ITEA (1997), Vol. **93V N.° 3,** 183-202

SERVICIO DE ASESORAMIENTO DE RIEGOS DE ALBACETE

J.F. Ortega*
J.M. Tarjuelo*
J.A. de Juan*
H. López**
D. Fernández**

* Centro Regional de Estudios del Agua
Instituto de Desarrollo Regional (I.D.R.)
Universidad de Castilla-La Mancha
Campus Universitario, s/n. 02071, ALBACETE

** Instituto Técnico Agronómico Provincial
(ITAP). Diputación de Albacete
Ctra. de Madrid, s/n. 02080, ALBACETE

RESUMEN

El agua es un recurso limitado, cuyo uso presenta gran cantidad de condicionantes (sociales, económicos, políticos, ecológicos, paisajísticos, técnicos, etc.). Para ayudar a conseguir su uso eficiente y sostenible, se creó hace diez años un Servicio de Asesoramiento de Riegos (SAR) en Albacete, donde se estaba desarrollando una importante agricultura de regadío. En este artículo se quieren destacar los aspectos principales de su andadura, prestando especial atención a los problemas surgidos, así como las posibles líneas de futuro. La experiencia de este Servicio, en sus diferentes aspectos (estructura, colaboración con otras instituciones, funcionamiento, etc.), puede ser interesante para el desarrollo de departamentos de similares, a la par que es un ejemplo para la reflexión sobre el manejo y gestión del agua de riego.

El SAR juega un papel crucial para los regadíos albacetenses, transfiriendo información técnica y científica a los agricultores. Las necesidades de financiación del SAR son elevadas, debiéndose emplear su capacidad y trayectoria para, a largo plazo, constituir un servicio global de ayuda a la agricultura de la zona. A corto plazo deben incluirse en el SAR algunos servicios, como el asesoramiento en cultivos leñosos, o ampliar determinados servicios demandados por la agricultura de regadío (control de la programación de riegos, difusión de la información, etc.).

Palabras clave: Gestión del agua, Programación de riegos, Uniformidad, Eficiencia, Optimización económica.

SUMMARY
IRRIGATION-ASSESSMENT DEPARTMENT OF ALBACETE

Water is a scarce resource whose use is subject to a large quantity of determining factors (socials, economics, politics, techniques, ecologiques, etc.). With the aim of achieving an efficient and sustainable use of this resource, a Servicio de Asesoramiento de Riegos (SAR) was created ten years ago, as a result of an agreement bet-

ween the Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete (ITAP) and the Castilla-La Mancha University. The service has been developed in order to reach its current structure, and permits to offer to the Albacete's irrigation farming an essential service. This article tries to highlight the main features of the SAR paying special attention to its problems, in addition to the coming future of SAR.

The experience of this Service (structure, collaboration with other institutions, work pattern, etc.) may result interesting for the development of similar assessment departments, and may be a reference in relation to the management of the irrigation water too.

The SAR plays a major role in the irrigated lands of Albacete by transferring technique and scientific information to farmers. SAR has high financial requirements. Its capacity and trajectory must be used to generate a global service for the agriculture in the region. This is a long-term objective. In the near future SAR must include several services, such as the assessment for orchards, extend specific services, which are demanded by farmers (irrigation scheduling control, disseminating information, etc.).

Key words: Water management, Irrigation sheduling, Uniformity, Efficiency, Economic optimization.

Introducción

El agua es un elemento esencial para la vida, al tiempo que un factor decisivo para el desarrollo socioeconómico de las regiones, tanto desde el punto de vista de la producción agrícola, como atendiendo a aspectos ecológicos, paisajísticos, etc. Esto ha hecho que en muchas comarcas sea considerada como el principal motor dinamizador de su actividad socioeconómica (agricultura, empresas de servicio e industriales asociadas, generación de empleo, turismo, etc.).

Todo lo anterior, unido a la escasez de este recurso, hace que el agua y su manejo adquieran una especial relevancia en las zonas semiáridas, como son amplias comarcas de Castilla-La Mancha, donde el peligro de desertificación es un hecho contrastado. Castilla-La Mancha, la tercera región más extensa de España con unos 82.000 km^2, es eminentemente agrícola (el sector agrario supone en torno al 12% del Producto Interior Bruto (PIB) regional, mientras que la media nacional se encuentra en torno al 5%). Todo ello con una superficie de regadío de solamente el 9% de la superficie total cultivada, cifra muy por debajo de la media nacional (16%); sin embargo, este regadío aporta el 40% de la producción final agraria regional. En la provincia de Albacete, la extensión total regada se cuantifica en torno a 126.700 ha (ITAP, 1997), casi en su totalidad con recursos subterráneos (84%), que en algunos casos están al límite de la sobreexplotación. Los sistemas de riego principales son: 84,5% aspersión (pivot y cobertura total enterrada), 15% riego por superficie y 0,5% riego por goteo. Actualmente se está registrando un intenso crecimiento del riego localizado, unido en buena medida al riego de especies leñosas, y un retroceso del riego por superficie. Si a todo esto unimos que la precipitación media anual es de 360 mm, con frecuentes e intensos períodos de sequía y, una ETo anual entorno a 1.300 mm, se justifica que en Castilla-La Man-

cha, y en Albacete en particular, el manejo adecuado de los recursos hídricos disponibles sea un objetivo fundamental, tanto para los responsables públicos de la gestión del agua como para los agricultores. Esta gestión racional y responsable es primordial para asegurar la sostenibilidad de nuestros regadíos, ya que la agricultura utiliza en torno al 80% del agua total consumida.

En nuestra comarca el Servicio de Asesoramiento de Riegos (SAR) se ha convertido en un instrumento decisivo ofrecido a los agricultores para el uso racional del agua, que les permite programar su riego, consiguiendo regar en los momentos y con los volúmenes adecuados, con las consiguientes ventajas económicas, medioambientales y de optimización de recursos.

Antecedentes

En España, se van desarrollando cada vez más los servicios que pretenden un asesoramiento al agricultor sobre las necesidades hídricas de sus cultivos. Destacan sobre todo el Programa de Asesoramiento de Riegos (PAR) de la región de Murcia, unido a una importante agricultura en condiciones de recursos hídricos altamente restringidos, y el Servicio de Asesoramiento en Riegos (SAR) de Albacete, a los que hay que unir otras iniciativas como el servicio de asesoramiento de Navarra, el Servei d'Agricultura de la Generalitat de Catalunya, etc. Otras Administraciones tienen también la intención de fomentar la creación de servicios similares, incluso en zonas semihúmedas (Álava), donde indudablemente el agua es también un recurso a optimizar.

El adecuado funcionamiento de un servicio de este tipo requiere un cierto período de preparación, siendo su coste de creación y funcionamiento elevado. Así, en el caso de Albacete, el SAR, que es un servicio gratuito para los agricultores, surgió en el año 1987, aprovechando la capacidad técnica y la experimentación realizada en la zona por la Universidad de Castilla-La Mancha y el Instituto Técnico Agronómico Provincial (ITAP) de Albacete, siendo la función primordial del ITAP la transferencia de tecnología a los agricultores.

Por tanto, estamos ante un servicio gratuito para los regantes, que con diferentes mejoras y adaptaciones lleva funcionando 10 años. En el año 1987, se comenzó la calibración de la estación meteorológica necesaria para el servicio, mientras en el año 1988 funcionó poniendo a disposición de los agricultores datos por primera vez.

