



*The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

*No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.*

# **Análisis de la toma de decisiones de los agricultores ante cambios en el precio del agua. Modelos de decisión multicriterio (\*)**

J. F. JIMÉNEZ BOLÍVAR (\*\*)

J. BERBEL VECINO (\*\*\*)

M. TORRICO HERRUZO (\*\*\*)

## **1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS**

Durante mucho tiempo el agua se ha considerado un bien abundante y de fácil reposición, de igual modo, en economía se le atribuía un valor nulo en el proceso de producción. En la actualidad, la situación es muy diferente y el agua no es un bien inagotable para las necesidades de muchas zonas del planeta, entre las que se encuentra España. En nuestro país los problemas de escasez de agua no provienen de una escasa dotación por habitante, sino por su irregular distribución espacial y temporal.

En la actualidad se debaten los efectos del establecimiento de un mercado de agua. Se trata de afrontar el problema de la escasez de agua no sólo mediante actuaciones desde el lado de la oferta –como se ha venido haciendo hasta ahora en España– sino también desde la demanda. Como en otros sectores económicos, existe una relación entre los precios y la curva de demanda de agua y ante incrementos del precio del agua cabe esperar reducciones en su consumo.

Por otro lado la Comisión Europea en la propuesta de Directiva Marco sobre políticas de agua presentada en febrero de 1997, y aprobada en febrero de 2000, muestra un especial interés en el estableci-

---

(\*) Los autores agradecen los valiosos comentarios recibidos de dos revisores anónimos, y la financiación del Proyecto del Plan Nacional I+D REN 2000-1079-C02-01 HID.

(\*\*) Profesor de procesos de producción agraria. Consejería de Educación y Ciencia. Junta de Andalucía.

(\*\*\*) Universidad de Córdoba. Departamento de Economía, Sociología y Política Agraria.

miento de tarifas del uso de agua para conseguir los objetivos ambientales para cada distrito de cuenca. Con esta medida se pretende la recuperación íntegra de todos los costes de los servicios correspondientes al uso del agua, en general y por sectores económicos, desglosándose al menos en hogares, industria y agricultura. La iniciativa de establecer un precio del agua surge como medida para evitar un despilfarro, aunque existen dudas sobre si ésta es una medida realmente efectiva. Por *precio del agua* se entendería lo que se va a pagar por su valor en sí, más el coste del derecho a mantener su uso (abastecimiento, depuración, recuperación de costes, etc.).

Aunque hoy día, España ha dejado de ser un país netamente agrícola es en este sector donde se produce un mayor consumo hídrico. Varios son los trabajos que se han realizado acerca de la influencia de una política de precios del agua en la agricultura y concretamente en aspectos tan significativos como el consumo del agua, la renta y el empleo. Pero pocos trabajos se centran en analizar la metodología empleada con aspectos tan importantes como la estructura de la propiedad.

Una de las variables que más influye en la toma de decisiones de una determinada comunidad es la estructura de la propiedad al influir ésta en los demás factores de producción como son trabajo y capital. En este trabajo se marca como objetivo determinar la influencia que tiene la estructura de la propiedad en aspectos metodológicos tan significativos como la influencia del riesgo en la toma de decisiones de los agricultores, que como se verá más adelante mejora significativamente la capacidad de predicción de la toma de decisiones reales. Existen otros objetivos que pueden tenerse en cuenta en los modelos de decisión aunque no se han considerado en este trabajo que pretende explorar la comparación entre dos zonas regables de características socio-económicas diferenciadas.

Con el fin de alcanzar este objetivo, se ha realizado un trabajo aplicado a dos comunidades de regantes de la vega del Genil: la Colectividad de Santaella perteneciente a la Comunidad de Regantes Genil-Cabra en la provincia de Córdoba y la Comunidad de Regantes Huetor Tajar y Villanueva de Mesía en la provincia de Granada, muy diferentes en cuanto a su estructura de la propiedad.

## 2. METODOLOGÍA

En el presente trabajo se han empleado dos metodologías, la metodología de programación lineal clásica que utiliza un único objetivo para la simulación de la toma de decisiones del agricultor, y la metodología multicriterio, que se caracteriza por el empleo de varios obje-

tivos, como pueden ser: la maximización del margen bruto, minimización del riesgo, minimización de la mano de obra ajena, minimización del capital circulante, etc.

A continuación se realiza una descripción de ambas metodologías aplicadas en capítulos posteriores a las dos zonas regables.

## 2.1. Metodología de programación lineal clásica

Un principio básicamente aceptado en la Teoría Económica es que el comportamiento de los empresarios se rige por la maximización del beneficio. En nuestro caso y en una primera aproximación, trataremos de modelizar los efectos de la tarificación del agua de riego teniendo como único objetivo la maximización del margen bruto por parte del agricultor. Con el fin de obtener el comportamiento de los agricultores en función de este único objetivo y poder comparar con la toma de decisiones de los agricultores en el supuesto de tomar como objetivo la aversión al riesgo.

Una vez escogido el objetivo, el método de optimización que se ha empleado es la programación matemática, caracterizada por abordar problemas en los que el optimizador se enfrenta a restricciones de desigualdad. Más concretamente, nos enfrentamos a un problema de programación lineal dado que la función objetivo, así como las restricciones de desigualdad son todas lineales.

La formulación general de un programa lineal con «n» variables de elección y «m» restricciones es la que sigue:

$$\begin{aligned} \text{Maximizar:} \quad & Z = \sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j \\ \text{sujeto a:} \quad & \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j \leq r_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \\ \text{y} \quad & x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{aligned}$$

Las variables de elección se denotan por  $x_j$  (con  $j=1, 2, \dots, n$ ), y sus coeficientes en la función objetivo por  $C_j$  (con  $j=1, 2, \dots, n$ ). Por otra parte, los símbolos  $r_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) representan las restricciones impuestas (Chiang, 1992).

Una explotación agrícola dispone normalmente de factores de producción tales como: superficie de cultivo, mano de obra y capital, que puede dedicar a numerosos cultivos. Cada factor puede ser aplicado en distintas posibilidades de producción, cuya asignación es decidida por el agricultor con el objeto de maximizar el beneficio.

En estos casos, la programación lineal constituye la forma idónea de modelizar el comportamiento de estos productores agrarios, de ahí que hayamos adoptado esta metodología.

## 2.2. Metodología multicriterio

La Teoría de Decisión Multicriterio (MCDM) aparece en la década de los setenta, y sustenta que los agentes económicos no optimizan sus decisiones según un solo objetivo, sino que por el contrario pretenden buscar un equilibrio o compromiso entre un conjunto de objetivos usualmente en conflicto o bien pretenden satisfacer en la medida de lo posible una serie de metas asociadas a dichos objetivos (Romero, 1993).

El sector agrario no es una excepción y el agricultor como centro decisor plantea una serie de objetivos en su mayoría incompatibles entre sí como: maximización del beneficio, minimización del riesgo, minimización de la complejidad de gestión, etc.

Entre las distintas técnicas de la teoría de decisión multicriterio existentes, este trabajo se centra en la programación por metas ponderadas.

### 2.2.1. Programación por Metas

La programación por metas (GP) implica decidir en un contexto de metas múltiples. El centro decisor intenta que un conjunto de metas se alcancen por el sistema todo lo posible a unos niveles de aspiración fijados de antemano.

Este tipo de optimización se aborda por medio de la minimización de las desviaciones entre los logros realmente alcanzados y los niveles de aspiración fijados previamente. Con tal propósito se introducen variables de desviación positivas y negativas, que permiten tanto el exceso como la falta de logro para cada meta.

#### *Programación por metas ponderadas (WGP)*

Mediante este método se trata de hallar la solución al problema decisonal abordado por programación por metas, de forma intuitiva mediante la minimización de la suma de las variables de desviación no deseadas:

$$\text{MIN } p_i + \dots + p_k + n_j + \dots + n_l$$

donde:

$p_i, \dots, p_k$  = Variables de desviación positiva.

$n_j, \dots, n_l$  = Variables de desviación negativa.

La expresión anterior posee el inconveniente de sumar variables de desviación medidas en unidades diferentes, por lo que su suma carece de significado. Es necesario por tanto proceder a la normalización de las variables. Esta normalización podría consistir en minimizar las desviaciones porcentuales en lugar de las absolutas.

Si además el centro decisor decidiera dar más valor al logro de determinadas metas, esto podría resolverse multiplicando las variables de desviación por un coeficiente ( $w_i$ ) que ponderara la importancia relativa que el centro decisor asigna a la realización de cada meta.

La expresión quedaría de la siguiente forma:

$$\text{MIN } W_i p'_i + \dots + W_k p'_k + W_j n'_j + \dots + W_l n'_l$$

sujeto a:

$$F(X) + N - P = T$$

donde:

$W_i$  = Coeficiente ponderador de la meta "i".

$p'_i$  = Variable de desviación positiva "i" normalizada.

$n'_j$  = Variable de desviación negativa "j" normalizada.

$F(X)$  = Conjunto de objetivos del modelo.

$N_i$  = Conjunto de desviaciones negativas para cada objetivo del modelo.

$P_i$  = Conjunto de desviaciones positivas para cada objetivo del modelo.

$T_i$  = Conjunto de niveles de aspiración para cada objetivo.

