

²Estación Experimental de Aula Dei. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EEAD, CSIC).

Actualmente, la distribución de los sistemas de riego en España es la siguiente: a) superficie, 59%; b) aspersión, 24%; c) localizado, 17% (Plan Nacional de Regadíos, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, MAPA, 2006).

En las nuevas transformaciones y modernizaciones de los regadíos tradicionales, normalmente se proyectan e instalan sistemas de riego presurizado, aspersión (preferentemente en cultivos extensivos) y localizado (sobre todo en cultivos frutícolas y hortícolas). Los sistemas de aspersión más utilizados son las coberturas fijas enterradas y en superficie y los laterales autopropulsados, sobre todo de tipo pivote. Normalmente, todos los nuevos sistemas de riego por aspersión están provistos de un programador de riegos en parcela que facilita enormemente las labores del riego, ya que el regante sólo tiene que programar los calendarios de riegos según las necesidades hídricas de los cultivos y comprobar el buen funcionamiento del sistema.

En general, los sistemas de riego por aspersión son muy adecuados para el riego de los cultivos extensivos. No obstante, existen diversos problemas de diseño y manejo en algunas instalaciones, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Calendarios de riego inadecuados.
- Baja eficiencia del riego efectuado con vientos fuertes.
- Mal mantenimiento de los sistemas de riego.

- Presiones inadecuadas.
- Falta de automatización.
- Marcos demasiado amplios en coberturas.
- Uso de aguas salinas en riegos por aspersión.
- Pluviometría mayor que la tasa de infiltración de agua en el suelo.
- Elección no adecuada de los emisores.
- Equipos de riego muy envejecidos.

El manejo óptimo del riego por aspersión debe incluir entre otros los siguientes aspectos:

- 1) Establecimiento de calendarios óptimos de riego que cubran las necesidades hídricas de los cultivos.
- 2) Aplicación del riego en ausencia de viento fuerte.
- 3) Buen mantenimiento de los equipos.
- 4) Uso de una presión de funcionamiento adecuada.

La programación del riego en los sistemas de aspersión

El establecimiento de un calendario de riegos consiste en determinar las dosis de riego y los momentos adecuados de su aplicación. Para su ejecución, se requiere un suministro de agua flexible y en cantidad suficiente para cubrir las necesidades hídricas del cultivo. En la mayoría de los nuevos regadíos con sistemas presurizados (aspersión y goteo) el riego se efectúa a la demanda, por lo que el regante tiene gran flexibilidad para variar dosis y frecuencia de riego.

La gran ventaja del riego por aspersión es que la cantidad de agua aplicada no depende de las características del suelo, sólo de la duración del riego. El empleo de equipos automatizados de riego por aspersión con programadores hace que la labor de programación del riego sea una tarea muy sencilla.

Para una programación óptima del riego, el regante debe disponer de estimas fiables de las necesidades hídricas del cultivo. Estas necesidades dependen fundamentalmente de la demanda evaporativa de la atmósfera (condiciones meteorológicas), del cultivo y de las características del sistema de riego. En términos generales, los calendarios de riego se pueden establecer de dos formas:

a) A tiempo real cuando se dispone de datos meteorológicos diarios del año en curso.

b) Con datos meteorológicos del año medio para establecer una directriz general de riegos; en este caso, el regante puede aplicar los riegos de acuerdo a la directriz pero realizando correcciones según las condiciones meteorológicas del año específico.

En los cultivos extensivos, los riegos deben evitar que se produzcan períodos de déficit hídrico que tengan efectos negativos en la producción. Si el déficit hídrico es moderado y de corta duración, el cultivo se puede recuperar. Pero cuando aumenta la severidad y duración del déficit, los daños en la producción pueden ser irreversibles.

Obtención de los datos meteorológicos

Los datos meteorológicos necesarios para establecer calendarios de riego se obtienen de estaciones meteorológicas. Actualmente, las más adecuadas son las de la red de estaciones automáticas del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR) del MAPA, instalada exclusivamente en zonas de regadío en diversas comunidades autónomas con el objeto de tener datos agrometeorológicos fiables para uso agronómico. Estas estaciones recogen datos semihorarios y diarios de precipitación, temperatura y humedad relativa del aire, radiación solar y velocidad y dirección del viento. La difusión de estos datos meteorológicos y de las recomendaciones de riego obtenidas a partir de ellos se efectúa mediante los Servicios de Asesoramiento al Regante de cada comunidad (cuadro I).

