

LA DEMANDA DE TECNOLOGÍA AHORRADORA DE AGUA EN LA AGRICULTURA DE REGADÍO*

ESTEBAN FERNÁNDEZ VÁZQUEZ

Universidad de Oviedo

CARLOS ARIAS SAMPEDRO

Universidad de León

Este trabajo analiza la demanda de tecnología ahorradora de agua de los agricultores en una Comunidad de Regantes. El modelo teórico muestra que la voluntad de pago por una tecnología ahorradora de agua depende del precio del agua, de la elasticidad precio de la demanda de agua y del grado de ahorro de agua que permite la tecnología que se valora. Estos aspectos se analizan en un modelo de simulación donde la voluntad de pago se mide como la diferencia entre márgenes brutos conseguidos con tecnologías que permitan diferentes ahorros de agua.

Palabras clave: tecnología, ahorro de agua, regadío.

Clasificación JEL: Q25,C61.

El crecimiento económico y la preocupación por cuestiones ambientales han convertido al agua en un recurso escaso cuya administración está sujeta a numerosas controversias. Algunas estimaciones apuntan a que la agricultura de regadío consume aproximadamente el 80% del agua disponible en España. Por lo tanto, no es extraño que esta actividad se convierta en el centro de atención cuando se habla de reducir el consumo de agua o, en términos más generales, del uso racional del agua (Naredo y López-Calvo, 1994).

Sin embargo, existe una razón adicional que hace que el regadío aparezca como una actividad en la que el agua no se usa del modo más eficiente. En muchas ocasiones, el pago que los agricultores hacen por el agua no guarda relación con la cantidad consumida ni ésta es medida con precisión. Este modo de administración presenta características que pueden conducir a un uso poco eficiente de este recurso escaso.

El agua podría ser usada de modo más eficiente si los agricultores pagasen una cantidad positiva por cada unidad de agua que usan. Sin embargo, ésta es una propuesta polémica ya que supone aumentar los costes de producción en sectores cuya rentabilidad se considera muy baja. Por lo tanto, el aumento del precio del agua puede conducir al abandono de cultivos y tierras con las evidentes conse-

(*) Los resultados de este trabajo han sido obtenidos en el marco del proyecto CICYT HID-223.

cuencias para la producción, la renta y el empleo de las zonas geográficas donde se sitúan los regadíos.

La literatura económica sobre regadío ha investigado los efectos de un aumento del precio del agua sobre la cantidad demandada de agua, los cultivos, la producción y el empleo. La magnitud de estos efectos depende críticamente de la existencia de tecnologías ahorradoras de agua y del coste de éstas [Sumpsi, (1997); Sumpsi *et al.*, (1998)]. En otras palabras, cuando sube el precio del agua los efectos sobre la producción agraria son menos negativos cuando existen posibilidades de mantener la producción sin subidas sustanciales de costes mediante un proceso de adopción de tecnología ahorradora de agua.

En estudios previos [Sumpsi *et al.* (1998), Berbel *et al.* (1999)] la tecnología ahorradora de agua se considera exógena al modelo. Es decir, la tecnología existe y se adopta cuando es beneficiosa pero no se cuestiona su procedencia ni la relación de su existencia con las condiciones del sector. En el presente trabajo se da un paso para lograr que la tecnología ahorradora de agua sea explicada por un proceso asociado a la decisión sobre cultivos y uso del agua. En concreto, se analizará la voluntad de pago de los agricultores por tecnologías ahorradoras de agua como una función del precio del agua.

El artículo tiene la siguiente estructura. Los aspectos teóricos de la demanda de tecnología ahorradora de agua se estudian en la sección 1. En la sección 2 se presenta la metodología empleada en un modelo de simulación y en la sección 3 los resultados obtenidos. El artículo finaliza con algunas conclusiones en la sección 4.

1. MODELO TEÓRICO

La adopción de tecnología de regadío puede ser analizada en el marco de modelos microeconómicos de decisión individual. Los artículos de Caswell y Zilberman (1985, 1986) son ejemplos paradigmáticos de esta aproximación. Caswell y Zilberman (1985) analizan la adopción de tecnología de regadío mediante un modelo econométrico de decisión individual. En este modelo, las decisiones de adopción de tecnología vienen determinadas por los beneficios asociados a cada tecnología. Por su parte, Caswell y Zilberman (1986) proponen un marco general para el análisis de la adopción de tecnología de regadío. Concretamente, en este estudio se analizan los efectos de la calidad de la tierra y la profundidad de los pozos en las decisiones de adopción de tecnología de regadío.

El presente trabajo comparte con los dos citados anteriormente el interés por la adopción de la tecnología de regadío. Al mismo tiempo, se toma como punto de partida del modelo teórico el marco de análisis propuesto por Caswell y Zilberman (1986). En él se desarrollan los objetivos específicos de este artículo. En concreto, el análisis de la valoración por parte de los productores de tecnologías con diversos grados de ahorro de agua.

El marco simplificado de análisis propuesto por Caswell y Zilberman (1986) consiste básicamente en el uso de una función de producción por unidad de superficie con un solo factor de producción (agua) y la distinción entre agua efectiva y agua realmente usada. Esta distinción permite introducir en el análisis tecnologías

que dan lugar a diversos grados de ahorro de agua. En este contexto, la tecnología se puede representar mediante la siguiente función de producción:

$$y = f(x^*) \tag{1}$$

$$x^* = \frac{x}{1-\alpha} \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

donde y es el output por unidad de superficie cultivada, x el agua utilizada por unidad de superficie cultivada y α un coeficiente de ahorro de agua que caracteriza a una determinada tecnología. Usando la terminología de Caswell y Zilberman (1986), x representa el agua usada y x^* el agua efectiva. Los valores del coeficiente α están comprendidos entre cero y uno, donde el valor cero representa la tecnología base de comparación y el valor uno representa una tecnología que es capaz de producir sin agua. La función de producción por unidad de superficie ($f(x)$) es creciente ($f'(x) > 0$) a una tasa decreciente ($f''(x) < 0$) para asegurar la existencia de una solución única al problema de maximización de beneficio¹. El modelo se plantea con un solo input variable buscando la simplicidad aunque los resultados no cambian en un modelo con otros inputs variables además del agua e inputs fijos (Ver apéndice 1).