### 2.2.2. Función de utilidad

Una vez planteados los objetivos tenemos principalmente dos formas de abordar la construcción de un modelo de toma de decisiones: En primer lugar, la opción más rigurosa, consiste en definir la función de utilidad teniendo en cuenta todos los objetivos relevantes para un problema de decisión dado. Este tipo de metodología se conoce como Teoría de Utilidad Multiatributo (Multi-attribute Utility Theory). La Teoría de Utilidad Multiatributo (MAUT), es una aproximación teórica sólida basada en los supuestos de racionalidad que subyacen al paradigma de la utilidad esperada, un trabajo de Berbel (1990) analiza las implicaciones de este análisis en la incorporación del riesgo como segundo atributo, y el libro de Romero (1993) da una revisión muy completa de este tema. La aplicación de esta metodología al campo de la agricultura plantea muchas dificultades. El

mayor problema que plantea MAUT recae en el alto nivel de interacciones con el centro decisor que esta metodología requiere. Este problema se acentúa aun más en el caso de la agricultura donde el trasfondo cultural del centro decisor no es frecuentemente el más idóneo para llevar a cabo este proceso interactivo.

Berbel y Gómez-Limón (2000) proponen un acercamiento multicriterio sin la solidez teórica de MAUT para el caso concreto que nos ocupa, que consigue una mejor aplicabilidad al campo de la agricultura y que puede considerar de manera real los múltiples criterios inherentes en la mayoría de los problemas de planificación agrícola. La aproximación propuesta al problema no requiere ningún tipo de interacción con el centro decisor, pero precisa un conocimiento del comportamiento actual seguido por el agricultor, es decir, intenta obtener una función de utilidad de acuerdo con los valores observados en la realidad.

Una desventaja de esta metodología, radica en que valores observados en la realidad, pueden estar distorsionados por factores fuera del control del agricultor.

Para hallar la función de utilidad, se procede del siguiente modo:

Lo primero es tratar de hallar los pesos ( $W_i$ ) que el agricultor da a cada uno de sus objetivos. Los mejores pesos serán aquellos compatibles con las preferencias mostradas por los agricultores analizados.

La notación empleada es la siguiente:

$X$  = Variables de decisión.

$F$  = Restricciones del modelo.

$f_i(x)$  = Expresión matemática del objetivo «i».

$W_i$  = Peso de la importancia relativa del objetivo «i».

$f_i^*$  = Valor ideal del objetivo «i».

$f_{*i}$  = Valor anti-ideal del objetivo «i».

$f_{ij}$  = Valor alcanzado por el objetivo «i» cuando el objetivo «j» está optimizado.

$n_i$  = Desviación negativa del objetivo «i».

$p_i$  = Desviación positiva del objetivo «i».

El primer paso una vez definidos los objetivos es la determinación de la *matriz de pagos* para éstos. Esta matriz está formada por los valores que cada objetivo optimizado independientemente alcanza para sí mismo y para el resto de objetivos relevantes. La diagonal principal de dicha matriz forma lo que llamamos «ideal» es decir un punto

generalmente inalcanzable que se define por los mejores valores para cada objetivo. Por contraposición, el punto formado por los valores  $f_{ij}$  que son los peores para cada objetivo «i» define lo que denominamos «antiideal».

Una vez obtenida la matriz de pagos formamos el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^q W_j f_{ij} &= f_i \quad i = 1, 2, \dots, q \\ \sum_{j=1}^q W_j &= 1 \end{aligned} \quad (1)$$

Donde recordemos que  $f_i$  es valor real observado del objetivo «i». La última igualdad no es esencial, introduciéndose solo para normalizar los pesos.

Si el sistema de ecuaciones anteriores tiene una solución no negativa, la «W» calculada representará los pesos aplicados a cada objetivo. En la mayoría de los casos, del sistema anterior no obtenemos una solución exacta, es decir no existe un conjunto de pesos capaces de reproducir las preferencias del agricultor. Es decir la solución exacta para (1) no existe.

Para hallar la solución más cercana posible, se procede a la minimización de las desviaciones correspondientes. Para llevar a cabo lo anterior, se procede minimizando la suma de las variables negativas y positivas.

Esto puede ser formulado en términos de programación por metas como sigue:

$$\text{Min}_{i=1}^q \frac{n_i + p_i}{f_i} \sqrt{\quad} \quad (2)$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^q W_j f_{ij} + n_i + p_i &= f_i \quad \dots \quad i = 1, 2, \dots, q \\ \sum_{j=1}^q W_j &= 1 \end{aligned}$$

De lo anterior es importante remarcar que la programación por metas no se utiliza aquí como un acercamiento a la satisfacción de un problema decisional. Por otro lado los valores situados a la derecha de la igualdad no representan realmente niveles de aspiración. En este caso, la programación por metas se utiliza como un instrumen-



to matemático para aproximarnos a la solución del sistema de ecuaciones [1], donde « $f_i$ » representa los valores alcanzados en la realidad por los objetivos.

### 3. ELABORACIÓN DEL MODELO

#### 3.1. Descripción de las zonas de estudio

En el presente estudio, se han seleccionado dos zonas regables (ZR) de la Vega del Genil: la *Colectividad de Santaella*, perteneciente a la Comunidad de Regantes (CR) Genil-Cabra situada al Sudoeste de la provincia de Córdoba, y la *Comunidad de Regantes Huetor Tajar y Villanueva de Mesía*, perteneciente a la Vega de Granada y situada al Oeste de esta provincia. Muy diferentes en cuanto a la estructura de la propiedad.

Las dos ZR escogidas para su análisis mantienen muchas diferencias entre sí principalmente por su grado de modernidad en cuanto a instalaciones, gestión de riego, técnicas de cultivo etc., y por pertenecer a dos comarcas con distinta tradición agrícola, la campiña de Córdoba en el caso de la Colectividad de Santaella, y la Vega de Granada comarca en que se sitúa la CR Huetor Tajar y Villanueva de Mesía. A lo largo de este capítulo se describen otras diferencias y características importantes de ambas zonas.

##### 3.1.1. ZR Colectividad de Santaella

La Colectividad de Santaella ocupa 6.925 ha de las 37.010 ha útiles para riego que posee en la actualidad la CR Genil-Cabra. Esta superficie pertenece al inicio de la 2ª Fase de la puesta en riego de la CR y engloba los sectores VIII al XI de la misma. La ZR Colectividad de Santaella pertenece en su totalidad al término municipal de Santaella y su altura esta comprendida entre los 200 y los 270 metros sobre el nivel del mar.

La colectividad de Santaella engloba a 590 comuneros y 783 parcelas repartidas en 83 agrupaciones. La superficie y número de parcelas se distribuye de la siguiente forma según el cuadro 1.

Del cuadro 1 se deduce que siendo la superficie media de las parcelas de 8,8 ha, la parcela más representativa, con mayor porcentaje de superficie ocupada es la comprendida entre 10 y 20 ha y la más numerosa la parcela menor de 5 ha.

Cuadro 1

## ESTRUCTURA DE LA PROPIEDAD DE LA COLECTIVIDAD DE REGANTES DE SANTAELLA

Tamaño (ha)	N.º parcelas	Total (ha)	% N.º parcelas	% Superficie
0-5	466	953	59,44	13,76
5-10	132	879	16,84	12,69
10-20	116	1.731	14,70	25,00
20-50	47	1.460	5,99	21,08
50-100	19	1.290	2,42	18,3
> 100	3	607	0,38	8,76

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de la CR Genil-Cabra.

## 3.1.2. ZR Huétor Tajar y Villanueva de Mesía

La Comunidad de Regantes del Canal de Huétor Tajar y Villanueva de Mesía se sitúa en la comarca de la Vega de Granada y tiene una superficie de 1.512 ha. Su altura está comprendida entre los 450 y 530 m sobre el nivel del mar. El agua de riego procede del río Genil y de los arroyos Milanos y Guantero. La ZR abarca los municipios de Huétor Tajar, Villanueva de Mesía y Loja.

Las 1.512 ha de superficie cultivable se distribuyen entre 900 comuneros y más de 2.500 parcelas. La distribución de las explotaciones es la que sigue:

Cuadro 2

## ESTRUCTURA DE LA PROPIEDAD. CR HUETOR TAJAR Y VILLANUEVA DE MESIA

Tamaño (ha)	Total superficies (ha)	Porcentaje de superficies
0-5	756	50%
5-10	529	35%
10-70	227	15%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Comunidad de Regantes.

Las superficies que más se repiten varían entre 1 y 3 aranzadas (1 aranzada = 3.757 m<sup>2</sup>) siendo la parcela más común de 2 aranzadas (0,75 ha).

### 3.2. Datos de partida

Para la obtención de los datos se ha recurrido a fuentes primarias (entrevistas a técnicos y agricultores de ambas comunidades de regantes), y a fuentes secundarias (anuarios y boletines estadísticos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía).

Otras fuentes consultadas son el Centro de Investigación y Formación Agraria (C.I.F.A.) de Córdoba, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (C.H.G.), Delegación Provincial de la Consejería de Agricultura y Pesca de Andalucía, en Córdoba, Instituto de Agricultura Sostenible de Córdoba, así como diferentes asociaciones agrarias de las provincias de Córdoba y Granada.

Se han analizado los cultivos que presentan un porcentaje representativo de superficie cultivada, considerados alternativas de cultivo para cada zona en el corto plazo.

Basándonos en las series históricas de distribución de cultivos de cada zona, se llegó a la siguiente elección:

*ZR de Santaella:* Ajo, Algodón, Remolacha, Trigo Duro, Trigo Blando, Girasol, Maíz y Espárrago.

*ZR de Huetor Tajar y Villanueva de Mesía:* Cebolla, Alfalfa, Patata, Trigo Duro, Trigo Blando, Girasol, Maíz y Espárrago.

Se contempla la posibilidad de aplicar riegos deficitarios a los diferentes cultivos. Para diferenciar los cultivos según el riego aplicado, se ha añadido al nombre del cultivo un número que indica la cantidad de agua en miles de metros cúbicos por hectárea aplicados al mismo.

Los datos necesarios referentes a: rendimientos, precio, subvenciones e ingresos se muestran en los cuadros 3 y 4.

Los costes variables y el margen bruto de cada cultivo se muestran en los cuadros 5 y 6.

