

POLÍTICA TARIFARIA DEL AGUA DE RIEGO Y SUS EFECTOS SOBRE LA SUSTENTABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE UVA DE MESA ESPAÑOLA

IRRIGATION WATER PRICING POLICY AND ITS EFFECTS ON SUSTAINABILITY OF TABLE GRAPE PRODUCTION IN SPAIN

Ma. Ángeles Fernández-Zamudio¹, Francisco Alcón² y Ma. Dolores de Miguel²

¹Departamento de Economía y Sociología Agrarias. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). 46113. Moncada, Valencia. España. (economia@ivia.es). ²Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Cartagena. 30203. Cartagena, Murcia. España.

RESUMEN

La uva de mesa en España se localiza principalmente en dos provincias muy áridas del área mediterránea, cercanas geográficamente, aunque con comportamiento empresarial muy distinto. El objetivo del trabajo fue determinar los efectos de la disponibilidad y del precio del agua de riego en la sostenibilidad de las explotaciones de uva. Primero se obtuvieron los precios sombra del agua de riego aplicando la programación compromiso; los cálculos se realizaron para el contexto productivo actual, y otro con adopción de una serie de mejoras tecnológicas. Además se calcularon las curvas de demanda del agua de riego para analizar las repercusiones si se aplica una tarifa creciente, como propone la actual Directiva Marco de Aguas de la Unión Europea. Con los resultados se constata que es preciso elevar el nivel de tecnología en la fase de producción para garantizar la sustentabilidad de las explotaciones de uva de mesa española. Las mejoras más relevantes son: transformar la superficie regada por inundación a riego por goteo, perfeccionar las estructuras de conducción de las plantas, cubrir las parcelas con mallas o plásticos e introducir variedades apirenas y de recolección más tempranas que las actuales. Los precios sombras resultantes para el agua de riego son muy elevados, indicando que en estas explotaciones la disponibilidad de agua tiene un efecto superior al de su precio. Sin embargo, el precio real que podrían pagar los agricultores no coincide con el precio sombra, sino con el deducido de las curvas de demanda que se obtuvo al simular los efectos de implantar una política tarifaria. Para que el agricultor pueda obtener una renta mínima, aunque se adopten las mejoras tecnológicas propuestas, el precio no podrá superar 0.6 € m^{-3} en la comarca con menor tecnología, y 1.1 € m^{-3} en la de mayor nivel tecnológico.

Palabras clave: *Vitis vinifera* L., funciones de demanda, mejoras tecnológicas, planificación de cultivos, precio sombra del agua de riego, programación compromiso.

ABSTRACT

In Spain, production of table grapes is located principally in two very arid provinces of the Mediterranean region, which, although geographically close, have very distinct entrepreneurial behavior. The objective of this study was to determine the effects of availability and price of irrigation water on the sustainability of grape operations. First, shadow prices of irrigation water were obtained by applying compromise programming; calculations were performed for the current productive context, and another calculation was performed for the adoption of a series of technological improvements. Also, water demand curves were calculated to analyze the repercussions of applying an increasing tariff, such as that proposed by the current European Water Framework Directive. The results show that it is necessary to increase the technological level of the production phase to guarantee the sustainability of Spanish table grape production units. The most relevant improvements are changing surface irrigation for drip irrigation, perfecting the training structures, covering the fields with screens or plastic, introducing apirena varieties, and earlier harvesting. The resulting shadow prices for irrigation water are very high, indicating that in these production units water availability has a greater effect than price. However, the real prices the farmers could pay do not coincide with the shadow price but with that deduced from the demand curves, which were obtained by simulating the effects of implementing a water-pricing policy. For the farmer to obtain a minimal profit, even though the proposed technological improvements are adopted, the price could not surpass 0.6 € m^{-3} in the area with the least technology and 1.1 € m^{-3} in that with the highest level of technology.

Key words: *Vitis vinifera* L., demand functions, technological improvement, crop scheduling, irrigation water shadow price, compromise programming.

INTRODUCTION

Table grapes (*Vitis vinifera* L.) is a crop with a long tradition in Spain; however, international market liberalization and the profound

Recibido: Junio, 2006. Aprobado: Julio, 2007.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 41: 805-815. 2007.

INTRODUCCIÓN

La uva de mesa (*Vitis vinifera* L.) es un cultivo de larga tradición en España; sin embargo, la liberalización de los mercados internacionales y los profundos cambios socioeconómicos en las comarcas productoras han provocado una fuerte disminución de la superficie nacional, hasta 70% entre 1985 y 2003, mientras que la producción se ha reducido sólo 43% (MAPA, 2004). España es el quinto productor mundial de uva de mesa en el hemisferio norte, el segundo de Europa, donde predomina Italia (OIV, 2005), y es el sexto exportador mundial después de Chile, Italia, EE.UU., Sudáfrica y México. De las cerca de 131 000 t que España exportó en 2003, 99% se destinaron a países europeos (MAPA, 2004), mientras que la demanda del principal importador mundial, EE.UU., es abastecida principalmente por Chile y México (Nahuelhual, 2005).

Recientemente aumentó el volumen introducido en Europa, donde también importan los países productores, como España, que en 2003 recibió más de 27 000 t (MAPA 2004). Este fenómeno, producto de la globalización y la reducción de las barreras arancelarias, supone una competencia directa con la producción europea y origina perturbaciones sobre mercados muy tradicionales, donde la estacionalidad para esta fruta era una ventaja. Además, las nuevas variedades que llegan a Europa, amplían la elección del consumidor con otras ofertas como la uva sin semilla, y los agricultores sienten la necesidad de adoptar las novedades tecnológicas.

Un nuevo competidor para España puede ser México que, desde 2000-2001 supera las exportaciones españolas, y gana posiciones en la producción mundial de uva fresca (OIV, 2005). México tiene, frente a Chile en América, una situación similar a la de España frente a Italia en Europa. En el caso español parece claro que, ante el predominio italiano y la competencia de otros países extracomunitarios, las explotaciones de uva de mesa tienen que optimizar la fase de producción. Primero será prioritario superar las limitaciones relativas al agua de riego, así como apostar decididamente por las mejoras tecnológicas. Estos dos aspectos deben analizarse con una perspectiva económica, ya que estudios como los de Gurovich (2002) o Rana *et al.* (2004) se enfocan a aspectos técnico-agronómicos.