El uso de agua puede modelizarse como el resultado de maximizar el beneficio por unidad de superficie. Es decir:

$$\max_x \left\{ pf \left(\frac{x}{1-\alpha} \right) - wx \right\} \tag{2}$$

donde, p y w son respectivamente el precio del output y del agua.

La función de beneficio puede escribirse como:

$$\Pi(p, w^*) = \max_{x^*} \left\{ pf(x^*) - w^* x^* \right\} \tag{3}$$

donde $x^* = \frac{x}{1-\alpha}$ y $w^* = (1-\alpha)w$

Es decir, en este modelo el ahorro de agua se puede equiparar analíticamente a una bajada del precio del agua efectiva. La aplicación del lema de Hotelling permite obtener la oferta de output y la demanda de input como:

$$y(p, w^*) = \frac{\partial \Pi(p, w^*)}{\partial p} \tag{4}$$

$$x^*(p, w^*) = - \frac{\partial \Pi(p, w^*)}{\partial w^*}$$

(1) La representación de la tecnología de producción mediante una función de producción por unidad de superficie implica la existencia de una tecnología $Y = F(xS, S)$ donde, Y es la producción total, F es una función de producción con rendimientos constantes a escala y S es la superficie cultivada. El supuesto de rendimientos constantes a escala simplifica el análisis eliminando los efectos asociados a la escala de operación.

Como se desprende de la expresión [3], el beneficio obtenido en esta actividad es función del grado de ahorro de agua (α) que permite la tecnología. La voluntad de pago en cada periodo por un incremento unitario en el grado de ahorro de agua puede medirse como el incremento de beneficio asociado a ese cambio. Es decir, mediante la siguiente derivada:

$$\frac{\partial \Pi(p, w^*)}{\partial \alpha} = \frac{\partial \Pi(p, w^*)}{\partial w^*} \frac{\partial w^*}{\partial \alpha} = x^* w \quad [5]$$

La expresión [5] indica la existencia, en cada periodo, de una voluntad de pago no negativa por las mejoras técnicas ahorradoras de agua medidas por el coeficiente α . La voluntad total de pago por la tecnología depende del tipo de descuento (ρ) y la vida útil de la tecnología (T). En ausencia de incertidumbre, esta voluntad de pago puede medirse como la suma descontada del incremento del beneficio en cada periodo. Es decir:

$$H \frac{\partial \Pi(p, w^*)}{\partial \alpha} = H x^* w \quad [6]$$

$$H = \sum_{t=0}^T (1 + \rho)^{-t} > 0$$

Esta voluntad de pago total es no decreciente en α , como indica la siguiente derivada:

$$\frac{\partial \left(H \frac{\partial \Pi(p, w^*)}{\partial \alpha} \right)}{\partial \alpha} = H w \frac{\partial x^*}{\partial w^*} \frac{\partial w^*}{\partial \alpha} = -H w^2 \frac{\partial x^*}{\partial w^*} \quad [7]$$

La expresión anterior es no negativa ya que la derivada de la función de demanda del input (x) con respecto a su precio es no positiva. Este resultado se deriva exclusivamente de la convexidad en precios de inputs y outputs de la función de beneficios y de la aplicación del lema de Hotelling en la expresión [4]. En el caso en el que la curva de demanda de agua se vuelva perfectamente inelástica la expresión [7] se hace igual a cero². Por lo tanto, la valoración marginal del ahorro de agua no cambia con el grado de ahorro de agua (α) en los tramos perfectamente inelásticos de la función de demanda de agua.

Finalmente, es interesante analizar el efecto sobre la voluntad de pago total de un cambio en el precio del agua. Es decir, conocer el signo de la siguiente derivada:

$$\frac{\partial \left(H \frac{\partial \Pi(p, w^*)}{\partial \alpha} \right)}{\partial w} = H \frac{1}{1 - \alpha} x (1 - \epsilon_x) \quad [8]$$

(2) Una pendiente nula con respecto al precio implica una elasticidad nula.

donde, $\epsilon_x = -\frac{w}{x} \frac{\partial x}{\partial w}$ es la elasticidad de la demanda de agua.

La expresión [8] indica que la subida de precio del agua tiene un efecto ambiguo sobre la voluntad de pago por la mejora técnica ahorradora de agua. En concreto, tiene un efecto positivo si la demanda de agua es inelástica ($\epsilon_x < 1$) y un efecto negativo si la demanda de agua es elástica ($\epsilon_x > 1$).

En resumen, el modelo simplificado adoptado en este trabajo permite establecer una relación interesante entre elasticidad de la demanda de agua y la valoración de la tecnología ahorradora de agua. Esta relación no había sido analizada en la literatura previa sobre el tema. En la sección 3 se incluye una explicación intuitiva sobre este resultado.

2. METODOLOGÍA

La ausencia de datos sobre consumos de agua, precios del agua y precios de otros factores hace que, con frecuencia, el análisis econométrico de la demanda de agua sea inviable. La simulación por programación matemática [Sumpsi (1997), Sumpsi *et al.* (1998); Berbel *et al.* (1999)] constituye una metodología alternativa con necesidades de datos mucho menores.

En esta aproximación las decisiones de los agricultores, considerando el problema al nivel de una Comunidad de Regantes, se modelizan como el resultado de maximizar el margen bruto de explotación de la Comunidad dados un conjunto de cultivos y unas posibilidades tecnológicas definidas por unos coeficientes de uso de agua. La variable de decisión para los integrantes de la Comunidad va ser la superficie de cada actividad de cultivo (S_i) y tomarán su decisión maximizando el margen bruto de explotación (MB).

Por tanto, se modeliza como un problema de maximización restringida donde la función objetivo se puede escribir como:

$$MB = \sum_{i=1}^n [p_i r_i - (c_i + w x_i^*)] S_i \quad [9]$$

donde, MB es el margen bruto de explotación de la Comunidad de Regantes; S_i es la superficie (ha.) dedicada en una Comunidad a la actividad de cultivo i ; r_i es el rendimiento físico (kg /ha.) de la actividad i ; p_i es el precio de mercado³ del cultivo i (pts./kg); c_i es el coste variable por hectárea de la actividad i , exceptuando el derivado del consumo de agua (pts./ha.); x_i^* son las necesidades de agua por hectárea⁴ de la actividad i (m³/ha.); y w es el precio del metro cúbico de agua de riego.