Puede observarse que no toda la subvención dada a la superficie de retirada supone una renta del agricultor ya que este está obligado a realizar labores culturales que suponen el coste variable recogido en las tablas anteriores.

## Cuadro 3

RIEGO APLICADO, RENDIMIENTOS, PRECIOS, SUBVENCIONES E INGRESOS TOTALES.  
ZR SANTAELLA

Cultivos	Riego aplicado (m <sup>3</sup> /ha)	Rendimientos (kg/ha)	Precios (pta/kg)	Subvenciones (pta/ha)	Ingresos totales
Ajos 3,5	3.500	11.500	105	—	1.207.500
Ajos 2,5	2.500	8.250	105	—	866.250
Algodón 5,5	5.500	3.600	150	—	540.000
Algodón 4,5	4.500	3.071	150	—	460.650
Algodón 3,5	3.500	2.544	150	—	381.600
Remolacha 4	4.000	57.000	8	—	456.000
Remolacha 3	3.000	46.333	8	—	370.664
Remolacha 2	2.000	35.667	8	—	285.336
Trigo D 2,5	2.500	4.900	27	101.528	233.828
Trigo D 0	0	3.250	27	101.528	189.278
Trigo B 2,5	2.500	5.000	28	41.163	181.163
Trigo B 0	0	3.300	28	41.163	133.563
Girasol 1,6	1.600	2.300	35	96.770	177.270
Girasol 0	0	1.200	35	96.770	138.770
Espárrago 3	3.000	4.375	350	—	1.531.250
Espárrago 2	2.000	3.390	350	—	1.186.500
Maíz 8,5	8.500	12.000	24	71.143	359.143
Maíz 7,5	7.500	9.788	24	71.143	306.055
Maíz 6,5	6.500	7.585	24	71.143	253.185
Retirada	—	—	—	70.678	70.678

Fuente: Elaboración propia.

## 4. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA. ELABORACION DEL MODELO

### 4.1. Metodología clásica

Para ambas zonas regables adoptaremos un modelo en el cual se maximiza el margen bruto (renta del agricultor), siendo la superficie dedicada a los diferentes cultivos las variables de decisión. Para completar los modelos se asignarán a los cultivos una serie de restricciones.

**La función objetivo** que vamos a maximizar equivale al sumatorio de los productos del margen bruto para cada cultivo por la superficie sembrada del mismo (variable de decisión). La función se expresa del modo siguiente:

$$\text{Maximizar: MB} \dots \text{MB}_i \leftrightarrow X_i$$

**Cuadro 4**

**RIEGO APLICADO, RENDIMIENTOS, PRECIOS, SUBVENCIONES E INGRESOS TOTALES.  
ZR HUETOR TAJAR Y VILLANUEVA DE MESIA**

Cultivos	Riego aplicado (m³/ha)	Rendimientos (kg/ha)	Precios (pta/kg)	Subvenciones (pta/ha)	Ingresos totales
Cebolla 7,5	7.500	45.000	30	—	1.350.000
Cebolla 6,5	6.500	39.166	30	—	1.174.980
Cebolla 5,5	5.500	33.333	30	—	999.990
Alfalfa 5,5	5.500	17.625	21	—	370.125
Alfalfa 4,5	4.500	16.029	21	—	336.609
Alfalfa 3,5	3.500	14.432	21	—	303.072
Patata 4	4.000	21.000	30	—	630.000
Patata 3	3.000	15.445	30	—	463.350
Patata 2	2.000	9.891	30	—	296.730
Trigo D 3	3.000	5.500	24	87.176	219.176
Trigo D 0	0	3.500	24	87.176	171.176
Trigo B 3	3.000	5.600	25	27.442	167.442
Trigo B 0	0	3.600	25	27.442	117.442
Girasol 1,5	1.500	2.400	35	71.387	155.387
Girasol 0	0	1.400	35	71.387	120.987
Espárrago 0,7	700	4.111	300	—	1.233.300
Maíz 7	7.000	12.000	22	71.182	335.182
Maíz 6	6.000	9.958	22	71.182	290.258
Maíz 5	5.000	7.916	22	71.182	245.334
Retirada	—	—	—	52.139	52.139

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 5**

**COSTES VARIABLES Y MARGEN BRUTO POR SUPERFICIE DE CULTIVO Y RETIRADA.  
COLECTIVIDAD DE SANTAELLA**

Cultivo	Ingresos totales (pta/ha)	Costes variables (pta/ha)	Margen bruto (pta/ha)
Ajo 3,5	1.207.500	591.878	615.622
Algodón 5,5	540.000	271.730	268.270
Remolacha 4	456.000	270.305	185.695
Trigo D 2,5	233.828	83.122	150.706
Trigo B 2,5	181.163	83.272	97.891
Girasol 1,6	177.270	71.233	106.037
Maíz 8,5	359.143	172.044	187.099
Espárrago 3	1.531.250	902.170	629.080
Retirada	70.678	23.054	47.624

Fuente: Elaboración propia.

## Cuadro 6

**COSTES VARIABLES Y MARGEN BRUTO POR SUPERFICIE DE CULTIVO Y RETIRADA.  
CC.RR HUETOR TAJAR Y VILLANUEVA DE MESÍA**

Cultivo	Ingresos totales (pta/ha)	Costes variables (pta/ha)	Margen bruto (pta/ha)
Cebolla 7,5	1.350.000	811.022	538.978
Alfalfa 5,5	370.125	271.779	98.346
Patata 4	630.000	471.869	158.131
Trigo Duro 3	219.176	115.977	103.199
Trigo Blando 3	167.442	115.977	51.465
Girasol 1,5	155.387	81.835	73.552
Maíz 7	335.182	223.629	111.553
Espárrago 0,7	1.233.300	554.819	678.481
Retirada	52.139	22.860	29.279

Fuente: Elaboración propia.

$MB_i$  = Margen Bruto por hectárea del cultivo  $i$ .

$X$  = Superficie del cultivo  $i$  (hectáreas).

**Las variables** consideradas son las superficies destinadas a los cultivos.

### ZR SANTAELLA

$X_{1,1}$  = Sup. de Ajo 3,5

$X_{1,2}$  = Sup. de Ajo 2,5

$X_{2,1}$  = Sup. de Algodón 5,5

$X_{2,2}$  = Sup. de Algodón 4,5

$X_{2,3}$  = Sup. de Algodón 3,5

$X_{3,1}$  = Sup. de Remolacha 4

$X_{3,2}$  = Sup. de Remolacha 3

$X_{3,3}$  = Sup. de Remolacha 2

$X_{4,1}$  = Sup. de Trigo Duro 2,5

$X_{4,2}$  = Sup. de Trigo Duro 0

$X_{5,1}$  = Sup. de Trigo Blando 2,5

$X_{5,2}$  = Sup. de Trigo Blando 0

$X_{6,1}$  = Sup. de Girasol 1,6

$X_{6,2}$  = Sup. de Girasol 0

$X_{7,1}$  = Sup. de Maíz 8,5

$X_{7,2}$  = Sup. de Maíz 7,5

$X_{7,3}$  = Sup. de Maíz 6,5

$X_{8,1}$  = Sup. de Espárrago 3

$X_{8,2}$  = Sup. de Espárrago 2

$R$  = Superficie de Retirada.

### ZR HUETOR TAJAR Y VILLANUEVA DE MESÍA

$X_{1,1}$  = Sup. de Cebolla 7,5

$X_{1,2}$  = Sup. de Cebolla 6,5

$X_{1,3}$  = Sup. de Cebolla 5,5

$X_{2,1}$  = Sup. de Alfalfa 5,5

$X_{2,2}$  = Sup. de Alfalfa 4,5

$X_{2,3}$  = Sup. de Alfalfa 3,5

$X_{3,1}$ = Sup. de Patata 4	$X_{6,1}$ = Sup. de Girasol 1,5
$X_{3,2}$ = Sup. de Patata 3	$X_{6,2}$ = Sup. de Girasol 0
$X_{3,3}$ = Sup. de Patata 2	$X_{7,1}$ = Sup. de Maíz 7
$X_{4,1}$ = Sup. de Trigo Duro 3	$X_{7,2}$ = Sup. de Maíz 6
$X_{4,2}$ = Sup. de Trigo Duro 0	$X_{7,3}$ = Sup. de Maíz 5
$X_{5,1}$ = Sup. de Trigo Blando 3	$X_{8,1}$ = Sup. de Espárrago 0,7
$X_{5,2}$ = Sup. de Trigo Blando 0	R = Superficie de Retirada.

#### 4.1.1. Restricciones al modelo

Utilización de la superficie total. Se considera que la superficie útil de todos los cultivos es igual a cien hectáreas. Con esta restricción se pretende que la salida del modelo (superficie dedicada a cada cultivo) se obtenga de forma porcentual. Hay que hacer constar que debido a que las políticas agrarias obligan a una retirada del cultivo, esta retirada forzosa se contabiliza como una superficie más (R), que es incluida en la restricción de la superficie total. Por otra parte hay que permitir un abanico de soluciones en cuanto a la distribución de cultivos incluido el hecho de que se deje parte de la superficie sin cultivar, al ser esta una decisión tomada por los agricultores ante la escasez de agua. Por esta razón la superficie total de los cultivos puede ser inferior a cien hectáreas. La restricción quedaría de la siguiente forma, teniendo en cuenta que la superficie de retirada depende de los cultivos COP que se planifiquen.

$$x_i + R \leq 100$$

Limitaciones de la Política Agraria Común (PAC). La UE ejerce una gran influencia sobre el sector agrario de los países miembros, la Política Agraria Común (PAC) define las pautas de intervención realizadas sobre este sector. Estas políticas restringen de forma directa en muchos casos las superficies designadas a los diferentes cultivos objeto de las mismas. Las restricciones que afectan a los diferentes cultivos de las zonas estudiadas son las siguientes:

La superficie sembrada de girasol ha de ser menor o igual al cincuenta por ciento de la superficie de cultivos COP (1) (en los que se ha incluido la superficie de retirada). Las restricciones impuestas para cada modelo son:

---

(1) Siglas correspondientes a Cereales, Oleaginosas y Proteaginosas. En el modelo: trigo, girasol y maíz.