Objetivos del SAR

La finalidad primordial de un servicio de asesoramiento de riegos es el manejo eficiente del agua de riego, utilizando de forma sostenible las fuentes de agua existentes, conservando tanto la capacidad de suministro de agua como su calidad. Para conseguir este objetivo debe actuarse en los siguientes campos:

- Realizando la *programación de riegos* más adecuada para cada cultivo y situación productiva, comprobando mediante su seguimiento y control que se alcanzan los objetivos prefijados.

- Mejorando la *eficiencia* de los sistemas de distribución y aplicación del agua en parcela.

• Planteando *alternativas de cultivo* que optimicen en cada momento la utilización del agua disponible en la explotación agrícola.

Funcionamiento del SAR

Para la realización de la programación de riegos en el ámbito de la explotación agrícola, en un escenario de recursos limitados y, en ocasiones al borde de la sobreexplotación, es necesario que los agricultores cuenten con el adecuado asesoramiento técnico así como con una formación continuada. El adecuado manejo del riego es importante no sólo por el ahorro de agua, y su repercusión directa sobre los beneficios económicos de la explotación, sino también para evitar importantes problemas ambientales de contaminación con fertilizantes y otros agroquímicos de las aguas de retorno del riego, y poder liberar recursos para otros usos alternativos.

El método utilizado para identificar el momento y la cuantía del riego (programación de riegos) es el balance hídrico simplificado en el continuo suelo-planta-atmósfera basado en las directrices proporcionadas por DOORENBOS y PRUITT (1977), DOORENBOS y KASSAM (1981), VILLALOBOS y FERERES (1987), SMITH (1992), contrastada en múltiples trabajos de investigación y globalmente admitida (PEREIRA *et al.*, 1992; FAO, 1994), normalmente referenciada como metodología FAO. En el balance hídrico deben incluirse todas las entradas o salidas de agua que se registren en el volumen de control, normalmente el volumen radicular efectivo. Estas son:

• Entradas: precipitación efectiva (P_e), ascensión capilar (G_e), poco importante, riego neto (N_n), que es la variable a determinar para equilibrar el balance.

• Salidas: evapotranspiración del cultivo (ET), pérdidas por percolación profunda (P_p), inevitables en una determinada proporción, pérdidas por escorrentía (E_s), que puede suponer en algún caso una entrada en el balance.

• El balance del sistema queda completo al considerar la evolución de la humedad en el suelo (A_w). La ecuación que define el balance hídrico es:

$$ET + P_p + E_s + P_e + G_e + N_n + A_w = 0 \quad (1)$$

Determinar todos los componentes es imposible en la práctica, realizándose el balance simplificado que se muestra en la ecuación 2, obviándose el efecto de los parámetros no contemplados, cuya influencia es poco significativa (DOORENBOS y PRUITI, 1977; SANTA OLALLA y DE JUAN, 1993).

$$ET + P_e + N_n + A_w = 0 \quad (2)$$

Un dato fundamental del balance es la evapotranspiración del cultivo. Su determinación suele hacerse mediante fórmulas empíricas, con mayor o menor base fisiológica, que utilizan datos meteorológicos y de cultivo.

Determinación de la evapotranspiración del cultivo (ET)

Para la determinación de la evapotranspiración del cultivo con el objetivo de máxima producción (ETm), se emplea la metodología recomendada por FAO. La ETm es la base para conseguir un servicio de asesoramiento de riegos que ofrezca recomendaciones fiables.

Este término está compuesto por dos parámetros, la evapotranspiración de referencia (ETo) y los valores del coeficiente de cultivo (Kc), que varían para cada etapa fenológica.

En el caso del SAR de Albacete se realizaron estudios con evapotranspirómetros de drenaje durante cuatro años, comprobando el buen ajuste de la práctica totalidad de las fórmulas empíricas para el cálculo de la ETo (SANTA OLALLA y DE JUAN, 1993). En nuestro caso, se eligió para la zona donde opera el SAR como fórmula empírica de cálculo la de Penman modificada por FAO, empleada en una primera etapa, que ha sido sustituida por la de Penman-Monteith durante los cinco últimos años.

Una vez determinada la ETo se debe conocer el Kc, y su evolución, para cuantificar las necesidades de agua de un cultivo concreto en un determinado período de tiempo. La estimación del Kc es un factor esencial para la determinación de la ET, siendo la fuente principal de desviaciones en la cuantificación de las necesidades hídricas de los cultivos (VILLALOBOS, 1992; MANTOVANI, 1993). Los ensayos lisimétricos referidos anteriormente se emplearon también para obtener los primeros datos que permitieran el ajuste y calibración de las curvas de Kc de algunos cultivos (maíz y girasol) (DE JUAN y SANTA OLALLA, 1985; DE JUAN y SANTA OLALLA, 1993a). Este proceso se complementa aprovechando los ensayos de análisis del rendimiento de los cultivos ante distintas dosis de riego; en estos ensayos, realizados en parcelas elementales, se incluyen láminas elevadas de riego, correspondiente a los valores manejados de Kc e incluso superiores. En ellos se emplean las técnicas adecuadas para conocer suficientes componentes del balance hídrico (medidas de humedad en el suelo, control de las láminas de riego, etc.), de modo que se pueda cuantificar la evapotranspiración del cultivo en cada momento.

El análisis del efecto de las cantidades de agua aplicada sobre el rendimiento de los cultivos se ha basado en los siguientes ensayos:

1. Tratamientos diferenciales de agua en parcelas elementales, en las que se pueden diferenciar los tratamientos en los distintos estados fenológicos del cultivo (SANTA OLALLA *et al.*, 1992). Estos ensayos siguen realizándose para nuevos cultivos que se quieren incorporar al SAR, en los que el efecto de la lámina aplicada sobre el rendimiento no esta bien caracterizado en nuestra zona, al igual que los valores de Kc.

2. "Ala de riego" con tratamientos diferenciales continuos aprovechando la distribución triangular de agua que produce un ramal de aspersores (COSCULLUELA y FACI, 1992). De esta forma, se puede analizar la cantidad de agua aportada frente a la producción cosechada en cada punto.

En la figura 1 se recoge un ejemplo de estos ajustes realizados para uno de los cultivos que ha sido fundamental para el desarrollo de los regadíos albacetenses, aunque en estos momentos, se pueda ver comprometida su importancia futura, por diversas limitaciones (disponibilidades hídricas, aspectos económicos, etc.). En la gráfica se comprueba la evolución del rendimiento de maíz grano con relación al agua de riego aplicada, resultado de la experimentación llevada a cabo durante varias campañas.

Estaciones meteorológicas automáticas

Para la determinación de la ETo es necesario disponer de una serie de datos climáticos. Las estaciones automatizadas registran los datos meteorológicos requeridos

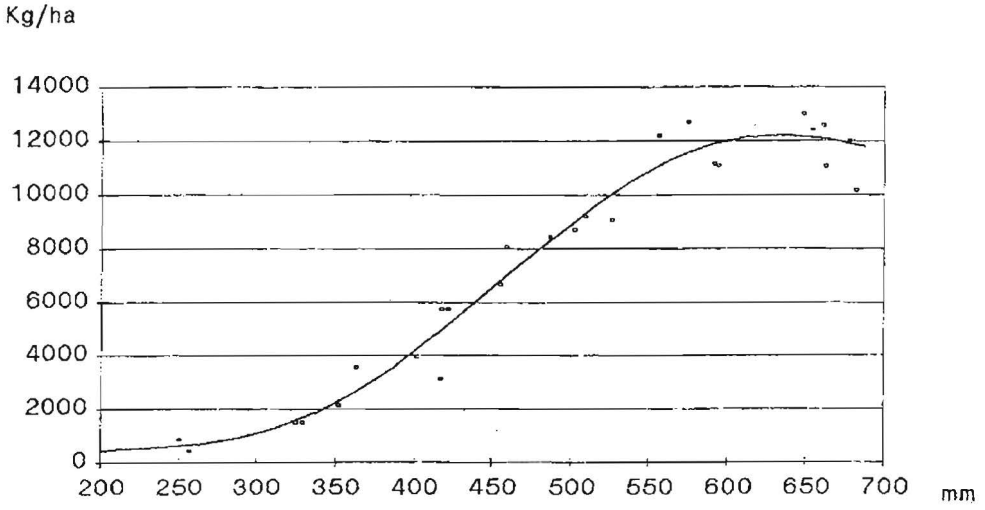


Figura 1. Relación del agua de riego aplicada (mm) y el rendimiento de grano (kg ha^{-1}) al 14% de humedad para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), obtenida como resultado de varias campañas.

para la aplicación de la fórmula elegida, en este caso la de Penman-Monteith.