(3) Un revisor ha señalado que mantener los precios de los productos agrarios fijos en la simulación puede ser un supuesto fuerte. Como es bien conocido, el sector agrario se caracteriza por una gran volatilidad de los precios. Sin embargo, en el presente caso, puede tratarse de un supuesto razonable ya que los precios de los productos agrarios analizados están sujetos a diversas regulaciones en el marco de la PAC que limitan la variabilidad de su precio.

(4) Esta especificación no permite la sustitución entre agua y otros factores variables. Esta simplificación, presente en toda la literatura, es la consecuencia de la escasez de datos para el análisis económico del agua de regadío.

Los rendimientos y los coeficientes de necesidades de agua de los diferentes cultivos se determinan mediante las oportunas encuestas a los agricultores⁵. Una descripción más detallada de las características de la Comunidad de Regantes estudiada se presenta en el apéndice 2.

La maximización de la función objetivo está sometida a una serie de restricciones tanto de carácter físico (por ejemplo, la suma de todas las S_i tiene que ser menor o igual que la superficie total de la Comunidad de Regantes), como provenientes de limitaciones impuestas por la PAC, por el mercado o por el orden temporal de las actividades de cultivo. El modelo de programación lineal se describe detalladamente en el apéndice 3.

El programa permite simular las decisiones de los agricultores ante cambios en los parámetros que definen el problema. Por ejemplo, es posible determinar las cantidades de agua que se consumirían con diferentes precios del agua manteniendo el resto del programa inalterado. Para ello, se calcula la distribución de la superficie entre las distintas actividades de cultivo (S_i) que maximizan el margen bruto de la Comunidad de Regantes para distintos precios del agua (w). Teniendo en cuenta que cada actividad requiere cierto volumen de agua de riego por hectárea cultivada, se obtiene de forma inmediata la cantidad total de agua de riego consumida. Por tanto, disponemos de un modelo que calcula la cantidad de agua demandada para cada precio potencial del agua, lo que nos permite simular la curva de demanda de agua de riego.

Un enfoque dinámico de las decisiones de los agricultores podría considerar que la situación de escasez de agua y la subida de precio pueden incrementar el interés de investigar, desarrollar y difundir tecnologías ahorradoras de agua. En este contexto es interesante saber cuál es la voluntad de pago de los agricultores por esa tecnología ahorradora de agua.

La metodología descrita anteriormente para el cálculo de la demanda de agua puede ser usada para calcular esta voluntad de pago. El programa de optimización da como resultado no sólo las cantidades de inputs óptimas, sino también el margen bruto que se obtiene tomando esa decisión óptima. Para cada nivel de precio de agua, calculamos el margen bruto con las actuales tecnologías y lo comparamos con el margen bruto que obtendría un agente maximizador si apareciesen tecnologías alternativas que permitiesen ahorrar respectivamente de un 10 a un 50% del agua necesaria⁶. La diferencia entre los márgenes brutos de la tecnología aho-

(5) Una limitación de este modelo es que considera las necesidades de agua de cada cultivo y sus respectivos rendimientos como valores constantes en cualquier escenario. Aunque sin duda la posibilidad de introducir variabilidad en estos parámetros ayudaría a incorporar la incertidumbre existente y enriquecería el análisis, no es posible llevarlo a cabo con los datos disponibles.

(6) La eficiencia de riego se define como la proporción entre el volumen de agua aprovechado por el cultivo y el volumen de agua entregado por el sistema de riego. Se trata de una medida que se realiza en condiciones experimentales. Sin embargo, puede ilustrar los ahorros relativos asociados a diferentes técnicas de riego. A grandes rasgos, el riego a manta presenta una eficiencia del 70%, aunque algunas técnicas sofisticadas (riego a pulsos) pueden aumentar su eficiencia hasta el 85%. Finalmente, las técnicas de riego localizado (fundamentalmente el goteo) pueden alcanzar eficiencias del 95% [Pizarro (1987)]. Considerando el riego a manta como técnica básica, el riego a manta modificado supone un ahorro de agua del 17,6% y el riego por goteo de un 26,3%.

rradora de agua y de la tecnología actual mide la cantidad máxima que un agricultor estaría dispuesto a pagar por esa tecnología en un periodo de tiempo⁷.

La voluntad de pago total por una tecnología de riego debería obtenerse de la comparación entre los márgenes brutos descontados para los T periodos de vida útil de la tecnología. La suma descontada de márgenes brutos puede escribirse como:

$$\sum_{t=0}^T MB_t = \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^n [p_i r_i - (c_i + w_i x_i^*)] S_i (1+\rho)^{-t} \quad [10]$$

Si suponemos un situación sin incertidumbre en el que todos los coeficientes relacionados con costes, precios, rendimientos y necesidades de agua permanecen constantes a lo largo de los T periodos, se obtiene para una misma distribución de cultivos que $MB_t = MB \forall t$. De este modo se tiene que:

$$\begin{aligned} \sum_{t=0}^T MB_t &= H \sum_{i=1}^n [p_i r_i - (c_i + w_i x_i^*)] S_i \\ H &= \sum_{t=0}^T (1+\rho)^{-t} \end{aligned} \quad [11]$$

Por tanto, en ausencia de incertidumbre, la suma descontada de márgenes brutos es proporcional al margen bruto por periodo. El factor de proporcionalidad (H) depende del tipo de descuento (ρ) y de los años de vida útil (T). Es decir, en condiciones de certidumbre y bajo el supuesto de que todas las tecnologías analizadas tienen la misma vida útil, el análisis puede realizarse usando la voluntad de pago por periodo ya que sólo se diferencia de la voluntad de pago total en un factor de proporcionalidad idéntico para todas las tecnologías.

