

MODELO DE AYUDA A LA TOMA DE DECISIONES SOBRE EL MANEJO DEL AGUA DE RIEGO. APLICACIÓN AL ANÁLISIS DE LA AGRICULTURA DE REGADÍO EN LA VEGA DEL TAJO (TOLEDO)

**J.F. Ortega
J.A. de Juan
J.M. Tarjuelo
R. Merino**

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

RESUMEN

Tratándose el agua de un recurso escaso, así como de un factor de producción importante económicamente, y contemplando las directrices actuales de la Política Agraria Común (PAC), se ha aplicado un modelo de optimización económica de las alternativas de cultivo en una explotación agrícola tipo de la provincia de Toledo, con el fin de maximizar el beneficio económico de la explotación atendiendo al agua disponible. Este modelo se plantea como una herramienta de ayuda a la toma de decisiones en un contexto de incertidumbre e importantes cambios futuros consecuencia de la política agraria europea para el año 2000.

El modelo consta de tres submodelos. En el primero de ellos se determinan las necesidades netas de los cultivos, para diferentes supuestos de déficit de evapotranspiración, evaluando su efecto sobre la producción. Posteriormente, y mediante la determinación de los márgenes brutos para cada actividad agrícola seleccionada, se obtienen los márgenes brutos máximos con sus láminas de riego (láminas óptimas). Finalmente, se consigue la solución que ofrece el retorno económico máximo de las explotaciones tipo, atendiendo a sus disponibilidades de agua.

La solución obtenida por la aplicación del modelo, indica la importancia de incluir en la alternativa de cultivos especies hortícolas, en buena medida de orientación industrial, destacando el interés de potenciar el sector agroindustrial, ya existente en la comarca, como solución de futuro, asegurando su dinamismo y competitividad.

Palabras clave: Funciones de producción, Uniformidad de riego, Modelización económica, Optimización económica, Gestión del agua.

SUMMARY

DECISION SUPPORT MODEL FOR IRRIGATION MANAGEMENT. A STUDY CASE IN THE TAJO'S MEADOW (TOLEDO, SPAIN)

Water is a scarce resource and a main factor from an economical point of view. An economical-optimisation model has been applied to determine the most suitable

crop alternative in a farm at Toledo's province. The model has been developed taking into account these assumptions and the current guidelines stipulated by the Common Agrarian Policy (CAP). This model has the aim of maximising economic return of the farm depending on the available-water quantity. The model is aimed to work as a useful tool in the making decision support process, specially under uncertainty context and important future changes as a consequence of the settings given by European Agrarian Policy for the coming century.

Three submodels compose the model. The first one determines crop's net water requirements. Several evapotranspiration deficits have been involved in the first sub-model, and its effect on yield has been evaluated. The next step is to obtain maximum gross returns with its respective gross application depths (optimum application depths) by determining gross return of each agricultural activity considered. Finally, the crop-alternative solution that offers the maximum economic profit is attained, taking into account water availability.

The final solution when applying the model emphasises the importance of including vegetables especially dedicated to the processing sector. Therefore is necessary to develop this sector as a future solution.

Key words: Production functions, Irrigation uniformity, Economic modelling, Economic optimisation, Water management.

Introducción

Los sistemas agrícolas se caracterizan por la interdependencia y complejidad de sus componentes y por la variabilidad y riesgo asociado a las decisiones sobre su manejo. Los agricultores actualmente están afrontando presiones económicas y medioambientales, fluctuaciones de ingresos año tras año debidas a las variaciones en las condiciones climáticas, y cambios en los precios y mercados. El uso de fertilizantes químicos y productos fitosanitarios son un aspecto esencial de una explotación moderna: representan buena parte de los costes de producción y son el principal objetivo de la crítica medioambiental.

En un ambiente de incertidumbre respecto a las soluciones a adoptar, la nueva Política Agraria Común (PAC) presenta como alternativa posible el incrementar o

mantener la rentabilidad económica sin producir excedentes, de esta forma los productos serán más competitivos en un mercado considerado global. De igual modo, pretende fomentar un desarrollo rural por el incremento de ingresos y niveles de empleo, reduciendo los costes de producción a través de un mejor uso de los recursos, y disminuyendo el impacto negativo en el ambiente de las explotaciones agrícolas. En semejante contexto dinámico, los agricultores están obligados a cambiar sus sistemas de producción (alternativas de cultivos e itinerarios técnicos) donde el agua utilizada se debe considerar como un recurso limitado, un factor de producción y un importante "input" económico. Además, el mal uso de este factor puede dar lugar a problemas medioambientales, sobre todo en aquellas zonas donde los fenómenos de desertificación y contaminación de acuíferos son hechos contrastados.

El agua es un factor altamente limitante en Castilla-La Mancha; el clima de la región es semiárido siendo económicamente poco rentable el cultivo en secano en amplias zonas de la misma. Por esta razón, uno de los objetivos principales de la política regional en cuestiones agrarias es modernizar y mejorar las explotaciones de regadío existentes, consolidando los derechos históricos del uso del agua mediante su manejo óptimo. La provincia de Toledo cuenta con una superficie de regadío de algo más de 82.000 ha (MAPA, 1996), las cuales se localizan mayoritariamente en las zonas de vega del Tajo.

El objetivo de este trabajo es analizar las estrategias de utilización de los recursos hídricos disponibles en las explotaciones, con el fin de determinar las alternativas de cultivos y las láminas de riego que dan lugar a los máximos beneficios considerando diferentes escenarios de simulación. Para ello, se ha utilizado un modelo de ayuda a la toma de decisiones compuesto por tres submodelos (DE JUAN *et al.*, 1996; TARJUELO *et al.*, 1996; ORTEGA *et al.*, 1997).

Material y métodos

El modelo de optimización del uso del agua se ha aplicado a una explotación agrícola tipo de la provincia de Toledo. La explotación posee un perímetro regable comprendido entre las 10 y 50 ha; conformando el tipo de explotación representativa de las zonas de vega de dicha provincia, donde predomina la mano de obra familiar y un alto nivel de autoempleo, de gran importancia para la vertebración del medio rural. Los suelos, formados en gran parte a

partir de depósitos aluviales recientes, son profundos, de pH neutro, textura franco-areno-limosa y con una capacidad media de retención de agua de $1,30 \text{ mm cm}^{-1}$.

El sistema de riego más extendido en la zona es aspersión en cobertura total enterrada, con un marco de riego de $18 \text{ m} \times 18 \text{ m}$, una pluviometría media de 6 mm h^{-1} y una presión de trabajo en torno a 350 kPa. En algunos cultivos hortícolas como el melón, el tomate y el pimiento se ha extendido el riego por goteo, alcanzando mayor calidad en los frutos.

Los cultivos elegidos como posibles constituyentes de una alternativa han sido seleccionados teniendo en cuenta la importancia de éstos en la provincia de Toledo, en lo referente a la superficie ocupada, rendimientos y producciones. El cuadro 1 muestra los cultivos seleccionados, junto con la fecha de siembra y recolección, la duración de sus ciclos agronómicos y el rendimiento agrícola máximo cosechable, además de la restricción de superficie máxima cultivable empleada durante el proceso de optimización. Por otra parte, se ha seleccionado una serie de dobles cultivos como son: ajo seguido de lechuga de otoño, lechuga de primavera y judía de segunda cosecha, lechuga de primavera y tras ella coliflor y lechuga de primavera precediendo a la patata tardía, como posibles actividades productivas de interés.

El primer submodelo, paso inicial del procedimiento desarrollado para la optimización de los sistemas de producción, se presenta, en forma de diagrama de flujos, en la figura 1. En esta figura, al igual que en las demás correspondientes a los diagramas de flujo, el subíndice i hace referencia a cada uno de los cultivos posibles, j a las diferentes relaciones ETa/ETm , t a cada uno de los años de la serie climática consi-

CUADRO 1
CULTIVOS SELECCIONADOS, FECHAS DE SIEMBRA Y RECOLECCIÓN,
DURACIÓN DEL CICLO, RENDIMIENTO AGRÍCOLA MÁXIMO Y RESTRICCIÓN
DE SUPERFICIE MÁXIMA

TABLE 1
*SEEDING AND HARVEST DATES, CYCLE'S LENGHT, MAXIMUM AGRICULTURAL
YIELD AND MAXIMUM CULTIVABLE LAND OF THE STUDIES CROPS*

Cultivo	Fecha de siembra	Fecha de recolección	Duración del ciclo (días)	Rendimiento máximo (kg ha ⁻¹)	Superficie máxima (ha)
Trigo blando invierno	15 Noviembre	5 Julio	232	5500	45
Trigo duro de invierno	20 Octubre	2 Julio	255	5500	45
Trigo duro de primavera	15 Enero	6 Julio	172	5500	45
Cebada invierno	5 Noviembre	30 Junio	229	5800	45
Cebada primavera	15 Enero	30 Junio	162	5400	45
Maíz	20 Abril	15 Noviembre	209	13000	45
Guisante proteaginoso	20 Enero	15 Junio	146	5000	15
Girasol (cosecha única)	15 Abril	20 Septiembre	158	4800	45
Tabaco	1 Mayo	25 Agosto	117	2490	45
Alfalfa implantación	15 Abril		179	16750 (Heno)	10
Alfalfa régimen				24800 (Heno)	50
Lechuga (primavera)	10 Marzo	26 Mayo	77	50000	4
Lechuga (otoño)	10 Septiembre	20 Diciembre	101	40000	3
Melón	15 Abril	15 Septiembre	153	35000	10
Tomate industria (transplante)	5 Mayo	20 Septiembre	138	76000	10
Pimiento industria (transplante)	10 Mayo	25 Septiembre	138	40000	10
Ajo	5 Enero	25 Julio	201	11000	10
Cebolla (transplante)	20 Abril	5 Septiembre	138	80000	15
Patata (media estación)	15 Marzo	30 Agosto	168	35000	10
Patata (tardía)	10 Junio	15 Noviembre	158	30000	15
Espárrago (implantación)	10 Marzo		279	0	10
Espárrago (producción)				8000	10
Zanahoria	10 Abril	15 Noviembre	219	60000	10
Judías verdeo (2ª cosecha)	8 Julio	15 Octubre	99	12000	10
Coliflor	10 Julio	20 Noviembre	133	35000	10

derada, y *n* identifica cada una de las etapas fenológicas del cultivo a lo largo de su ciclo agrónomico.