La provincia de Alicante (con 55% de la producción nacional, básicamente en la comarca Vinalopó) y la de Murcia (con 30%), concentran 79% de la superficie de uva en España. Se caracterizan por una agricultura familiar y de pequeño tamaño. De las explotaciones en el Vinalopó 72%, y 66% en Murcia,

socioeconómico cambios en the producer regions have provoked a serious reduction in the domestic cultivated area, up to 70% between 1985 and 2003, while production has decreased by only 43% (MAPA, 2004). Spain is the fifth world producer of table grapes in the northern hemisphere, the second in Europe, where Italy is the leader (OIV, 2005), and it is the sixth world exporter after Chile, Italy, the USA, South Africa and México. Of the nearly 131 000 t that Spain exported in 2003, 99% were shipped to European countries (MAPA, 2004), while the demand of the largest importer, the United States, was supplied mainly by Chile and México (Nahuelhual, 2005).

Recently, the volume introduced into Europe increased. Here, producer countries, such as Spain, also import; in 2003 this country imported 27 000 t (MAPA, 2004). This phenomenon, product of globalization and reductions in the tariff barriers, assumes direct competition with European production and causes perturbations in very traditional markets where seasonality was an advantage for this fruit. Also, the new varieties that arrive in Europe broaden the consumers' options with other offers such as seedless grapes, and growers feel the need to adopt the new technology.

A new competitor for Spain could be México, which since 2000-2001 has surpassed Spanish exports and has gain positions in the world production of fresh grapes (OIV, 2005). México, with Chile in América, finds itself in a situation similar to that of Spain, with Italy in Europe. In the case of Spain, it is clear that with Italy predominating and with competition from other countries outside the European community, table grape systems must optimize the production phase. First, it would be a priority to overcome limitations related to irrigation water, as well as to bet decidedly on technological improvements. These two aspects should be analyzed through an economic perspective since the studies such as those of Gurovich (2002) or Rana *et al.* (2004) are focused on technical-agronomic aspects.

The province of Alicante (with 55% of the domestic production, basically in the Vinalopó region) and the province of Murcia (with 30%) concentrate 79% of the area cultivated under grapes in Spain. Agriculture is characterized by small family farms. Of the production units in Vinalopó, 72%, and 66% in Murcia, are less than 5 ha (INE, 2005). In Vinalopó the growers are older; the young people prefer work in industry, and so it is not guaranteed that the next generation will take over production. In Murcia growers are younger and have more technical training; there is a larger number of large production units, and so there is more investment in innovations.

tienen menos de 5 ha (INE, 2005). En el Vinalopó los propietarios son de más edad, los jóvenes prefieren dedicarse a la industria y no está garantizado el relevo generacional. En Murcia los agricultores son más jóvenes, tienen mejor formación técnica y hay mayor número de grandes empresas, por lo que se realiza más inversión en innovaciones.

Su clima mediterráneo caracterizado por inviernos cortos y suaves, veranos calurosos y precipitaciones anuales inferiores a 300 mm, hacen del agua el recurso natural más escaso y de mayor valor en estas comarcas, lo que repercute en la sobreexplotación de los acuíferos y frecuentemente en su mala calidad. La producción sólo puede garantizarse con algún tipo de riego; así, 88.5% de las explotaciones de Alicante y 100% de las de Murcia son en regadío (MAPA, 2004). No se han desarrollado aún mercados oficiales de agua de riego, pero en las comarcas productoras hay intercambio del recurso y, sobre todo, es normal que el agricultor dosifique sus dotaciones y las reasigne hacia las parcelas más rentables. Esto propicia el manejo marginal, donde una parcela se mantiene cierto tiempo sólo con cuidados básicos. Impedir que el manejo marginal pase a ser definitivo es esencial para que la producción de uva sea sostenible. Se entiende que un proceso productivo agrario es sostenible cuando se realiza con una gestión correcta de sus recursos naturales, especialmente de los más limitantes, y tiene viabilidad económica, dando opciones de continuar en la actividad agraria a la sociedad que lo desarrolla.

Para fomentar un mejor uso del agua en la agricultura, la actual Directiva Marco de Aguas de la Unión Europea (OJ, 2000), plantea establecer una política tarifaria con horizonte en 2010. Con dicha política el precio del agua de riego aumentará, de manera que el precio final del agua de riego a pagar por el agricultor recoja todos sus costes (económicos y ambientales). Pero los precios en campo de la mayoría de los productos agrarios son cada día más bajos, y cualquier aumento en los costes de producción puede afectar seriamente a su rentabilidad. Por tanto, aumentará la falta de motivación para seguir en la agricultura en las sociedades rurales.

El objetivo del presente estudio fue determinar los efectos de la disponibilidad y del precio del agua de riego en la sostenibilidad de las explotaciones de uva. Para ello, se obtuvieron los precios sombra del agua de riego aplicando la programación compromiso; luego se calcularon las curvas de demanda del agua de riego que ayudan a analizar las repercusiones derivadas de aplicar una tarifa creciente en el precio del agua. El estudio se realizó por separado en las dos principales comarcas productoras, por lo que también se extrajeron conclusiones sobre las implantación de

The Mediterranean climate, characterized by short, mild winters, hot summers and annual precipitation below 300 mm, makes water the scarcest and most valuable natural resource in these regions. Thus, the aquifers are subject to excessive extraction, often resulting in poor quality of the water. Production can only be guaranteed with some type of irrigation: 88.5% of the operations in Alicante and 100% in Murcia are irrigated (MAPA, 2004). Official markets of irrigation water have still not been developed, but in producer regions the resource is exchanged; it is especially common that growers administer their allotment and divert it to more profitable plots. This propitiates marginal management, where a plot is maintained during a period with only basic cultural practices. Impeding marginal management from being definite is essential for grape production to be sustainable. A productive process is understood to be sustainable when it is done with appropriate management of its natural resources, especially those that are most limiting, and when it is economically feasible, giving the society where it develops options for continuing agricultural activity.

To encourage better use of water in agriculture, the current European Water Framework Directive (OJ, 2000) proposes establishing a pricing policy with an outlook to 2010. With this policy, the price of irrigation water will increase in such a way that the final price of irrigation water to be paid by the grower will cover all of the costs (economic and environmental) incurred in delivering it. But the field prices of most agricultural products are increasingly lower, and any increase in production costs may seriously affect its feasibility. Therefore, motivation of rural societies to stay in agriculture will continue to fall.

The objective of this study was to determine the effects of the availability and price of irrigation water on sustainability of grape production units. To this end, irrigation water shadow prices were obtained by applying compromise programming. Irrigation water demand curves were then calculated to assist in the analysis of the repercussions derived from applying an increasing tariff on the price of water. The study was conducted in the two producer regions separately, and so conclusions were reached on the implementation of improvements since these regions have very different entrepreneurial attitudes toward innovations in spite of their geographical proximity.