Las voluntades de pago definidas anteriormente permiten trazar curvas de demanda para las tecnologías ahorradoras de agua considerando diferentes niveles del precio del recurso. Para ello, introducimos en el programa un parámetro α que refleja el porcentaje de ahorro de agua que se plantea como posible escenario. Así podremos obtener el margen bruto de explotación de la Comunidad de Regantes ante esta nueva situación y compararlo con el que obtendrían en la situación original. La diferencia entre ambos márgenes determinaría la valoración económica que una Comunidad otorgaría a una tecnología que le permitiese ahorrar cierto porcentaje de agua en sus actividades de cultivo y, por tanto, el precio máximo que estarían dispuestas a pagar por ella. Básicamente, esta aproximación implica usar la siguiente función objetivo:

$$MB = \sum_{i=1}^n [p_i r_i - (c_i + w_i^* x_i^*)] S_i \quad [12]$$

(7) El beneficio es igual al margen bruto menos los costes fijos. A pesar de ser dos conceptos distintos, los cambios en ambos conceptos debidos a cambios en los inputs variables (el agua en este caso) son iguales. Por este motivo, en el modelo de simulación usamos los cambios en el margen bruto como una medida de los cambios en los beneficios y, por tanto, de la voluntad de pago por la tecnología en cada periodo.

donde, $w^* = (1 - \alpha)w$. Esto es, se modifica el precio del recurso estando el valor de α comprendido entre 0 y 1, y reflejando el porcentaje de ahorro en el coste de riego que se podría conseguir con un tecnología ahorradora de agua⁸.

Las restricciones del programa seguirían siendo las mismas. La voluntad de pago por parte de la Comunidad de Regantes por la adopción de la nueva tecnología de riego con un ahorro a puede calcularse como la diferencia entre (12) y (9) evaluados en el óptimo.

3. RESULTADOS

Mediante la aplicación de este método se trata de ilustrar las conclusiones expuestas en la sección 1 acerca de los efectos sobre la disposición a pagar que tendría la adopción de tecnologías ahorradoras de agua. Básicamente, se había determinado que existirá una disposición de pago positiva y no decreciente a medida que se incrementa el ahorro de agua (α). Por otro lado, se concluía que el efecto de incrementos en el precio del agua de riego (w) sobre la disposición a pagar por tecnologías ahorradoras del recurso era incierto y dependía del valor de la elasticidad precio. Para ilustrar estos resultados se ha estudiado el comportamiento en la Comunidad de Regantes de Fuente Palmera.

En primer lugar y mediante el proceso descrito en la sección anterior se han simulado curvas de demanda de agua de riego. Aunque no es el objetivo último del estudio, esta simulación es importante debido al papel que juega la elasticidad precio de la demanda de agua de riego a la hora de determinar los efectos de cambios en su precio sobre la valoración de tecnologías ahorradoras del recurso. En el gráfico 1 se muestra la curva de demanda de agua de riego obtenida para la Comunidad de Fuente Palmera.

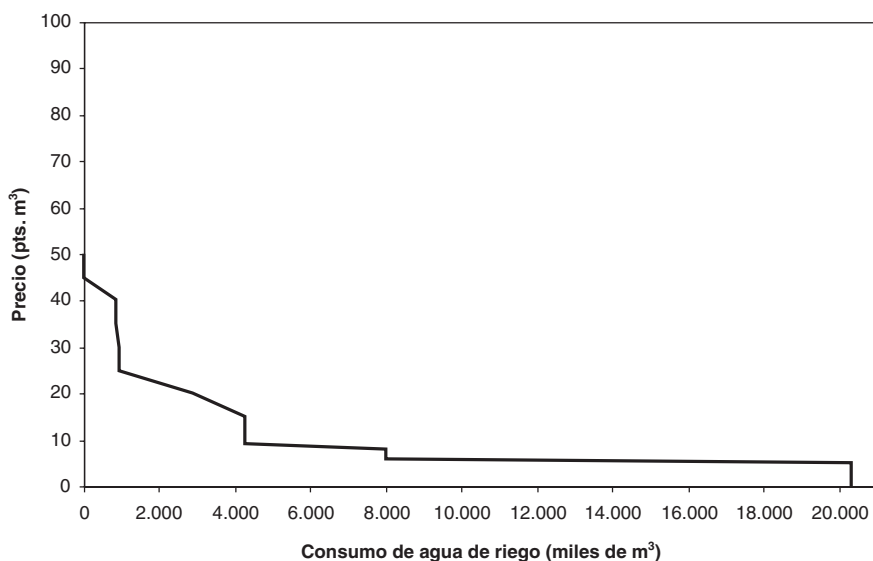
En el gráfico se puede apreciar la existencia de varios tramos diferenciados en esta curva de demanda de agua de riego. En un primer tramo de la curva hasta un precio de 6 pts./m³, los regantes mantienen la asignación inicial de cultivos que harían en caso de un precio nulo del agua. Entre un precio de 6 y 25 pts./m³, la curva presenta un tramo elástico donde los regantes van moviéndose desde cultivos más intensivos en usos de agua hacia otras actividades de cultivo que requieren un menor uso del recurso. Una vez superado ese precio se van limitando las posibilidades de ahorrar agua mediante el cambio de cultivos, hasta que se llega a un precio de 45 pts./m³ para el que se abandonan completamente los cultivos de regadío.

(8) La función objetivo puede escribirse también como:

$$MB = \sum_{i=1}^n [p_i r_i - (c_i + w x_i)] S_i$$

donde $x_i = (1 - \alpha)x_i^*$; es decir, puede analizarse el ahorro en el recurso como una reducción proporcional de las necesidades de agua en todas las actividades de cultivo. Esta especificación destaca un supuesto implícito en el análisis: la tecnología reduce las necesidades de agua de cada cultivo en una misma proporción. En cualquier caso, los resultados con cualquiera de los dos planteamientos son equivalentes, puesto que lo que ambos reflejan es el mismo incremento en el margen bruto por hectárea cultivada.

Gráfico 1: CURVA DE DEMANDA DE AGUA DE RIEGO



Fuente: Berbel, *et al.*, pág. 79.

Este resultado viene determinado por un escenario en el que se aplican las tecnologías de riego usadas actualmente y, por tanto, podría variar si se plantease la posibilidad de adoptar tecnologías ahorradoras del recurso. En el gráfico 2 se representan las curvas de demanda de agua de riego para dos valores del parámetro α (20% y 50%).