Este primer submodelo proporciona, entre otros resultados, las necesidades esta-

cionales netas de riego para cada cultivo. Para ello se realiza la programación de riegos atendiendo a los escenarios climáticos y culturales considerados, estimando el efecto que las diferentes programaciones de riego, como consecuencia de emplear dis-

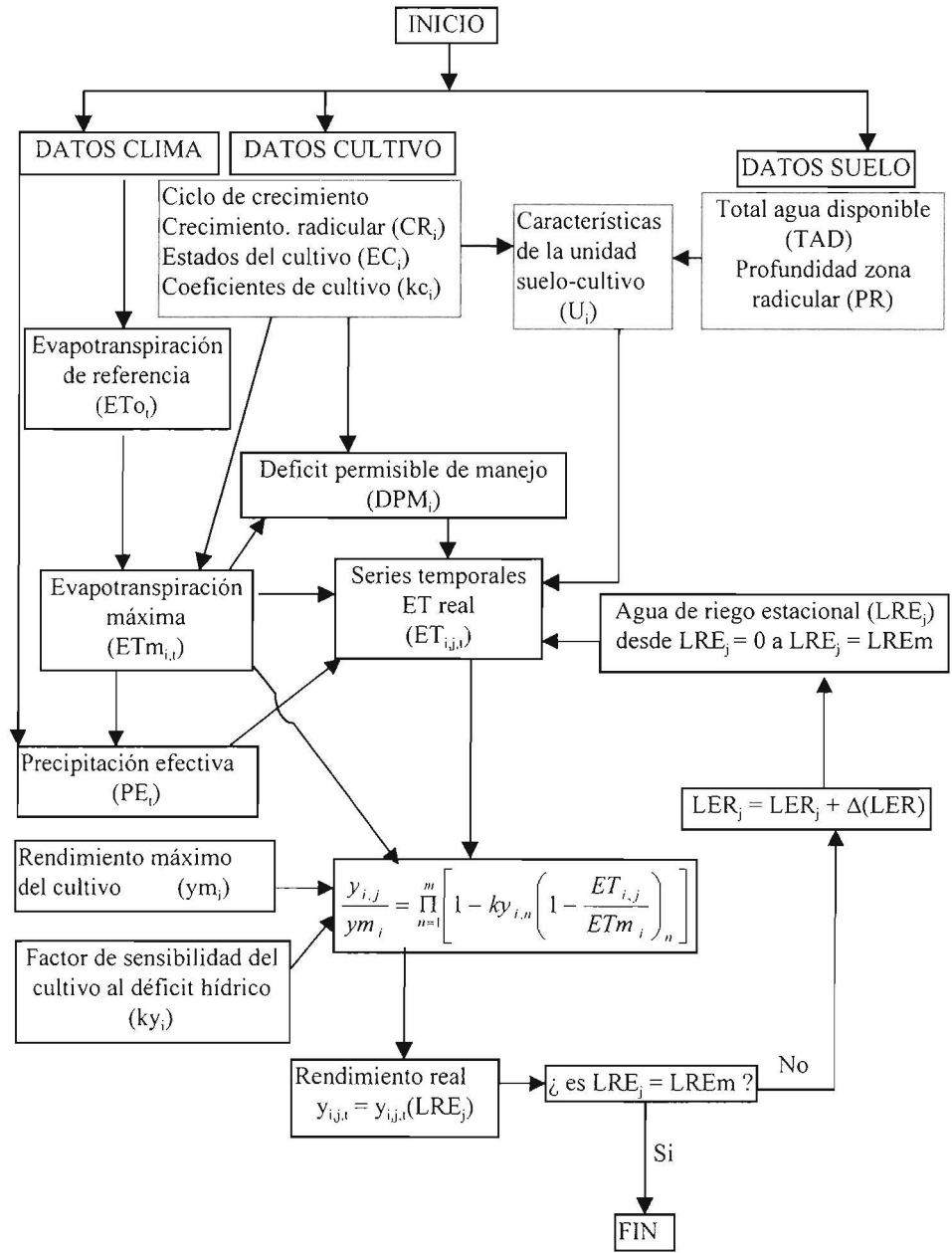


Figura 1. Diagrama de flujos del primer submodelo
Figure 1. General flow and components handled by actual evapotranspiration and actual crop yield in first submodel

tintas reducciones de la ETa con respecto a la ETm, tienen sobre el rendimiento real del cultivo. Para la realización de la programación de riegos se ha seguido la metodología FAO (DOORENBOS y PRUITT, 1984). La ETo se estima basándose en los datos climáticos registrados en la Estación Meteorológica de Toledo durante una serie de 20 años (1974-1993) y empleando el valor medio de los resultados ofrecidos por los métodos de Penman-FAO (DOORENBOS y PRUITT, 1984) y Penman-Monteith (HATFIELD, 1985). Se tomó el valor medio de ambos métodos, como estimación más real de la ETo, puesto que el primero sobreestima los valores reales y el segundo los subestima en condiciones climáticas semiáridas (VILLALOBOS, 1992; MANTOVANI, 1993). Seguidamente, tal como se recoge en el diagrama de flujo correspondiente a este submodelo, mediante el coeficiente de cultivo (Kc), se estimó para cada cultivo y en cada momento de su ciclo la evapotranspiración del cultivo sin restricciones hídricas (ETm).

La precipitación efectiva (Pe), necesaria para establecer la programación de riegos siguiendo el método del balance hídrico simplificado en el conjunto suelo-planta-atmósfera, se ha cuantificado de acuerdo con las recomendaciones del U.S.B.R. (United States Bureau of Reclamation), descritas por SMITH (1989).

Se ha determinado la programación de riegos para tres escenarios climáticos que introducen en la simulación la variabilidad climática observada en la serie temporal analizada (20 años). Estos tres escenarios climáticos son el año seco, medio y húmedo, determinados siguiendo criterios de probabilidad mensual de lluvia (DOORENBOS y PRUITT, 1984). El año seco se ha definido como aquel año con una precipitación anual acumulada cuya probabilidad de

ser superada es del 80 %, mientras al año húmedo se le asigna una pluviometría con una probabilidad de ser superada del 20 %.

Finalmente, indicar que este submodelo realiza una estimación del rendimiento en función de las láminas netas de riego calculadas para las diferentes restricciones evapotranspirativas impuestas, habiéndose manejado relaciones de evapotranspiración (ETa/ETm) del 80, 60 y 40 %, necesarios para la estimación de los itinerarios técnicos en cada supuesto productivo. Para ello se recurre a la función de STEWART *et al.* (1977), empleando valores del factor de respuesta al estrés hídrico (k_y) basados en DOORENBOS y KASSAM (1981).

Cualquier sistema de riego, no reparte la misma cantidad de agua en todos los puntos por él cubiertos. Esta falta de uniformidad en la aplicación del agua conlleva una lámina infiltrada diferente según los puntos de la parcela cultivada de que se trate, que a su vez asumimos que repercutirá en diferente cantidad de agua a disposición del cultivo. Este fenómeno, entre otros efectos, provocará diferencias en el crecimiento y desarrollo de los cultivos y consecuentemente sobre la biomasa cosechable, distintas en función de la sensibilidad de cada especie (PERI *et al.*, 1979; WARRICK y GARDNER, 1983; DUKE *et al.*, 1991; MANTOVANI *et al.*, 1992; MANTOVANI, 1993). El segundo submodelo, cuya representación esquemática de funcionamiento se recoge en la figura 2, cuantifica el efecto de la uniformidad del sistema de riego, caracterizándolo mediante el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU) medio para toda la estación de riegos, sobre el rendimiento. En base a ello, y atendiendo a criterios y datos económicos, optimiza la lámina de riego, definida como aquella que permite el mayor margen bruto.

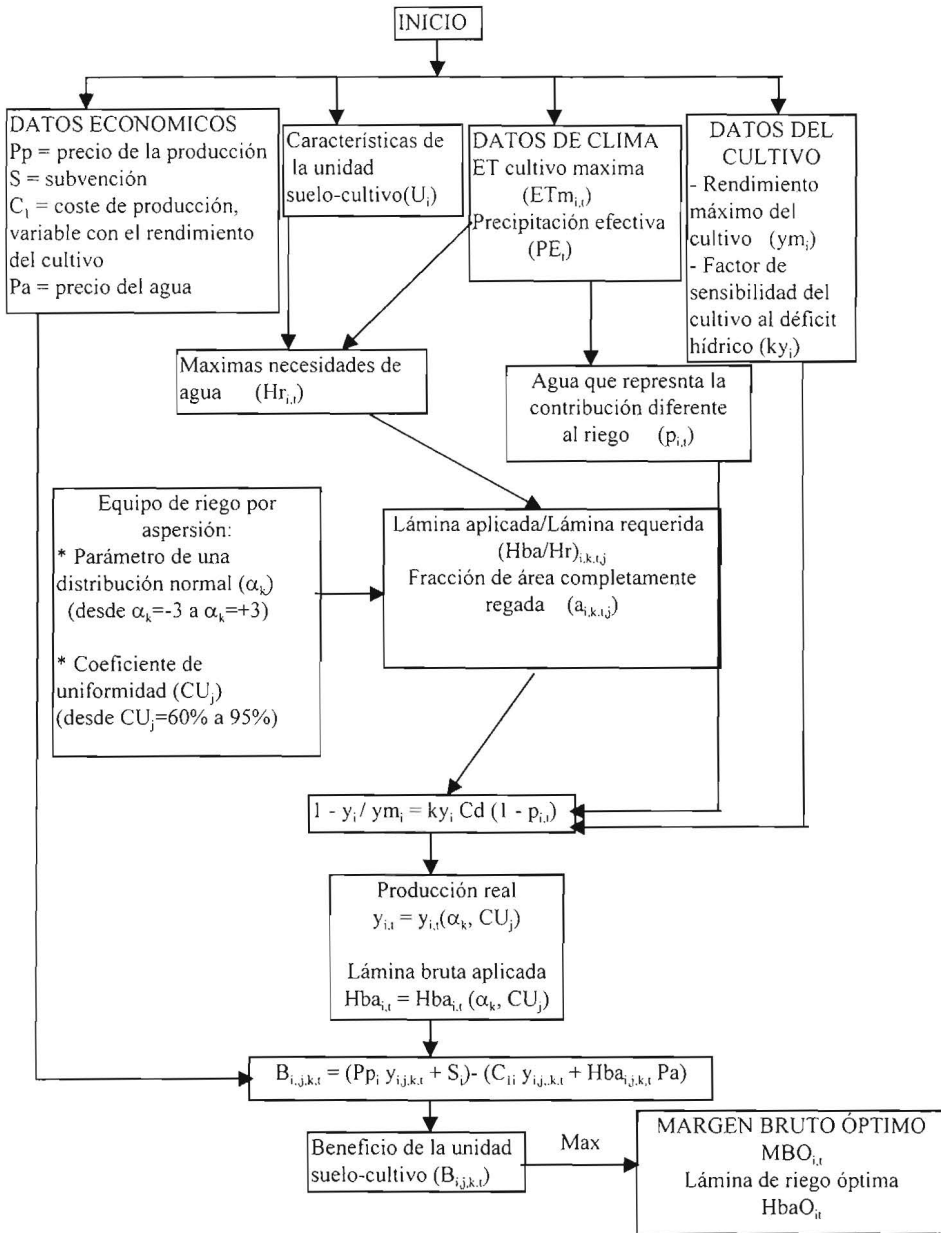


Figura 2. Diagrama de flujos del segundo submodelo

Figure 2. General flow and components handled of optimal irrigation depth according to the second submodel

Se incorpora a la función de producción elegida (STEWART *et al.*, 1977), la función de distribución de agua por el sistema de riego (ORGAZ *et al.*, 1992; MANTOVANI, 1993). Se ha adoptado una distribución normal del agua de riego sobre la parcela (WU, 1988; DUKE *et al.*, 1991; MANTOVANI *et al.*, 1992; ANYOJI y WU, 1994), válida para valores de CU superiores a 0,60, la cual, incorporada a la función de producción ha entrado a formar parte de este segundo submodelo. La relación con la función de distribución se establece a través del coeficiente de déficit (Cd), que expresa la relación entre la lámina de déficit (Hd) y la lámina de agua requerida por el cultivo (Hr) (TARJUELO, 1995), y teniendo en cuenta, a través del parámetro p, los aportes de agua disponibles para la evapotranspiración del cultivo diferentes al riego. Han sido considerados dos valores de CU, relacionado con el coeficiente de variación y con el Cd necesario para el modelo (DE JUAN *et al.*, 1996), uno del 75 %, representativo de instalaciones viejas y deficientemente manejadas, y otro del 85 %, propio de instalaciones mejor conservadas y manejadas.