Procedimiento para efectuar una programación del riego

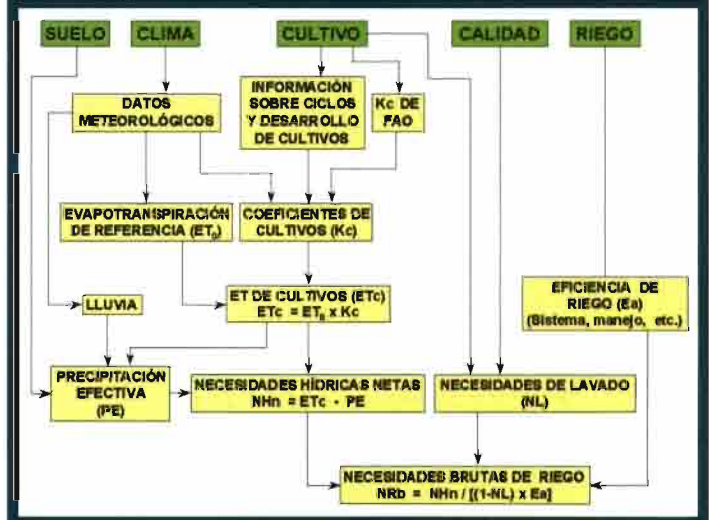
La figura 1 presenta un diagrama de flujos de información necesaria para el establecimiento de un calendario de riego. En primer lugar, a partir de los datos meteorológicos se calcula la demanda evaporativa de la atmósfera. Esta demanda se representa

CUADRO I. DIRECCIONES URL DE DISTINTOS SERVICIOS DE ASESORAMIENTO AL REGANTE DE LAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS.

| Comunidad Autónoma | Dirección URL |
|-------------------------------|---|
| Andalucía | http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/opencms/portal/portada.jsp |
| Aragón | http://oficinaregante.aragon.es |
| Castilla La Mancha (Albacete) | http://www.itap.es/ITAP-SARA/1saradescripcion.htm |
| Castilla y León | http://www.jcyl.es/jcyl/cag/dgdr/riac/inforiego_le.html |
| Cataluña | http://www.ruralcat.net/ruralcatApp/home.ruralcat?tipusPortal=normal |
| Extremadura | http://agralla.juntaex.es/REDAREX/ |
| Murcia | http://www.carm.es/cagr/cida/siam.htm |
| Navarra | http://www.riegosdenavarra.com/sar/regante1.htm |
| Valencia | http://www.jvia.es/estacion/ |

FIGURA 1.

Esquema del procedimiento para la determinación de las necesidades de riego de los cultivos siguiendo la metodología de la FAO.