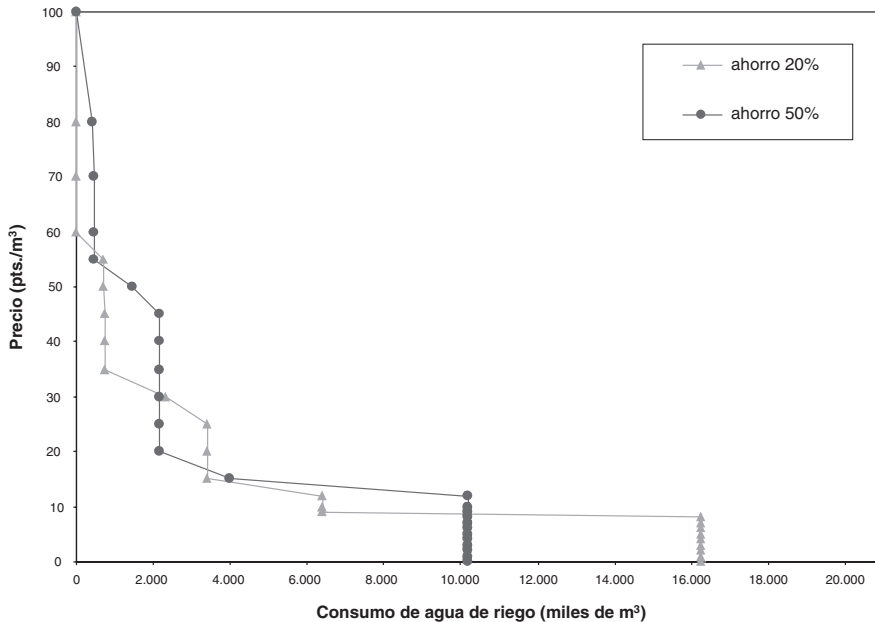
Se puede apreciar así cómo variaría la forma de las curvas de demanda al introducir dos escenarios hipotéticos con tecnologías de riego que redujesen las necesidades de agua de todos los cultivos en un 20 y un 50% respectivamente.

Mediante la aplicación de la metodología descrita en el apartado 2 es posible estimar la voluntad de pago por parte de una Comunidad de Regantes ante potenciales tecnologías que rebajen las necesidades de agua por superficie cultivada. Para ello se han simulado los márgenes brutos de explotación de las Comunidades con diferentes valores del parámetro α y para distintos precios⁹ del agua de riego. Un resumen de los resultados obtenidos se muestra en el cuadro 1.

Como era de esperar, se observa que para un precio del agua dado, la valoración de una tecnología ahorradora de agua se incrementa a medida que crece el valor de α , esto es, a medida que se consigue reducir en un mayor porcentaje las necesidades de agua de los cultivos. Por otra parte, es especialmente interesante obser-

(9) El precio pagado por metro cúbico de agua en Fuente Palmera es cero. Por tanto, la valoración de cualquier tecnología ahorradora en este caso sería cero.

Gráfico 2: CURVA DE DEMANDA DE AGUA DE RIEGO CON DIFERENTES TECNOLOGÍAS

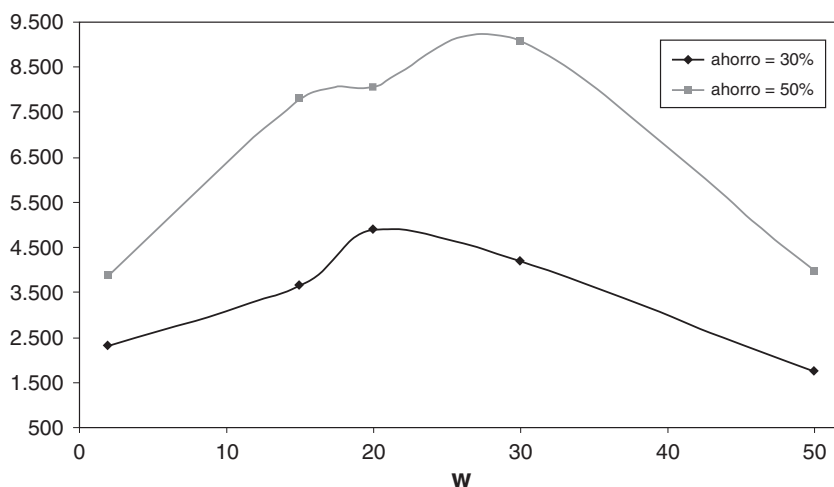


Cuadro 1: VALORACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE RIEGO (PTS./HA.)

Porcentaje ahorro	$\alpha = 10\%$	$\alpha = 20\%$	$\alpha = 30\%$	$\alpha = 40\%$	$\alpha = 50\%$
Precio agua (pts./m³)	Valoración	Valoración	Valoración	Valoración	Valoración
2	777,6	1.547,6	2.317,6	3.097,6	3.867,6
15	1.220	2.450	3.670	5.530	7.810
20	1.630	3.260	4.890	6.520	8.080
30	540	1.870	4.180	6.630	9.070
50	40	860	1.750	2.650	3.970

var el efecto ambiguo que supone un incremento en el precio del agua: un precio más alto del recurso puede implicar una mayor o menor disposición a pagar por la tecnología dependiendo de la elasticidad de la demanda de agua en este punto. Este resultado puede observarse en el gráfico 3 para dos valores del parámetro α :

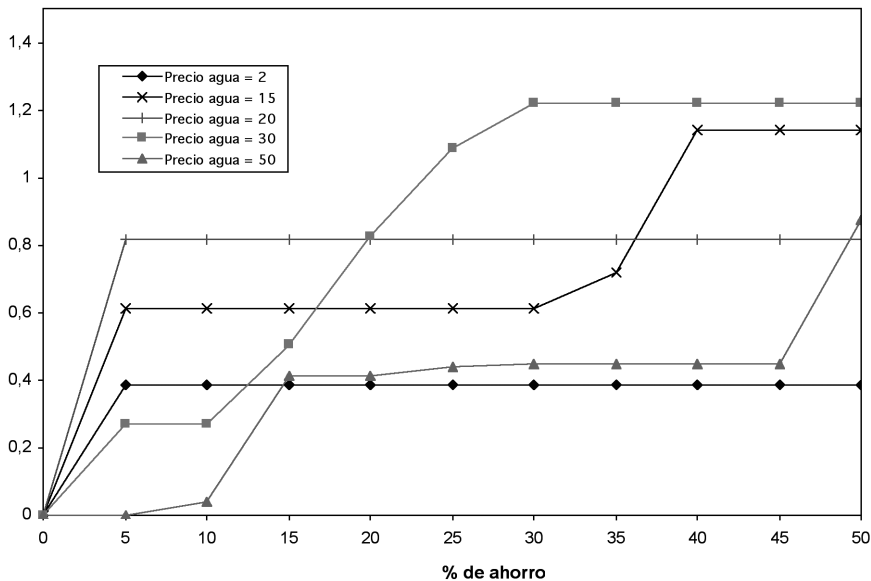
Gráfico 3: VALORACIÓN (PTS./HA.) EN FUNCIÓN DEL PRECIO DEL AGUA



