

**MODELOS MULTICRITERIO: UNA APLICACIÓN A LA SELECCIÓN
DE ALTERNATIVAS PRODUCTIVAS¹**

Multicriteria models: an application for the selection of productive alternatives¹

Mónica Bocco², Silvina Sayago¹, Enzo Tártara¹

A B S T R A C T

In this work models are developed based on multicriteria programming: multiobjective programming is used complemented with the compromise programming and goal programming with the purpose of evaluating the optimization of more than one economic objective. The purpose of these models is to predict *ex-ante* the economic results, maximization of the gross margin and minimization of the enterprise risk, which will be observed in horticultural systems when new production alternatives are adopted, contemplating different agronomic and economic restrictions. These models were applied to small horticultural operations of the Green Belt in Córdoba, Argentina, in order to explain the changes in the economic situation of the farm when selecting and adopting new production plans, represented by the incorporation of alternative horticultural products for production. Comparing each model with the present situation of the producers, considering the variables involved, allows the conclusion that adopting any one of the modeled proposals, will mean an important diminution in the relation risk/gross margin with values up to 50% in the summer season and 66% in the winter season. The choice of solutions that, although not optimal are efficient, will result in a greater diversification of productive alternatives.

Key words: multicriteria models, optimization, adoption, horticultural products.

R E S U M E N

En este trabajo se desarrollan modelos basados en los métodos de programación multicriterio: se utiliza la programación multiobjetivo, complementada con la programación compromiso y por metas, con el fin de evaluar la optimización de más de un objetivo económico. Estos modelos tienen como propósito predecir *ex-ante* los resultados económicos, maximización del margen bruto y minimización del riesgo empresarial, que se observarán en los sistemas hortícolas al adoptar nuevas alternativas de producción, contemplando distintas restricciones agroeconómicas. Se realizó su aplicación a las pequeñas explotaciones hortícolas del Cinturón Verde de Córdoba, Argentina, para explicar el cambio de la situación económica de la empresa al seleccionar y adoptar nuevos planes de producción, representados por la incorporación de productos hortícolas alternativos para su producción. La comparación de cada modelo con la situación actual de las empresas, en cuanto a las variables involucradas, permite concluir que la adopción de cualquiera de las propuestas modeladas significará una disminución importante de la relación riesgo/margen bruto en valores de hasta un 50% para la estación estival, y un 66% para la estación fría. La elección de las soluciones que, sin ser óptimas serán eficientes, corresponden a una mayor diversificación de los cultivos a realizar.

Palabras clave: modelos multicriterio, optimización, adopción, productos hortícolas.

¹Recepción de originales: 16 de abril de 2001.

²Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias, CC 509 – 5000, Córdoba, Argentina. E-mail: mbocco@agro.uncor.edu

Investigación subsidiada por Secretaría de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

INTRODUCCIÓN

La decisión sobre qué producir en un predio supone seleccionar la mejor alternativa entre las posibles, apoyándose en la información disponible y el conocimiento de las características del sistema de producción, así como de las restricciones que limitan el mismo.

El funcionamiento de un sistema, y en particular el de producción hortícola, implica considerar criterios biológicos, técnicos, económicos, privados, sociales, políticos y ambientales (Rehman y Romero, 1993).

La modelación permite evaluar las distintas variables y predecir los resultados económicos de una empresa, originando una representación lo más cercana posible a la realidad. Desde la modelación matemática, la programación multicriterio permite dar cuenta de la situación que señala Romero (1993), según el cual los agentes económicos no optimizan sus decisiones en base al logro de un único objetivo, sino que buscan el equilibrio o compromiso entre un conjunto de éstos, generalmente en conflicto. En el caso del sector agrario, numerosos estudios ratifican la diversidad de objetivos y conflictos considerados por los productores (Hazell y Norton, 1986; Gómez-Limón y Berbel, 1995; Sumpsi *et al.*, 1997).

Los productores planifican sus cultivos para maximizar el margen bruto de su explotación, teniendo en cuenta, además, que sólo están dispuestos a asumir un determinado nivel de riesgo (Alarcón *et al.*, 1997); el grado hasta el cual los productores consideran necesario tomar medidas para asegurar la supervivencia de su empresa depende de la interacción entre el nivel de capital y la probabilidad (riesgo) que ocurran acontecimientos desfavorables y de relativa gravedad; es por ello que el productor utiliza la diversificación como medida de protección contra fenómenos inciertos y ocasionales, cuya aparición provoca fuertes tensiones en la empresa.