La ubicación de las estaciones debe hacerse de forma que los datos obtenidos sean representativos del área donde aplicar el SAR.

Todos los datos registrados, guardados en soporte informático, deben revisarse antes de ser procesados para asegurarse que los sensores existentes en la estación están funcionando de forma adecuada, y no proporcionan datos anómalos.

Hasta ahora el SAR de Albacete dispone de una sola estación agrometeorológica automatizada, instalada en la finca experimental "Las Tiesas", y conectada vía "modem" con las oficinas centrales donde se procesan los datos. Esta solución es válida para los regadíos que se agrupan en una gran zona próxima a la ubicación de la estación, con una importante homogeneidad agroclimática, propia de las características geográficas de la llanura albacetense.

No obstante, y con la extensión del regadío a nuevas comarcas de la provincia, principalmente orientadas al riego deficitario de especies leñosas, es necesario disponer de una red de estaciones agrometeorológicas que permita obtener la precisión adecuada donde las condiciones climáticas sean significativamente diferentes.

Información suministrada por el SAR

El tipo de información que puede facilitar un servicio de asesoramiento en riegos, como objetivo de su actividad, es:

• Proporcionar la evapotranspiración del cultivo (ET), y que el agricultor determine las necesidades de riego en función de las características de su sistema de riego, de la precipitación efectiva local y, de la reserva

del suelo, el cual debe estar adecuadamente caracterizado (textura, capacidad de retención, etc.).

• Ofrecer la evapotranspiración de referencia (ETo) y que el usuario realice, para cada cultivo de su explotación, la programación de riegos a partir de este dato, empleando la metodología del balance hídrico simplificado.

• Otra posibilidad es que cada agricultor o grupo de agricultores (Sociedades Agrarias de Transformación (SAT), Comunidades de Regantes (CR), cooperativas, etc.) dispongan de una estación meteorológica, ya que su coste no es demasiado elevado, y obtengan directamente los consumos de agua de sus parcelas, contando, siempre que sea necesario, con el asesoramiento del equipo de técnicos de que dispone el SAR.

Actualmente, los datos de difusión general que proporciona el SAR de Albacete, son las evapotranspiraciones diarias de los cultivos más importantes, con periodicidad semanal, de cara a la realización de la programación de riegos por el agricultor. No obstante, los niveles de actuación del SAR son distintos en función del grado de colaboración deseado por los agricultores:

1. El nivel más elemental consiste en proporcionar únicamente la evapotranspiración del cultivo. Es la solución llamada generalizada.

2. En un segundo escalón se sitúan los agricultores que miden la lluvia caída en su explotación, que pasada a lluvia efectiva (Pe), se considera como el 70% de la lluvia total recogida, entra a formar parte del balance hídrico. Se consiguen buenos resultados a pesar de no ser un método muy preciso de determinación de la Pe. Basándose en la ET y la Pe se ofrece al agricultor la programación de riegos para sus cultivos de forma personalizada.

3. El siguiente nivel de actuación supone determinar la lámina bruta a aplicar en función de la programación de riegos propuesta, para ello se tiene que estimar la eficiencia del sistema de riego y, conocer su pluviometría media, para saber el tiempo de funcionamiento necesario para aplicar la dosis de riego requerida. A este nivel de información se llega actualmente con distintas SAT y CR, e incluso con agricultores individuales que lo solicitan.

La uniformidad y eficiencia de riego suelen ser diferentes en cada riego en función de las condiciones climáticas y de la instalación en que se desarrolle. El SAR está realizando evaluaciones de los sistemas de riego desde hace cuatro campañas, ofreciendo a los agricultores datos sobre su sistema en base a una o dos evaluaciones. La metodología seguida para la realización de evaluaciones en el caso de equipos pivot es la recogida en las normas ANSI/ASAE STANDARS 436 (1995) e ISO 11545 (1994), en el caso de cobertura las normas a seguir son: ASAE STANDARD S330.1 (1987), ISO 7749/1 (1986), ISO 7749/2 (1990), UNE 68-072-86, siendo interesante contemplar las consideraciones de MERRIAN y KELLER (1978) y MERRIAN *et al.* (1980). La ficha tipo del resultado de la evaluación de un equipo pivot que se entrega a los agricultores se muestra en la figura 2. En ella cabe destacar los datos referentes a la velocidad de avance del equipo, la superficie bien regada, la uniformidad y la eficiencia de descarga. Estas evaluaciones se realizan en condiciones de trabajo concretas y en unas condiciones climáticas determinadas, obteniéndose un muestreo puntual del riego. La variabilidad climática, sobre todo el viento, la temperatura y la humedad relativa, hace que sea difícil tener

	RADIO TOTAL
AMA (mm)	
AMR (mm)	
AMR-50 (mm)	
ER (%)	
UD (%)	
CUh (%)	
CUv (%)	
Pluviometría en extremo (mm h^{-1})	
Dotación pivot (l s^{-1} ha^{-1})	
1,15 AMR (mm)	
0,85 AMR (mm)	
Superficie bien regada	
Superficie con +1,15 AMR	
Superficie con -0,85 AMR	
AMR en torre 1 (mm)	
AMR en torre 2 (mm)	
AMR en torre 3 (mm)	
AMR en torre 4 (mm)	
AMR en torre 5 (mm)	
AMR en torre 6 (mm)	
AMR en torre 7 (mm)	
AMR en alero (mm)	

RELACIÓN ENTRE LA ALTURA MEDIA RECOGIDA Y LA VELOCIDAD DE AVANCE

Velocidad de avance		AMR	AMR-50	Tiempo revolución
(%)	(m min^{-1})	(mm)	(mm)	(h)
100				
90				
80				
70				
60				
50				
40				
30				
20				
10				

LEYENDA:

AMA: Altura bruta Media Aplicada (mm)
AMR: Altura Media Descargada (mm)
AMR-50: Altura Media Recogida en el 50 % de la superficie menos regada (mm)
ER: Eficiencia de Descarga (%)
UD : Uniformidad de Distribución (%)
CUh : Coeficiente de Uniformidad de Heermann y Hein (%)
CUv : Coeficiente de Uniformidad de variación (%)
1,15 AMR : altura de agua igual a 1,15 veces la AMR (mm)
0,85 AMR : altura de agua igual a 0,85 veces la AMR (mm)
Superficie con +1,15 AMR : superficie que recibe más de 1,15 veces la AMR
Superficie con -0,85 AMR : superficie que recibe menos de 0,85 veces la AMR

Figura 2. Ficha tipo de presentación de resultados de la evaluación de un equipo pivot.

unos valores representativos de la distribución de agua con sólo una o dos evaluaciones, pero se procura hacer estas en condiciones climáticas medias ante la imposibilidad de incrementar su número.