MATERIALS AND METHODS

Maximizing profits is the primary objective of Spanish grape growers, but given the strict water conditions of the regions studied, they must also minimize consumption of irrigation water. Analyzing

mejoras, ya que estas zonas tienen un comportamiento empresarial muy distinto ante las innovaciones a pesar de su cercanía geográfica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La maximización de la ganancia es el objetivo prioritario para los productores españoles de uva, pero dadas las estrictas condiciones hidrológicas de las comarcas estudiadas, también deberán minimizar el consumo del agua de riego. Al analizar juntos estos dos objetivos están en conflicto, siendo imposible una solución o plan de cultivo ideal para ambos. Por tanto, se buscaron las soluciones más cercanas a la ideal, aplicando la Programación Compromiso (PC) (Yu, 1973; Zeleny, 1973), que usa el concepto de distancia como grado de aproximación o desviación del valor real de un objetivo- j -ésimo, $f_j(x)$, a su óptimo o ideal (Romero y Reheman, 2004).

Se trata de determinar las métricas uno e infinito (L_1 y L_∞) que conforman el conjunto compromiso. El punto L_1 se obtiene resolviendo el siguiente problema de optimización:

$$\text{Min } L_1 = \sum_{j=1}^n w_j \frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_{*j}}$$

sujeto a $x \in F$; donde, x son las variables de decisión (o hectáreas a cultivar de cada actividad); F es el conjunto de restricciones del modelo; w_j es el peso o preferencia que el decisor muestra por el objetivo j -ésimo. Además, f_j^* es el valor ideal, y f_{*j} el valor anti-ideal del objetivo j -ésimo, y se extraen de la matriz de pagos obtenida al optimizar cada objetivo individualmente.

L_∞ se halla optimizando la función lineal siguiente:

$$\text{Min } L_\infty = d$$

sujeta a $x \in F$ y a estas otras restricciones:

$$w_1 \frac{f_1^* - f_1(x)}{f_1^* - f_{*1}} \leq d$$

...

$$w_q \frac{f_q^* - f_q(x)}{f_q^* - f_{*q}} \leq d$$

donde, d representa la desviación más grande.

Cuando lo analizado son dos objetivos: los puntos eficientes, y los del conjunto compromiso, pueden dibujarse en un plano cartesiano. La pendiente entre dos de estos puntos señala el coste de oportunidad de pasar de una solución a la otra. El precio sombra del agua de riego se define como el incremento en la ganancia de la explotación cuando se aplica una unidad más de agua (Flores-Cruz *et al.*, 2002). En este trabajo se determina a través

de los dos objetivos juntos, que están en conflicto, ya que una solución o plan ideal es imposible para ambos. Por lo tanto, se buscó soluciones más cercanas al ideal a través de la aplicación de la programación de compromiso (PC) (Yu, 1973; Zeleny, 1973), que utiliza el concepto de distancia como el grado de aproximación o desviación del valor real del objetivo j -ésimo, $f_j(x)$, de su óptimo o ideal (Romero y Heheman, 2004).

El objetivo es determinar la métrica uno e infinito (L_1 y L_∞) que forman el conjunto de compromiso. El punto L_1 se obtiene resolviendo el siguiente problema de optimización:

$$\text{Min } L_1 = \sum_{j=1}^n w_j \frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_{*j}}$$

sujeto a $x \in F$; donde, x representa las variables de decisión (o hectáreas a cultivar para cada actividad); F es el conjunto de restricciones; w_j es el peso o preferencia que el decisor muestra por el objetivo j -ésimo. Además, f_j^* es el valor ideal, y f_{*j} el valor anti-ideal del objetivo j -ésimo, y se extraen de la matriz de pagos, que se obtiene optimizando cada objetivo individualmente.

L_∞ se encuentra optimizando la siguiente función lineal:

$$\text{Min } L_\infty = d$$

sujeto a $x \in F$ y a estas otras restricciones:

$$w_1 \frac{f_1^* - f_1(x)}{f_1^* - f_{*1}} \leq d$$

...

$$w_q \frac{f_q^* - f_q(x)}{f_q^* - f_{*q}} \leq d$$

donde, d representa la mayor desviación.

Cuando se analizan dos objetivos, los puntos eficientes y los del conjunto de compromiso, se puede dibujar un plano cartesiano. La pendiente entre dos de los puntos indica el costo de oportunidad al pasar de una solución a otra. El precio sombra del agua de riego se define como el aumento en la ganancia de la explotación al aplicar una unidad más de agua (Flores-Cruz *et al.*, 2002). En este estudio se determina a través de la pendiente entre los dos extremos del conjunto de compromiso. Manoliadis (2001) y Sabuni y Bakhshoudeh (2004) también utilizan la programación de compromiso para calcular el costo de oportunidad del agua de riego. El precio sombra es una buena aproximación de la productividad lograda con el agua, aunque una forma más rigurosa de determinar el precio máximo que los productores pueden pagar por este recurso es con las curvas de demanda de agua de riego. Para este propósito, se plantean modelos lineales donde los objetivos económicos y ambientales se integran en la función objetivo. En estas curvas, para cada precio, se selecciona un plan de cultivo, requiriendo un volumen de agua de riego y,

de la pendiente entre los dos extremos del conjunto compromiso. Manoliadis (2001) y Sabuni y Bakhshoudeh (2004) también usan la PC para calcular el coste de oportunidad del agua de riego. El precio sombra es una buena aproximación de la productividad que se obtiene del agua, aunque una manera más rigurosa de conocer el precio máximo que pueden pagar los agricultores por este recurso es con las curvas de demanda del agua de riego. Para ello se plantean modelos lineales donde el objetivo económico y el ambiental quedan integrados en la función objetivo. En estas curvas para cada precio resulta elegido un plan de cultivo que requiere un volumen de agua de riego, a la vez que genera un margen neto. Normalmente cuanto mayor sea la demanda de agua del plan de cultivo, menor será su ganancia, dado que a ésta se le resta el coste directo del agua. En trabajos de Berbel y Gómez-Limón (2000), El-Awar *et al.* (2001), y Zekri y Easter (2005), también se determinó el impacto de una política tarifaria en el riego mediante modelos lineales.

En el Cuadro 1 están las características técnicas que se introducen en la modelización de las dos zonas; se distingue el escenario-A, contexto productivo más frecuente, y el escenario-B, que a criterio de los técnicos consultados, puede generalizarse a corto plazo. También se indican los límites de las restricciones detalladas posteriormente; por ejemplo, aunque todo el cultivo es irrigado, puede variar la superficie de la explotación regada por goteo (hasta 50% en el escenario-A y 90% en el escenario-B). Además, se especifica la disponibilidad máxima de agua de riego en la explotación, que no varía entre escenarios pero sí con la zona.