El objetivo de este trabajo es aplicar distintas metodologías multicriterio, la programación compromiso complementada con la programación por metas, a fin de elaborar modelos que permitan evaluar el cambio de los resultados económicos, en cuanto a margen bruto y riesgo empresarial, de las explotaciones hortícolas del Cinturón Verde de Córdoba, Argentina, al adoptar nuevas alternativas de cultivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Programación Multicriterio

La programación multiobjetivo establece un enfoque de gran potencialidad cuando la decisión se centra en optimizar más de un objetivo, lo cual a su vez debe satisfacer un conjunto de restricciones (Romero, 1996). En términos matemáticos, usando la programación multiobjetivo el problema se expresa como:

$$\begin{array}{l} \text{Opt} \\ X \in F \end{array} \quad f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)]$$

donde:

- Opt = Soluciones eficientes o pareto óptimas;
- $f_i(x)$ = Atributo i -ésimo;
- X = Vector de las variables de decisión;
- F = Conjunto de restricciones.

A partir de estos planteamientos se genera el conjunto de soluciones eficientes y de la matriz de pagos correspondiente; en dicha matriz se estudia la existencia de conflictos entre los objetivos y en caso afirmativo la cuantificación de éstos.

$$\text{Matriz de Pago} \rightarrow \begin{bmatrix} a_{i,j} \end{bmatrix}_{\substack{i=1,\dots,n \\ j=1,\dots,n}}$$

$$\text{Punto Ideal} \rightarrow a = (a_{11}, \dots, a_{nn})$$

donde:

$$a_{ii} = \text{Max}_{1 \leq i \leq n} f_i(x)$$

$$\text{Max } f_i(x) = \text{máximo } \{ f_i(x) / 1 \leq i \leq n \} \\ 1 \leq i \leq n$$

El punto ideal, aunque generalmente inalcanzable, se constituye en el punto de referencia para el productor-decisor, y resulta de gran utilidad para completar el desarrollo del modelo en la programación compromiso.

La programación compromiso define la solución óptima como la solución eficiente que se encuentra más próxima al punto ideal (Zeleny, 1973). Introduciendo la medida de la distancia a través de una métrica, se establece un subconjunto eficiente, cuyas cotas para problemas con dos objetivos quedan dadas por los puntos L_1 (indica los valores de mayor eficiencia) y L_∞ (indica la solución de mayor equidad) (Yu, 1985 y Yu *et al.*, 1975). Donde:

$$L_1 \rightarrow \text{Min } L_1 = \left[\sum_{j=1}^n w_j \frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_{*j}} \right] \\ L_\infty \rightarrow \text{Min } L_\infty = d$$

sujeto a

$$w_j \frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_{*j}} \leq d \quad 1 \leq j \leq n \quad \text{y } X \in F$$

f_j^* = Punto ideal; f_{*j} = Punto anti-ideal

w_j = peso que representa la preferencia a la discrepancia entre el objetivo j y el punto ideal.

Mediante la utilización de la programación por metas, se consigue minimizar las sumas de las desviaciones por exceso o defecto del óptimo de la función objetivo.

Estructura teórica del modelo

Los modelos se construyeron a partir de los dos principales objetivos de los productores hortíco-

las a pequeña escala: lograr el máximo margen bruto con el mínimo del riesgo al cual someten su capital. Para evaluar distintas propuestas de producción, se procedió a introducirlas en los modelos adicionando nuevas alternativas al sistema real.

Variables de decisión:

X_i : Número de hectáreas (ha) dedicadas al cultivo i con $1 \leq i \leq n$

Objetivos del productor:

a) Maximización del Margen Bruto de la explotación:
$$\text{Max } MB = \sum_{i=1}^k MB_i X_i$$

b) Minimización del Riesgo económico:
$$\text{Min } R = \sum_{i=1}^n (n_i + p_i)$$

sujeto a

$$\sum_{i=1}^n (MB_i^j X_i - \overline{MB}_i X_i) + n_j - p_j = 0 \quad 1 \leq j \leq k$$

donde:

MB_i = margen bruto cultivo i ;

MB_i^j = margen bruto cultivo i en el año j ;

\overline{MB}_i = promedio del margen bruto cultivo i durante la serie de k años, con $1 \leq j \leq k$;

n_j = variables de desviaciones negativas;

p_j = variables de desviación positivas.