Entre los datos económicos necesarios destaca el estudio de los costes de producción de los cultivos analizados. Fue precisa la elaboración previa y valoración económica de una serie de itinerarios técnicos para los cultivos contemplados, de cara a determinar los costes totales de producción. Para ello se tuvo principalmente en cuenta la información aportada por agricultores y técnicos de la zona estudiada. Los costes totales se clasificaron, a su vez, en costes directos y costes financieros; los costes directos se componen de costes externos (fertilizantes, semillas y productos fitosanitarios), costes calculados (mano de obra y maquinaria) y costes estimados (seguros,

secado de productos, alquiler de maquinaria, etc.). Los costes financieros, que representan los costes derivados del capital circulante necesario para cada campaña agrícola de producción, son proporcionales a la duración de la actividad. Los costes relativos al agua se consideran, en un capítulo aparte, como costes variables; en este caso, se han manejado dos precios del agua (Pa), de 10 y 20 pta m⁻³, como consecuencia de las distintas necesidades de energía y costes de amortización que se pudieran presentar durante el proceso de captación, distribución y aplicación del agua de riego.

El margen bruto (MB) de cada cultivo se obtiene como la diferencia entre los ingresos brutos (I) y los costes totales (CT). Se han considerado como ingresos brutos de cada cultivo los correspondientes al producto de la producción mercadeable (tanto productos como posibles subproductos) por el precio de la misma, más la ayuda compensatoria estipulada en el reglamento de la PAC correspondiente a la Comarca de Talavera de la Reina. En todos los casos se han manejado precios promedio para la comarca tomando como año de referencia 1995, empleando, siempre que ha sido posible, la información oficial al respecto (convenio salarial de los trabajadores del campo, normativa de la PAC, etc.).

Esta operación de valoración de los itinerarios técnicos se realizó tanto para la hipótesis de máxima producción, es decir, satisfaciendo con la programación de riegos el 100% de la ETm, como para reducciones del 20, 40 y 60 % de la ETm. A partir de ellos se obtuvo la función continua, mediante ajustes estadísticos altamente significativos, de costes con la relación de evapotranspiración.

Para cada supuesto climático (años seco, medio y húmedo), cultivo y combinación

de precio del agua y coeficiente de uniformidad, se consiguió una función que relacionaba el margen bruto obtenido en cada cultivo con las láminas brutas de riego utilizadas.

El tercer, y último, submodelo se presenta esquemáticamente en la figura 3 y su objetivo es determinar la alternativa de cultivos óptima, de modo que se maximice el retorno económico esperado de acuerdo con las características de cada explotación. La solución óptima, o conjunto de soluciones alrededor del óptimo, se ha elegido por técnicas de programación no lineal, consecuencia de la función de márgenes brutos obtenida; durante el proceso de optimización se incluyen las restricciones necesarias para caracterizar la explotación agrícola tipo, atendiendo a diferentes aspectos técnicos, agronómicos, comerciales, disponibilidades hídricas, restricciones de cultivo

impuestas por la PAC, etc. Una de las restricciones más importantes, teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, es la de superficie máxima cultivable para cada especie agrícola de interés, de forma que se consigan alternativas de cultivo razonables. Estas limitaciones son las que se muestran en el cuadro 1.

Se han simulado diferentes posibilidades de disponibilidades hídricas, de las cuales en este trabajo se presentan dos:

- Agua de riego ilimitada. Se trata de una situación frecuente en el pasado y con la que se tendía a manejar el sistema productivo de modo que se obtuviesen las mayores producciones de los cultivos que se creían más rentables económicamente.
- Disponibilidad de $4.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Situación probable, hacia la que se está caminando en gran cantidad de zonas regables

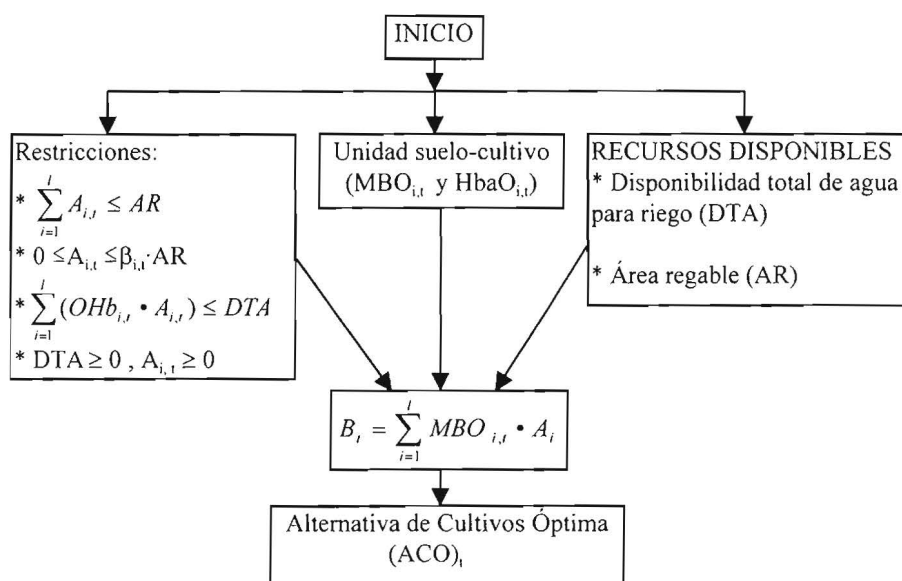


Figura 3. Diagrama de flujos del tercer submodelo

Figure 3. General flow and components handled by optimal crop rotation in third submodel

de comarcas semiáridas. Con ello se analizará el efecto de este presumible cambio sobre la agricultura de regadío de la zona analizada.

Resultados

Los resultados obtenidos de la aplicación del primer submodelo, procedentes de la programación de riegos y relativos a las necesidades netas de riego para cada cultivo bajo tres escenarios climáticos diferenciados: años seco, medio y húmedo, se muestran en los cuadros 2, 3 y 4, respectivamente. En todos los casos se recogen los resultados correspondientes a las necesidades netas satisfaciendo la evapotranspiración necesaria para la máxima producción, así como las obtenidas considerando relaciones de evapotranspiración (ET_a/ET_m) del 80, 60 y 40 %, para las cuales se incorporan las reducciones reales que sufre el rendimiento del cultivo, según el modelo multiplicativo de predicción de STEWART *et al.* (1977). La variabilidad que se registra en los descensos de rendimiento dentro de una misma meta de reducción de evapotranspiración es debida a dos factores, por una parte a la diferente respuesta de los cultivos al estrés hídrico, contemplado a través del factor de respuesta (k_y), y por otra, a la variabilidad en la distribución de la precipitación dentro del ciclo agronómico de cada especie cultivada.

Los cultivos con mayores necesidades netas, analizando la hipótesis de satisfacer la evapotranspiración máxima, son para el año medio: zanahoria (753 mm), alfalfa (656 mm), patata de media estación (651 mm) y tomate de transplante (586 mm), cultivos con un ciclo relativamente largo y

con las etapas más intensas de crecimiento y desarrollo en los meses estivales de alta demanda evaporativa. En el otro extremo, los cultivos que presentan, en estas condiciones, las menores necesidades netas son: lechuga de otoño (52 mm), lechuga de primavera (124 mm) y cebada de invierno (184 mm), siendo todos ellos cultivos que desarrollan sus ciclos agronómicos en meses de baja demanda evapotranspirativa.

El segundo submodelo ofrece los resultados referentes a la lámina de riego bruta óptima para cada cultivo, considerando diferentes situaciones de coeficiente de uniformidad del sistema y siguiendo un proceso de optimización basado en criterios económicos (cuadros 5 y 6).

En todos los cultivos, supuestos de precipitación y precio de agua estudiados, se obtiene un mayor margen bruto cuando el CU es del 85 %, excepto para el caso del girasol. Por otra parte, se observa como se obtienen mayores márgenes brutos y láminas de riego óptimas mayores con el precio de agua menor (10 pta m^{-3}), comportándose también en este caso el girasol como un cultivo diferente, en el que la lámina de riego no se ve afectada por los supuestos de precio de agua manejados. Por otro lado, se observa como la lámina de riego óptima, correspondiente al mayor margen bruto, es inferior a la lámina bruta correspondiente a la máxima producción. Consiguientemente, el coste marginal del agua de riego aplicada se alcanza con un nivel de rendimiento significativamente inferior al máximo rendimiento agrícola para la explotación tipo caracterizada en este trabajo.

Si atendemos al comportamiento de las láminas de riego óptimas dentro de los diferentes escenarios simulados, y a la relación entre ellas en función de las variables contempladas, podemos comprobar como

CUADRO 2
NECESIDADES NETAS Y DÉFICITS REALES DE PRODUCCIÓN PARA DISTINTOS
ESCENARIOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN. AÑO SECO
TABLE 2
NET NEEDS AND ACTUAL DEFICIT OF PRODUCTION FOR EACH
EVAPOTRANSPIRACION SCENARIOS. DRY YEAR

Cultivos	100% ETm	80% ETm	Déficit real de producción (%)	60% ETm	Déficit real de producción (%)	40% ETm	Déficit real de producción (%)
	Necesidades netas (mm)	Necesidades netas (mm)		Necesidades netas (mm)		Necesidades netas (mm)	
Trigo blando invierno	401,8	290	18,6	179,4	38,3	89,5	53,7
Trigo duro de invierno	431,8	312,2	19,4	216,9	35,7	75,1	57,8
Trigo duro de primavera	428,8	316,8	19,4	215,8	36,0	74,5	60,3
Cebada invierno	288,8	206,0	17,1	135,3	29,8	0,0	54,2
Cebada primavera	306,3	226,0	16,4	135,7	31,5	0,0	57,6
Guisante proteaginoso	275,0	205,8	20,1	133,2	42,2	61,5	61,9
Ajo	551,0	390,6	22,6	291,1	41,0	153,0	61,1
Maíz	694,4	535,2	22,7	316,9	50,0	173,0	70,2
Girasol (cosecha única)	552,1	424,5	16,6	301,7	32,5	180,6	45,8
Tabaco	532,0	411,5	16,5	247,7	35,9	128,9	52,0
Alfalfa implantación	559,2	409,1	18,1	300,2	34,1	155,4	51,1
Alfalfa régimen	787,0	550,0	20,6	449,0	36,2	241,2	58,8
Lechuga (primavera)	184,7	121,6	17,1	50,9	38,2	0,0	56,0
Lechuga (otoño)	151,2	120,6	17,2	70,8	33,1	37,0	49,4
Melón	609,6	472,7	19,6	289,6	38,0	164,7	54,6
Tomate industria (transplante)	655,6	504,8	21,6	321,5	40,4	250,2	57,5
Pimiento industria (transplante)	630,0	482,8	22,3	304,3	42,4	236,6	60,5
Cebolla (transplante)	647,0	489,9	23,9	367,7	43,0	223,8	61,2
Patata (media estación)	743,7	565,4	23,4	409,4	44,0	230,6	63,2
Espárrago (implantación)	618,8	447,1	21,3	324,3	37,6	129,8	61,4
Espárrago (producción)	719,1	540,1	20,1	366,7	39,7	247,9	54,9
Zanahoria	894,0	669,1	21,1	491,0	39,0	301,6	57,4
Patata (tardía)	606,6	477,7	22,7	364,5	41,2	252,3	62,0
Judías verdeo (2ª cosecha)	467,1	369,2	23,0	283,5	43,7	186,1	61,6
Coliflor	456,1	346,7	20,4	262,7	39,7	144,9	60,3

CUADRO 3
NECESIDADES NETAS Y DÉFICITS REALES DE PRODUCCIÓN PARA DISTINTOS
ESCENARIOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN. AÑO MEDIO