- *ZR Santaella*. Superficie de Girasol:

$$X_{61}+X_{62} \leq \frac{50}{100} \times (X_{41}+X_{42}+X_{51}+X_{52}+X_{61}+X_{62}+X_{71}+X_{72}+X_{73}+R)$$

- *ZR Hueter Tajar y Villanueva de Mesía*. Superficie de Girasol:

$$X_{61}+X_{62} \leq \frac{50}{100} \times (X_{41}+X_{42}+X_{51}+X_{52}+X_{61}+X_{62}+X_{71}+X_{72}+X_{73}+R)$$

La superficie de trigo duro con derecho a subvención más el suplemento de trigo duro está limitada y ha sido calculada en porcentaje sobre la superficie existente con cupo de trigo duro en la ZR:

- *ZR Santaella*. Superficie de Trigo Duro:

$$X_{41}+X_{42} \leq 47,27$$

- *ZR Hueter Tajar y Villanueva de Mesía*. Superficie de Trigo Duro:

$$X_{41}+X_{42} \leq 11,9$$

La remolacha posee un cupo de producción (este cupo es repartido por azucareras) lo que restringe la superficie sembrada por comunidades autónomas. Para limitar este cupo se considera que la superficie máxima sembrada de remolacha no puede exceder a la máxima histórica, para lo cual consideramos el periodo 1991-1998.

Para la zona regable de Santaella la restricción es la que sigue:  
Superficie de remolacha:

$$X_{31} + X_{32} + X_{32} \leq 7,76$$

La PAC establece una retirada de cultivo, esta es obligatoria y en el modelo se contabiliza como una superficie más (R), por lo que está incluida en la restricción previa de superficie total.

La retirada ha de ser forzosamente igual o superior al cinco por ciento (2) de la suma de las superficies ocupadas por cultivos COP, y sólo tienen acceso a los pagos compensatorios de ayudas a superficie las superficies inferiores al quince por ciento de cultivos COP. Las restricciones impuestas a los modelos se describen a continuación:

---

(2) Este porcentaje es el correspondiente a la campaña agrícola 1998/99, pudiendo variar según los dictámenes de la PAC para otras campañas.



- *ZR Santaella*. Superficie de Retirada:

$$R \geq \frac{5}{100} \times (X_{41} + X_{42} + X_{51} + X_{52} + X_{61} + X_{62} + X_{71} + X_{72} + X_{73})$$

$$R \leq \frac{15}{100} \times (X_{41} + X_{42} + X_{51} + X_{52} + X_{61} + X_{62} + X_{71} + X_{72} + X_{73})$$

- *ZR Huetor Tajar y Villanueva de Mesía*. Superficie de Retirada:

$$R \geq \frac{5}{100} \times (X_{41} + X_{42} + X_{51} + X_{52} + X_{61} + X_{62} + X_{71} + X_{72} + X_{73})$$

$$R \leq \frac{50}{100} \times (X_{41} + X_{42} + X_{51} + X_{52} + X_{61} + X_{62} + X_{71} + X_{72} + X_{73})$$

Limitaciones de mercado y limitaciones tradicionales. El mercado pone limitaciones en cuanto a la capacidad de comercialización, haciendo inviable una superproducción de determinados cultivos. Esta circunstancia determina la necesidad de incorporar limitaciones de superficie máxima a estos cultivos. Este tipo de limitación se ha introducido únicamente a productos hortícolas y especulativos, consistente en una limitación de la superficie a la máxima histórica. Para cada zona regable las restricciones impuestas a cada cultivo son las siguientes:

- *ZR Santaella*

$$\text{Superficie de ajo: } X_{11} + X_{12} \leq 14,05$$

$$\text{Superficie de algodón: } X_{21} + X_{22} + X_{23} \leq 18,32$$

$$\text{Superficie de maíz: } X_{71} + X_{72} + X_{73} \leq 4,06$$

$$\text{Superficie de espárrago: } X_{81} + X_{82} \leq 3$$

- *ZR Huetor Tajar y Villanueva de Mesía*

$$\text{Superficie de cebolla: } X_{11} + X_{12} + X_{13} \leq 13,20$$

$$\text{Superficie de alfalfa: } X_{21} + X_{22} + X_{23} \leq 13,26$$

$$\text{Superficie de patatas: } X_{31} + X_{32} + X_{33} \leq 7,29$$

$$\text{Superficie de espárrago: } X_{81} \leq 45,56$$

Sucesión y frecuencia de cultivos. Las limitaciones relativas a sucesión y frecuencia de cultivos, dependen en parte de las costumbres y cultivos de cada zona y van dirigidas a evitar problemas de agotamiento de suelos, desarrollo de determinadas enfermedades en los cultivos y otras complicaciones de tipo agronómico.

Una regla agronómica bien conocida, aconseja que un mismo cultivo no se repita todos los años en la misma parcela, pues de otro modo los rendimientos decaen. Si un cultivo  $C_i$  permanece plantado  $m$  años, dejando luego descansar durante otros  $n$  años la tierra que le llevó, hay que imponer en la programación lineal de cultivos esta restricción:

$$X_i \leq \frac{m}{m+n} \cdot h$$

(Ballester, 1992)

donde:

$X_i$  = superficie dedicada al cultivo  $C_i$

$h$  = superficie cultivada total.

En este sentido se han formulado las siguientes restricciones:

• *ZR. Santaella*

$$\text{Superficie de trigo: } X_{41} + X_{42} + X_{51} + X_{52} \leq 0,5^*$$

• *ZR Hueter Tajar y Villanueva de Mesía*

$$\text{Superficie de trigo: } X_{41} + X_{42} + X_{51} + X_{52} \leq 50^*$$

$$\text{Superficie de alfalfa: } X_{21} + X_{22} + X_{23} \leq 57,14^{**}$$

Restricciones de no negatividad. Las variables  $X_i$  representan valores de las superficies ocupadas por un determinado cultivo, éstos por tanto no pueden ser inferiores a 0. En los dos modelos la restricción añadida es:

$$X_{ij} \geq 0 \quad \text{para todo } i, j$$

Una vez planteado el modelo, la operativa para simular el comportamiento de los agricultores será parametrizar el valor del agua de riego, comenzando por el precio cero ptas/m<sup>3</sup>, tal y como es actualmente. Este precio se irá incrementando progresivamente, incorporándolo como un coste variable del cultivo, calculando para cada precio el plan de cultivo eficiente, y con ello el consumo de agua, el margen bruto, empleo directo, etc.

---

(\*)  $50 = \frac{1}{1+1} \leftarrow 100$

(\*\*)  $57,14 = 443 \leftarrow 100$

## 2. METODOLOGÍA MULTICRITERIO

En el trabajo se aplicaron varios objetivos, pero tras varios intentos (ver Torrico, 1999) sólo resultaron significativos margen bruto y riesgo, que a continuación pasan a ser la base del modelo. En este intento de mejorar los sistemas de predicción de toma de decisiones tendremos en cuenta la optimización del *margen bruto* (maximizar) y el *riesgo* (minimizar) como los objetivos considerados por el productor a la hora de planificar la actividad productiva de su explotación (Berbel y Gómez-Limón, 1995 y Berbel et al., 1999)

La función de maximización del MB equivale a la suma del valor de cada una de las variables de decisión  $X_i$  (superficie del cultivo) multiplicada por el MB de cada cultivo ( $M_i$ ).

La expresión de la función a maximizar es:

$$\text{Maximizar: MB} \equiv \sum MB_i \times X_i \quad (3)$$

El riesgo juega un destacado papel en la producción agraria debido principalmente a las fluctuaciones de precios y rendimientos. De tal forma que predecir los ingresos que podrá generar un plan de cultivos es una tarea difícil y de poca precisión. Dentro de este contexto en que nos movemos, toda decisión (plan de cultivos) depende de la actitud del centro decisor frente al riesgo. Esta se fijará por tanto, no considerando tan solo el beneficio que genera un plan de cultivos determinado, sino que también se tendrá en cuenta el grado de seguridad que genera. Por consecuencia, el riesgo está incorporado a los modelos de planificación agrícola.

El empresario agrícola se mueve en un contexto de riesgo, ya que aunque a priori no conozca el resultado que obtendrá en sus cosechas, sí conoce la probabilidad de que éstas sean o no abundantes. De ahí, que en nuestro caso consideremos el riesgo del agricultor de obtener un margen bruto inferior a la media observada de un periodo anterior. El riesgo se estimará mediante el método del MOTAD, siendo el MOTAD la suma de las desviaciones negativas por debajo de la media.

Se ha tomado un periodo de cinco años (1994-1998, ver cuadros 8.5 y 8.6), durante el cual para cada año las desviaciones del margen bruto pueden expresarse de la siguiente forma:

$$\sum X_i \times (MB_{ij} - MB_i) + n_j - p_j = 0 \quad \text{para cada año } j \quad (4)$$

siendo:

$MB_{ij}$  = margen bruto del cultivo «i», el año «j».

$MB_i$  = margen bruto medio del cultivo «i» para los años de referencia.

$n_j$  = desviación negativa por debajo de la media.

$p_j$  = desviación positiva por encima de la media.

Sin embargo, Hazell (1971) demuestra que es suficiente con minimizar las desviaciones por debajo de la media ( $n_j$ ). Por tanto la expresión de las desviaciones del margen bruto podemos aplicarla al modelo con una expresión como sigue:

$$n_j = \text{MOTAD} \quad (5)$$

El siguiente paso una vez se han definido los objetivos es la obtención de la matriz de pagos. Esta nos permitirá cuantificar el nivel de conflicto existente entre los objetivos que estamos considerando.