Establecimiento de los modelos matemáticos

Los dos objetivos analizados son:

Cuadro 1. Características tecnológicas y límites de los escenarios de modelización para la uva española (datos para una explotación familiar de 5 ha).

Table 1. Technological characteristics and limits of modeling scenarios for Spanish grapes (data for a 5 ha family production unit).

	Escenario-A	Escenario-B
Potencia de la maquinaria	baja	alta
Uso de atadoras	no	sí
Uso de prepodadoras (sólo en espalderas en Vinalopó)	no	sí
Trituradoras de restos de poda	no	sí
Disponibilidad máxima de agua de riego en explotación (m ³):		
Mensual en Vinalopó [†] (D _m)	3250	3250
Mensual en Murcia [†] (D _m)	4125	4125
Anual en Vinalopó (D _a)	17500	17500
Anual en Murcia (D _a)	18750	18750
Superficie de la explotación con goteo (%g)	< 50%	< 90%
Superficie de explotación con espaldera en Y, en Vinalopó (%y)	< 30%	< 50%
Superficie cubierta (variedad Superior en Murcia) (%cu)		< 45%
Restricciones de mercado (%mk):		
Aledo (Vinalopó)	< 45%	< 45%
Victoria (Vinalopó)		< 10%
Superior (Vinalopó)		< 5%
Crimson (Murcia)		< 10%

Fuente: Elaboración propia tras entrevistas a técnicos.

[†] El periodo de riego es de marzo a septiembre

at the same time, generates a net profit. Normally, the higher the cropping plan's demand for water, the lower the profit, given that the direct cost of water is subtracted. In the studies of Berbel and Gómez-Limón (2000), El-Awar *et al.* (2001), and Zekri and Easter (2005), the impact of an irrigation pricing policy was also determined using linear models.

The technical characteristics that are introduced in modeling the two regions are shown in Table 1. Scenario-A stands out as the most frequent productive context, while scenario-B, according the consulted technicians, could become generalized in the short term. The limits of the restrictions, detailed below, are also indicated. For example, although the entire crop is irrigated, the area under drip irrigation can vary (up to 50% in scenario-A and 90% in scenario-B). Moreover, the maximum availability of irrigation water for the operation is specified; this does not vary among scenarios, but does between the regions.

Establishment of the mathematical models

The two objectives analyzed are:

$$Max \sum_{i=1}^n MN_i \cdot X_i$$

$$Min \sum_{i=1}^n Q_i \cdot X_i$$

where, X_i is the cultivated area; MN_i is the net profit; Q_i is the yearly irrigation water allotment for activity i . In modeling, the two objectives are given the same weight. The calculations were applied to a representative farm with 5-ha in each region (restriction 1,

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n MN_i \cdot X_i$$

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n Q_i \cdot X_i$$

donde, X_i es la superficie cultivada; MN_i es el margen neto; Q_i es la dotación anual de agua de riego de la actividad i . En la modelización se da el mismo peso a los dos objetivos. Los cálculos se aplicaron a una explotación representativa de las dos comarcas con 5 ha (restricción 1 cuya expresión matemática se expresa en el Cuadro 3). La explotación dispone de una Unidad de Trabajo Agrario (UTA) familiar, equivalente a 1920 h anuales; así, sólo el trabajo trimestral que el propietario no pueda efectuar lo hará con mano de obra contratada (restricción 2). En el Cuadro 2 se describen las variables decisionales introducidas en los modelos (13 actividades de cultivo para Vinalopó y 12 para Murcia), el volumen de riego anual (idéntico para los dos escenarios), y los márgenes netos. En el cálculo de los márgenes netos (ingresos menos los costes variables y los fijos) se consideraron producciones medias en las dos zonas y precios medios de la uva en campo, sin incluir el coste de mano de obra, ya que la eventual se deducirá en la función objetivo, y la familiar deberá retribuirse con el resultado obtenido

whose mathematical expression is found in Table 3). The production unit has an Agricultural Work Unit (UTA, Unidad de Trabajo Agrario) equivalent to 1920 h per year; thus, only trimestral work that the owner cannot do will be done by hired labor (restriction 2). In Table 2, the decision-making variables introduced in the models (13 cultivation activities for Vinalopó and 12 for Murcia), yearly volume of irrigation (identical for both scenarios), and net profits are described. In the calculation of net profits (income minus variable and fixed costs) mean yields of the two regions and mean grape prices in the field were considered, without including the cost of labor since temporary labor will be deduced in the objective function and family labor must be recompensed by the results obtained from production. Given that depreciation of machinery, drip irrigation system, screen covering, etc., is accounted in fixed costs when taking net profit as the economic objective, the cost of adoption of technology is considered in each scenario. Greater detail of the calculation of profits is found in Fernández-Zamudio (2003). The rest of the restrictions of the models are maximum monthly and yearly irrigation allotments [3], maximum area of cultivation that will be subject to adoption of drip irrigation [4], change to Y trellises [5], and covering with net screening [6], as well as those restrictions derived from the market [7]. The limits imposed on each of these restrictions are shown in Table 1; 30% is the maximum area with marginal production management [8].

Cuadro 2. Características de las actividades de cultivo (variables decisionales) analizadas en la uva de mesa española.
Table 2. Analyzed characteristics of Spanish table grape cultivation activities (decision-making variables).