TABLE 3
NET NEEDS AND ACTUAL DEFICIT OF PRODUCTION FOR EACH
EVAPOTRANSPIRATION SCENARIOS. AVERAGE YEAR

	100% ETm	80% ETm		60% ETm		40% ETm	
Cultivos	Necesidades netas (mm)	Necesidades netas (mm)	Déficit real de producción (%)	Necesidades netas (mm)	Déficit real de producción (%)	Necesidades netas (mm)	Déficit real de producción (%)
Trigo blando invierno	281,3	175,8	17,9	66,5	35,9	0,0	43,8
Trigo duro de invierno	315,6	184,4	18,1	68,4	36,4	0,0	48,5
Trigo duro de primavera	316,1	203,7	20,0	113,9	37,6	0,0	55,1
Cebada invierno	184,2	99,1	14,9	0,0	32,4	0,0	32,4
Cebada primavera	206,1	123,4	15,0	0,0	38,7	0,0	38,7
Guisante proteaginoso	207,8	129,1	20,5	46,8	40,5	0,0	49,7
Ajo	434,1	295,0	23,0	142,8	42,3	0,0	65,8
Maíz	549,7	397,3	21,2	244,9	43,5	118,5	61,5
Girasol (cosecha única)	458,6	310,7	17,9	172,5	34,5	0,0	56,2
Tabaco	464,0	333,5	15,9	242,9	30,6	126,2	44,1
Alfalfa implantación	451,8	276,2	20,3	150,0	37,4		
Alfalfa régimen	656,4	472,7	19,4	295,5	35,2	151,2	50,8
Lechuga (primavera)	123,7	66,8	18,0	0,0	36,2	0,0	36,2
Lechuga (otoño)	51,5	34,8	8,6	23,7	15,2	0,0	32,1
Melón	515,8	384,3	19,0	227,3	41,6	93,0	61,0
Tomate industria (transplante)	585,7	420,0	21,9	230,1	41,9	125,4	56,7
Pimiento industria (transplante)	556,1	400,6	22,3	219,0	43,2	125,0	57,9
Cebolla (transplante)	575,0	411,6	21,9	277,1	42,0	148,7	61,2
Patata (media estación)	651,2	454,5	22,5	290,0	42,3	151,2	61,7
Espárrago (implantación)	370,3	234,4	16,8	61,2	39,3	0,0	55,4
Espárrago (producción)	532,0	369,2	17,8	199,0	37,9	80,4	51,9
Zanahoria	753,1	543,3	20,4	347,3	39,4	185,1	56,5
Patata (tardía)	507,7	376,2	21,1	243,0	43,8	131,4	63,5
Judías verdeo (2ª cosecha)	419,0	318,3	23,7	224,1	42,4	115,8	67,2
Coliflor	371,6	273,9	17,9	177,0	38,3	84,7	57,8

CUADRO 4
NECESIDADES NETAS Y DÉFICITS REALES DE PRODUCCIÓN PARA DISTINTOS
ESCENARIOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN. AÑO HÚMEDO

TABLE 4
NET NEEDS AND ACTUAL DEFICIT OF PRODUCTION FOR EACH
EVAPOTRANSPIRATION SCENARIOS. HUMID YEAR

	100% ETm	80% ETm		60% ETm		40% ETm	
Cultivos	Necesidades netas (mm)	Necesidades netas (mm)	Déficit real de producción (%)	Necesidades netas (mm)	Déficit real de producción (%)	Necesidades netas (mm)	Déficit real de producción (%)
Trigo blando invierno	249,0	109,4	19,1	0,0	36,9	0,0	36,9
Trigo duro de invierno	292,1	149,8	20,2	33,4	38,7	0,0	41,8
Trigo duro de primavera	293,7	191,9	18,2	75,6	35,9	0,0	48,6
Cebada invierno	142,6	39,9	19,4	0,0	22,7	0,0	22,7
Cebada primavera	177,3	87,0	16,8	0,0	29,5	0,0	29,5
Guisante proteaginoso	172,4	58,5	20,2	0,0	35,5	0,0	35,5
Ajo	404,1	256,1	21,3	122,6	42,1	0,0	58,8
Maíz	496,8	346,1	20,2	189,4	45,0	34,7	66,1
Girasol (cosecha única)	437,5	307,5	16,6	169,5	33,7	0,0	54,4
Tabaco	450,7	335,3	15,3	222,5	30,8	124,6	43,6
Alfalfa implantación	416,3	275,2	18,1	142,9	35,6	0,0	55,9
Alfalfa régimen	592,6	416,4	17,7	254,6	35,3	0,0	59,3
Lechuga (primavera)	93,0	23,4	19,5	0,0	19,5	0,0	19,5
Lechuga (otoño)	32,2	0,0	14,9	0,0	14,9	0,0	14,9
Melón	493,2	345,7	19,8	148,3	40,0	0,0	59,9
Tomate industria (transplante)	551,1	413,1	20,1	226,9	40,2	123,0	54,9
Pimiento industria (transplante)	530,2	361,3	20,7	209,3	42,0	119,3	56,5
Cebolla (transplante)	537,0	359,8	22,1	242,8	44,2	71,5	65,1
Patata (media estación)	608,4	424,5	23,6	272,5	44,0	75,5	66,2
Espárrago (implantación)	368,2	217,4	16,4	19,5	35,5	0,0	51,2
Espárrago (producción)	466,8	327,4	18,1	134,5	34,7	19,8	50,1
Zanahoria	695,1	474,0	20,1	305,0	37,3	124,8	54,3
Patata (tardía)	457,8	338,0	18,9	212,0	41,1	104,6	60,0
Judías verdeo (2ª cosecha)	373,1	274,4	21,9	178,2	45,5	126,6	57,2
Coliflor	306,3	210,3	17,1	108,7	37,5	76,4	44,8

no existe una respuesta única en los resultados; por el contrario, su evolución es propia de una variable sobre la que influyen multitud de factores, de forma frecuentemente contradictoria. Entre estos factores que condicionan las láminas brutas de riego óptimas obtenidas destacan el coeficiente de uniformidad, la climatología, el precio del agua y la especie cultivada, tanto por su respuesta al estrés hídrico como por los aspectos económicos asociados a ella (ayuda compensatoria, precio del producto, costes de producción, etc.). Si se compara la respuesta ante un cambio del coeficiente de uniformidad (aspecto sobre el que puede actuar el agricultor en un proceso de mejora), se comprueba como en el año seco y para el precio de agua menor (cuadros 5 y 6), las láminas brutas de riego obtenidas son en siete de los veintidós cultivos planteados superiores en el caso de un CU del 85 %, mientras en la mayoría de los cultivos se requiere una lámina bruta superior para un CU del 75 % en el contexto climático correspondiente al año seco. Si analizamos su evolución conforme se hace más húmedo el año simulado, es decir, las láminas de riego netas requeridas disminuyen, y lógicamente en el mismo supuesto de precio de agua, se constata como se reduce el número de casos en que la lámina bruta es superior para el supuesto de mayor uniformidad. De igual modo, si se establece esta discusión entre los precios del agua manejados dentro de un mismo escenario climático, vemos como a mayor precio de agua aumenta el número de cultivos en los que la lámina bruta óptima es superior para el coeficiente de uniformidad del 75 %, disminuyendo el número de ellos conforme aumenta la precipitación recogida en el año. Así, se pasa de 13 cultivos en el año seco a nueve que en el año húmedo optimizan económicamente los recursos hídricos con una lámina de riego superior para un CU

mayor. Para terminar de justificar este comportamiento, se han incluido en los cuadros 7 y 8, una para cada coeficiente de uniformidad, los valores de la relación entre la lámina de agua requerida (H_r) y la bruta aplicada (H_{ba}) obtenida de la simulación en cada escenario climático (H_r/H_{ba}), el déficit de producción que se registra en los diferentes cultivos y el porcentaje de área adecuadamente o sobrerregada (a). A pesar de ser en determinadas ocasiones la lámina óptima de riego mayor para un CU del 75 %, el porcentaje de área que recibe al menos la lámina requerida (a) es menor que para la hipótesis de un CU=85 %, lo cual se traduce en una disminución de la lámina neta puesta a disposición del cultivo, en el consiguiente descenso de producción y, paralelamente en una reducción del margen bruto alcanzado. Este hecho explica la obtención de los mayores márgenes brutos en las condiciones de CU más alto, que realmente permite poner a disposición del cultivo una mayor lámina neta a igualdad de lámina bruta aplicada.

Como conclusión de estos resultados, puede decirse que conforme aumenta el precio del agua y la precipitación en el escenario climático simulado (las láminas de riego óptimas son menores), la mejora del coeficiente de uniformidad va perdiendo protagonismo. En otro sentido, una mejora del coeficiente de uniformidad no supone un ahorro de agua si pretendemos alcanzar una lámina bruta económicamente óptima, sino que en algunas ocasiones sucede al contrario, aumentan las láminas brutas a aplicar con respecto al CU más bajo, pero normalmente permite la consecución de un mayor margen bruto.

Las figuras 4 a 6 detalla la evolución del margen bruto a lo largo de los escenarios climáticos considerados, contemplando cada una de las hipótesis de trabajo referen-

CUADRO 5
LÁMINAS DE RIEGO BRUTAS ÓPTIMAS Y SUS CORRESPONDIENTES MÁRGENES BRUTOS PARA UN CU=75% Y
PRECIOS DE AGUA (PA) DE 10 Y 20 PTA M-3. AÑOS: SECO, MEDIO Y HÚMEDO

TABLE 5
OPTIMUM GROSS APPLICATION DEPTHS AND THEIR GROSS MARGINS FOR A CU=75% AND WATER PRICES (PA) OF 10
AND 20 PTA M-3. YEARS: DRY, AVERAGE AND HUMID

Cultivo	AÑO SECO				AÑO MEDIO				AÑO HÚMEDO			
	Precio del agua PA (ptas. m-3)				Precio del agua PA (ptas. m-3)				Precio del agua PA (ptas. m-3)			
	PA = 10		PA = 20		PA = 10		PA = 20		PA = 10		PA = 20	
	Lámina bruta óptima (mm)	Márgen bruto óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)
Trigo blando invierno	373	81.425	306	48.387	281	92.898	228	67.347	249	96.128	215	72.908
Trigo duro de invierno	432	156.107	350	116.446	342	168.675	293	136.707	346	171.415	271	141.065
Trigo duro de primavera	429	154.721	347	116.959	343	166.290	273	135.767	319	168.720	272	139.717
Cebada invierno	289	68.390	234	42.855	200	79.155	171	60.877	169	83.749	143	68.750
Cebada primavera	265	36.501	208	12.664	206	45.758	167	27.598	177	48.665	153	32.325
Guisante .. proteaginoso	298	104.730	255	77.086	246	112.563	208	89.948	225	116.849	187	97.157
Ajo	802	247.663	720	172.102	714	265.835	567	202.664	664	270.766	528	210.507
Maíz	753	124.815	600	57.575	652	140.660	510	83.960	589	146.932	497	94.117
Girasol (cosecha única)	285	55.300	285	26.841	236	60.120	236	36.480	226	61.207	226	38.656
Tabaco	775	162.608	695	90.720	676	172.511	607	108.497	655	174.549	588	112.158
Alfalfa régimen	730	66.231	599	-1.770	656	79.225	531	19.369	593	85.605	512	30.304
Lechuga (primavera)	219	221.477	200	201.218	147	228.710	134	214.455	122	232.415	110	221.323
Lechuga (otoño)	285	111.961	249	85.565	138	132.849	114	121.361	86	138.019	71	129.907

CUADRO 5 (Continuación)
LÁMINAS DE RIEGO BRUTAS ÓPTIMAS Y SUS CORRESPONDIENTES MÁRGENES BRUTOS PARA UN CU=75% Y
PRECIOS DE AGUA (PA) DE 10 Y 20 PTA M-3. AÑOS: SECO, MEDIO Y HÚMEDO
TABLE 5
OPTIMUM GROSS APPLICATION DEPTHS AND THEIR GROSS MARGINS FOR A CU=75% AND WATER PRICES (PA) OF 10
AND 20 PTA M-3. YEARS: DRY, AVERAGE AND HUMID