En las instalaciones que se encuentran pendientes de evaluación, se estima un valor medio en cuanto a uniformidad y eficiencia de acuerdo con sus características y con la experiencia acumulada del estudio de sistemas semejantes en la zona. En cualquier caso, la eficiencia menor que se aplica es del 80%, justificable tanto por los valores medios obtenidos en las evaluaciones realizadas, como apoyada por criterios económicos y ambientales asociados al consumo de agua en las explotaciones agrícolas.

Al determinar la pluviometría media del sistema (Pms) que llega al suelo, basándose en las lecturas de los pluviómetros, para conocer el tiempo de riego necesario para aplicar una dosis concreta, los errores que se pueden cometer, especialmente en el caso de equipos pivot, pueden llegar a ser importantes, debidos a imprecisiones en la determinación de la velocidad de avance del equipo por problemas de resbalamiento en la rueda del extremo, variaciones en el mando que fija el porcentaje de velocidad de avance del equipo, etc.

Los cultivos que en este momento se incluyen en la divulgación general del SAR son: maíz, girasol, remolacha azucarera, cebolla y cebada. Sin embargo, en el segundo escalón más personalizado se asesora sobre mayor número de cultivos herbáceos importantes en la zona, aunque no exista experimentación local de apoyo, existiendo la intención de ir ampliándolos progresivamente. Se trata de poder llegar a dar un asesoramiento sobre todos los cultivos de la explotación, aunque sea con menor nivel de precisión en los cultivos menos experimentados. Esta ha sido la política mantenida desde el origen del servicio, así, en la primera campaña (1988) los cultivos incluidos fueron: cebada, maíz y girasol de segunda cosecha, que se han ido ampliando hasta llegar a los cultivos ahora considerados.

Medios de difusión

La información ofrecida por el SAR debe ser de muy fácil acceso para los agricultores, de manera que siempre la tengan disponible. Para ello, en el caso del Servicio de Albacete se ha recurrido al empleo de las siguientes herramientas:

- Medios de comunicación. Una vez a la semana los periódicos locales publican los valores diarios de la evapotranspiración del cultivo para la máxima producción (ETm) de las especies consideradas. El modelo de ficha que se hace público se recoge en la figura 3, aunque la información ofrecida a algunos agricultores es mucho más detallada, en función del tipo de servicio que hayan demandado. Algunas emisoras locales también emiten estos resúmenes semanales.

- Contestador automático. Existe un número de teléfono con un contestador automático del que se pueden obtener en cualquier momento datos de la última semana.

- Acceso directo o información personalizada. Los datos de consumo de agua y de las evaluaciones se suministran por fax o mediante visitas de los técnicos del SAR a gran cantidad de SAT, CR e incluso agricultores particulares. Con ellos se realiza un seguimiento de la programación de riegos recomendada, aunque únicamente al nivel de contabilizar los volúmenes de agua aplicados, los rendimientos alcanzados y la realización de un seguimiento visual del cultivo.

Es muy importante prestar gran atención al buen funcionamiento de los medios de difusión de la información suministrada, perfeccionando su funcionamiento y buscando nuevos canales de difusión (televisión local, internet, etc.) que faciliten el acceso a la información, evitando que los datos se trastoquen en el proceso de difusión.

El futuro del SAR de Albacete va por ofrecer a los agricultores las herramientas y asesoramiento necesario, pero que cada vez ellos se impliquen más en la planificación y manejo de sus regadíos, apoyándolos en su formación continuada.

Control de la programación de riegos

Es necesario hacer un seguimiento y control de la programación de riegos que se realiza, para ver si se están consiguiendo los objetivos prefijados para ella de acuerdo con los criterios de partida. Son múltiples los factores que inciden sobre el agua

itap
Instituto Técnico Agronómico Provincial, s.a.

SERVICIO DE ASESORAMIENTO DE RIEGOS

NECESIDADES DE AGUA (mm)

SEMANA 28 Ago 03 Sep	CEBOLLA	REMOLACHA	MAÍZ
Jueves	3.5	4.7	4.7
Viernes	3.0	4.1	4.0
Sábado	5.0	6.8	6.7
Domingo	4.3	5.9	5.8
Lunes	2.9	4.1	4.0
Martes	2.9	4.0	3.9
Miércoles		5.0	4.8
TOTAL	**21.6**	**34.3**	**33.8**

Figura 3. Modelo de presentación de datos publicado por el Servicio de Asesoramiento de Riegos de Albacete. Ejemplo de la última semana de agosto de 1997.

que se encuentra en el suelo y sobre los componentes del balance que pueden introducir variaciones respecto a lo programado.

El seguimiento puede efectuarse realizando determinaciones periódicas del contenido de humedad del suelo, mediante algunos de los posibles métodos de medida (tensiómetros, TDR, etc.) (TOPP y DAVIS, 1985), o utilizando otras técnicas que cuantifiquen el estado hídrico del cultivo, como la determinación de su temperatura foliar (IDSO *et al.*, 1977), u otros procedimientos que permitirán detectar un posible estrés hídrico (DE JUAN y SANTA OLALLA, 1993b).

Este control no es realizado en la actualidad de forma generalizada por el SAR, existiendo únicamente un seguimiento visual del estado del cultivo, quedando un control más preciso para algunos casos concretos. Este es uno de los aspectos que deben ponerse a punto para poder prestar este servicio de forma generalizada, sobre todo de cara a ofrecer un nivel de seguridad y garantía a los agricultores que les hiciese confiar plenamente en el SAR.

Conclusiones del funcionamiento del SAR

- Ha sido, y continua siendo, un servicio fundamental para orientar a los regantes, especialmente en un contexto semiárido, de recursos hídricos escasos y caros.

- Requiere un importante soporte técnico y científico para poder desarrollar su tarea de forma precisa. Este soporte es necesario para comenzar a funcionar, pero es también decisivo para la pervivencia y adaptación del SAR a las situaciones que se le van planteando cada día (nuevos cultivos, sistemas de riego diferentes o modificación de los existentes, etc.). Por ello, es fundamental que la propia institución, o su colaboración con otras como puede ser la Universidad, solvente este problema.

- Las necesidades de financiación son elevadas, tanto por la propia infraestructura necesaria para el servicio, como por el personal técnico que requiere de cara a ofrecer un servicio próximo a un elevado número de agricultores y con grandes posibilidades de éxito.

- El servicio debe inspirar la máxima confianza a los regantes, derivada de su eficacia y de la claridad en los criterios empleados. Es la forma más eficiente de conseguir que se sigan sus recomendaciones. Si no se consigue una total confianza, tal como ha sucedido en algunas ocasiones en Albacete, las recomendaciones del SAR no son globalmente atendidas y los beneficios de un servicio costoso no llegan a ser los pretendidos.

- Debe prestarse gran atención a los medios de difusión de la información suministrada, de forma que siempre esté disponible y sin errores para los agricultores. Para ello, el servicio personalizado es la mejor herramienta.

Mejora de la eficiencia de los sistemas de riego

Cuando se aplica un riego, no toda el agua distribuida por el sistema queda almacenada en la zona radicular, sino que una parte se pierde por diversas causas: evaporación y arrastre por el viento durante el proceso de aplicación, escorrentía, percolación profunda, etc. Además, del agua que se deriva para riego, sólo una parte llega a aplicarse por el sistema. Dependiendo de los sistemas de captación, conducción y, de

su manejo y conservación, las pérdidas pueden llegar a ser prácticamente despreciables (goteo o aspersión bien conservados y manejados) o muy importante (riego por superficie con acequias de tierra y mal manejado o con problemas de gestión del riego).