Pese a que parece lógico esperar que cuanto más cara resulte el agua de riego más valiosas sean las tecnologías que reduzcan las necesidades de su uso, esto ocurre únicamente en los tramos inelásticos de la curva de demanda, donde un incremento en el precio del agua de riego significa forzosamente un incremento en los costes del regante, ya que éste no puede modificar su asignación de cultivos hacia actividades menos intensivas en agua. En este caso, cuanto mayor sea el precio del agua de riego más valiosa será una tecnología ahorradora del recurso. Sin embargo, en tramos con alta elasticidad precio de la demanda de agua el regante puede modificar su asignación de cultivos hasta obtener una distribución más beneficiosa, por lo que el incremento del precio ocasionará la redistribución de actividades hacia cultivos menos exigentes en agua de riego (generalmente menos rentables) por lo que la valoración de una tecnología ahorradora del recurso disminuirá. En definitiva, el efecto de una subida en el precio del agua sobre la voluntad de pago depende del valor de la elasticidad precio, como se había anticipado en la sección 1.

Otro resultado interesante se ilustra en el gráfico 4, donde se representan para la Comunidad de Regantes de Fuente Palmera las valoraciones marginales de los porcentajes de ahorro simulados (hasta un máximo del 50%) en diversos escenarios de precios:

Gráfico 4: VALORACIÓN MARGINAL (PTS./HA.) DE AHORROS PORCENTUALES DE AGUA



En este gráfico se resumen los efectos de los incrementos en el porcentaje de ahorro de agua sobre la voluntad de pago formalizadas en la sección 1, en la que se concluía que la valoración marginal del ahorro de agua sería constante en tramos perfectamente inelásticos de la curva de demanda. Se puede observar cómo para un precio del agua muy bajo (2 pts./m³) los cambios experimentados por la disposición a pagar por tecnologías ahorradoras de agua son constantes ante aumentos sucesivos del porcentaje de ahorro simulado. Esto es debido a que con ese precio la distribución de cultivos estará orientada hacia los más intensivos en agua, por lo que no existen posibilidades de mejorar los beneficios mediante una reasignación de las superficies. Así, aumentos en el porcentaje de ahorro de las necesidades de agua suponen cambios constantes en la disposición a pagar iguales al valor de la caída del gasto en agua de riego.

Algo similar ocurre para precios altos (50 pts./m³) para los que los aumentos en la valoración no son crecientes hasta que el porcentaje de ahorro se hacen tan grande (alrededor del 50%) que permite la sustitución de cultivos de secano por otros más intensivos en agua de riego. Se puede observar que para valores de α muy pequeños la valoración marginal es nula debido a que en ese escenario no se consume agua de riego por lo que pequeños ahorros no implican aumento alguno de los márgenes de explotación. En escenarios de precios intermedios se percibe la existencia de cambios en la voluntad marginal de pago dependiendo del valor de la elasticidad precio de la demanda de agua.

Finalmente, concluimos este apartado relacionando las valoraciones de la tecnología ahorradora de agua obtenidas en esta investigación con el coste de tecnologías existentes en la actualidad. En primer lugar, los resultados en el cuadro 1 indican que los agricultores están dispuestos a pagar 4.890 pesetas por hectárea y año por una tecnología que ahorre un 30% de agua cuando el precio del metro cúbico de agua fuese de 20 pesetas. Por ejemplo, el riego a goteo supone un ahorro de agua de un 26,3% con respecto a la técnica el riego a manta [Pizarro (1987)]. El coste de instalación de riego por goteo en una hectárea oscila entre 1.100.000 y 1.300.000 pesetas y tiene una vida media útil de diez años [García Serrano (1990)]. La adopción de una tecnología ahorradora de agua depende de que la suma descontada de la voluntad de pago anual sea mayor que el coste de la tecnología. En este caso, la voluntad de pago por una tecnología que ahorre alrededor de un 30% de agua no parece suficiente para que los agricultores la adopten¹⁰. Otro modo de interpretar esta situación es que se adoptaría una tecnología que diese lugar a esos ahorros de agua a un coste muy inferior. En segundo lugar, un resultado importante de nuestro trabajo es que la voluntad de pago no aumenta continuamente con el precio del agua. De hecho, si el precio sube a 30 pesetas la voluntad de pago disminuye en vez de aumentar. Por tanto, la subida del precio del agua por encima de un determinado nivel no aumenta las posibilidades de adoptar la tecnología ahorradora de agua.

4. CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio es analizar la disposición de los regantes a pagar por tecnologías que redujesen los requerimientos de agua de riego para sus cultivos. La valoración económica de estas tecnologías se hace depender básicamente de los cambios que experimentan dos parámetros: el precio del recurso y el porcentaje de ahorro logrado en las necesidades de agua. Para ello se ha empleado el procedimiento de comparar los márgenes brutos de explotación de la Comunidad de Regantes tras la adopción de la tecnología con el obtenido en una situación en la que se carece de ella; un tipo de análisis que puede extenderse a cualquier innovación tecnológica que suponga una disminución de las necesidades de agua de los cultivos. Así, se ha comprobado la existencia de una disposición de pago positiva y no decreciente a medida que se incrementa el parámetro que refleja el porcentaje de ahorro.

Por otra parte, también se concluye que aumentos en el precio del agua tienen un resultado ambiguo que depende de la elasticidad precio de la demanda de agua de riego. Este resultado está relacionado con la capacidad que tienen los regantes de modificar su reparto de actividades de cultivo para reaccionar ante cambios en el precio del recurso que les permita llegar a una asignación eficiente. En escenarios donde la elasticidad precio es elevada, el regante puede modificar sus

(10) Los resultados del cuadro 1 vienen expresados en pesetas de 1999 mientras que la estimación del coste de adopción de la tecnología viene dada en pesetas de 1990. Así, un coste de 1.100.000 pesetas de 1990 equivale aproximadamente a 1.556.570 pesetas de 1999 (tomando como referencia el IPC). Este resultado refuerza la idea de la escasa valoración en términos relativos a su coste de las tecnologías de riego.

decisiones de cultivo ante un incremento en el precio del agua de riego, situándose en actividades poco intensivas en agua; por ello va a emplear menor cantidad de agua y su voluntad de pago será menor. El proceso contrario ocurrirá en tramos de la curva de demanda inelásticos.