Cultivo	AÑO SECO				AÑO MEDIO				AÑO HÚMEDO			
	Precio del agua PA (ptas. m-3)				Precio del agua PA (ptas. m-3)				Precio del agua PA (ptas. m-3)			
	PA = 10		PA = 20		PA = 10		PA = 20		PA = 10		PA = 20	
	Lámina bruta óptima (mm)	Márgen bruto óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)
Melón	797	362.161	723	287.072	751	374.734	612	309.317	718	378.026	585	314.676
Tomate industria (transplante)	777	225.017	656	152.262	766	233.321	635	166.831	720	237.844	598	174.339
Pimiento industria (transplante)	747	126.939	630	57.073	727	136.062	603	72.376	693	139.447	575	77.996
Patata (media estación)	643	37.840	457	-18.133	604	46.303	443	-6.113	564	50.272	437	-67
Espárrago (producción)	853	154.615	719	76.558	695	177.574	577	115.525	610	186.097	506	129.674
Zanahoria	1060	385.004	970	283.897	984	403.218	817	314.472	909	410.800	754	327.058
Patata (tardía)	658	63.060	524	5.391	551	73.790	471	22.882	543	79.378	425	32.137
Judía verdeo (2ª cosecha)	554	101.429	467	50.975	497	107.132	419	60.595	488	112.887	405	70.066
Cebolla (transplante)	647	102.269	559	41.449	624	109.558	533	54.119	583	113.681	498	61.167
Coliflor	750	480.399	596	412.289	611	494.289	541	436.777	578	505.200	446	455.796

CUADRO 6
LÁMINAS DE RIEGO BRUTAS ÓPTIMAS Y SUS CORRESPONDIENTES MÁRGENES BRUTOS PARA UN CU=85% Y
PRECIOS DE AGUA (PA) DE 10 Y 20 PTA M-3. AÑOS: SECO, MEDIO Y HÚMEDO

TABLE 6
*OPTIMUM GROSS APPLICATION DEPTHS AND THEIR GROSS MARGINS FOR A CU=85% AND WATER PRICES (PA) OF 10
AND 20 PTA M-3. YEARS: DRY, AVERAGE AND HUMID*

Cultivo	AÑO SECO				AÑO MEDIO				AÑO HÚMEDO			
	Precio del agua PA (ptas. m-3)				Precio del agua PA (ptas. m-3)				Precio del agua PA (ptas. m-3)			
	PA = 10		PA = 20		PA = 10		PA = 20		PA = 10		PA = 20	
	Lámina bruta óptima (mm)	Márgen bruto óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)
Trigo blando invierno	367	84.669	313	50.154	281	96.304	247	70.209	249	99.534	228	75.876
Trigo duro de invierno	453	162.976	395	121.015	348	175.483	301	142.767	322	178.076	292	147.433
Trigo duro de primavera	429	160.068	361	120.245	332	171.702	289	140.367	308	171.052	281	144.594
Cebada invierno	289	71.684	243	45.239	193	82.356	176	64.022	157	86.838	143	72.044
Cebada primavera	280	38.650	223	13.287	206	48.171	173	29.263	177	51.051	155	34.284
Guisante proteaginoso	304	110.430	263	82.151	242	117.953	208	95.476	201	122.074	181	102.900
Ajo	720	276.100	679	206.861	605	291.575	535	235.654	563	295.753	498	243.044
Maíz	729	136.985	635	67.766	607	152.785	550	95.543	548	158.624	497	106.123
Girasol (cosecha única)	353	43.912	353	8.611	293	49.890	293	20.568	280	51.239	280	23.266
Tabaco	695	187.278	619	122.310	607	196.167	540	138.142	588	197.997	554	141.498
Alfalfa régimen	752	74.665	662	3.742	656	87.698	575	26.146	593	94.078	542	37.430
Lechuga (primavera)	194	225.053	185	206.327	130	231.453	124	218.527	103	234.819	98	224.916

CUADRO 6 (Continuación)
LÁMINAS DE RIEGO BRUTAS ÓPTIMAS Y SUS CORRESPONDIENTES MÁRGENES BRUTOS PARA UN CU=85% Y
PRECIOS DE AGUA (PA) DE 10 Y 20 PTA M-3. AÑOS: SECO, MEDIO Y HÚMEDO

TABLE 6
*OPTIMUM GROSS APPLICATION DEPTHS AND THEIR GROSS MARGINS FOR A CU=85% AND WATER PRICES (PA) OF 10
AND 20 PTA M-3. YEARS: DRY, AVERAGE AND HUMID*

Cultivo	AÑO SECO				AÑO MEDIO				AÑO HÚMEDO			
	Precio del agua PA (ptas. m-3)				Precio del agua PA (ptas. m-3)				Precio del agua PA (ptas. m-3)			
	PA = 10		PA = 20		PA = 10		PA = 20		PA = 20			
	Lámina bruta óptima (mm)	Márgen bruto óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (ptas. ha ⁻¹)	Lámina óptima (mm)	Márgen óptimo (pta ha ⁻¹)
Lechuga (otoño)	225	125.686	211	104.195	89	141.214	83	132.915	56	144.559	52	139.100
Melón	751	384.197	673	313.746	635	395.749	600	334.458	607	398.532	574	339.719
Tomate industria (transplante)	763	242.338	688	171.310	682	250.476	615	185.979	642	254.504	578	193.241
Pimiento industria (transplante)	733	144.404	661	75.546	647	153.007	584	91.055	617	156.022	556	96.491
Patata (media estación)	710	43.633	490	-17.790	622	52.468	508	-4.380	608	56.614	493	2.367
Espárrago (producción)	837	172.355	719	95.505	619	194.136	558	134.466	575	201.893	515	148.635
Zanahoria	1041	410.787	938	312.567	877	427.189	831	342.144	856	434.144	767	354.948
Patata (tardía)	637	73.409	554	13.432	560	84.100	485	32.103	505	89.608	458	41.799
Judía verdeo (2ª cosecha)	544	113.471	467	63.027	488	119.070	440	73.046	434	124.414	392	82.679
Cebolla (transplante)	647	110.861	591	49.644	575	118.061	526	62.807	563	121.935	491	69.754
Coliflor	635	507.944	562	448.934	518	519.713	486	470.132	427	528.808	400	487.204

CUADRO 7
PARÁMETROS DE CALIDAD DE REPARTO DEL AGUA DE RIEGO Y SU INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO PARA UN
CU=75% Y PRECIOS DEL AGUA (PA) DE 10 Y 20 PTA M-3. AÑOS: SECO, MEDIO Y HÚMEDO

TABLE 7
*QUALITY PARAMETERS OF WATER DISTRIBUTION AND ITS INFLUENCE ON YIELD CROPS FOR A CU=75% AND WATER
PRICES (PA) OF 10 AND 20 PTA M-3. YEARS: DRY, AVERAGE AND HUMID*

Cultivo	AÑO SECO						AÑO MEDIO						AÑO HÚMEDO					
	Precio del agua PA (ptas. m-3)			Precio del agua PA (ptas. m-3)			Precio del agua PA (ptas. m-3)			Precio del agua PA (ptas. m-3)			Precio del agua PA (ptas. m-3)			Precio del agua PA (ptas. m-3)		
	PA = 10		PA = 20		PA = 10		PA = 2		PA = 10		PA = 2		PA = 10		PA = 20		PA = 10	
	Hr/Hba	Déf. Prod	a (%)	Hr/Hba (%)	Déf. Prod.	a (%)	Hr/Hba (%)	Déf. Prod	a (%)	Hr/Hba (%)	Déf. Prod.	a (%)	Hr/Hba (%)	Déf. Prod(%)	aHr/Hba (%)	Déf. Prod..	a (%)	
Trigo blando invierno	1,08	15,58	0,84	1,31	25,85	0,74	1,00	12,5	0,88	1,23	22,36	0,78	1,00	12,50	0,88	1,16	18,90	0,81
Trigo duro de invierno	1,00	12,50	0,88	1,23	22,36	0,78	0,92	9,73	0,90	1,08	15,58	0,84	0,84	7,35	0,93	1,08	15,58	0,84
Trigo duro de primavera	1,00	12,50	0,88	1,23	22,36	0,78	0,92	9,73	0,90	1,16	18,90	0,81	0,92	9,73	0,90	1,08	15,58	0,84
Cebada invierno	1,00	12,50	0,88	1,23	22,36	0,78	0,92	9,73	0,90	1,08	15,58	0,84	0,84	7,35	0,93	1,00	12,50	0,88
Cebada primavera	1,16	18,90	0,81	1,47	32,60	0,67	1,00	12,5	0,88	1,23	22,36	0,78	1,00	12,50	0,88	1,16	18,90	0,81
Guisante proteaginoso	0,92	11,19	0,90	1,08	17,92	0,84	0,84	8,45	0,93	1,00	14,38	0,88	0,77	6,18	0,95	0,92	11,19	0,90
Ajo	0,69	4,18	0,96	0,77	5,91	0,95	0,61	2,87	0,97	0,77	5,91	0,95	0,61	2,87	0,97	0,77	5,91	0,95
Maíz	0,92	12,17	0,90	1,16	23,63	0,81	0,84	9,19	0,93	1,08	19,48	0,84	0,69	9,19	0,93	1,00	15,63	0,88
Girasol (cosecha única)	1,94	46,04	0,52	1,94	46,04	0,52	1,94	46,04	0,52	1,94	46,04	0,52	1,94	46,04	0,52	1,94	46,04	0,52
Tabaco	0,69	3,42	0,96	0,77	4,84	0,95	0,69	3,42	0,96	0,77	4,84	0,95	0,69	3,42	0,96	0,77	4,84	0,95
Alfalfa régimen	1,08	15,58	0,84	1,31	25,85	0,74	1,00	12,5	0,88	1,23	22,36	0,78	1,00	12,50	0,88	1,16	18,90	0,81
Lechuga (primavera)	0,84	6,98	0,93	0,92	9,25	0,90	0,84	6,98	0,93	0,92	9,25	0,90	0,77	5,10	0,95	0,84	6,98	0,93

Def. Prod. = déficit de producción (%); Hr/Hba = relación entre lámina requerida (Hr) y lámina bruta aplicada (Hba); y a = área adecuadamente o sobrerregada (%).

CUADRO 7 (Continuación)
 PARÁMETROS DE CALIDAD DE REPARTO DEL AGUA DE RIEGO Y SU INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO PARA UN
 CU=75% Y PRECIOS DEL AGUA (PA) DE 10 Y 20 PTA M-3. AÑOS: SECO, MEDIO Y HÚMEDO

TABLE 7
 QUALITY PARAMETERS OF WATER DISTRIBUTION AND ITS INFLUENCE ON YIELD CROPS FOR A CU=75% AND WATER
 PRICES (PA) OF 10 AND 20 PTA M-3. YEARS: DRY, AVERAGE AND HUMID