El coste del agua cada vez mayor, que incluye la energía, las infraestructuras de almacenamiento y distribución, la mano de obra, el mantenimiento, etc., justifica sobradamente su uso racional.

Las actuaciones para conseguir una mejor eficiencia en el uso del agua se deben centrar en los siguientes aspectos:

• Diseño y mantenimiento adecuado del sistema de captación y conducción de agua, donde las pérdidas se vean reducidas al mínimo razonable (TARJUELO, 1995).

• Manejo adecuado de los sistemas de riego. Para ello se debe operar minimizando las pérdidas con diferentes tipos de actuaciones:

– Para disminuir las pérdidas por evaporación y arrastre por el viento de las gotas de agua en riego por aspersión, se regará a presiones en torno a 350-400 kPa, y presiones menores en el caso de equipos pivot (en función de los emisores instalados), de modo que se consiga una buena uniformidad de distribución, pero un tamaño de gota no demasiado pequeño que aumentaría exageradamente estas pérdidas (TARJUELO, 1995; MONTERO *et al.*, 1997). Por otra parte, se evitará regar en momentos de fuerte demanda evaporativa de la atmósfera, es decir, en los momentos de más calor y de menor humedad relativa, especialmente si va acompañado de vientos fuertes.

– Para minimizar las pérdidas por percolación profunda es necesario, por una parte, un diseño adecuado del sistema de riego a la hora de realizar el proyecto y la ejecución de la obra, que garantice una alta uniformidad de riego, y por otra, que los agricultores apliquen la programación de riegos requerida, regando en el momento preciso y con la cantidad de agua necesaria.

– Las pérdidas por escorrentía se minimizarán con un buen diseño del sistema, utilizando una pluviometría media en sistemas de riego por aspersión inferior a la velocidad de infiltración del suelo, o empleando la técnica de recorte de caudal o el riego a pulsos en riego por superficie. Además, en casos de riego por aspersión con topografía irregular, se recurrirá a técnicas culturales que permiten disminuir la escorrentía, como es surquear siguiendo las curvas de nivel, o introducir aperos en la labranza como las surqueadoras-estancadoras. Éstas, mediante la realización de montículos en el surco crean en el suelo unas "balsetas" que contribuyen a disminuir la escorrentía.

• Diseño y mantenimiento de los sistemas de riego que permitan alcanzar buenas uniformidades de distribución (por encima del 80-85% en riego por aspersión y del 90% en riego localizado), de modo que la diferencia de agua recibida entre los diferentes puntos de una parcela no sea excesiva. Con ello se asegura que el área infrarregada no sea muy alta, y que en la parte sobrerregada las pérdidas por percolación no sean excesivas. Esta mayor uniformidad de distribución permitirá cultivos más homogéneos y rendimientos mejores, por tanto, un mejor uso del agua (TARJUELO, 1995).

Estas recomendaciones forman parte, y deben hacerlo cada vez en mayor medida, de los servicios ofrecidos por el SAR a los agricultores, de cara a la modernización, mejora y mantenimiento de las instalacio-

nes existentes. Esta tarea obliga a un conocimiento preciso de los sistemas de riego instalados y a una importante investigación sobre sus posibilidades de mejora, que en estos momentos se está llevando a cabo en nuestra zona por la Universidad, tanto desde la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos como del Instituto de Desarrollo Regional (IDR), y que está siendo puesta a disposición del ITAP para su transferencia a los agricultores.

Alternativas de cultivo "óptimas"

Para conseguir un uso óptimo del agua de riego, es necesario cultivar especies que económicamente permitan a la explotación agrícola lograr el máximo beneficio con arreglo al agua de riego disponible y, de acuerdo con sus características (técnicas, agronómicas, etc.).

El proceso de optimización de alternativas de cultivo atendiendo al uso de agua, requiere la determinación de las necesidades estacionales netas de riego, la estimación de los costes de producción asociados a diferentes supuestos productivos, y la optimización económica de los mismos. Concluye con la determinación de los cultivos que forman parte de la alternativa económicamente óptima, siguiendo para ello varias etapas.

Necesidades netas de riego

Las necesidades netas estacionales de riego se obtienen para cada uno de los cultivos considerados aplicando la metodología de FAO basada en el balance hídrico simplificado del conjunto suelo-planta-atmósfera, descrita en epígrafes precedentes.

Determinación de la lámina de riego óptima

Una vez conocidas las necesidades de riego estacionales netas, se aborda la optimización de las láminas de riego a aplicar para cada uno de los diferentes cultivos estudiados, atendiendo a los costes de producción, los costes de aplicación del agua, la uniformidad de distribución de agua por el sistema de riego proyectado y, los precios de productos o subproductos mercadeables, además de tener en cuenta las ayudas compensatorias de la PAC en cada comarca. Es recomendable que estos planteamientos de manejo del agua vayan siendo introducidos progresivamente en los SAR, de modo que se consiga un uso cada vez más eficiente, desde todas las perspectivas, de los recursos hídricos; incluso planificando riegos deficitarios, esto es, que no satisfagan al 100% las necesidades del cultivo, lo que llevará asociado una menor producción, pero que económicamente puede ser más favorable.

Esta determinación puede realizarse según la metodología desarrollada dentro del Departamento de Producción Vegetal y Tecnología Agraria (DE JUAN *et al.*, 1996; TARJUELO *et al.*, 1996), basada en la utilización conjunta de la función de producción del cultivo en relación con el agua (el empleo de la función de STEWART *et al.*, (1977) ofrece un grado de precisión suficiente, contrastado en diferentes trabajos), y en la función de distribución del agua por el sistema de riego. La función de distribución de agua por el sistema de riego que mejor se ajusta es la función normal para riego por aspersión y localizado (WU, 1986; DUKE *et al.*, 1991; ANYOJI y WU, 1994; TARJUELO, 1995; VALIENTE, 1995). Así, en la figura 4 se puede ver cuál es la distribución normalizada del reparto de agua con un sistema de

riego por aspersión respecto al porcentaje de área regada. La curva que proporciona la relación entre la lámina de agua aplicada y el porcentaje de área que recibe esa cantidad de agua o más se ve modificada según el Coeficiente de Uniformidad (CU) que caracterice el sistema de riego, tal como se puede observar en la figura 4.

La función de producción del cultivo con el agua se relaciona con las característi-