APÉNDICE 1. GENERALIZACIÓN DEL MODELO TEÓRICO CON INPUTS FIJOS Y VARIABLES ADEMÁS DEL AGUA

Función de producción

$$y = f(x^*, z, k) \tag{A1}$$

$$x^* = \frac{x}{1-\alpha} \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

donde, y es el output por unidad de superficie cultivada, x el agua utilizada por unidad de superficie cultivada y α un coeficiente de ahorro de agua que caracteriza a una determinada tecnología, x^* representa el agua efectiva, z representa un input variable y k un input fijo (ambos por unidad de superficie).

Función de beneficio

$$\max_{x,z} \left\{ pf \left(\frac{x}{1-\alpha}, z, k \right) - wx - w_z z \right\} \tag{A2}$$

donde, w_z es el precio del input variable.

Función de beneficio en términos del precio del agua efectiva

$$\Pi(p, w^*, w_z, k) = \max_{x,z} \left\{ pf(x^*, z, k) - w^* x^* - w_z z \right\} \tag{A3}$$

$$x^* = \frac{x}{1-\alpha} \quad w^* = (1-\alpha)w$$

Demanda de agua efectiva

$$x^*(p, w^*, w_z, k) = - \frac{\partial \Pi(p, w^*, w_z, k)}{\partial w^*} \tag{A4}$$

Voluntad de pago por la tecnología ahorradora de agua en cada periodo

$$\frac{\partial \Pi(p, w^*, w_z, k)}{\partial \alpha} = \frac{\partial \Pi(p, w^*, w_z, k)}{\partial w^*} \frac{\partial w^*}{\partial \alpha} = x^* w \tag{A5}$$

Relación de la voluntad de pago con el precio del agua y el grado de ahorro

$$\frac{\partial \left(\frac{\partial \Pi(p, w^*, w_z, k)}{\partial \alpha} \right)}{\partial \alpha} = w \frac{\partial x^*}{\partial w^*} \frac{\partial w^*}{\partial \alpha} = -w^2 \frac{\partial x^*}{\partial w^*} \quad [A6]$$

$$\frac{\partial \left(\frac{\partial \Pi(p, w^*, w_z, k)}{\partial \alpha} \right)}{\partial w} = \frac{1}{1-\alpha} x (1-\varepsilon_x) \quad [A7]$$

donde, $\varepsilon_x = -\frac{w}{x} \frac{\partial x}{\partial w}$ es la elasticidad de la demanda de agua.

APÉNDICE 2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

La Comunidad de Regantes tomada como referencia en nuestro trabajo es la de Fuente Palmera, Comunidad situada en la margen izquierda del río Guadalquivir y que dispone de un total de 5.260 hectáreas regables. Esta Comunidad fue creada en 1985 y está provista de sistemas de riego a presión. La dotación anual de agua con la que la abastece la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir es de 6.000 m³/ha., si bien la Comunidad nunca ha consumido más de 4.500 m³/ha.

En Berbel *et al.* (1999) se facilita información acerca de las características más relevantes de la zona de estudio elaborada por una parte a partir de datos provenientes de diversos organismos (Ministerio de Agricultura, Consejería de Agricultura de Andalucía, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, principalmente), y por otro lado de la realización de encuestas a los agricultores pertenecientes a la Comunidad. Los datos acerca de rendimientos, necesidades de agua, costes (excluido el derivado del consumo de agua) e ingresos de las principales actividades de cultivo se recogen en el cuadro A1.

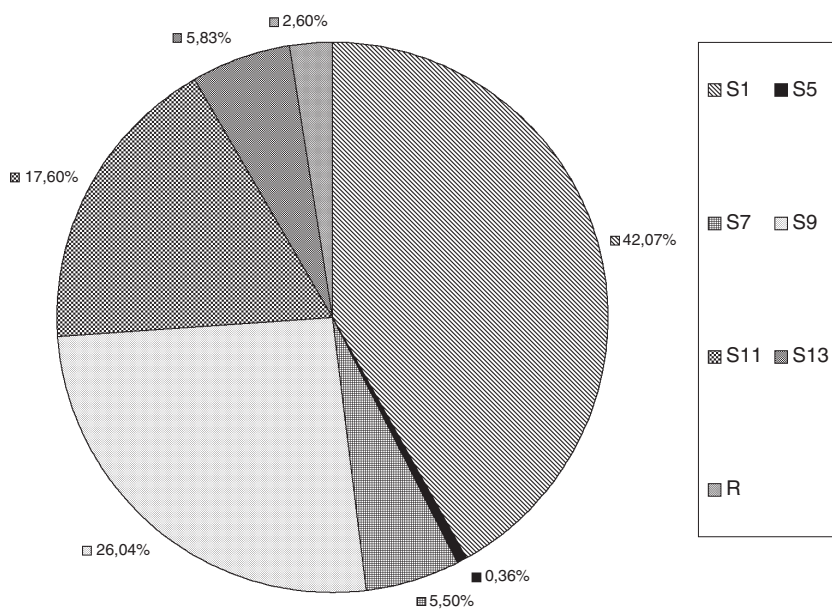
La distribución de la superficie total entre las distintas actividades de cultivo se llevará a cabo con el objetivo de maximizar el margen bruto de explotación. Considerando un escenario en el que no existan restricciones de agua con un precio por m³ de agua de riego nulo, el reparto se representa en el gráfico A1.

Como se puede apreciar, ante un precio nulo en el agua de riego, se producen las seis clases de cultivos a los que se dedica la comunidad (algodón, trigo duro y blando, girasol, remolacha y patata), pero cultivando siempre la variedad más intensiva en agua de riego, por ser la más rentable. Así se observa como una gran parte de la superficie total de la Comunidad está dedicada al cultivo de la variedad de algodón que exige 7 m³ de agua por hectárea cultivada, pues es la actividad que presenta un margen bruto por hectárea más elevado.