Zona	Actividades de cultivo	Esc.	Riego anual Q_i ($m^3 \text{ ha}^{-1}$)	Margen neto [†]	
				esc-A (€ ha^{-1})	esc-B (€ ha^{-1})
Vinalopó	Aledo. Inundac. Espaldera 3 hilos. Embolsada	A y B	3900	7311	7430
Vinalopó	Aledo. Goteo. Espaldera 3 hilos. Embolsada	A y B	4000	8156	8015
Vinalopó	Aledo. Goteo. Espaldera Y. Embolsada	A y B	4000	8999	8836
Vinalopó	Italia. Inundac. Espaldera 3 hilos. Embolsada	A y B	3900	5000	4917
Vinalopó	Italia. Inundac. Espaldera 3 hilos. No embolsa	A y B	3900	5233	5150
Vinalopó	Italia. Goteo. Espaldera 3 hilos. Embolsada	A y B	4000	4916	4872
Vinalopó	Italia. Goteo. Espaldera 3 hilos. No embolsa	A y B	4000	5638	5582
Vinalopó	Italia. Inundac. Parral. Embolsada	A y B	3900	5199	5247
Vinalopó	Italia. Goteo. Parral. Embolsada	A y B	4000	6160	6223
Vinalopó	Italia. Goteo. Espaldera Y. Embolsada	A y B	4000	5934	5771
Vinalopó	Victoria. Goteo. Espaldera Y. No embolsa	B	3500		7931
Vinalopó	Superior. Goteo. Espaldera Y. No embolsa	B	3500		10866
Vinalopó	Manejo marginal	A y B	0	-720	-720
Murcia	Napoleón. Inundac. Parral madera	A y B	5100	4433	4509
Murcia	Superior. Inundac. Parral madera	A y B	5100	7224	7014
Murcia	Italia. Inundac. Parral madera	A y B	5100	3675	3679
Murcia	Dominga. Inundac. Parral madera	A y B	5100	6995	6959
Murcia	Red Globe. Goteo. Parral madera	A	4620	7112	
Murcia	Superior. Goteo. Parral madera	A	3990	8754	
Murcia	Superior. Goteo. Parral acero	B	3990		7939
Murcia	Red Globe. Goteo. Parral acero. Malla	B	4620		6163
Murcia	Superior. Goteo. Parral acero. Malla	B	3990		13573
Murcia	Superior. Goteo. Parral acero. Malla +plástico	B	4550		15635
Murcia	Crimson. Goteo. Parral acero. Malla	B	4860		17590
Murcia	Manejo marginal	A y B	0	-787	-787

Fuente: Elaboración propia con datos medios de las dos zonas (año 2005).

[†] Márgenes netos sin incluir los coste de la mano de obra.

Cuadro 3. Expresión matemática de las restricciones de los modelos.
Table 3. Mathematical expression of the model restrictions.

Restricción	Expresión matemática
1] Superficie máxima cultivada	$\sum_{i=1}^n X_i = S_c \quad \text{y a su vez } S_c \leq S_d$
2] Mano de obra eventual contratada	$\sum_{t=1}^4 moe_t = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^4 mo_{it} \cdot X_i - \sum_{t=1}^4 mof_t$
3] Disponibilidad máxima de riego mensual y disponibilidad máxima de riego anual	$\sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^{12} Q_{im} \cdot X_i \leq D_m \quad \sum_{i=1}^n Q_i \cdot X_i \leq D_a$
4] Superficie máxima con riego por goteo	$\sum_{i=1}^n X_{ig} \leq (\%g) \cdot S_c$
5] Superficie máxima con espaldera en Y (Vinalopó)	$\sum_{i=1}^n X_{iy} \leq (\%y) \cdot S_c$
6] Superficie máxima cubierta con malla o plástico	$\sum_{i=1}^n X_{icu} \leq (\%cu) \cdot S_c$
7] Limitación del mercado	$\sum_{i=1}^n X_{imk} \leq (\%mk) \cdot S_c$
8] Superficie máxima marginal	$\sum_{i=1}^n X_i \geq 0.7 \cdot S_d$

Siendo: n el número de actividades de cultivo; X_i la superficie de la actividad i ; S_c la superficie cultivada; S_d la superficie disponible (5 ha). moe_t es la mano de obra eventual contratada; mo_{it} la mano de obra total requerida; mof_t la mano de obra familiar disponible en cada trimestre t (480 horas). Q_{im} es la necesidad mensual de riego de la actividad i ; D_m la dotación máxima mensual de la explotación; Q_i la necesidad de riego anual de la actividad i ; D_a la dotación anual de la explotación. X_{ig} , X_{iy} y X_{icu} son: la superficie de la actividad i con riego por goteo, espaldera en Y o con algún tipo de cubierta (malla o plástico); $\%g$, $\%y$ y $\%cu$ son las proporciones máximas de la explotación con goteo; espaldera en Y o cubierta. X_{imk} es superficie de las distintas actividades de cultivo que tienen alguna restricción de mercado, y $\%mk$ los límites de superficie que permite el mercado.

para la explotación. Dado que en los costes fijos se contabilizan las amortizaciones, de la maquinaria, instalación del riego por goteo, cubierta de malla etc., al tomar como objetivo económico el margen neto se tiene en cuenta el coste de adopción de tecnología en cada escenario. Un mayor detalle del cálculo de márgenes se encuentra en Fernández-Zamudio (2003). El resto de restricciones de los modelos son: las dotaciones máximas de riego mensuales o anuales [3], la superficie máxima de la explotación que adoptará el goteo [4], que cambiará a espaldera en Y [5], o que se podrá cubrir de malla y plástico [6], y también las restricciones derivadas del mercado [7]. Los límites impuestos a cada restricción se muestran en el Cuadro 1, siendo para la máxima superficie con manejo marginal el 30% de la explotación [8]. Tras validar el modelo, comprobando que los resultados del escenario-A responden a la realidad actual en las dos zonas, se realizan los cálculos para el escenario-B.

Para obtener las curvas de demanda en la función objetivo se integra la ganancia económica y el consumo de agua de las n actividades de cultivo:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n MN_i \cdot X_i - Q_i \cdot X_i \cdot p_q$$

siendo X_i la superficie cultivada, MN_i el margen neto de la actividad i , y Q_i su dotación anual de agua de riego. Además p_q es el

After validating the model, verifying that the results of scenario-A respond to current reality in the two regions, calculations for scenario-B are then performed.

To obtain the demand curves in the objective function, economic gains and water consumption of the n cultivation activities are integrated:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n MN_i \cdot X_i - Q_i \cdot X_i \cdot p_q$$

where, X_i is the cultivated area, MN_i the net profit from activity i , and Q_i its yearly quota of irrigation water. Also, p_q is the price of irrigation water^[3] for each parameter (from zero to 4€ per m³). The restrictions of the model are the same as in compromise programming, except for restriction [3], which is not introduced (since water consumption is deducted as a cost in the objective function).