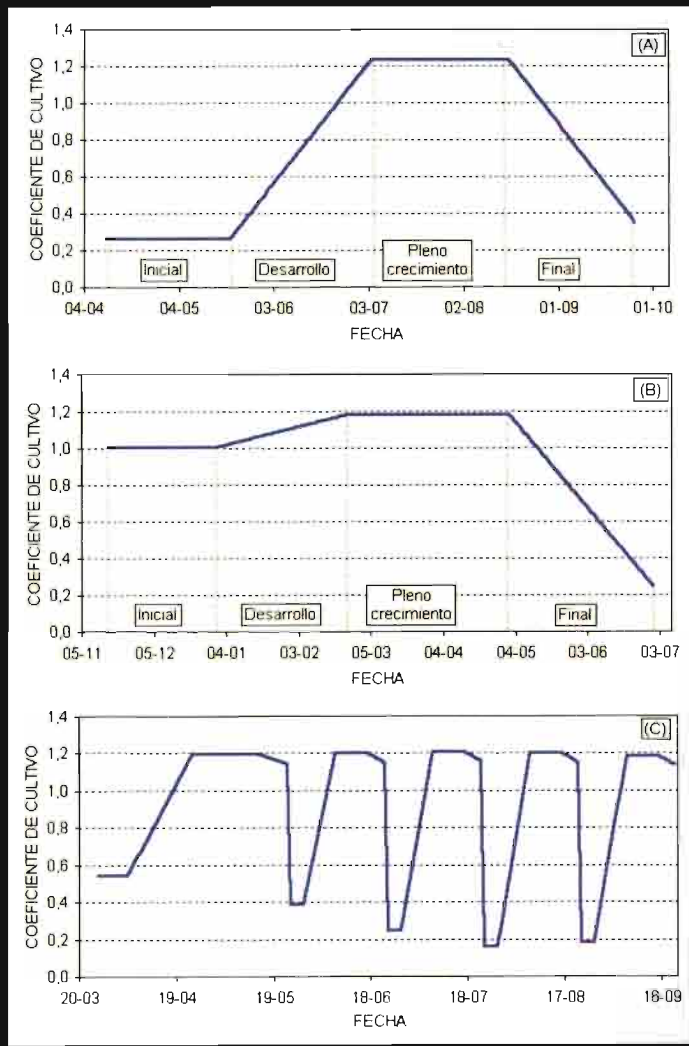


con el cálculo de la denominada evapotranspiración de referencia (ET₀), que es el consumo de agua de una pradera de unos 12 cm de altura, en crecimiento activo, bien provista de agua y sin enfermedades. Actualmente, el método de cálculo de la ET₀ recomendado por la Organización Mundial de la Agricultura y la Alimentación (FAO) es el de Penman-Monteith (Allen y col., 1998), el cual requiere disponer de datos diarios de temperatura y humedad relativa del aire, velocidad del viento y radiación solar. Las estaciones de la red SIAR también proporcionan estimas diarias de la ET₀ calculadas con este método.

En el siguiente paso, se debe recopilar información local sobre el ciclo y desarrollo del cultivo de interés: fechas de siembra y maduración/recolección, así como de su fenología. Esta información se combina con valores tabulados por la FAO (Allen y col., 1998) para obtener el denominado coeficiente de cultivo (Kc). Este coeficiente depende del tipo de cultivo, de su estado vegetativo y de la meteorología. Cuanto mayor es la vegetación y cobertura del suelo por el cultivo, mayor es el valor del Kc. A título ilustrativo, la figura 2 presenta la construcción de las curvas de Kc de tres cultivos, cada una para una comarca distinta. De acuerdo con la metodología FAO (Allen y col., 1998), la construcción de una curva de

FIGURA 2.

Curvas de coeficientes de cultivo (Kc) para: (A) maíz en la comarca de Zaragoza, (B) trigo en la comarca de Ribera Baja Navarra y (C) alfalfa con cinco cortes en la comarca de Logroño.



Kc requiere dividir el ciclo de cultivo en cuatro fases (inicial, desarrollo, pleno crecimiento y final) y los valores de Kc en las fases inicial, de pleno crecimiento y en el último día de fase final.

A continuación, la evapotranspiración de cada cultivo específico (ETc), se calcula como el producto de la ET₀ y el correspondiente Kc. La ETc representa la altura de agua que el cultivo necesita para su producción óptima. La ETc se puede expresar en mm/día representando su valor medio para el período considerado o bien en mm totales en dicho período (1 mm equivale a 1 l/m² ó 10 m³/ha).

Por otro lado, con los datos de lluvia y las características de retención de agua del suelo (figura 1), se determina la denominada precipitación efectiva (PE) o lluvia útil. La PE es aquella parte de la lluvia que queda almacenada en la zona de raíces del cultivo y es extraída por éste. La FAO describe diversos métodos de cálculo de la PE (Dastane, 1978). En consecuencia, la diferencia entre la ETc y la PE (expresadas ambas en mm totales en el período considerado, por ejemplo, semana o mes) representa las necesidades hídricas netas del cultivo (NHn), es decir, la cantidad de agua que,

proveniente del riego, debe quedar almacenada en la zona de raíces para satisfacer las necesidades de agua que el cultivo requiere para su producción óptima.

Dependiendo de la calidad del agua de riego (salinidad), del sistema de riego y de la tolerancia del cultivo a la salinidad, se necesita aplicar una cantidad adicional de agua en el riego para el lavado de sales y evitar su acumulación en la zona de raíces. Esta cantidad adicional se conoce como las necesidades de lavado (NL) (figura 1). Asimismo, todo sistema de riego sufre unas pérdidas de agua durante la aplicación del agua de riego. Por ejemplo, durante el riego por aspersión, se producen pérdidas por evaporación y arrastre y, si la pluviometría supera la tasa de infiltración del suelo, también se pueden producir pérdidas por escorrentía. En definitiva, la eficiencia de aplicación de todo sistema de riego (Ea) es menor del 100%. Teniendo en cuenta estos factores, como último paso, el cálculo de las necesidades de riego brutas (NRb) al nivel de parcela se determinan con la siguiente expresión:

$$NRb = \frac{NHn}{(1-NL) Ea}$$

donde NHn se expresa en mm y NL y Ea se expresan en fracción.