Denominando MB a la función del margen bruto y MOTAD a la expresión utilizada para estimar el riesgo, la matriz de pagos se expresa como:

Matriz de Pagos		
	MB	MOTAD
MB	$mb^*$	$motad$
MOTAD	$mb$	$motad^*$

donde:

$mb^*$  = Valor del margen bruto máximo.

$mb$  = Valor del margen bruto para el mínimo MOTAD.

$motad^*$  = Valor del mínimo MOTAD.

$motad$  = Valor del MOTAD para el margen bruto máximo.

A continuación, definidos los objetivos y obtenida la matriz de pagos estamos en condiciones de formar el sistema de ecuaciones siguiente, que nos conducirá a la obtención de las ponderaciones de cada objetivo:

$$\begin{vmatrix} mb^* & mb \\ motad & motad^* \end{vmatrix} \begin{vmatrix} W_1 \\ W_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} mb_r \\ motad_r \end{vmatrix} \quad (7)$$

donde:

$mb^*$  = Valor del margen bruto máximo.

$mb$  = Valor del margen bruto para el mínimo MOTAD.

$\text{motad}^* =$  Valor del mínimo MOTAD.

$\text{motad} =$  Valor del MOTAD para el margen bruto máximo.

$W_1 =$  Peso de importancia del margen bruto.

$W_2 =$  Peso de importancia del MOTAD.

$\text{mb}_r =$  Valor observado en la realidad del margen bruto.

$\text{motad}_r =$  Valor calculado en la realidad del MOTAD.

Si este sistema tiene solución no negativa, representará el conjunto de pesos que tiene cada uno de los objetivos en la realidad. Sin embargo, la mayoría de las veces, no existe solución exacta; en otras palabras, no existe un conjunto de pesos  $W_1, W_2$  realmente capacitado para representar el comportamiento real de los productores. En estos casos habrá que buscar la mejor solución mediante la resolución del siguiente programa lineal (Amador *et al.* 1998):

$$\text{Minimizar: } \frac{n_1 + p_1}{\text{mb}_r} + \frac{n_2 + p_2}{\text{motad}_r} \quad (8)$$

sujeto a:

$$\begin{aligned} W_1 \text{mb}^* + W_2 \text{mb} + n_1 - p_1 &= \text{mb}_r \\ W_1 \text{motad} + W_2 \text{motad}^* + n_2 - p_2 &= \text{motad}_r \\ W_1 + W_2 &= 1 \end{aligned}$$

donde:

$n_1, n_2 =$  desviaciones negativas respecto a la media para cada objetivo.

$p_1, p_2 =$  desviaciones positivas respecto a la media para cada objetivo.

La metodología seguida hasta el momento se resume en los siguientes pasos:

1. Establecimiento de los objetivos que creemos más importantes para los agricultores de la zona de estudio.
2. Determinación de la matriz de pagos para los objetivos anteriores.
3. Con la matriz de pagos obtenida resolver el modelo planteado para la Metodología Decisional Multicriterio.

Una vez conocidas las ponderaciones ( $W_1, W_2$ ) para cada objetivo, podemos calcular la función de utilidad subrogada ( $U$ ), del conjunto de agricultores analizado de cada comunidad de regantes. No pretendemos que esta función de utilidad se tome en su sentido estricto.

to, ya que los agricultores si bien son bastante homogéneos, no podemos afirmar que el modelo esté exento de problemas de agregación, otros autores ha calculado esta función bien a partir de agricultores individuales (Amador et al, 1998) o bien a partir de una clasificación previa con métodos como 'cluster' como Berbel & Rodríguez, (1998). No es nuestro caso, por lo que la siguiente expresión será la que el conjunto de agricultores tratará de maximizar en la toma de decisiones *a efectos de simular medidas de política agraria con un mayor grado de realismo*.

$$\text{Maximizar: } U = W_1 MB - W_2 \text{MOTAD}$$

donde el signo negativo de  $W_2$  es debido a la minimización del MOTAD.

A partir de esta función de utilidad, que se hallará para cada zona regable, podremos realizar la simulación con precios crecientes del agua de riego. Efectivamente, para los distintos escenarios de precios del agua que plantearemos, consideraremos que el productor agrícola responderá siempre tomando las decisiones (plan de cultivos) que maximicen la función de utilidad. Así podremos determinar la curva de demanda de este recurso natural, y todo lo que ello conlleve: renta agraria, recaudación estatal, empleo generado, ingresos totales y consumo energético.

**Los dos objetivos** considerados en el modelo descritos se enuncian a continuación:

Maximización del Margen Bruto:

$$\text{Maximizar: } MB \equiv \sum MB_i \times X_i$$

Minimizar MOTAD:

$$\text{Minimizar: } \text{MOTAD} \equiv \sum n_j$$

**Las variables de decisión** son las superficies ocupadas por los diferentes cultivos.

**Las restricciones utilizadas** en el modelo son las mismas que las empleadas para el modelo clásico para ambas comunidades de regantes.

A continuación, se detallan los resultados del cálculo de la matriz de pagos (expresión (6)), para cada zona regable. Junto a la matriz de pagos se incluyen los valores de MB y MOTAD observados para la realidad, es decir los correspondientes a la distribución cultivos y márgenes brutos medios de cada zona.

## - ZR Santaella

**Tabla 6. Matriz de Pagos. Santaella**

	MB	MOTAD
MB	25.205.180	9.437.012
MOTAD	12.808.255	3.609.994
Realidad	20.906.357	8.474.492

Punto ideal: (25.205.180, 3.609.994)

Punto anti-ideal: (9.437.012, 12.808.255)

**Tabla 7. Matriz de Pagos. Huetor Tajar y V.M.**

	MB	MOTAD
MB	42.686.148	18.648.151
MOTAD	13.691.822	0
Realidad	39.814.888	17.512.160

Punto ideal: (42.686.148, 0)

Punto anti-ideal: (13.691.822, 18.648.151)

El programa informático utilizado para el cálculo de la matriz de pagos es la aplicación *Solver* incluida en la hoja de cálculo *Excel* de *Microsoft*.

Para el cálculo de la matriz de pagos se introducen en la hoja de cálculo los valores del margen bruto para cada cultivo y las desviaciones respecto a la media del MB en los últimos cinco años. En *Solver* se introducen las restricciones del modelo.

Las celdas ajustables (aquellas cuyo valor puede hacer variar *Solver* para optimizar una determinada función) son en este caso las superficies de cada cultivo y las desviaciones negativas respecto a la media del MB.

Se introducen también en el modelo los objetivos propuestos: MB y MOTAD. Optimizando con *Solver* cada objetivo de forma separada la hoja de cálculo muestra el valor que adquiere el atributo no optimizado. Tomando ambos valores (para cada optimización) obtenemos la matriz de pagos.

Los valores del MB y MOTAD de la realidad se obtienen introduciendo en las celdas ajustables los valores de la superficie media de los diferentes cultivos.

De la resolución de la expresión (8) se obtienen las ponderaciones para los objetivos considerados. El cálculo de este programa lineal se ha realizado mediante la aplicación *Solver* de la hoja de cálculo *Excel* de *Microsoft*. Los resultados para ambas zonas regables son:

– ZR Santaella:

$$W_1 = 0,6532 \text{ (maximizar el margen bruto MB)}$$

$$W_2 = 0,3468 \text{ (minimizar el riesgo MOTAD)}$$

– ZR Huetor Tajar y Villanueva de Mesía:

$$W_1 = 0,9010 \text{ (maximizar el margen bruto MB)}$$

$$W_2 = 0,0990 \text{ (minimizar el riesgo MOTAD)}$$

Una vez conocidas las ponderaciones de cada objetivo podemos enunciar la función de utilidad para cada zona:

– ZR Santaella:  $U = 65,32 \text{ MB} - 34,68 \text{ MOTAD}$

– ZR Huetor Tajar y V. M.:  $U = 90,10 \text{ MB} - 9,90 \text{ MOTAD}$

Para operar con la expresión en un modelo multicriterio es necesario proceder previamente a normalizar los coeficientes, dividiendo éstos por un factor normalizador. Se ha utilizado como factor normalizador la diferencia entre valor ideal y anti-ideal. Las nuevas expresiones se indican a continuación:

– ZR Santaella:  $U = 52,69 \text{ MB} - 59,51 \text{ MOTAD}$

– ZR Huetor Tajar y V. M.:  $U = 31,07 \text{ MB} - 5,31 \text{ MOTAD}$

Una vez obtenida la *función de utilidad*, estamos en condiciones de proceder a la simulación del comportamiento del empresario agrícola ante el incremento de precios del agua.

El procedimiento de estimación de superficies de cultivo será el mismo que se emplea en el modelo de programación lineal clásico, con la diferencia de que ahora la función a optimizar (maximizar) será la función de utilidad en lugar del margen bruto maximizado con anterioridad.

Para la maximización de la función de utilidad recurriremos nuevamente a *Solver*, el cual mostrará para los diferentes precios hipotéticos del agua el valor de la función de utilidad (en su máximo), margen bruto, MOTAD, variables de decisión del modelo y consumo hídrico. Además, sería posible mostrar información adicional para los diferentes atributos del sistema, referente a: ingresos totales del agricultor, recaudación estatal, consumo energético y empleo de mano de obra directa, que no se ha incluido por la excesiva extensión del trabajo, el lector interesado puede consultar Torrico (1999) para un análisis detallado de ambas zonas regables.