Cultivo	AÑO SECO						AÑO MEDIO						AÑO HÚMEDO					
	Precio del agua PA (ptas. m-3)			Precio del agua PA (ptas. m-3)			Precio del agua PA (ptas. m-3)			Precio del agua PA (ptas. m-3)			Precio del agua PA (ptas. m-3)					
	PA = 10			PA = 20			PA = 10			PA = 2			PA = 10			PA = 20		
	Hr/Hba	Déf.	a	Hr/Hba	Déf.	a	Hr/Hba	Déf.	a	Hr/Hba	Déf.	a	Hr/Hba	Déf.	aHr/Hba	Déf.	a	
	Prod	(%)	(%)	Prod.	(%)	(%)	(%)	Prod	(%)	(%)	Prod.	(%)	(%)	Prod(%)	(%)	Prod..	(%)	(%)
Trigo blando																		
Lechuga (otoño)	0,53	1,65	0,98	0,61	2,48	0,97	0,37	0,68	0,99	0,45	1,07	0,99	0,37	0,68	0,99	0,45	1,07	0,99
Melón	0,77	5,64	0,95	0,84	7,72	0,93	0,69	3,99	0,96	0,84	7,72	0,93	0,69	3,99	0,96	0,84	7,72	0,93
Tomate industria																		
(transplante)	0,84	7,72	0,93	1,00	13,13	0,88	0,77	5,64	0,95	0,92	10,22	0,90	0,77	5,64	0,95	0,92	10,22	0,90
Pimiento industria																		
(transplante)	0,84	8,08	0,93	1,00	13,75	0,88	0,77	5,91	0,95	0,92	10,71	0,90	0,77	5,91	0,95	0,92	10,71	0,90
Patata																		
(media estación)	1,16	20,79	0,81	1,63	42,56	0,61	1,08	17,14	0,84	1,47	35,86	0,67	1,08	17,14	0,84	1,39	32,21	0,71
Espárrago																		
(producción)	0,84	7,72	0,93	1,00	13,13	0,88	0,77	5,64	0,95	0,92	10,22	0,90	0,77	5,64	0,95	0,92	10,22	0,90
Zanahoria	0,84	7,35	0,93	0,92	9,73	0,90	0,77	5,37	0,95	0,92	9,73	0,90	0,77	5,37	0,95	0,92	9,73	0,90
Patata (tardía)	0,92	10,71	0,90	1,16	20,79	0,81	0,92	10,71	0,90	1,08	17,14	0,84	0,84	8,08	0,93	1,08	17,14	0,84
Judía verdeo																		
(2ª cosecha)	0,84	8,45	0,93	1,00	14,38	0,88	0,84	8,45	0,93	1,00	14,38	0,88	0,77	6,18	0,95	0,92	11,19	0,90
Cebolla																		
(transplante)	1,00	13,75	0,88	1,16	20,79	0,81	0,92	10,71	0,90	1,08	17,14	0,84	0,92	10,71	0,90	1,08	17,14	0,84
Coliflor	0,61	2,61	0,97	0,77	5,37	0,95	0,61	2,61	0,97	0,69	3,80	0,96	0,53	1,73	0,98	0,69	3,80	0,96

Def. Prod. = déficit de producción (%); Hr/Hba = relación entre lámina requerida (Hr) y lámina bruta aplicada (Hba); y a = área adecuadamente o sobrerregada (%).

tes a coeficiente de uniformidad y precio del agua para algunas especies de interés, que resultan paradigmáticas del comportamiento de los diferentes grupos de cultivos.

En la figura 4, que muestra el margen bruto óptimo para el cultivo de la coliflor, se aprecia cómo se incrementa éste al pasar del año seco hasta el húmedo, como consecuencia de un menor volumen de agua aplicado en los años de mayor precipitación. También, se observa cómo los mayores márgenes brutos corresponden al coeficiente de uniformidad alto con el precio del agua bajo y, los menores al coeficiente de uniformidad menor asociado a un precio elevado de agua.

El cultivo de la patata de media estación (figura 5) presenta diferencias significativas con la coliflor. El margen bruto óptimo de este cultivo sufre grandes variaciones con los diferentes precios del agua, de tal manera que para 20 pta m⁻³ el cultivo resulta inviable económicamente; sin embargo, no experimenta tanto incremento en el margen bruto al pasar de un año seco a uno húmedo, como en el caso del cultivo de la coliflor.

El cultivo de girasol (figura 6) tiene la peculiaridad de ofrecer mayores márgenes brutos, para un mismo precio del agua, con un coeficiente de uniformidad del 75 % que con un 85 %, contrariamente a lo que cabría esperar y a lo que se pone de manifies-

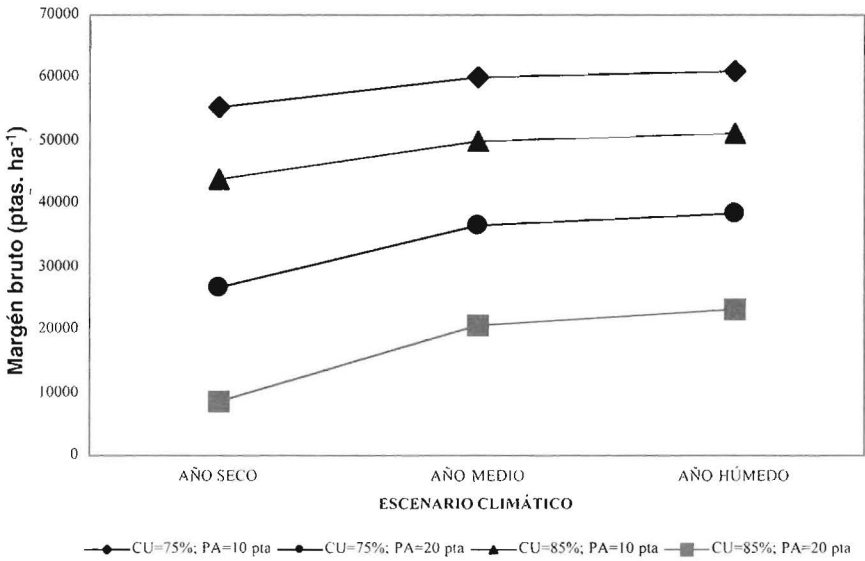


Figura 4. Variación del margen bruto en relación con el coeficiente de uniformidad (CU) y el precio del agua (PA). Coliflor (*Brassica oleracea* L. cv. Botrytis DC.). Años: seco, medio y húmedo.
Figure 4. Gross return versus coefficient of uniformity (CU) and the water price (PA). Cauliflower (*Brassica oleracea* L. cv. Botrytis DC.). Dry, mean and humid year

to en el análisis de los demás casos estudiados.

De la aplicación del tercer submodelo se obtiene la alternativa de cultivos económicamente óptima, a partir de la función de margen bruto respecto a las láminas de riego para cada cultivo.

Los resultados del tercer submodelo se presentan en el cuadro 9, distinguiendo entre las dos hipótesis de disponibilidad de agua planteadas. En este cuadro se muestran los resultados finales de aplicación del modelo más relevantes: el margen bruto medio por unidad de superficie alcanzado en la explotación con la alternativa propuesta, la superficie total cultivada de las 50 ha de suelo de labor disponible en la

explotación, la lámina de riego media aplicada a cada unidad de superficie regada, además de los cultivos que entran a formar parte de la alternativa con su grado de participación, todo ello para cada uno de los escenarios simulados.

Los mayores márgenes brutos se registran en la situación de mayor coeficiente de uniformidad y precio de agua bajo, asociado a la situación de agua ilimitada, alcanzándose el máximo, lógicamente, en el año húmedo, en que los costes variables asociados al agua de riego son los menores. Así, el mayor margen bruto para esta explotación es de 402.360 ptas. ha⁻¹ para el año medio, registrándose un valor superior para el año húmedo e inferior para el año seco, en función de los costes variables asociados

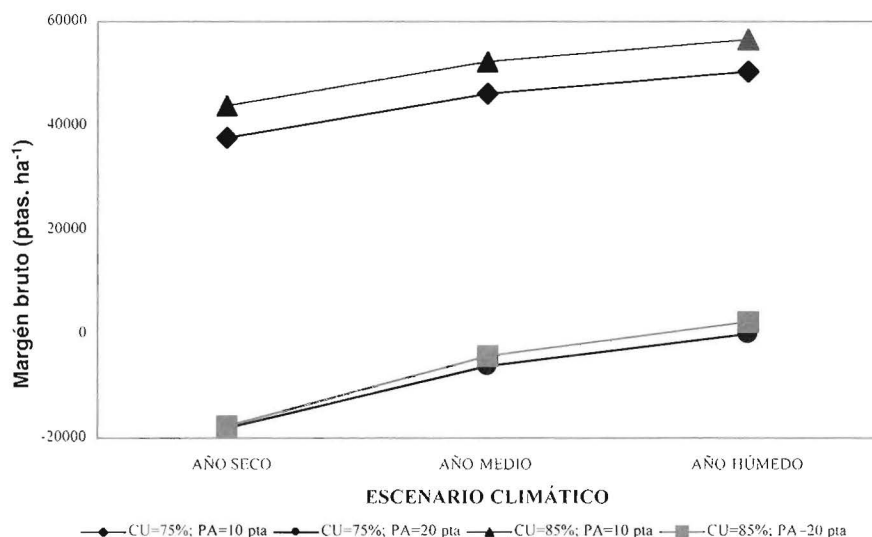


Figura 5. Variación del margen bruto en relación con el coeficiente de uniformidad (CU) y el precio del agua (PA) Patata (*Solanum tuberosum* L.). Años: seco, medio y húmedo.

Figure 5. Gross return versus coefficient of uniformity (CU) and the water price (PA). Potato (*Solanum tuberosum* L.). Dry, mean and humid year

CUADRO 8
PARÁMETROS DE CALIDAD DE REPARTO DEL AGUA DE RIEGO Y SU INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO PARA UN
CU=85% Y PRECIOS DEL AGUA (PA) DE 10 Y 20 PTA M-3. AÑOS: SECO, MEDIO Y HÚMEDO

TABLE 8
QUALITY PARAMETERS OF WATER DISTRIBUTION AND ITS INFLUENCE ON YIELD CROPS FOR A CU=85% AND WATER
PRICES (PA) OF 10 AND 20 PTA M-3. YEARS: DRY, AVERAGE AND HUMID

Cultivo	AÑO SECO						AÑO MEDIO						AÑO HÚMEDO					
	Precio del agua PA (ptas. m-3)						Precio del agua PA (ptas. m-3)						Precio del agua PA (ptas. m-3)					
	PA = 10			PA = 20			PA = 10			PA = 20			PA = 10			PA = 20		
	Hr/Hba	Déf.	a	Hr/Hba	Déf.	a	Hr/Hba	Déf.	a	Hr/Hba	Déf.	a	Hr/Hba	Déf.	a	Hr/Hba	Déf.	a
	Prod. (%)	(%)		Prod. (%)	(%)		Prod. (%)	(%)		Prod. (%)	(%)		Prod. (%)	(%)		Prod. (%)	(%)	
Trigo blando invierno	1,09	11,99	0,88	1,22	22,43	0,78	1,00	7,50	0,93	1,14	14,52	0,85	1,00	7,50	0,93	1,09	11,99	0,88
Trigo duro de invierno	0,95	5,65	0,94	1,09	11,99	0,88	0,91	4,10	0,96	1,05	9,63	0,90	0,91	4,10	0,96	1,00	7,50	0,93
Trigo duro de primavera	1,00	7,50	0,93	1,19	17,14	0,83	0,95	5,65	0,94	1,19	11,99	0,88	0,95	5,65	0,94	1,05	9,63	0,90
Cebada invierno	1,00	7,50	0,93	1,19	17,4	0,83	0,95	5,65	0,94	1,05	9,63	0,90	0,91	4,10	0,96	1,00	7,50	0,93
Cebada primavera	1,09	11,99	0,88	1,38	27,44	0,73	1,00	7,50	0,93	1,19	17,14	0,83	1,00	7,50	0,93	1,14	14,52	0,85
Guisante proteaginoso	0,91	4,72	0,96	1,05	11,08	0,90	0,86	3,30	0,97	1,00	8,63	0,93	0,86	3,30	0,97	0,95	6,50	0,94
Ajo	0,77	1,37	0,99	0,84	2,12	0,98	0,72	0,84	0,99	0,81	2,12	0,98	0,72	0,84	0,99	0,81	2,12	0,98
Maíz	0,95	7,06	0,94	1,09	14,44	0,88	0,91	5,13	0,96	1,00	9,38	0,93	0,91	5,13	0,96	1,00	9,38	0,93
Girasol (cosecha única)	1,56	34,26	0,64	1,56	34,26	0,64	1,56	34,26	0,64	1,56	34,26	0,64	1,56	34,26	0,64	1,56	34,26	0,64
Tabaco	0,77	1,12	0,99	0,86	2,58	0,97	0,77	1,12	0,99	0,86	2,58	0,97	0,77	1,12	0,99	0,81	1,74	0,98
Alfalfa régimen	1,05	9,63	0,90	1,19	17,40	0,83	1,00	7,50	0,93	1,14	14,52	0,85	1,00	7,50	0,93	1,09	11,99	0,88