El procedimiento descrito en este apartado se puede aplicar usando los datos meteorológicos y de cultivo del año en curso. En este caso, se hablaría de un calendario de riegos a tiempo real y normalmente se aplica a escalas diarias o semanales. Otra alternativa es aplicar este procedimiento con los datos meteorológicos de una serie de años históricos con el fin de obtener una serie de valores estadísticos que permiten cuantificar los niveles de probabilidad de ocurrencia de determinados valores de ETc, NHn y NRb. Por ejemplo, el nivel de probabilidad de ocurrencia del 50% representa los valores esperados para un año medio. Desde el punto de vista estadístico, el nivel de probabilidad de ocurrencia del 50% quiere decir que en cinco de cada diez años los valores de ETc, NHn y NRb serán iguales o menores a los calculados. Otro nivel de probabilidad de ocurrencia que se suele calcular es el del 90%. En este caso, nueve de cada diez años los valores de ETc, NHn y NRb serán iguales o menores a los calculados, que, lógicamente, serán mayores que los obtenidos para el nivel de probabilidad de ocurrencia del 50%. El nivel de probabilidad de ocurrencia del 90%, de alguna forma, indica que valores de ETc, NHn y NRb se pueden esperar en años secos.



Campos de maíz con sistemas de riego por aspersión en la comarca de Monegros en el Valle medio del Ebro.

CUADRO II. FECHAS DE SIEMBRA Y DE MADUREZ FISIOLÓGICA Y DURACIÓN DE LAS CUATRO FASES DEL CICLO DE CULTIVO CONSIDERADAS PARA EL CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE CULTIVO DEL TRIGO Y DEL MAÍZ GRANO EN CUATRO COMARCAS DE LA CUENCA DEL EBRO.

| Comarca | Cultivo | Siembra | Madurez | Duración de fases (días) | | | | |
|---------------------|------------|---------|---------|--------------------------|----|----|----|-------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | Total |
| Logroño | Maíz grano | 25-abr | 05-oct | 40 | 40 | 43 | 40 | 163 |
| | Trigo | 20-nov | 05-jul | 45 | 55 | 67 | 80 | 227 |
| Ribera Baja Navarra | Maíz grano | 01-may | 30-sep | 30 | 40 | 52 | 30 | 152 |
| | Trigo | 15-nov | 30-jun | 45 | 55 | 67 | 60 | 227 |
| Segrià (Lérida) | Maíz grano | 20-abr | 05-oct | 40 | 40 | 43 | 45 | 168 |
| | Trigo | 15-nov | 10-jun | 40 | 50 | 62 | 55 | 207 |
| Zaragoza | Maíz grano | 10-abr | 25-sep | 40 | 45 | 43 | 40 | 168 |
| | Trigo | 20-nov | 15-jun | 40 | 50 | 62 | 55 | 207 |

CUADRO III. FECHAS DE INICIO DE ACTIVIDAD Y FECHAS DE CORTE CONSIDERADAS PARA EL CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE CULTIVO DE LA ALFALFA EN CUATRO COMARCAS DE LA CUENCA DEL EBRO.

| Comarca | Inicio | Corte 1 | Corte 2 | Corte 3 | Corte 4 | Corte 5 |
|---------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Logroño | 25-mar | 22-may | 22-jun | 22-jul | 21-ago | 20-sep |
| Ribera Baja Navarra | 20-mar | 17-may | 17-jun | 17-jul | 16-ago | 15-sep |
| Segrià (Lérida) | 10-mar | 07-may | 07-jun | 07-jul | 06-ago | 05-sep |
| Zaragoza | 10-mar | 07-may | 07-jun | 07-jul | 06-ago | 05-sep |

Un programa informático muy interesante para el establecimiento de calendarios de riegos es Cropwat que ha sido desarrollado por la FAO (Smith, 1992). Este programa permite determinar la ET_0 , las curvas de K_c , las necesidades hídricas brutas y netas (ET_c y NH_n) y las necesidades brutas de riego de los cultivos (NR_b) a partir de datos meteorológicos, de suelo, de cultivo y del sistema de riego. Cropwat permite el establecimiento de distintas programaciones del riego según diferentes opciones de manejo (dosis y frecuencias de riego). También permite estimar la reducción de rendimientos que se producirían en distintas condiciones no óptimas que el usuario pudiera definir. El programa Cropwat es de libre distribución y se puede descargar del portal web de la FAO en la dirección: <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/cropwat.stm>.