RESULTS AND DISCUSSION

The payment matrixes in the two modeling scenarios and for the two regions obtained with individual optimization of the two objectives are shown in Table 4; the solutions of the compromise

precio del agua de riego^[3] en cada parametrización (desde cero a 4€ por m³). Las restricciones del modelo son las mismas que en la programación compromiso, exceptuando la restricción [3] que no se introduce (ya que el consumo de agua se deduce como un coste, en la función objetivo).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 4 se muestran las matrices de pago en los dos escenarios de modelización y para las dos zonas obtenidas con la optimización individual de los dos objetivos, y en el Cuadro 5 se exponen las soluciones de los conjuntos compromiso. Resultan planes de cultivo que pueden clasificarse como sostenibles, ya que se obtuvieron conciliando el objetivo económico con el ambiental, que es consumir menos agua. En estos resultados apenas hay variación en la planificación resultante en L_1 y L_∞ , aunque sí hay diferencias importantes entre escenarios. En el Vinalopó parece mantenerse la uva embolsada (Aledo), y cuando se eleva el nivel de tecnología es previsible una reducción de la variedad Italia y mayor diversificación, sobre todo introduciendo variedades tempranas, o algunas apirenas, que de momento no están suficientemente adaptadas a este medio. En Murcia la tecnología propiciará una rápida sustitución de las variedades tradicionales, y el incremento de las apirenas (como Superior o Crimson) que preferentemente tendrán algún tipo de cubierta para adelantar la recolección. La superficie marginal permanece en el límite impuesto, pero podría reducirse eliminando las estrictas limitaciones en las dotaciones de agua (Alcón *et al.*, 2005).

Las mejoras tecnológicas ampliarán las expectativas económicas de los productores de uva. Los márgenes netos aumentarán una media de 15% en el Vinalopó y 97% en Murcia, cifras acordes con los cambios técnicos introducidos en cada zona. Además, la necesidad de mano de obra puede reducirse en más de

sets are shown in Table 5. Resulting are cropping plans that can be classified as sustainable since they were obtained by conciliating the economic objective with the environmental objective, that is consume less water. In these results there is little variation in L_1 and L_∞ in the resulting planning, although there important differences between the scenarios. In Vinalopó bagged grapes (Aledo) seems to sustain, and when the level of technology rises, a reduction in the Italia variety and greater diversification can be foreseen, particularly early varieties or some apirenas, which are not currently sufficiently adapted to this environment. In Murcia, technology will propitiate a rapid substitution of traditional varieties and an increase in apirenas (such as Superior or Crimson) that will preferably have some type covering to obtain earlier harvests. The marginal area remains within the imposed limits, but this could decrease by eliminating strict limitations in water allotments (Alcón *et al.*, 2005).

Technological improvements will broaden economic expectations of grape growers. Net profits will increase by a mean of 15% in Vinalopó and 97% in Murcia, figures that concord with technological changes introduced in each region. Moreover, the need for labor can be reduced by more than 9% in Vinalopó, while the new varieties in Murcia would require 16% more hours of work. Also, a decrease (of up to 7%) in consumption of water can be expected, especially in Murcia.

Irrigation efficiency, calculated by the ratio between net profit obtained and water consumption increases with the passage from scenario-A to scenario-B, giving evidence to the fact that adoption of technology is the best entrepreneurial strategy when water is lacking in the production units. Since the use of technology achieves optimization of the productive process, the opportunity cost decreases because a unit can have access to more water when passing from solution L_1 to solution L_∞ in the same

Cuadro 4. Matrices de pago de las dos comarcas y en los dos escenarios, en negrita se expresan los valores ideales. Datos para una explotación familiar con 5 ha.

Table 4. Payment matrixes of the two regions and in the two scenarios. Figures in bold type express ideal values. Data for a 5 ha family production unit.

	Vinalopó esc-A		Vinalopó esc-B		Murcia esc-A		Murcia esc-B	
	MN	AG	MN	AG	MN	AG	MN	AG
Max. margen neto (euros) (MN)	24212	13922.5	27458	16181	19298	17628	35963	16632.5
Min. consumo agua (m ³) (AG)	13311	13899	17165	13841	15021	16185	28379	15112.5

³ Éste es el precio real que paga el productor por cada metro cúbico de agua, y en él se incluyen los costes administrativos del suministro, del mantenimiento de las infraestructuras, de la energía para bombeo y distribución y otros impuestos o cánones. This is the real price that the grower pays for each cubic meter of water; this price includes administrative costs of delivery, maintenance of the infrastructure, energy for pumping, and other taxes or charges.

Cuadro 5. Planes de cultivo y resultados obtenidos para la uva española en el conjunto compromiso (L_1 y L_∞). Datos para una explotación familiar con 5 ha.**Table 5. Cropping plans and results obtained for Spanish grape in the compromise set (L_1 and L_∞). Data for a 5 ha family production unit.**

Actividades elegidas (en %):	Vinalopó esc-A		Vinalopó esc-B		Murcia esc-A		Murcia esc-B	
	L_1	L_∞	L_1	L_∞	L_1	L_∞	L_1	L_∞
Aledo.Inund.Esp-3hil.Embolsa.			16.8					
Aledo.Goteo.Esp-3hil.Embolsa.	40.5	40.5	23.7	40.5				
Aledo.Goteo.Esp-Y.Embolsa.	4.5	4.5	4.5	4.5				
Italia.Inund.Esp-3hil.No-embol.	20.3	20.2						
Italia.Goteo.Esp-3hil.No-embol.	4.7	4.8	10	12.5				
Victoria.Goteo.Esp-Y.No-embol.			10 [†]	10 [†]				
Superior.Goteo.Esp-Y.No-embol.			5 [†]	5 [†]				
Napoleón.Inund.Parra-madera.					25	27	5	5
Superior.Inund.Parra-madera.					10	8		
Dominga.Inund.Parra-madera.					5	5	10	10
Superior.Goteo.Parra-madera.					30	32		
Superior.Goteo.Parra-ace.Malla.							45 [†]	45 [†]
Crimson.Goteo.Parra-ace.Malla.							10 [†]	10 [†]
Superficie manejo marginal	30 [†]	30 [†]	30 [†]	27.5	30 [†]	28	30 [†]	30 [†]
Otros resultados:								
Sup. cultivo óptimo (ha)	3.5	3.5	3.5	3.63	3.5	3.61	3.5	3.51
Margen neto en explotación (€)	21175	21177	23785	24874	17511	18034	35070	35103
Mano de obra anual (horas)	1345	1345	1210	1254	1835	1873	2154	2158
Consumo agua en explotación (m ³)	13898.5	13899	13841	14428	16185	16607	15232.5	15285
Eficiencia agua riego (€ m ⁻³)	1.5	1.5	1.7	1.7	1.1	1.1	2.3	2.3
Precio sombra agua riego (€ m ⁻³)		4		1.9		1.24		0.63

Fuente: Elaboración propia.

† Resultados coincidentes con el limitado en el modelo.

9% en Vinalopó, mientras que las nuevas variedades de Murcia requerirán 16% más de horas de trabajo. Además, cabe esperar una disminución (hasta 7%) en el consumo de agua, sobre todo en Murcia.