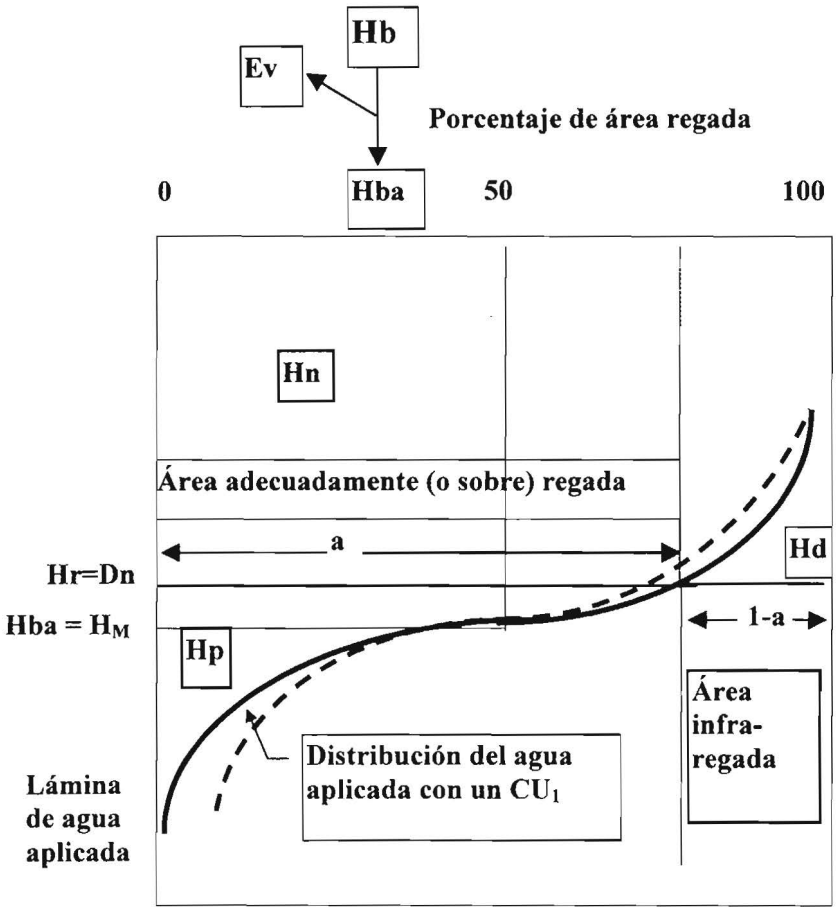


Figura 4. Curva de distribución normalizada. Siendo: Hb=lámina de riego bruta descargada por el sistema; Ev=pérdidas durante el proceso de riego (evaporación y arrastre); Hba=lámina de agua aplicada al terreno; Hn=lámina neta que queda almacenada en la zona radicular; Hd=lámina media de déficit en la zona infra-regada; Hp=lámina media percolada en la zona sobre-regada; Hr=lámina requerida por el cultivo; a=porcentaje de área adecuadamente o sobre-regado; y CU=coeficiente de uniformidad del sistema de riego. La línea discontinua representa la distribución de agua acumulada para un CU menor que CU_1.

cas de la aplicación del riego, mediante el coeficiente de uniformidad, pudiendo cuantificar el efecto final sobre el rendimiento de los cultivos (ORGAZ *et al.*, 1992; MANTOVANI, 1993; DE JUAN *et al.*, 1996). En la ecuación 3 podemos ver cuál es la función de producción integrada, en la que se considera la influencia del coeficiente de uniformidad, a través del efecto del área mal regada, sobre la producción del cultivo.

$$1 - y/y_m = k_y C_d (1 - p) \quad (3)$$

Siendo: y=rendimiento real; y_m=rendimiento agrícola máximo; k_y=factor de sensibilidad al déficit hídrico; C_d=coeficiente de déficit (lámina media de déficit/lámina requerida por el cultivo); y p=proporción de aportes de agua distintos al riego respecto a la ET.

Como punto de partida para el proceso de optimización, además de los datos referentes al sistema de riego (CU), se requiere en cada cultivo una estructura de costes totales integrada por los siguientes componentes (DE JUAN *et al.*, 1996):

– Costes directos de producción (CD), desglosados en costes externos (fertilizantes, semillas y productos fitosanitarios), costes calculados (mano de obra, tracción y maquinaria) y costes estimados (seguros, secado, etc.). Se determinan como consecuencia de la valoración de los itinerarios técnicos definidos para cada uno de los cultivos y escenarios productivos considerados. A estos costes, de cara a determinar los costes totales, se le deben sumar los costes financieros, generados como consecuencia del capital circulante necesario para la producción agrícola dentro de la explotación.

– Costes *"variables"* (CVa), calculados como producto del volumen de agua aplicada con el riego por el coste del m^3, al ser el agua la variable cuyo uso pretendemos optimizar. Los costes de aplicación del agua de riego incluyen todos los costes inherentes a su aplicación (precio del recurso, mano de obra, coste de energía, etc.).

Como ingresos brutos se han considerado el producto principal de la actividad agrícola y los posibles subproductos mercadeables, multiplicando sus rendimientos por el precio de los mismos, estimados en función de una serie temporal de precios. También se incluyen en el precio las ayudas y subvenciones de la PAC, siempre que los cultivos estén dentro de su normativa y con las peculiaridades de aplicación en la zona de estudio.

Con todo ello se determina el margen bruto, como diferencia entre ingresos y costes, para realizar sobre esta variable el proceso de optimización. El margen bruto para cada escenario planteado (cultivo, coste de aplicación del agua, coeficiente de uniformidad, etc.), evoluciona con respecto a la lámina de riego aplicada de forma análoga a lo que ocurre en el caso que se presenta en la figura 5. En ella se puede apreciar una lámina de riego correspondiente a un margen bruto claramente máximo, que es la lámina de riego óptima para este cultivo, inferior a la lámina necesaria para la máxima producción (figura 1), lo cual constituye una conclusión válida para la mayoría de los cultivos y escenarios contemplados (ORTEGA *et al.*, 1997).

Optimización de la alternativa de cultivos

En esta fase se realizará el análisis de alternativas de cultivo mediante las técnicas de Programación Lineal (KUMAR y KHEPAR, 1980; HUSAR, 1987; KING y BUSCH, 1993; MANNOCHI y MECARELLI, 1994), una vez definidos sus itinerarios técnicos y los gas-

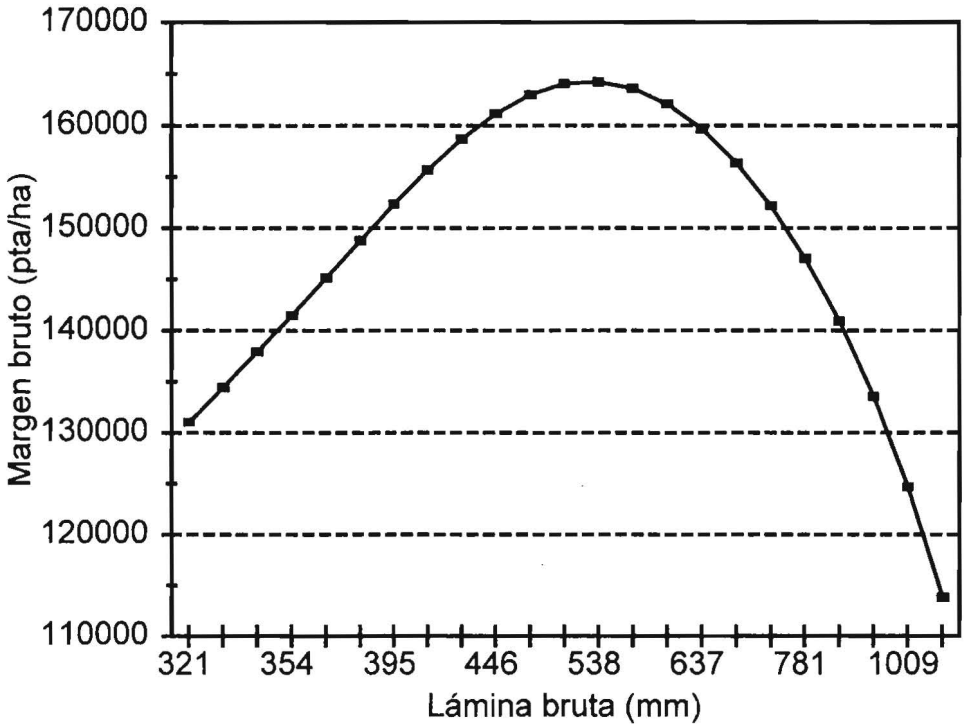


Figura 5. Evolución del margen bruto en función de la lámina de riego en el cultivo de maíz en la provincia de Albacete, considerando: CU=85%; coste de aplicación del agua=10 pta m^{-3} y un precio de venta del producto de 25 pta kg^{-1}.

tos e ingresos asociados a cada cultivo a través del modelo descrito en el epígrafe anterior, para llegar a identificar la alternativa que conduce al óptimo económico. Para ello hay que tener en cuenta las restricciones particulares de cada escenario considerado, es decir, sus características agronómicas, edáficas, climáticas, de disponibilidad hídrica, de mano de obra o maquinaria, etc. En la mayoría de los casos, el factor más limitante y cuya importancia domina el análisis es la disponibilidad hídrica asociada a cada explotación agrícola.