Ejemplos de calendarios de riegos

En este apartado se describen ejemplos de calendarios de riego para tres cultivos (maíz, trigo y alfalfa) en distintas zonas de la cuenca del Ebro (Logroño, Ribera Baja Navarra, Zaragoza y Segrià en Lérida). Los cálculos se han realizado para una serie histórica de años y se han determinado los valores de ET_c , NH_n y NR_b para los niveles de probabilidad de ocurrencia del 50% (año medio) y 90% (año seco).

El **cuadro II** recoge las fechas de siembra y madurez fisiológica consideradas típicas del maíz y del trigo en las comarcas estudiadas. También se lista la duración de las cuatro fases en que se dividen los correspondientes ciclos de cultivo siguiendo la

metodología FAO (Allen y col., 1998). El **cuadro III** incluye las fechas de inicio de actividad y de corte consideradas típicas para la alfalfa en las comarcas estudiadas. Cada ciclo de corte de la alfalfa se ha dividido en cuatro fases. En el primer ciclo de corte se ha considerado una duración total de unos sesenta días y en los restantes, de unos treinta días (Allen y col., 1998). La **figura 2** muestra las curvas de K_c obtenidas en tres de los casos considerados en este apartado. Estas curvas se han obtenido a partir de valores tabulados en Allen y col. (1998) adaptados a las condiciones locales expresadas en los **cuadros II y III**.

A título ilustrativo, el **cuadro IV** presenta las estimas de los valores mensuales y estacionales de ET_c , NH_n y NR_b calculadas para el cultivo de maíz en la comarca de Zaragoza para un año medio y un año seco. A modo de ejemplo, el **cuadro IV** lista también el número de riegos mensuales y estacionales que se necesitarían dar con una dosis de 20 mm en este cultivo y comarca si, además, se supone que las necesidades de lavado son del 5% y que la eficiencia del sistema de riego es del 80%. Para un año medio se necesitarían 36 riegos de 20 mm, mientras que en el año seco este número aumentaría hasta 45 riegos.

El **cuadro V** recoge el número de riegos total estimado, para las mismas condiciones y dosis de riego utilizadas en el **cuadro IV**, en los cultivos de maíz, trigo y alfalfa en las cuatro comarcas consideradas. El mayor número de riegos en todas las comarcas corresponde a la alfalfa, tanto en años medios como en años secos, y el menor número de riegos corresponde al trigo. La comarca en la que las necesidades de riego resultan mayores es Zaragoza y la que menos, Logroño.

Consideraciones finales

El uso eficiente del agua de riego requiere de una programación óptima de los calendarios de riego de forma que las necesidades hídricas de los cultivos y las necesidades de lavado del suelo queden perfectamente cubiertas con el agua de lluvia y de riego.

El procedimiento de cálculo de necesidades hídricas de los cultivos presentado en este artículo puede servir de directriz al regante para establecer esa programación óptima de riego. No obstante, este procedimiento requiere que el regante realice algunos ajustes en su caso particular para tener en cuenta circunstancias tales como que la precipitación presenta una gran variabilidad espacial (Martínez y col., 1998) y la realmente registrada en su fin-



Campos de alfalfa con cobertura enterrada de riego por aspersión.

EXTENSIVOS

CUADRO IV. ESTIMAS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN (Etc), NECESIDADES HÍDRICAS NETAS (NHn), NECESIDADES BRUTAS DE RIEGO (NRb) Y NÚMERO DE RIEGOS MENSUALES CALCULADAS PARA UN CULTIVO DE MAÍZ GRANO EN LA COMARCA DE ZARAGOZA PARA UN AÑO MEDIO (NIVEL DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DEL 50%) Y UN AÑO SECO (NIVEL DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DEL 90%). SE HAN SUPUESTO UNA FRACCIÓN DE LAVADO DE 0,05, UNA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO DEL 80% Y UNA DOSIS DE APLICACIÓN DE AGUA DE 20 mm.

| Mes | Año medio | | | | Año seco | | | |
|------------|-----------|--------|--------|-----------|----------|--------|--------|-----------|
| | Etc mm | NHn mm | NRb mm | Nº riegos | Etc mm | NHn mm | NRb mm | Nº riegos |
| Abril | 17 | 0 | 0 | 0 | 19 | 9 | 12 | 1 |
| Mayo | 44 | 7 | 9 | 0 | 48 | 26 | 34 | 2 |
| Junio | 144 | 116 | 153 | 8 | 151 | 140 | 184 | 9 |
| Julio | 233 | 212 | 279 | 14 | 251 | 244 | 321 | 16 |
| Agosto | 189 | 176 | 232 | 12 | 201 | 197 | 259 | 13 |
| Septiembre | 57 | 33 | 43 | 2 | 64 | 55 | 72 | 4 |
| Estacional | 684 | 544 | 716 | 36 | 734 | 671 | 882 | 45 |