La eficiencia del riego, calculada por el ratio entre el margen neto obtenido y el consumo de agua, crece cuando se pasa del escenario-A al escenario-B, constatándose que la adopción de tecnología es la mejor estrategia empresarial ante la falta de agua en las explotaciones. Como el uso de tecnología consigue optimizar el proceso productivo, el coste de oportunidad por disponer de una unidad más de agua se reduce al pasar de la solución L_1 a la solución L_∞ en un mismo escenario, o sea, se reduce su precio sombra. Los precios sombra del agua son más elevados en el Vinalopó, donde se aplican dotaciones menores que en Murcia y el agua es un recurso aún de más valor, por lo cual la productividad de cada m³ es muy elevada aunque se adopte la tecnología. De todas formas los valores resultantes son muy altos y hay que hacer una lectura prudente de los mismos.

Para comprobar cuál es el precio real que puede pagarse por el agua se elaboraron las funciones de demanda, de forma que al margen neto de cada plan de cultivo resultante se le resta el coste del agua requerida, el cuál será acorde al precio incluido en

escenario; that is, the shadow price decreases. Water shadow prices are higher in Vinalopó, where smaller allotments are allowed than in Murcia, and water is an even more valuable resource; thus, productivity of each m³ is higher even when technology is adopted. In any case, the resulting values are very high and caution is recommended when considering them.

To determine what the real affordable price is, demand functions were calculated in such a way that the cost of the required water is subtracted from each resulting cropping plan. The cost of water is concordant with the price included in each parametrization. The results of this calculation allow to draw Figure 1, where it is observed that the production units in Murcia demand more water than those of Vinalopó, up to 0.60 € m⁻³, a price at which Murcia would begin to reduce consumption. The curves of scenario-B show a higher demand than those of scenario-A since, if the grower has technology, other limitations, such as labor, can be compensated, and more productive varieties will be planted, but these consume more water.

Since the demand for water only begins to decrease when prices are very high, availability of the resource is an even greater limitation than its price. Analyzing the repercussion of the price of water on net profit (Figure 2), it can be observed that with prices above 1.5 € m⁻³

cada parametrización. Los resultados de este cálculo permiten dibujar la Figura 1, donde se observa que las explotaciones de Murcia demandan más agua que las del Vinalopó hasta 0.60 € m^{-3} , precio donde Murcia empezaría a reducir su consumo. Las curvas del escenario-B muestran una demanda mayor que las del escenario-A, ya que si se dispone de tecnología se podrán compensar otras limitaciones, como mano de obra, y se implantarán variedades más productivas, que consumen más agua.

Como la demanda del agua sólo empieza a reducirse cuando los precios son bastante elevados, resulta que, la disponibilidad del recurso es una limitación aún mayor que su precio. Analizando la repercusión del precio del agua sobre el margen neto (Figura 2), se observa que con precios superiores a 1.5 € m^{-3} sólo se obtiene un margen escaso, o incluso habrá pérdidas. Si se fija una renta de referencia de 18 000 euros para compensar el trabajo anual del empresario, el precio máximo que pueden soportar los pequeños productores de uva en el Vinalopó es 0.25 € m^{-3} en el escenario-A y 0.60 € m^{-3} en el escenario-B. En Murcia esta renta de referencia se alcanza para precios inferiores a 0.15 € m^{-3} en el escenario-A, mientras que el precio actual del agua es 0.18 € m^{-3} , lo que significa que sólo están logrando beneficio los agricultores con más tecnología. En el caso de implantar las mejoras del escenario-B, en Murcia se puede superar la renta de referencia hasta que el precio del agua sea de 1.1 € m^{-3} .

CONCLUSIONES

Para alcanzar la sostenibilidad en las explotaciones de uva de mesa española, en su mayoría de pequeño tamaño, se necesita una rentabilidad económica aceptable que contribuya a superar las dificultades sociales habituales en las zonas de cultivo, y una gestión eficiente de los recursos naturales, entre los cuales el agua es el más importante. Las mejoras propuestas en el escenario-B ayudan a alcanzar estos objetivos y dado que las tareas con maquinaria más cara suelen alquilarse y el restos de operaciones requieren sólo una pequeña inversión, ya considerada en los cálculos, el conjunto de innovaciones podrán ser asumidas inclusive por los productores más pequeños. Una mejora fundamental que se está generalizando, es la ampliación del riego por goteo. La uva de mesa hace un uso muy eficiente del agua y admite volúmenes muy inferiores al de otras especies en estas zonas, como cítricos y hortalizas.

La escasa respuesta de la demanda frente a precios ascendentes del agua, y por tanto ante la implantación de una política tarifaria, denota que el problema

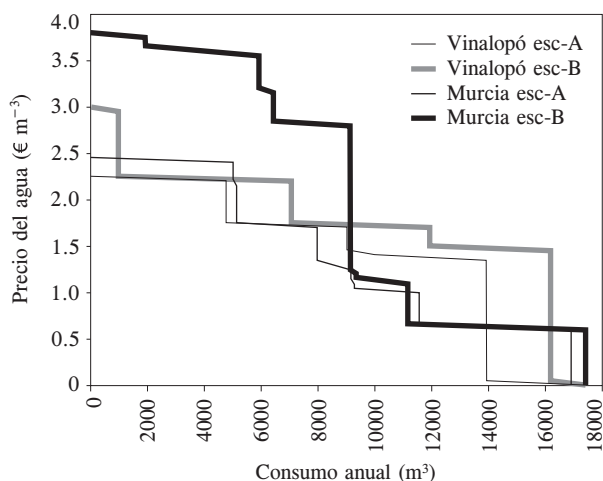


Figura 1. Curvas de demanda de agua de riego en la uva española (datos para explotaciones de 5 ha).

Figure 1. Irrigation water demand curves in Spanish grape (data for 5 ha production unit).

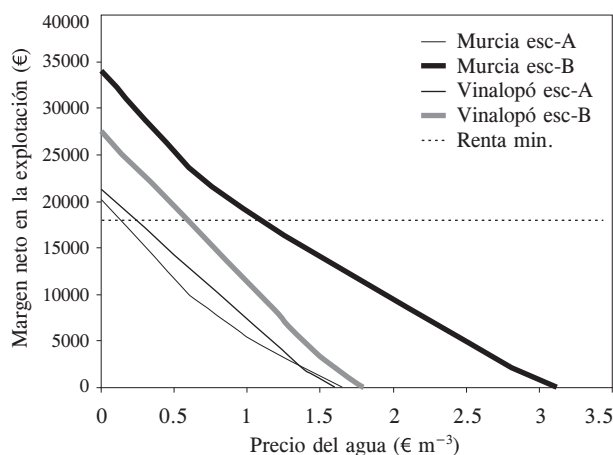


Figura 2. Impacto del precio del agua de riego en el margen neto de las explotaciones de uva española (datos para explotaciones de 5 ha).