## 5. RESULTADOS

En los apartados siguientes se muestran la evolución de los planes de cultivo y la demanda de agua para cada una de las zonas regables estudiadas. Las gráficas representan la evolución del consumo de agua por hectárea ante un incremento del precio de la misma partiendo de un valor cero (valor actual).

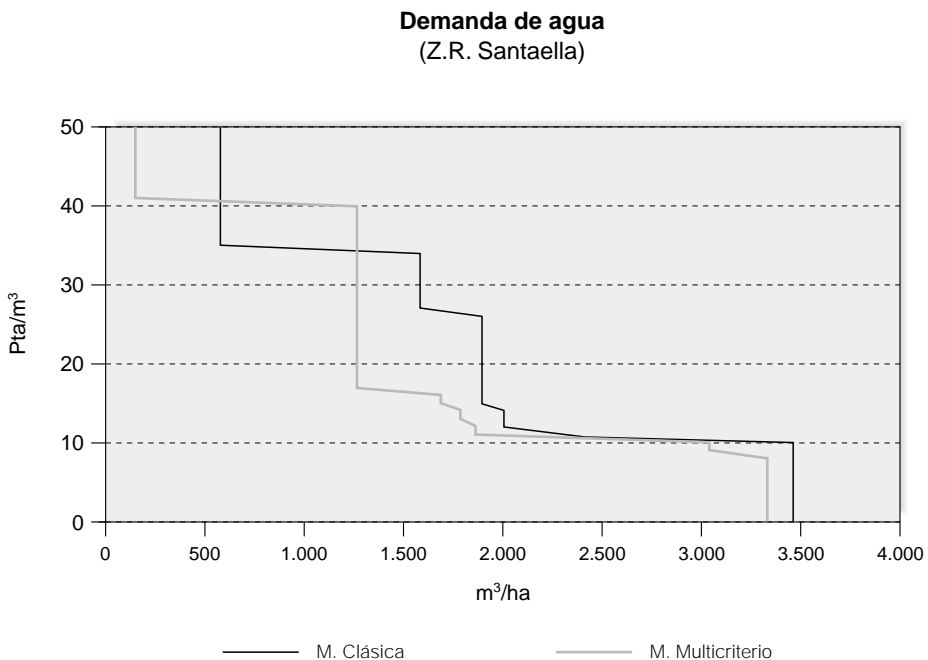
En el eje de abscisas están representados los diferentes consumos por hectárea, y el eje de ordenadas refleja los diferentes precios por metro cúbico de agua introducidos en el modelo.

### 5.1. ZR. Santaella

#### 5.1.1. *Demanda de agua y distribución de las superficies de cultivo en ZR Santaella*

Junto a la curva de demanda de agua calculada por el método multicriterio, se ha incluido la obtenida por la teoría clásica con el objeto de poder compararla con la nueva curva y hacer más clara cualquier referencia que pudiéramos hacer a la misma.

Gráfico 1



Cuadro 8

EVOLUCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE CULTIVOS PARA LOS DIFERENTES PRECIOS DEL AGUA EN LA Z.R. DE SANTAELLA.  
METODOLOGÍA MULTICRITERIO. (DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS SUPERFICIES. PRECIO PTA/M<sup>3</sup>)

Tramo A (Inelástico)

Precio	Ajo	Algodón	Remolacha	Trigo D	Trigo D 0	Trigo B 0	Girasol	Girasol 0	Maiz	Espárrago	Retirada
0 a 8	14,05	14,99	7,76	47,27	0,00	0,00	6,00	0,00	4,06	3,00	2,87

Fuente: Elaboración propia.

Tramo B (Elástico)

Precio	Ajo	Algodón	Remolacha	Trigo D	Trigo D 0	Trigo B 0	Girasol	Girasol 0	Maiz	Espárrago	Retirada
9 a 10	14,05	14,71	7,76	47,27	0,00	0,00	10,33	0,00	0,00	3,00	2,88
11 a 12	14,05	14,71	7,76	0,00	47,27	0,00	10,33	0,00	0,00	3,00	2,88
13 a 14	14,05	14,61	7,76	0,00	47,27	0,00	5,41	0,00	0,00	3,00	7,90
15 a 16	14,05	14,61	7,76	0,00	47,27	0,00	0,00	5,41	0,00	3,00	7,90
17 a 40	14,05	12,52	0,00	0,00	47,27	0,00	0,00	13,98	0,00	3,00	9,19

Tramo C (Inelástico)

Precio	Ajo	Algodón	Remolacha	Trigo D	Trigo D 0	Trigo B 0	Girasol	Girasol 0	Maiz	Espárrago	Retirada
41 a 131	1,93	0,00	0,00	0,00	47,27	0,00	0,00	35,40	0,00	3,00	12,40
132 a 139	0,15	0,00	0,00	0,00	47,27	0,00	0,00	36,95	0,00	3,00	12,63
140 a 176	0,00	0,00	0,00	0,00	47,27	0,13	0,00	36,95	0,00	3,00	12,65
177	0,00	0,00	0,00	0,00	47,27	2,71	0,00	36,95	0,00	0,00	13,04

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en el modelo clásico, encontramos en la curva de consumo de agua tres tramos bien diferenciados en cuanto a la elasticidad demanda-precio del agua. Tramo A inelástico, tramo B, elástico, y tramo C inelástico.

### 5.1.2. Comparación de ambas metodologías

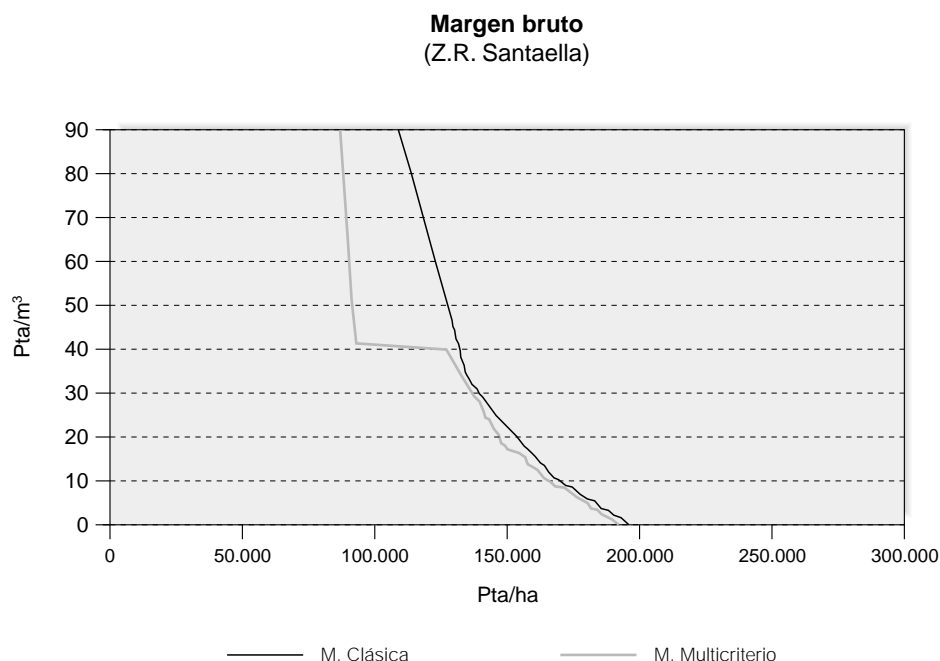
El consumo de agua inicial es mayor en el modelo clásico ya que al ser el margen bruto el único objetivo a maximizar, y ser los cultivos más demandantes de agua los que normalmente proporcionan un mayor margen bruto, son éstos los que un agricultor que sólo trata de maximizar sus beneficios escoge en mayor proporción, lo cual implica mayor consumo de agua.

En el modelo multicriterio el agricultor abandona antes (a menores precios del agua) estos cultivos más demandantes de agua a favor de otros de los que obtiene un margen bruto menor pero con los cuales asume un menor riesgo.

Prueba de lo anterior es la superficie de girasol, que es mayor en el modelo multicriterio para los diferentes precios. Otros ejemplos de lo anterior son el algodón, en el cual el modelo multicriterio asigna una menor superficie (14 por ciento frente al 18,3 por ciento del modelo clásico); el maíz en el modelo clásico permanece hasta las 11 pta/m<sup>3</sup>, mientras que en el modelo multicriterio se abandona a las 8 pta/m<sup>3</sup> de agua, etc.

Otra característica del modelo multicriterio que lo hace aproximarse más a la realidad es que los cambios de planes de cultivo los realiza de forma menos brusca, esto es, mientras que en el modelo clásico cuando al llegar a un determinado precio éste hace que un cultivo sea más rentable que otro, y la superficie del cultivo menos rentable es sustituida totalmente (o hasta donde permiten las restricciones del modelo) por el cultivo de mayor margen bruto, estos cambios de planes de cultivo son normalmente más suaves en el modelo multicriterio y las superficies de los cultivos son sustituidas por otras de mayor margen o menor riesgo de forma más paulatina e incluyendo en las nuevas distribuciones de cultivos otros, de riesgos y rentabilidades intermedias. Esta circunstancia se manifiesta en las gráficas de demanda de agua si se observa el mayor número de “escalones” o saltos en la del modelo multicriterio. Lo anterior se traduce en una mayor diversificación de cultivos y una forma de proceder más paulatina en la sustitución de cultivos por parte del agricultor, lo cual es una característica observable en la realidad.

Gráfico 2



### 5.1.3. Margen bruto

El margen bruto del agricultor va disminuyendo a medida que aumentamos los precios del agua al ir incrementando sus costes variables. Los cultivos de mayor consumo hídrico por tanto son los que ven incrementados sus costes de manera elevada. Estos cultivos, aunque usualmente son los que obtienen mayores beneficios, son los primeros en dejar de ser rentables debido a la gran repercusión sobre ellos del precio del agua. A medida que esto ocurre van siendo sustituidos por cultivos de menor consumo hídrico y menor margen y por último por cultivos de secano.