Cuadro A1: DATOS DE CULTIVOS

Cultivo (ha.)		Consumo (x_i^*) m ³ /ha.	Rendimiento (r_i) kg/ha.	Costes (c_i) pts./ha.	Ingresos ($p_i r_i$ + subvenciones) pts./ha.
Algodón 7	(S ₁)	7,00	4,00	451,429	560,00
Algodón 6	(S ₂)	6,00	3,45	439,606	483,00
Algodón 5	(S ₃)	5,00	2,90	427,783	406,00
Algodón 4	(S ₄)	4,00	2,35	415,960	329,00
Patata 4	(S ₅)	4,00	33,50	464,550	670,00
Patata 3	(S ₆)	3,00	21,676	551,700	433,529
Remolacha 3	(S ₇)	3,00	58,00	251,711	435,00
Remolacha 2	(S ₈)	2,00	45,00	234,362	337,50
Girasol 1,5	(S ₉)	1,50	2,25	61,710	138,404
Girasol 0	(S ₁₀)	0	1,25	45,566	107,404
Trigo duro 1,5	(S ₁₁)	1,50	4,50	83,744	207,727
Trigo duro 0	(S ₁₂)	0	2,30	64,109	152,853
Trigo blando 1,5	(S ₁₃)	1,50	4,50	83,744	156,364
Trigo blando 0	(S ₁₄)	0	2,30	64,109	97,514
Retirada	(R)			18,405	50,114

Gráfico A1: DISTRIBUCIÓN DE CULTIVOS EN FUENTE PALMERA



APÉNDICE 3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL

Los regantes de esta Comunidad pueden destinar la superficie de la que dispongan a cualquiera de las 14 actividades de cultivo expuestas en el Apéndice 2 (S_i , $i = 1, \dots, 14$) o bien retirarla de la producción (R) como consecuencia de las políticas agrarias. La asignación de cultivos, tal como se ha señalado en la sección 2, se llevará a cabo con el objetivo de maximizar la expresión:

$$MB = \sum_{i=1}^n [p_i r_i - (c_i + wq_i)] S_i$$

sujeta a las restricciones a los que están sometidos los regantes. En primer lugar, la suma de todas las actividades de cultivo nunca puede superar la superficie total de riego de la que dispone la Comunidad, de tal forma que:

$$\sum_{i=1}^{14} S_i + R \leq 5.260$$

donde la superficie retirada R debe ser forzosamente el 5% de la superficie dedicada al cultivo de trigo y girasol:

$$R = 0,05 (S_9 + S_{10} + S_{11} + S_{12} + S_{13} + S_{14})$$

La PAC impone que los cultivos de girasol en cada finca no pueden superar el 50% del total de superficie con trigo, girasol y retirada. Por otro lado, también se limita la superficie de trigo duro y de remolacha. En el primer caso se establece como máximo la superficie subvencionable por la UE (que para esta Comunidad de Regantes es del 17,60% de la superficie total), mientras que en el caso de la remolacha se toma como límite superior el máximo de hectáreas dedicadas a este cultivo durante el periodo 1991/92 a 1996/97 (que concretamente fue el 5,50%). Estas restricciones se incluyen en el programa mediante las siguientes desigualdades:

$$S_9 + S_{10} \leq 0,5 (S_9 + S_{10} + S_{11} + S_{12} + S_{13} + S_{14} + R)$$

$$S_{11} + S_{12} \leq 925,76$$

$$S_7 + S_8 \leq 289,3$$

Además de las restricciones impuestas por las políticas agrarias, existen limitaciones a la producción determinadas por la estructura de los mercados en los que se comercializan los productos agrarios, que imposibilita la sobre producción de ciertos cultivos. Así, se ha impuesto como cota superior a los cultivos de algodón y patata los máximos históricos de superficie dedicada a estas actividades durante el periodo 1991/92 a 1996/97 (respectivamente, el 42,07 y 0,36% de la superficie total de la Comunidad). La última restricción que se considera en el programa tiene que ver con las sucesiones y las frecuencias de los cultivos, imponiendo la condición de que la superficie dedicada al cultivo de trigo no exceda del 50% de la superficie total de la Comunidad de Regantes. Este último conjunto de restricciones se introduce en el programa mediante las siguientes desigualdades:

$$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \leq 2.212,882$$

$$S_5 + S_6 \leq 18,936$$

$$S_{11} + S_{12} + S_{13} + S_{14} \leq 2.630$$



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berbel Vecino, J., J.F. Jiménez Bolívar, A. Salas Méndez, J.A. Gómez-Limón Rodríguez y J.A. Rodríguez Ocaña (1999): *Impacto de la política de precios del agua en las zonas regable y su influencia en la renta y el empleo agrario*, Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España (Eds.), Madrid.
- Caswell, M. y D. Zilberman (1985): "The Choices of Irrigation Technologies in California", *American Journal of Agricultural Economics*, nº 67, págs. 224-234.
- Caswell, M. y D. Zilberman (1986): "The Effects of Well Depth and Land Quality on the Choice of Irrigation Technology", *American Journal of Agricultural Economics*, nº 68, págs. 798-811.
- García Serrano, J. (1990): "Optimización de redes de riego: Del cálculo a la puesta en obra. Aplicación al caso de la transformación de la Costa Noroeste de Cádiz", *Sistemas hidráulicos a presión: Aspectos prácticos para su diseño y explotación*. Cabrera, Espert, García-Serra y Martínez (Eds), Generalitat Valenciana, Conselleria d' Agricultura i Pesca.
- Naredo, J.M. y J. López-Gálvez (1994): "Información técnica y gestión económica del uso del agua en los regadíos españoles". *Revista de Estudios Agro-Sociales*, nº 167, págs. 185-207.
- Pizarro, F. (1987): *Riegos localizados de alta frecuencia*, Ed. Mundi-Prensa.
- Sumpsi Viñas, J.M. (1997): "Economic instruments for rationalizing water demand for irrigation". En San Juan, C. y Montalvo, A (eds.): *Environmental Economics in the E.U.*, págs. 273-332.
- Sumpsi Viñas, J.M., A. Garrido Colmenero, M. Blanco Fonseca, E. Iglesias Martínez y C. Varela Ortega (1998): *Economía y Política de Gestión del Agua en la Agricultura*, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Coedición), Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Fecha de recepción del original: mayo, 2001

Versión final: abril, 2003

ABSTRACT

This paper analyzes the demand of water-saving technologies in irrigation. The theoretical model shows that the willingness to pay for this technology depends on water prices, price-elasticity of water demand and water requirements of each technology. These relationships are explored in a simulation model. The willingness to pay for water-saving technologies is measured as differences in gross margin between technologies that need different amounts of water to produce one unit of output.

Key words: technology, water-savings, irrigation.

JEL classification: Q25,C61.