Def. Prod. = déficit de producción (%); Hr/Hba = relación entre lámina requerida (Hr) y lámina bruta aplicada (Hba); y a = área adecuadamente o

CUADRO 8 (Continuación)
 PARÁMETROS DE CALIDAD DE REPARTO DEL AGUA DE RIEGO Y SU INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO PARA UN
 CU=85% Y PRECIOS DEL AGUA (PA) DE 10 Y 20 PTA M-3. AÑOS: SECO, MEDIO Y HÚMEDO
 TABLE 8
 QUALITY PARAMETERS OF WATER DISTRIBUTION AND ITS INFLUENCE ON YIELD CROPS FOR A CU=85% AND WATER
 PRICES (PA) OF 10 AND 20 PTA M-3. YEARS: DRY, AVERAGE AND HUMID

Cultivo	AÑO SECO						AÑO MEDIO						AÑO HÚMEDO					
	Precio del agua PA (ptas. m-3)			Precio del agua PA (ptas. m-3)			Precio del agua PA (ptas. m-3)			Precio del agua PA (ptas. m-3)			Precio del agua PA (ptas. m-3)			Precio del agua PA (ptas. m-3)		
	PA = 10			PA = 20			PA = 10			PA = 20			PA = 10			PA = 20		
	Hr/Hba	Déf.	a	Hr/Hba	Déf.	a	Hr/Hba	Déf.	a	Hr/Hba	Déf.	a	Hr/Hba	Déf.	a	Hr/Hba	Déf.	a
	Prod. (%)	(%)	(%)	Prod. (%)	(%)	(%)	Prod. (%)	(%)	(%)	Prod. (%)	(%)	(%)	Prod. (%)	(%)	(%)	Prod. (%)	(%)	(%)
Lechuga (primavera)	0,95	5,37	0,94	1,00	7,13	0,93	0,95	5,37	0,94	1,00	7,13	0,93	0,91	3,90	0,96	0,95	5,37	0,94
Lechuga (otoño)	0,67	0,43	1,00	0,72	0,73	0,99	0,58	0,13	1,00	0,62	0,24	1,00	0,58	0,13	1,00	0,62	0,24	1,00
Melón	0,81	2,03	0,98	0,91	4,31	0,96	0,81	2,03	0,98	0,86	3,01	0,97	0,81	2,03	0,98	0,86	3,01	0,97
Tomate industria (transplante)	0,86	3,01	0,97	0,95	5,93	0,94	0,86	3,01	0,97	0,95	5,93	0,94	0,86	3,01	0,97	0,95	5,93	0,94
Pimiento industria (transplante)	0,86	3,16	0,97	0,95	6,21	0,94	0,86	3,16	0,97	0,95	6,21	0,94	0,86	3,16	0,97	0,95	6,21	0,94
Patata (media estación)	1,05	10,59	0,90	1,52	37,50	0,66	1,05	10,59	0,90	1,28	24,67	0,78	1,00	8,25	0,93	1,23	21,78	0,80
Espárrago (producción)	0,86	3,01	0,97	1,00	7,88	0,93	0,86	3,01	0,97	0,95	5,93	0,94	0,81	2,03	0,98	0,91	4,31	0,96
Zanahoria	0,86	2,87	0,97	0,95	5,65	0,94	0,86	2,87	0,97	0,91	4,10	0,96	0,81	1,93	0,98	0,91	4,10	0,96
Patata (tardía)	0,95	6,21	0,94	1,09	13,19	0,88	0,91	4,51	0,96	1,05	10,59	0,90	0,91	4,51	0,96	1,00	8,25	0,93
Judía verdeo (2ª cosecha)	0,86	3,30	0,97	1,00	8,63	0,93	0,86	3,30	0,97	0,95	6,50	0,94	0,86	3,30	0,97	0,95	6,50	0,94
Cebolla (transplante)	1,00	8,25	0,93	1,09	13,19	0,88	1,00	8,25	0,93	1,09	13,19	0,88	0,95	6,21	0,94	1,09	13,19	0,88
Coliflor	0,72	0,77	0,99	0,81	1,93	0,98	0,72	0,77	0,99	0,77	1,240,99	0,72	0,77	0,99	0,77	1,24	0,99	

Def. Prod. = déficit de producción (%); Hr/Hba = relación entre lámina requerida (Hr) y lámina bruta aplicada (Hba); y a = área adecuadamente o sobrerregada (%).

CUADRO 9
RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL TERCER SUBMODELO
TABLE 9
RESULTS OF THE THIRD SUBMODEL

Disponibilidad hídrica: ilimitada; CU = 85%; y PA = 10 ptas. m ⁻³										
AÑO	(1)	(2)	(3)	(4)	(7)	(8)	(9)	(13)	(14)	
SECO	0,00	0,00	50,00	10,00	15,00	11,00	10,00	0,00	4,00	
MEDIO	0,00	0,00	50,00	10,00	15,00	8,00	10,00	3,00	4,00	
HÚMEDO	0,00	0,00	50,00	10,00	15,00	8,00	10,00	3,00	4,00	
Disponibilidad hídrica: limitada (4000 m ³ ha ⁻¹); CU = 85%; y PA = 10 ptas. m ⁻³										
AÑO	(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(7)	(9)	(12)	(14)	
SECO	0,00	0,00	45.97	4,00	7,00	5.97	10,00	15,00	4,00	
MEDIO	0,00	0,00	45.97	4,00	7,00	5.97	10,00	15,00	4,00	
HÚMEDO	0,00	0,00	45.97	4,00	7,00	5.97	10,00	15,00	4,00	
Disponibilidad hídrica: limitada; CU = 85%; y PA = 20 ptas. m ⁻³										
AÑO	(1)	(2)	(3)	(4)	(6)	(7)	(8)	(9)	(13)	(14)
SECO	0,00	0,00	50,00	10,00	10,00	15,00	1,00	10,00	0,00	4,00
MEDIO	0,00	0,00	50,00	10,00	0,00	15,00	8,00	10,00	3,00	4,00
HÚMEDO	0,00	0,00	50,00	10,00	0,00	15,00	8,00	10,00	3,00	4,00
Disponibilidad hídrica: limitada (4000 m ³ ha ⁻¹); CU = 85%; y PA = 20 ptas. m ⁻³										
AÑO	(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(7)	(9)	(10)	(12)	(14)
SECO	0,00	0,00	50,00	4,00	7,00	7.33	10,00	2.67	15,00	4,00
MEDIO	0,00	0,00	50,00	4,00	7,00	7.33	10,00	2.67	15,00	4,00
HÚMEDO	0,00	0,00	50,00	4,00	7,00	7.33	10,00	2.67	15,00	4,00
Disponibilidad hídrica: ilimitada; CU = 75%; y PA = 10 ptas. m ⁻³										
AÑO	(1)	(2)	(3)	(4)	(7)	(8)	(9)	(14)		
SECO	0,00	0,00	50,00	10,00	15,00	11,00	10,00	4,00		
MEDIO	0,00	0,00	50,00	10,00	15,00	11,00	10,00	4,00		
HÚMEDO	0,00	0,00	50,00	10,00	15,00	11,00	10,00	4,00		
Disponibilidad hídrica: limitada (4000 m ³ ha ⁻¹); CU = 75%; y PA = 10 ptas. m ⁻³										
AÑO	(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(9)	(11)	(12)	(14)	
SECO	0,00	0,00	45,02	4,00	7,00	10,00	5,02	15,00	4,00	
MEDIO	0,00	0,00	45,02	4,00	7,00	10,00	5,02	15,00	4,00	
HÚMEDO	0,00	0,00	45,02	4,00	7,00	10,00	5,02	15,00	4,00	
Disponibilidad hídrica: ilimitada; CU = 75%; y PA = 20 ptas. m ⁻³										
AÑO	(1)	(2)	(3)	(4)	(6)	(7)	(8)	(9)	(13)	(14)
SECO	0,00	0,00	50,00	10,00	10,00	15,00	1,00	10,00	0,00	4,00
MEDIO	0,00	0,00	50,00	10,00	0,00	15,00	8,00	10,00	3,00	4,00
HÚMEDO	0,00	0,00	50,00	10,00	0,00	15,00	8,00	10,00	3,00	4,00
Disponibilidad hídrica: limitada (4000 m ³ ha ⁻¹); CU = 75%; y PA = 20 ptas. m ⁻³										
AÑO	(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(9)	(10)	(11)	(12)	(14)
SECO	0,00	0,00	50,00	4,00	7,00	10,00	14,39	0,00	10,61	4,00
MEDIO	0,00	0,00	50,00	4,00	7,00	10,00	0,00	14,27	10,73	4,00
HÚMEDO	0,00	0,00	50,00	4,00	7,00	10,00	0,00	14,27	10,73	4,00

(1) = margen bruto óptimo (ptas. ha-1); (2) = agua utilizada (m3 ha-1); (3) = superficie cultivada en regadío (ha); (4) = tomate industria (transplante) (ha); (5) = lechuga (primavera) (ha); (6) = melón (ha); (7) = ajo (ha); (8) = zanahoria (ha); (9) = coliflor (ha); (10) = trigo duro de primavera (ha); (11) = trigo duro de invierno (ha); (12) = tierra de retirada (ha); (13) = ajo + lechuga (otoño) (ha); y (14) = lechuga (primavera) + coliflor (ha).

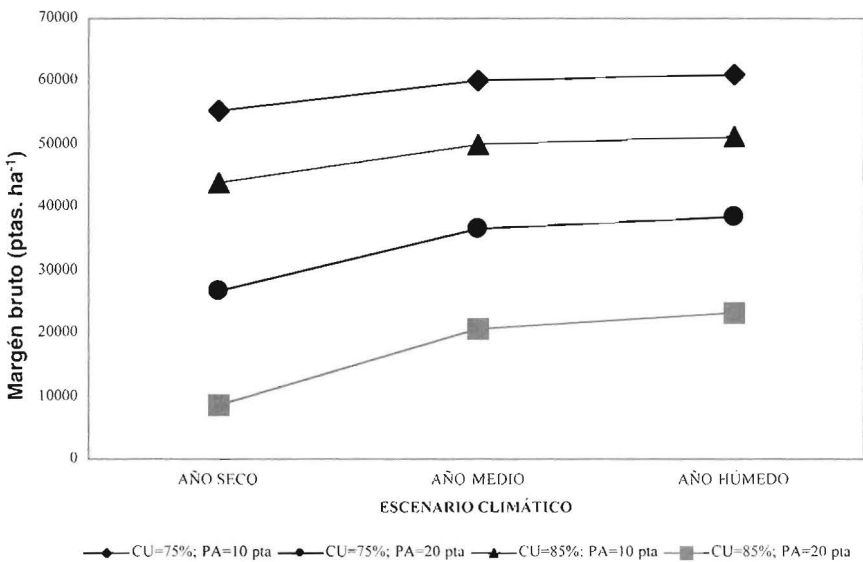


Figura 6. Variación del margen bruto en relación con el coeficiente de uniformidad (CU) y el precio del agua (PA). Girasol (*Helianthus annuus* L.). Años: seco, medio y húmedo
Figure 6. Gross return versus coefficient of uniformity (CU) and the water price (PA). Sunflower (*Helianthus annuus* L.). Dry, mean and humid year

al consumo hídrico de la solución propuesta. Los cultivos que entran a formar parte de la alternativa son: tomate con destino industrial, ajo, zanahoria, coliflor, ajo con una segunda cosecha de lechuga de otoño y lechuga de siembra en primavera seguida de coliflor. Todos estos cultivos son los que presentan el mayor margen bruto, alcanzando la superficie máxima posible, limitada según las restricciones de superficie impuestas (cuadro 1). De esta manera, al considerar el agua ilimitada se prefieren los cultivos que permiten un mayor margen bruto, independientemente de su consumo hídrico; la alternativa resultante presenta un consumo para el año medio de 6.553 m³ ha⁻¹, con unas necesidades máximas de

7.852 m³ ha⁻¹ en el año seco y mínimas de 5.992 m³ ha⁻¹ para el año definido como seco.