CUADRO V. NÚMERO TOTAL DE RIEGOS ESTIMADO PARA TRES CULTIVOS EN CUATRO COMARCAS A PARTIR DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS NETAS ESTACIONALES CALCULADAS PARA UN AÑO MEDIO Y UN AÑO SECO, CONSIDERANDO UNA FRACCIÓN DE LAVADO DE 0,05, UNA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN DEL 80% Y UNA DOSIS DE APLICACIÓN DE AGUA DE 20 mm.

| Comarca | Alfalfa | | Maíz grano | | Trigo | |
|---------------------|-----------|----------|------------|----------|-----------|----------|
| | Año medio | Año seco | Año medio | Año seco | Año medio | Año seco |
| Logroño | 29 | 38 | 23 | 30 | 10 | 18 |
| Ribera Baja Navarra | 39 | 49 | 34 | 42 | 18 | 27 |
| Segrià (Lérida) | 33 | 42 | 26 | 32 | 12 | 20 |
| Zaragoza | 43 | 52 | 36 | 45 | 18 | 26 |

ca pudiera ser significativamente diferente a la registrada en la estación meteorológica más próxima; otras circunstancias a considerar son la capacidad de retención de agua en su suelo, características propias de su sistema de riego, características agronómicas y de manejo particulares de su cultivo, etc.

En este artículo se han presentado algunos ejemplos de cálculo de las directrices generales de las necesidades hídricas y de riego para tres cultivos en cuatro comarcas del Valle del Ebro para



Parcela pedregosa con un cultivo de maíz regado por aspersión.

un año medio y un año seco. Los valores calculados muestran una gran variabilidad tanto espacial como entre cultivos, así como entre años de climatología media y años secos. ■

Bibliografía

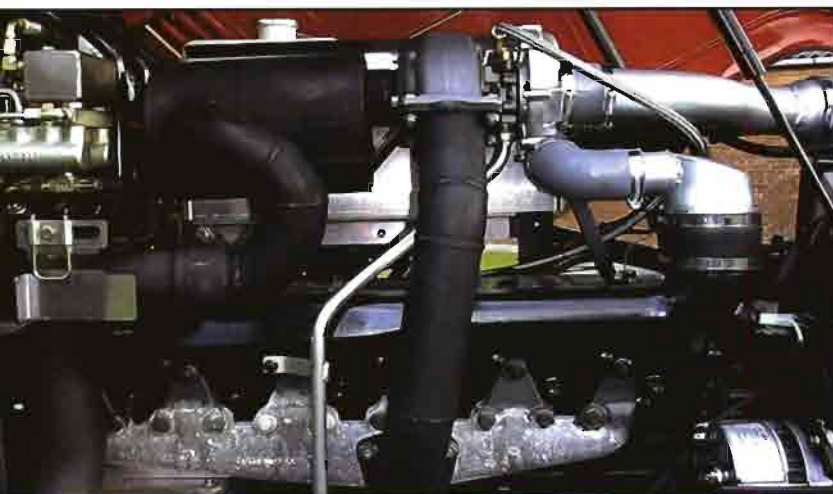
Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Roma, Italia, 300 pp.

Dastane N.G. 1978. Effective rainfall. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 25. FAO, Roma, Italia.

MAPA 2006. Regadíos en explotación: caracterización y tipificación. Plan Nacional de Regadíos. <http://www.mapya.es/es/desarrollo/pags/pnr/principal.htm>. Enero de 2006.

Martínez Cob A., Faci J.M., Bercero A. 1998. Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón. Institución Fernando El Católico, Diputación de Zaragoza. 223 pp.

Smith M. 1992. Cropwat: A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46. FAO, Roma, Italia, 126 pp.



KIT TURBOCOMPRESORES



Para todo tipo de marcas y modelos de tractores

Recambios y accesorios para Tractores y Maquinaria Agrícola



Pol. Industrial Agustinos, C/ A. Nave D-13
31013 PAMPLONA (Navarra - España)
Teléfonos: 902 312318 - 948 312318
Fax: 948 312341
e-mail: agrinava@agrinava.com
www.agrinava.com