La curva de margen bruto es cada vez más inelástica a medida que disminuye el consumo hídrico debido a que la repercusión del precio del agua sobre los costes de cultivo se hace menor (la demanda de agua va disminuyendo a medida que aumentamos su precio).

De lo anterior se deduce que el margen bruto es fuertemente sensible al precio del agua (es decir se comporta de forma elástica) a precios bajos, o lo que es lo mismo la renta del agricultor se ve más fuertemente afectada cuando se empiezan a imponer precios al agua.

**EVOLUCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE CULTIVOS PARA LOS DIFERENTES PRECIOS DEL AGUA EN LA Z.R. DE HUETOR TAJAR  
Y VILLANUEVA DE MESIA. METODOLOGÍA MULTICRITERIO. (DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA SUPERFICIES. PRECIO PTA/M<sup>3</sup>)**

Tramo A (Inelástico)

Precio	Cebolla	Patata	Alfalfa	Trigo D	Trigo D 0	Trigo B 0	Girasol	Girasol 0	Maíz	Espárrago	Retirada
0 a 3	13,20	13,26	7,29	11,90	0,00	0,00	0,00	0,00	7,80	45,56	0,99

Fuente: Elaboración propia.

Tramo B (Elástico)

Precio	Ajo	Algodón	Remolacha	Trigo D	Trigo D 0	Trigo B 0	Girasol	Girasol 0	Maíz	Espárrago	Retirada
4 a 9	13,20	13,26	7,29	11,90	0,00	0,00	6,90	0,00	0,91	45,56	0,99
10	13,20	13,26	7,29	0,00	11,90	0,00	6,90	0,00	0,91	45,56	0,99
11	13,20	13,26	7,29	0,00	11,90	0,00	6,90	0,00	0,00	45,56	1,89
12	13,20	11,76	7,29	0,00	11,90	0,00	7,40	0,00	0,00	45,56	2,89
13 a 14	13,20	0,00	7,29	0,00	11,90	6,31	11,32	0,00	0,00	45,56	4,43
15 a 26	13,20	0,00	7,29	0,00	11,90	6,31	0,00	11,32	0,00	45,56	4,43
27 a 71	13,20	0,00	0,00	0,00	11,90	10,21	0,00	13,75	0,00	45,56	5,38

Fuente: Elaboración propia.

Tramo C (Inelástico)

Precio	Ajo	Algodón	Remolacha	Trigo D	Trigo D 0	Trigo B 0	Girasol	Girasol 0	Maíz	Espárrago	Retirada
72 a 700	0,00	0,00	0,00	0,00	11,90	17,29	0,00	18,15	0,00	45,56	7,10
701 a 796	0,00	0,00	0,00	0,00	11,90	33,85	0,00	28,44	0,00	14,68	11,13

Fuente: Elaboración propia.

Siglas correspondientes a Cereales, Oleaginosas y Proteaginosas. En el modelo: trigo, girasol y maíz.  
Este porcentaje es el correspondiente a la campaña agrícola 1998/99, pudiendo variar según los dictámenes de la PAC para otras campañas.

El margen bruto estimado por el modelo para precio del agua cero es de 246.561 pta/ha. El cuadro 10 muestra las pérdidas de margen bruto del agricultor para cada tramo (A, B, C) de la demanda de agua.

*Cuadro 10*

**PERDIDAS DE MARGEN BRUTO POR HECTAREA.  
ZR SANTAELLA**

Tramo	Precio agua	MB (pta/ha)	Pérdida de MB (%)
A	0 pta	246.561	—
	8 pta	219.880	10,8
B	9 pta	215.410	12,6
	40 pta	163.395	34,3
C	41 pta	118.822	52,1
	Consumo nulo	97.850	60,3

*Fuente:* Elaboración propia.

El tramo «B» podría haber sido considerado así mismo hasta que el precio alcanza las 18 pta/m<sup>3</sup> si bien hemos tratado de utilizar un criterio semejante a otros trabajos que se han venido citando en este artículo (Berbel et al 1999, Gomez-Limón y Berbel, 2000).

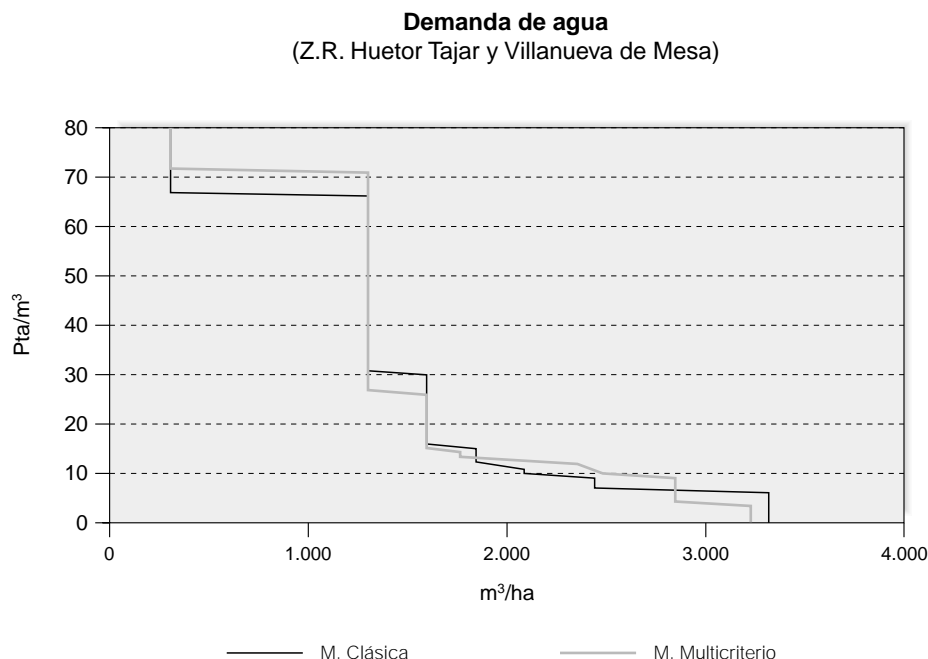
## **5.2. ZR Huetor Tajar y Villanueva de Mesía**

### ***5.2.1. Demanda de agua y distribución de la superficie de cultivo en ZR Huetor Tajar***

El gráfico 3 a continuación muestra la evolución del consumo hídrico por hectárea ante incrementos del precio del agua. Las curvas corresponden a la simulación realizada mediante el modelo clásico y los resultados obtenidos mediante la aplicación del modelo multicriterio.

La demanda de agua evoluciona de forma descendente ante incrementos del precio del agua para ambos casos. Esta reducción en el consumo de agua es debida al cambio de planes de cultivo del agricultor, que ante la subida de precios del agua ve maximizada su función de utilidad distribuyendo nuevamente sus cultivos de manera que se produzca un descenso del consumo de agua.

Gráfico 3



### 5.3. Comparación de los resultados obtenidos por ambas metodologías

Los resultados obtenidos para ambas metodologías, clásica y multicriterio son muy similares para la ZR de Hueter Tajar y Villanueva de Mesía. Esta similitud era en cierto modo previsible tras el cálculo de la función de utilidad, ya que en ella el objetivo *maximizar margen bruto* adquiere mucho mayor peso que la minimización del riesgo. En efecto, tras obtener las ponderaciones  $W_1$  y  $W_2$  para cada objetivo de la función simulada de utilidad se obtuvieron los siguientes resultados:  $W_1=90,1$  por ciento y  $W_2=9,9$  por ciento, lo que equivale a una función de utilidad:

$$U = 90,1 \text{ MB} - 9,9 \text{ MOTAD}$$

De la función anterior se deduce que el agricultor de la ZR Hueter Tajar y Villanueva de Mesía en su toma de decisiones (elección de planes de cultivo) tiende a elegir cultivos que aunque presentan un mayor riesgo (mayor oscilación de precios y/o rendimientos) son susceptibles de obtener mayores beneficios.

Otros indicios anteriores que hacían prever este comportamiento del agricultor se deducen tras comparar los valores obtenidos de la rea-

lidad (valores para la distribución de cultivos media) de margen bruto y MOTAD con los valores del punto ideal (resultantes de la optimización separada de margen bruto y MOTAD) para la ZR de Huetor Tajar y Villanueva de Mesía. En efecto, dados estos valores:

<b>V. Realidad:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <math>\nearrow</math> MB = 39.814.888  <math>\searrow</math> MOTAD= 17.512.160         </div> </div>	<b>Pto. Ideal:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <math>\nearrow</math> MB = 42.686.148  <math>\searrow</math> MOTAD= 0         </div> </div>
---	---

De los valores anteriores deducimos que el valor real esperado del margen bruto en esta zona regable, se aproxima mucho al máximo, quedando el mínimo del MOTAD mucho más lejos de la realidad. Es decir los planes de cultivo reales demuestran que el agricultor se sitúa en posiciones más cercanas de maximización del margen bruto, y por tanto es más neutral al riesgo.

De este modo, el agricultor en un ámbito de pequeñas parcelas, (la superficie de parcela que más se repite es de 0,75 ha), practica una agricultura más intensiva, con cultivos de los que obtiene mayores beneficios y con los que asume mayores riesgos. De hecho para abundar en esta idea puede observarse que los cultivos de trigo y girasol más seguros y de menor margen bruto (menores oscilaciones de rendimientos y precios y mayor proporción de subvenciones) representan una pequeña proporción (12% en el caso del trigo), no cultivándose girasol tradicionalmente en esta zona.

#### 5.4. Margen bruto

El gráfico 4 muestra el margen bruto resultante de la simulación realizada por ambas metodologías.