Se proporciona un procedimiento, articulado en un programa informático, para evaluar soluciones alternativas en distintos supuestos de disponibilidades de agua y otros recursos, en diferentes escenarios climáticos, con el objetivo de definir el plan de producción que proporcione el máximo beneficio económico, cuantificando el nivel de riesgo implícito a él. Este nivel de riesgo se determina como la diferencia entre un objetivo productivo y los valores inferiores registrados para cada uno de los años de la serie climática que se analice, que constituye el modo de introducir la variabilidad climática en el modelo de ayuda a la toma de decisiones. Así, el agricultor podrá considerar este efecto de cara a la planificación de

su actividad productiva para próximas campañas. El modelo puede adaptarse para dar respuesta a la problemática concreta de diferentes explotaciones consideradas individualmente.

En cualquier caso, este modelo de ayuda a la toma de decisiones se encuentra, dentro de diferentes proyectos de investigación, en una profunda fase de revisión y actualización, de modo que entre las alternativas productivas a considerar se introduzca el secano, como una actividad que en determinadas condiciones de restricción de agua puede ser una solución interesante (especialmente en regiones semihúmedas), también se tratará de introducir la variabilidad de precios como una forma importante de analizar el riesgo implícito a las diferentes alternativas posibles. Este camino de mejora quiere alcanzar también al propio proceso de optimización, introduciendo técnicas de decisión multicriterio (ROMERO, 1993; SÁNCHEZ MADRID *et al.*, 1997; LÓPEZ *et al.*, 1997; MORENO, 1997), que permitan aproximarse a la mejor solución entre diferentes objetivos en conflicto (beneficio, riesgo, etc.).

Es importante indicar que este enfoque es esencial en la planificación productiva del regadío de cara a conseguir una auténtica optimización de los recursos disponibles, planteando las alternativas más interesantes en cada caso y las láminas de riego a aplicar, contemplando la posibilidad de realizar riegos deficitarios controlados. Este planteamiento constituye un camino abierto a emprender por los SAR.

Futuro del SAR de Albacete

En la actualidad el SAR de Albacete está ofreciendo un importante servicio a la agricultura de la provincia, pero es obvio que necesita mejoras y que puede servir de guía para la actividad de nuevos servicios.

Una de las primeras mejoras, ya planteada a lo largo del texto, es la conveniencia de disponer de una red de estaciones agrometeorológicas automatizadas y conectadas por "modem" con un ordenador central, que permita una buena subzonificación de las necesidades hídricas de los cultivos.

Se tiene que continuar el estudio del comportamiento de las diferentes especies cultivadas existentes en la zona, las cuales indudablemente irán modificándose a lo largo del tiempo. En este sentido, cobra especial interés la incorporación al servicio de especies leñosas, al menos en un primer momento vid, olivo y almendro, para luego abarcar más cultivos. Se abordará con especial interés su comportamiento ante estrategias de riego deficitario controlado, basado en la idea de reducir los aportes hídricos en aquellos períodos en los que un déficit hídrico controlado no afecta sensiblemente a la producción y calidad de la cosecha; y, cubrir plenamente la demanda durante el resto del ciclo (MITCHELL *et al.*, 1984; CHALMERS *et al.*, 1985). Así, se están desarrollando nuevos proyectos de investigación, en colaboración entre el ITAP y la Universidad de Castilla-La Mancha, que deberán ofrecer a corto o medio plazo los resultados necesarios para el funcionamiento de un SAR con especies leñosas. De forma análoga se tiene que continuar caracterizando el funcionamiento de los sistemas de riego, su mejora por parte de los agricultores es constante (emisores, condiciones de trabajo, etc.), y estos datos deben ser tenidos en cuenta por el SAR.

Para facilitar la tarea de la programación de riegos se ha desarrollado un programa informático de sencillo manejo, que en

estos momentos está contrastándose por técnicos del SAR, con la intención de difundirlo entre los agricultores que lo soliciten. La finalidad de este programa es la realización de un calendario de riegos en función de las necesidades de los cultivos y las tarifas eléctricas contratadas en cada explotación, de forma que se optimice la programación de riegos, tanto desde el punto de vista de los volúmenes de agua empleados, como de los costes energéticos implícitos al proceso.

Todo esto, junto a la necesaria plantilla de técnicos para realizar el seguimiento de cultivos en diferentes zonas y poder dar un servicio personalizado a las SAT, CR y a agricultores concretos, hace que los presupuestos requeridos sean importantes. Por tanto, en la medida de lo posible debe aprovecharse la estructura generada por el SAR para, sin incrementos exagerados de sus costes, ofrecer otra serie de servicios, entre los que podríamos destacar:

- Atención especial a las explotaciones, cada vez más numerosas, con recursos de agua restringidos, donde aspectos como las especies a cultivar y los riegos deficitarios pueden ser decisivos.

- Generalizar las parcelas sobre las que se realiza un control de la programación de riegos seguida, como forma de demostrar su bondad y para corregir posibles desequilibrios de la misma.

- Plantear nuevos servicios y desarrollar otros paralelos al SAR, como el servicio de asesoramiento a la fertilización, que comenzó a funcionar puntualmente en el año 1990, que permite ayudar a los agricultores en el manejo de otro factor productivo importante, tanto económica como ambientalmente y, estrechamente relacionado con el riego. Los niveles de nitratos en nuestros acuíferos también están aumentando y los riesgos ambientales de una fertilización mal planificadas son evidentes.

- Colaborar con el agricultor, informándole, en la mejora y modernización de su sistema de riego.

- Constituirse en el embrión de un servicio global de ayuda a la agricultura de la zona, tratando de asesorar en los aspectos técnicos cruciales, en estrecha colaboración con la Universidad regional en su labor investigadora.

Bibliografía

ANSI/ASAE STANDARS S436, 1995. Test procedure for determining the uniformity of water distribution of center pivot, corner pivot and moving lateral irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzles.

ANYOJI H., WU I.P., 1994. Normal distribution water application for drip irrigation schedules. Trans. of ASAE., 37, 1, 159-164.

ASAE STANDARD S330.1, 1987. Procedure for sprinkler distribution testing for research purposes.

CHALMERS D.J., MITCHELL P.D., JERIE P.H., 1985. The relations between irrigation, growth and productivity of peach trees. Acta Hortic. 173, 283-288.

COSCULLUELA F., FACI J.M., 1992. Obtención de la función de producción del maíz (*Zea mays* L.) respecto al agua mediante una fuente lineal de aspersión. Inv. Agr.: Prod. Prot. Veg., 7, 2, 169-194.

DE JUAN J.A., SANTA OLALLA F.J., 1985. Evapotranspiraciones máximas en los cultivos de maíz grano y girasol oleaginoso. IV Jornadas Técnicas de Riego. 10-12 diciembre. Murcia, España.