En el caso de agua limitada, aparece la tierra retirada como una actividad interesante, llegando incluso en algún caso (CU=85% y precio del agua de 10 ptas. m⁻³ y CU=75 % y 10 ptas. m⁻³) a dejar suelo sin cultivar, concentrando el agua disponible sobre los cultivos de alto margen bruto, fundamentalmente hortícolas, de forma que se rieguen con la lámina económicamente óptima para esa especie. Destacar que en el caso de agua limitada la alternativa propuesta es aquella cuya demanda hídrica puede ser satisfecha en el año más seco, por ello la lámina disponible máxima aparece

en el cuadro 9 asociada al año seco, siendo en los restantes escenarios climáticos los requerimientos de la alternativa solución menores.

En el escenario global de actuación presentado, la situación más desfavorable es suponer un coeficiente de uniformidad bajo, con precio elevado del agua y en condiciones de limitaciones hídricas. Trabajando en este marco, la solución más satisfactoria es la alternativa que permite obtener un margen bruto para el año medio de 249.878 ptas. ha⁻¹, con unos requerimientos de agua de 3.372 m³ ha⁻¹, integrada por los cultivos siguientes: lechuga de primavera, trigo duro de siembra invernal, trigo duro de siembra primaveral, melón, coliflor, lechuga de primavera seguida de una segunda cosecha de coliflor, completando las 50 ha con tierra de retirada. Ante esta perspectiva, con agua cara y una instalación de riego con baja uniformidad, comienzan a aparecer cultivos de bajas necesidades, como el trigo duro, pero con un margen bruto razonablemente alto por la ayuda compensatoria recibida en esta comarca, pudiéndose cultivar (aunque se incorpore tierra de retirada) toda la superficie. En cualquier caso, el agua disponible, es utilizada en los cultivos hortícolas de mayor margen bruto, que suponen el sustento económico fundamental de la explotación.

Es de destacar respecto al tercer submodelo, bajo la hipótesis de restricciones en la disponibilidad hídrica, que para su desarrollo es interesante incluir el cultivo en secano dentro del perímetro de la explotación de regadío como otra actividad productiva a considerar, desde el punto de vista económico, para la optimización de los recursos hídricos. Dentro de la línea de desarrollo del modelo presentado, se está trabajando en la introducción del riesgo asociado a la solución adoptada (TAUER, 1983; ROMERO

et al., 1987; MILLAN y BERBEL, 1994). Este riesgo va implícito a cada alternativa planteándose como consecuencia de la variabilidad climática, de precios, etc. Consecuentemente, el desarrollo del modelo supondrá una mejora metodológica para abordar la introducción de mayor número de variables y escenarios de partida, así como de atributos sobre los que actuar en el proceso de optimización (margen bruto, riesgo, etc.). Todo ello conducirá a la modificación de la programación lineal como forma de optimización, introduciéndonos en las técnicas de decisión multicriterio como forma de acotar el conjunto de alternativas y de aproximarnos, dentro de las soluciones posibles a las más eficientes (ROMERO, 1993; LÓPEZ *et al.*, 1997).

A modo de resumen de los resultados obtenidos, tenemos que indicar que los cultivos hortícolas son una potencial fuente de riqueza para la comarca, posiblemente los que permitan desarrollar en la zona una agricultura competitiva y fuertemente asociada a la industria de transformación y a la comercialización eficiente de los productos. Bajo esta perspectiva, es posible pensar en un futuro tranquilizador para la comarca, al menos a medio plazo, aún en un contexto de limitación y encarecimiento de los recursos hídricos disponibles. Esta horticultura debe ser capaz de asegurar unas rentas dignas a los pequeños y medianos agricultores de la zona, permitiendo un nivel de empleo relativamente elevado, principalmente de la mano de obra familiar, y siendo el sustento de una industria agroalimentaria ya existente en la comarca y que deberá potenciarse, al igual que la red de comercialización que, aprovechando la proximidad de la región a importantes núcleos de población (Madrid, Toledo o la propia Talavera de la Reina), consiga asentarse definitivamente y convertirse en un motor

que contribuya de forma decisiva a asegurar la estabilidad socioeconómica de la comarca.

Conclusiones

- La estrategia óptima de manejo del agua de riego disponible es función de la precipitación recogida cada año, del precio del agua, del coeficiente de uniformidad del sistema de riego y de la especie cultivada, tanto por su sensibilidad al estrés como por la implicaciones derivadas de la política de ayudas compensatorias.

- Los mejores márgenes brutos se obtienen para la mayoría de los cultivos con el coeficiente de uniformidad más elevado (85%), lo cual se manifiesta claramente los años más secos. Conforme las necesidades de riego se van reduciendo, por la especie cultivada, precipitación registrada cada año, influencia del coeficiente de uniformidad sobre la lámina de riego, la lámina óptima va disminuyendo.

- El precio elevado del agua de riego hace disminuir las láminas de riego óptimas, especialmente en el caso de cultivos con ingresos reducidos o en aquellos otros con necesidades elevadas.

- Los cultivos que presentan, de acuerdo con la estimación de costes realizada para la comarca, un mayor margen bruto son: coliflor, zanahoria, melón, ajo y tomate, todos ellos cultivos hortícolas que entran a formar parte de gran cantidad de alternativas consideradas eficientes.

- Las láminas de riego económicamente óptimas están normalmente por debajo de las correspondientes a las máximas necesidades de los cultivos, siendo las produccio-

nes óptimas inferiores a los rendimientos agrícolas potenciales de la zona.

- En el supuesto de agua limitada (400 mm), para la mayoría de escenarios considerados, los cultivos que entran a formar parte de la alternativa son los hortícolas con la mayor superficie posible de acuerdo con la limitación de recursos, concentrándose en ellos el volumen de agua existente. Otros cultivos de bajas necesidades completan la alternativa, en la que la tierra de retirada alcanza gran importancia. La alternativa de cultivos que supone un mayor margen bruto es la formada por los siguientes cultivos: coliflor, zanahoria, ajo, tomate de industria, ajo con una segunda cosecha de lechuga otoñal y la lechuga de primavera seguida de coliflor. Puede apreciarse la enorme importancia de potenciar en la zona la industria agroalimentaria como la mejor solución de futuro.

- La repercusión de la reducción en la disponibilidad de agua en la zona se traducirá en un aumento de la tierra retirada y de los cultivos de bajas necesidades hídricas, pero manteniendo el agua disponible concentrada sobre los cultivos hortícolas de orientación industrial. La disminución del margen bruto asociado a esta nueva situación no deberá suponer un empeoramiento de las condiciones socioeconómicas de la zona.

- El futuro más viable para la agricultura de la Comarca de vega de Talavera de la Reina, se centra, incluso en el supuesto de recursos hídricos limitados, en la horticultura. Esta horticultura requiere la potenciación del sector comercial e industrial existente en la zona, de forma que sea suficientemente dinámico y competitivo.

Se quieren incorporar en este epígrafe, a la vista de los resultados obtenidos, algunas

conclusiones sobre la metodología aplicada:

- Es fundamental la adopción de una función continua de márgenes brutos en relación a la lámina de riego, que permita considerar en el proceso de optimización de las alternativas de cultivo (tercer submodelo) láminas de riego diferentes a la económicamente óptima.

- En la misma línea, la introducción del secano como una posible actividad productiva más dentro de la alternativa de cultivos que se plantee en una explotación de regadío puede ser decisiva, para conseguir un manejo óptimo del suelo y agua disponible en el caso de recursos limitados.

- En el proceso de optimización se tienen que aumentar las variables consideradas al igual que los atributos analizados, recurriendo al paradigma de decisión multicriterio como la mejor forma de aproximarlos a un ideal entre objetivos en conflictos. El modelo se complicará, tanto en la estructura como en su manejo, pero permitirá explicar y aproximarse mejor a una realidad compleja y muy dinámica.

Agradecimientos

Este estudio ha sido posible dentro de los siguientes Proyectos de Investigación, queriendo mostrar nuestro agradecimiento a las Instituciones financiadoras:

13. Proyecto Europeo FAIR1 CT95-0088 (NIWASAVE), Dirección General VI.

14. Proyecto Nº 97/CH-32, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Bibliografía

- ANYOJI H., WU I.P., 1994. Normal distribution water application for drip irrigation schedules. *Trans. ASAE*, 37, 1, 159-164.
- 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., and KASSAM A.H., 1981. Yield Response to Water. *Irrig. and Drain. Paper 33*, FAO, Rome, Italy.
- DOORENBOS J., and PRUITT W.O., 1984. Crop Water Requirements. *Irrig. and Drain. Paper 24*, FAO, 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.
- HATHFIELD J.L., 1985. Wheat canopy resistance determined by canopy balance techniques. *Agron. J.*, 77, 279-283.
- 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).
- 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, Spain.
- MANTOVANI E.C., VILLALOBOS F.J., ORGAZ F., BERENJENA J., FERERES E., 1992. A comparison of methods to calculate evapotranspiration of field crops. "2nd Congress European Society for Agronomy. August, 1992, Warwicks, U.K.
- M.A.P.A., 1996. Anuario de Estadística Agraria 1994. Ed. Secretaría General Técnica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, Spain.
- MILLAN J.S., BERBEL J., 1994. A multicriteria model for irrigated agricultural planning under economic and technical risk. *Agric. Syst.*, 44, 105-117.

- 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., TARJUELO J.M., DE JUAN J.A., LÓPEZ H., FERNANDEZ D., 1997. Servicio de asesoramiento de riegos de Albacete. ITEA. Vol. 93V, Nº 3. 193-202.
- PERI G., HART W.E., NORUM D.J., 1979. Optimal irrigation depths. A method of analysis. *J.Irrig. Drain. Div. ASCE*, 105, 341-355.
- ROMERO C., AMADOR F., BARCO A., 1987. Multiple objectives in agricultural planning: a compromise programming application. *Amec. J. Agr. Econ.*, 69, 78-86.
- ROMERO C., 1993. Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones. Ed. Alianza Editorial, Madrid, Spain.
- SMITH M., 1989. Programa informático CROPWAT V. 5.7. Food and Agriculture Organization. Land and Water Developement Division. AGLW FAO, Rome, Italy.
- STEWART J.I., HAGAN R.M., PRUITT W.O., HANKS 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. *Utah Water Res. Lab. PRWG 151-1*, September, UT, USA.
- TARJUELO J.M., 1995. El Riego por Aspersión y su Tecnología. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, Spain.
- 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 function and irrigation uniformity. II: A case study of irrigation scheduling in Albacete, Spain. *Agric. Water Mngt.*, 31, 145-163.
- TAUER L.W., 1983. Target Motad. *Amec. Agric. Econ. Ass.*, 65, 606-610.
- VILLALOBOS F.J., 1992. Los servicios de asesoramiento de riegos y las necesidades hídricas de los cultivos. X Jornadas Técnicas sobre Riegos. Albacete, 26-27 de mayo 1992, Spain.
- WARRICK A.W., GARDNER W.R., 1983. Crop yield as affected by spatial variations of soil and irrigation. *Water Resour. Res.*, 19, 181-186.
- WU I.P., 1988. Linearized water application function for drip irrigation schedules. *Trans. ASAE.*, 31, 1743-1749.

(Aceptado para publicación el 15 de abril de 1999)