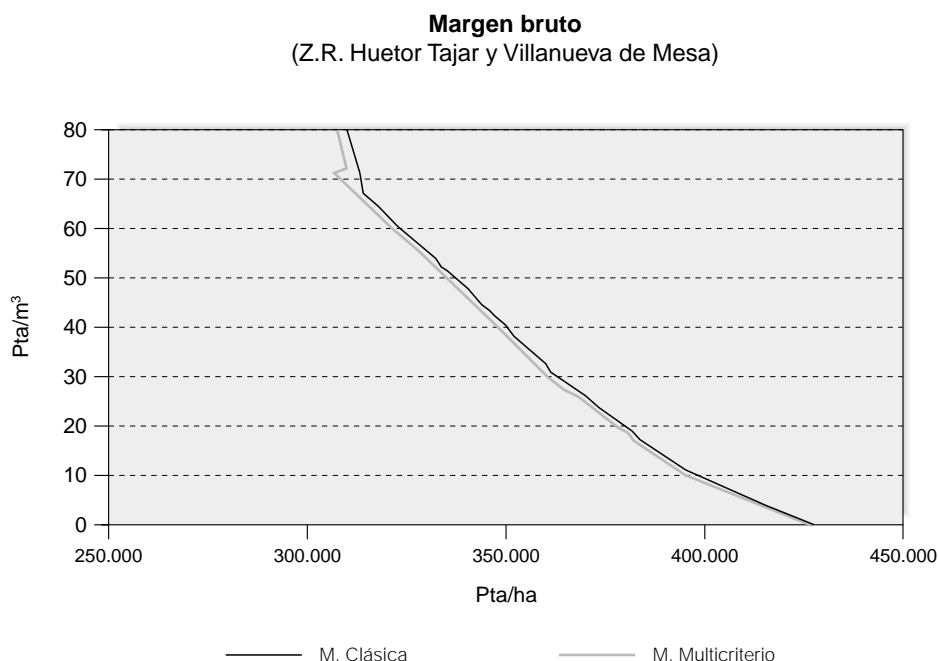
Para los distintos precios dados, el margen bruto se aproxima al máximo de su valor. El margen bruto es decreciente con el precio del agua. El descenso producido en el margen bruto se debe tanto al incremento del precio del agua (que multiplicado por el volumen de agua reduce la renta del agricultor en esa cuantía) como por los cambios producidos en los planes de cultivo, dirigidos a un menor consumo de agua que reduzca los precios de la misma.

Estas nuevas distribuciones de cultivos con una mayor proporción de cultivos de menores necesidades hídricas o de secano proporcionan un menor margen bruto debido a que estos cultivos son por lo general menos rentables.

Para los diferentes tramos (A, B, C) de la curva de demanda de agua, se observan las siguientes pérdidas de margen bruto:



Gráfico 4



Cuadro 11

**PÉRDIDAS DE MARGEN BRUTO POR HECTAREA.  
ZR HUETOR TAJAR Y VILLANUEVA DE MESÍA**

Tramo	Precio agua	MB (pta/ha)	Pérdida de MB (%)
A	0 pta	426.105	—
	3 pta	416.406	2,3
B	4 pta	412.069	3,3
	71 pta	307.077	28,0
C	72 pta	310.177	27,0
	Consumo nulo	30.195	92,9

Fuente: Elaboración propia.

## 6. CONCLUSIONES

Las zonas estudiadas presentan claras diferencias en cuanto a modernidad, técnicas de cultivo, estructura de la propiedad, manejo del agua de riego, etc. de forma podemos definir dos tipos de agricultura que en parte explican las diferencias obtenidas en los modelos.

No obstante están muy cercanas geográficamente y podemos asumir cierta homogeneidad en las características físicas de ambas.

En primer lugar en la ZR de Santaella nos encontramos con una agricultura de regadío con gran proporción de cultivos subvencionados (más del 50 por ciento de la superficie está dedicada a trigo y girasol) los cuales proporcionan rentas más seguras, pero inferiores a las de otros cultivos de mayor margen bruto, mayor riesgo y carentes de subvención (ajo, etc.). Este tipo de agricultura emplea menos factores de producción como mano de obra, materias primas, etc.

Por otro lado la zona regable de Huetor Tajar y Villanueva de Mesía, practica una agricultura más intensiva, con mayor empleo de materias primas, mano de obra y menor proporción de cultivos subvencionados (todos los cultivos subvencionados, no superan el 20 por ciento de la superficie).

De lo anterior se deduce que el agricultor de la ZR de Santaella en su toma de decisiones presenta una mayor aversión al riesgo que el de la ZR de Huetor Tajar y Villanueva de Mesía (como denota el bajo peso adquirido por el factor riesgo en la función de utilidad de esta última). Como consecuencia, esta última zona obtiene unas rentabilidades superiores a las primeras.

Otra consideración a tener en cuenta es la mayor dificultad de la implantación de una política de tarifas de agua en la ZR de Huetor Tajar y Villanueva de Mesía, por carecer de caudalímetros individuales de agua en cada explotación, necesarios para una hipotética facturación del agua. Evidentemente el PHN en trámite puede cambiar esta situación si apuesta por una modernización de los regadíos que incluya esta mejora técnica.

En el presente trabajo se han empleado dos metodologías, la metodología clásica, que utiliza como único objetivo la maximización del margen bruto para la simulación de la toma de decisiones del agricultor, y la metodología multicriterio, que se caracteriza por el empleo de varios objetivos, siendo en nuestro caso la maximización del margen bruto y la minimización del riesgo.

Ambas metodologías son de sencilla aplicación, y basadas en unos datos de calidad permiten obtener unos resultados coherentes y representativos en el campo de la agricultura.

La metodología multicriterio presenta la ventaja de incluir en su análisis el factor riesgo, de gran importancia en la actividad agraria. La inclusión de este factor permite una mayor aproximación a la realidad en los resultados obtenidos. De ahí que la Teoría de Decisión Multicriterio nos resulte más apropiada para nuestro análisis.

Sin embargo, no en todos los casos es necesario recurrir a ella ya que según se ha demostrado en este estudio la inclusión de objetivos como el riesgo mejora poco los resultados en determinadas situaciones, con lo que se simplifica el estudio.

Según se observa de comparar los resultados de las dos comunidades de regantes analizadas, la aversión al riesgo no parece ser un objetivo constante en los agricultores, sino que presenta una clara relación con la estructura de la propiedad. De esta forma hemos observado que existen comunidades de regantes en las que la estructura de la propiedad presenta una gran parcelación dando lugar a explotaciones de reducido tamaño, y que no responden a la inclusión del riesgo en el estudio, al ser el peso dado a este objetivo por los agentes muy reducido y no modificar sustancialmente los resultados.

Los resultados obtenidos (consumo hídrico, distribución de cultivos) difieren de una a otra zona regable debido a las particularidades existentes en cada una de ellas. De ahí, que los resultados deban realizarse de forma separada para distintas zonas regables incluso en el caso de ser muy próximas entre sí, como el que hemos tratado en este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- AMADOR, F.; SUMPSI, J. M. y ROMERO C. (1998): «A non-interactive methodology to assess farmers' utility functions: An application to large farms in Andalusia, Spain». *European Review of Agricultural Economics*, (25): pp. 92-109.
- BALLESTERO, E. (1992): *Principios de economía de la empresa*. Ed. Alianza Universidad Textos. Madrid.
- BERBEL, J. (1990): «Un algoritmo para introducir el riesgo en modelos lineales de decisión en la agricultura». *Investigación Agraria: Economía*, 5 (2): pp. 165-177.
- BERBEL, J.; JIMÉNEZ, J. F.; SALAS, A.; GÓMEZ-LIMÓN, J. A. y RODRÍGUEZ, A. (1999): *Impacto de la política de precios del agua en las zonas regables y su influencia en la renta y el empleo agrario*. Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España. Madrid.
- BERBEL, J. y RODRÍGUEZ-OCAÑA, A. (1998): «An MCDM approach to production analysis: An application to irrigated farms in Southern Spain». *Eur. Journal of Operational Research.*, 107: pp. 108-118.
- GÓMEZ-LIMÓN, J. A y Berbel, J.. (2000) The impact of water-pricing policy in Spain: an analysis of three irrigated areas. *Agricultural Water Management*: 43 (1): 219-229
- CHIANG, A. C. (1992): *Métodos Fundamentales de Economía Matemática*. Ed. Mc. Graw Hill.
- HAZELL, P. B. (1971): «A linear alternative to quadratic and semivariance programming in farm under uncertainty». *American Journal of Agricultural Economic*, (53): pp. 53-62.

ROMERO, C. (1993): *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*. Alianza Universal Textos. Madrid.

TORRICO, M. (1999): *Determinación de los efectos del precio del agua en los índices técnico-económicos. Aplicación a dos comunidades de regantes del Valle del Genil. Trabajo Profesional Fin de Carrera. ETSIAM. Universidad de Córdoba.*

## RESUMEN

### **Análisis de la toma de decisiones de los agricultores ante cambios en el precio del agua. Modelos de decisión multicriterio**

Este trabajo hace un análisis del impacto que tendrá en la agricultura un precio creciente del agua en dos zonas regables. Para ello emplea un modelo de programación clásico y otro en el que se efectúa una simulación de función de utilidad deducido a partir de metodología multicriterio.

**PALABRAS CLAVE:** Regadío, modelos de decisión, técnicas multicriterio.

## SUMMARY

### **Farmers decision-making in two irrigated areas in Southern Spain. A Multicriteria model**

Weighted goal programming is applied to two irrigation units in Spain in order to obtain a surrogated utility function. The MAUF obtained is used to simulate behaviour under increasing price of water. Conclusions show that behaviour differs as a function of farm size and socioeconomic characteristics of farmers. Also MAUF models outperform to classical LP models by a closer prediction of observed decisions.

**KEYWORDS:** Irrigated agriculture, decision making models, multicriteria techniques.