DE JUAN J.A., SANTA OLALLA F.J., 1993a. Cálculo y estimación de la evapotranspiración. 373-446. En: SANTA OLALLA F.J., DE JUAN J.A. (coords.). Agronomía del Riego. Ed. Mundi-Prensa y Universidad de Castilla-La Mancha. Madrid, España.

DE JUAN J.A., SANTA OLALLA F.J., 1993b. El estrés hídrico en las plantas. 125-238. En: SANTA OLALLA F.J., DE JUAN J.A. (coords.). Agronomía del Riego.

Ed. Mundi-Prensa y Universidad de Castilla-La Mancha. Madrid, España.

DE JUAN J.A., TARJUELO J.M., VALIENTE M., GARCÍA P., 1996. Model for optimal cropping patterns within the farm based on crop water production function and irrigation uniformity. I: Development of a decision model. Agric. Water Mngt., 31, 115-143.

DOORENBOS J., PRUITT W.O., 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrig. Drain. Pap. 24, FAO, Rome, Italy.

DOORENBOS J., KASSAM A.H., 1981. Yield response to water. Irrig. Drain., Paper 33, F.A.O., Rome, Italy.

DUKE H.R., HEERMANN D.F., DAWSON L.J., 1991. Selection of appropriate depth from centre pivot. ASAE Summer Meeting Paper 91-2052, St. Joseph, MI, USA.

F.A.O., 1994. Irrigation water delivery models. Water Reports, 2. F.A.O., Rome, Italy.

HUSAR J., 1987. Ahorro de agua en explotaciones con riego gracias a una optimización de la producción respetando los regímenes de agua. Riegos y Drenajes XXI, 18, 31-38.

IDSO S.D., JACKSON R.D., REGINATOR J., 1977. Remote sensing of crop yields. Science, 196, 19-25.

ISO 11545, 1994. Agricultural irrigation equipment – center pivot and moving lateral irrigation machines with sprayer or sprinkler nozzles- Determination of uniformity of water distribution.

ISO 7749/1, 1986. Norme internationale. Matériel d'irrigation. Asperseurs rotatifs. Partie 1: Exigences de conception et de fonctionnement.

ISO 7749/2, 1990. Norme internationale. Matériel d'irrigation. Asperseurs rotatifs. Partie 2: Uniformité de la distribution et méthodes d'eassi.

ITAP, 1997. Inventario provincial de regadíos. Documento interno.

KING B.A., BUSCH J.R., 1993. Computer model for on-farm irrigation system planning. Agric. Water Mngt., 24, 239-248.

KUMAR R., KHEPAR S.D., 1980. Decision models for optimal cropping patterns in irrigation based on crop water production functions. Agric. Water Mngt., 3, 65-76.

LÓPEZ DE PABLO M., CALATRAVA J., CAÑERO R., 1997. La desestacionalización del uso de mano de obra como estrategia productiva en la horticultura almeriense: viabilidad y coste de oportunidad. Inv. Agr.: Economía (en prensa).

MANNOCHI F., MECARELLI P., 1994. Optimization analysis of deficit irrigation systems. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE., 120, 494-503.

MANTOVANI E.C., 1993. Desarrollo y evaluación de modelos para el manejo del riego: estimación de la evapotranspiración y efectos de la uniformidad de aplicación del riego sobre la producción de cultivos. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

MERRIAN J.L., KELLER J., 1978. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. UTAH State University. Logan, USA.

MERRIAN J.L., SHEARER M.N., BURT C.M., 1980. Evaluating irrigation systems and practices, 721-760. In: JENSEN M.E., 1980. Desing and operation of farm irrigation systems. ASAE monograph 3.

MITCHELL P.D., JERIE P.H., CHELMERS D.J., 1984. Effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 109, 604-606.

MONTERO J., ORTEGA J.F., TARJUELO J.M., HONRUBIA F.T., 1997. Análisis de las pérdidas por evaporación y arrastre en riego por aspersión. XV Congreso Nacional de Riegos, 25-27 junio. Lleida, España.

MORENO J.M., 1997. Priorización y toma de decisiones ambientales. Actas I Encuentro Iberoamericano sobre Evaluación y Decisión Multicriterio. 113-145. Santiago de Chile, Chile.

ORGAZ F., MATEOS L., FERERES E., 1992. Season length and cultivar determine the optimum evapotranspiration deficit in cotton. Agron. J., 84, 700-706.

ORTEGA J.F., DE JUAN J.A., TARJUELO J.M., VALIENTE M., SAJARDO E., 1997. Gestión del consumo de agua en la explotación agrícola. Modelo económico de optimización del uso del agua: aplicación a una zona subhúmeda. XV Congreso Nacional de Riegos, 25-27 junio. Lleida, España.

PEREIRA L.S., PERRIER A., AIT KADI M., KABAT P., 1992. Crop-water models, special issues of the ICID Bulletin 41, 2.

ROMERO C., 1993. Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones. Ed. Alianza Editorial Textos, Madrid, España.

SÁNCHEZ MADRID F.J., GÓMEZ-LIMÓN J.A., RODRÍGUEZ A., 1997. Determinación de la curva de demanda del agua de riego en base a una metodología multicriterio. XV Congreso Nacional de Riegos, 25-27 junio. Lleida, España.

SANTA OLALLA F.J., DE JUAN J.A., 1993. La programación de riegos. 550-595. En: SANTA OLALLA F.J., DE JUAN J.A. (coords.). Agronomía del Riego. Ed. Mundi-Prensa y Universidad de Castilla-La Mancha. Madrid, España.

SANTA OLALLA F.J., DE JUAN J.A., TARJUELO J.M., 1992. Respuesta al agua en cebada, girasol y maíz. Ed. Universidad de Castilla-La Mancha e ITAP. Albacete, España.

SMITH M., 1992. CROPWAT: A Computer Program for Irrigation Planning and Management. Irrig. And Drain. Paper 46, F.A.O., Rome, Italy.

STEWART J.I., HAGAN R.M., PRUITT W.O., KANKS R.J., RILEY J.P., DANILSON R.E., FRANKLIN W.T., JACKSON E.B., 1977. Optimizing crop production though control of water and salinity levels, September. Utah Water Res. Lab. PRWG 151-1, USA.

TARJUELO J.M., 1995. El riego por aspersión y su tecnología. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.

TARJUELO J.M., DE JUAN J.A., VALIENTE M., GARCÍA P., 1996. Model for optimal cropping patterns within the farm based on crop water production functions and irrigation uniformity. II: A case study of irrigation scheduling in Albacete, Spain. Agr. Water Mngt. 31, 145-163.

TOPP G.C., DAVIS J.L., 1985. Time-domain reflectometry (TDR) and its application to irrigation scheduling. Adv. Irrig., 3, 107-127.

UNE 68-072-86. Aspersores rotativos. Requisitos generales y métodos de ensayo.

VALIENTE M., 1995. Metodología para la evaluación y mejora del reparto de agua con aspersores de tamaño medio en la zona de Albacete. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, E. T. S. Ingenieros Agrónomos. Madrid, España.

VILLALOBOS F.J., 1992. Los servicios de asesoramiento de riegos y las necesidades hídricas de los cultivos. X Jornadas Técnicas sobre Riegos, 26-28 mayo. Albacete, España.

VILLALOBOS F.J., FERERES E., 1987. Necesidades hídricas de los cultivos y programación de los riegos en las Vegas Bajas del Guadiana. S.I.A., Junta de Extremadura, Badajoz, España.

WU I.P., 1986. International Symposium on Agricultural Engineering Papers. January 20-24. Pretoria, South Africa: I. 245-253.

(Aceptado para publicación el 20 de diciembre de 1997)