Figure 2. Impact of irrigation water prices on net profit of Spanish grape production units (data for 5 ha production unit).

only a very low profit is obtained, or there may even be losses. If a reference income is set at 18 000 euros to compensate the yearly work of the entrepreneur, the maximum price that small grape growers in Vinalopó can afford is 0.25 € m^{-3} in scenario-A and 0.60 € m^{-3} in scenario B. In Murcia, this reference income is achieved when prices are lower than 0.15 € m^{-3} in scenario-A, while the current price of water is 0.18 € m^{-3} , meaning that only those growers with more technology are achieving profits. In the case of implementing the improvements of scenario-B, in Murcia it is possible to surpass the reference income when the price of water is not more than 1.1 € m^{-3} .

de estas zonas productoras es más la propia disponibilidad del agua y no su precio (Figura 1). Esta conclusión sólo es válida si las explotaciones tienen una rentabilidad aceptable, lo que no se puede asegurar a medio o largo plazo con la situación comercial actual. Para alcanzar la renta mínima fijada en el estudio, el precio del agua no debe superar 0.15 € m^{-3} en Murcia ni 0.25 € m^{-3} en Vinalopó, valores que podrían ser considerablemente mayores si las explotaciones mejoran su nivel tecnológico. Por tanto, la adopción de tecnología será la estrategia más directa para aumentar las expectativas de continuidad en los productores, que en general, no se sienten capaces de vencer las férreas reglas de los mercados.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación AGL 2002-04251-C03-01, financiado por el Ministerio Español de Ciencias y Tecnologías y los Fondos Europeos FEDER.

LITERATURA CITADA

- Alcón, F., M. A. Fernández-Zamudio, y M. D. De Miguel. 2005. Optimización de la tecnología y del agua de riego en la uva de mesa española. *Actas Portuguesas de Horticultura* 6(2): 422-427.
- Berbel, J., and J. A. Gómez-Limón. 2000. The impact of water-pricing policy in Spain: an analysis of three irrigated areas. *Agric. Water Manag.* 43(2): 219-238.
- El-Awar, F. A., M. R. Darwish, R. M Mteirik, and M. N. Nimah. 2001. Optimal cropping pattern for limited water supply: a case study in Lebanon. *App. Eng. Agric.* 17(3): 391-397.
- Fernández-Zamudio, M. A. 2003. Viabilidad de los sistemas hortofrutícolas mediterráneos según su grado de intensificación. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. 350 p.
- Florencio-Cruz, V., R. Valdivia-Alcalá, and C. A. Scott. 2002. Water productivity in the alto río Lerma (011) irrigation district. *Agrociencia* 36: 483-493.
- Gurovich, L. A. 2002. Irrigation scheduling of table grapes under drip irrigation: an approach for saving irrigation water and energy cost in Chile. *Int. Water Irrigation* 22(2): 44-50.
- INE (Instituto Nacional de Estadística). 2005. Estadísticas agrarias. Encuesta sobre la estructura de las explotaciones agrícolas. http://www.ine.es/inebase/menu6_agr.htm (Available 15/04/06).
- Manoliadis, O. G. 2001. Analysis of irrigation systems using sustainability-related criteria. *J. Environ. Quality* 30: 1150-1153.
- MAPA (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación). 2004. Anuario español de estadística agroalimentaria. <http://www.mapya.es/agr/estadisticas> (Available 15/03/06).
- Nahuelhual, L. 2005. Demanda por importaciones de uva de mesa chilena en el Mercado de Estados Unidos. *Agric. Técnica (Chile)* 65(1): 79-89.
- OJ (Official Journal). 2000. Directive 2000/60/EC. Framework for European Community action in the field of water policy. <http://europa.eu.int/scadplus/leg/en/lvb/l28002b.htm> (Available 1/02/06).
- OIV (Organización Internacional de la Viña y el Vino). 2005. Situación y estadísticas del sector vinícola mundial. <http://www.oiv.int/es/statistiques/index.htm> (Available 15/04/06)
- Rana, G., N. Katerji, M. Introna, and A. Hammami. 2004. Microclimate and plant water relationship of the "overhead"

CONCLUSIONS

To attain sustainability in the Spanish table grape production units, mostly small farms, an acceptable economic profitability is necessary to contribute to overcoming the social problems that are common in the growing regions, as well as efficient administration of natural resources, among these, water is the most important. The proposed improvements in scenario-B help to reach these objectives and, given that work requiring more expensive machinery is usually contracted and the rest of the operations require only small investment already considered in the calculations, the set of innovations could be undertaken even by small growers. A fundamental improvement that is becoming commonplace is extending drip irrigation. Table grapes make efficient use of water and endure much lower volumes than other species in these regions, such as citrus fruits and vegetables.

The scarce response of the demand because of rising water prices, and therefore, of implementation of a pricing policy, denotes that the problem of these producing regions is its availability rather than its price (Figure 1). This conclusion is only valid if the growers have an acceptable profitability, which cannot be assured in the medium or long-term with the current market situation. To achieve the minimum profit fixed in this study, the price of water should not exceed 0.15 € m^{-3} in Murcia and 0.25 € m^{-3} in Vinalopó. These prices could be considerably higher if growers improve their level of technology. Therefore, the adoption of technology will be the most direct strategy for increasing expectations of continuing production of the growers, who, in general, do not feel capable of overcoming the iron rules of the markets.

—End of the English version—



- table grape vineyard managed with three different covering techniques. *Scientia Horticulturae* 102(1): 105-120.
- Romero, C., and T. Rehman 2003. Multiple Criteria Analysis for Agriculture Decision. Elsevier. Amsterdam. 186 p.
- Sabuni, M., and M. Bakhshoudeh. 2004. Determining the relationship between the opportunity cost of water and farmers' risk attitudes, using multi-objective programming. *Agric. Sci. Tech.* 18(1): 39-47.
- Sumpsi, J. M., F. Amador, and C. Romero. 1996. On farmer's objectives: A multi-criteria approach. *Eur. J. Operational Res.* 96: 64-71.
- Yu, P. L. 1973. A class of solutions for groups decision problems. *Manag. Sci.* 19: 936-946.
- Zekri, S., and W. Easter. 2005. Estimating the potential gains from water markets: a case study from Tunisia. *Agric. Water Manag.* 72(3): 161-175.
- Zeleny, M. 1973. Compromise programming. In: Multiple Criteria Decision Making. Zeleny, M., and J. Cochrane (eds). University of South Carolina Press, Columbia. pp: 262-301.