Esta función se formalizó a partir del modelo de Hazell (Hazell, 1971) que define el riesgo como la suma de las desviaciones de los márgenes brutos de cada cultivo con respecto al promedio del margen bruto de cada una de ellas para cada año. Para disminuir las desviaciones se consideró una serie de tiempo de tres años, período que asegura datos confiables por parte del productor de los mismos.

Restricciones del sistema:

$$a) \text{ De tierra: } \sum_{i=1}^n X_i \leq S$$

$$b) \text{ De capital: } \sum_{i=1}^n CD_i X_i \leq K$$

$$c) \text{ De superficie mínima: } X_i \geq s_i$$

$$\text{sujeto a } \sum_{i=1}^n s_i = S \quad s_i \geq 0$$

donde:

- S = superficie total del establecimiento;
 CD_i = costos directos para realizar el cultivo i ;
 K = capital total disponible;
 s_i = superficie mínima a realizar con el cultivo i .

En este modelo la mano de obra no se considera como restricción, ya que los establecimientos ubicados en la zona en estudio poseen mano de obra propia, no ocasionándose nuevos gastos ni restricciones. Dentro del programa, la variable tiempo es considerada como unidad, ya que se opta por trabajar en dos períodos productivos correspondientes a la estacionalidad de los productos hortícolas: estival e invernal.

Por otra parte, como ambos indicadores económicos, margen bruto y riesgo empresarial, tienen igual importancia para el pequeño productor, los pesos w_j se consideran iguales y unitarios. La forma general de los modelos, en la cual se puede observar número de variables y restricciones incluidas, se presenta en el Anexo 1.

Zona de aplicación

La unidad de estudio son los establecimientos hortícolas pertenecientes a la Zona Norte del

Cinturón Verde de Córdoba, Provincia de Córdoba, Argentina. Se utilizaron encuestas que permitieron tipificar y realizar la evaluación técnica, económica y social de 56 pequeñas empresas productivas, que representan aproximadamente el 90% del total, utilizando técnicas de estadística multivariante: análisis de conglomerados y componentes principales (INTA, 1982; Tártara *et al.*, 1999).

Las principales características de los productores son: el 80% de los productores son propietarios de sus tierras; el establecimiento promedio cuenta con aproximadamente 9,85 ha; el productor y su familia aportan la totalidad de la mano de obra propia al sistema productivo; entre los cultivos representativos que conforman los planes de producción de los pequeños productores se encuentran lechuga (*Lactuca sativa* L.), acelga (*Beta vulgaris* L. var. cicla L.), zapallito (*Cucurbita pepo* L. var. zapallito) y repollo (*Brassica oleracea* L. var. capitata L.).

Para la construcción de los modelos, teniendo en cuenta la estacionalidad de los productos hortícolas, se consideraron como alternativas de producción para el período estival (septiembre-febrero): acelga, achicoria (*Cichorium intybus* L.), chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.), lechuga, pimiento (*Capsicum annuum* L.), remolacha (*Beta vulgaris*), tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) y zapallito; mientras que para la estación fría (marzo-agosto): acelga, achicoria, cebolla de verdeo (*Allium cepa*), lechuga, puerro (*Allium porrum*), repollo y remolacha.

La elección de estas alternativas productivas, que corresponden a las que actualmente presenta el establecimiento o productor promedio de la zona, y las restricciones de superficie ocupada por cada una, se consideraron como base de los modelos. A partir de este plan se evaluó el margen bruto y riesgo que presenta el establecimiento promedio. Estos resultados se constituyen en la base de comparación para las propuestas posteriores y se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Resultados económicos para establecimiento promedio, por período estacional
Table 1. Economic results for average establishment, by seasonal period

	Margen Bruto	Riesgo Económico
Período estival	US\$ 243.300	US\$ 205.497
Período invernal	US\$ 255.022	US\$ 163.202

US\$ año 2000 (Argentina 1 \$ = 1 US\$).

Los márgenes brutos y costos de realización de cada producto hortícola se obtuvieron a partir del programa Gesthor 2.0 (Bocco *et. al.*, 1999) y de los precios de mercado (Municipalidad de Córdoba, 2000); las unidades para expresar ambas variables se representan en dólares (US\$ año 2000). Para la aplicación se consideró el establecimiento promedio en lugar del modal. En la bibliografía sobre el tema no existe un criterio unánime para la elección de uno u otro, pero esta selección deberá considerarse al hacer inferencia de los resultados presentados.

Se proponen y comparan tres modelos para cada período estacional, que presentan modificaciones a las prácticas y resultados económicos reales observados. Cada uno de éstos contempla la adopción de dos o tres nuevos cultivos para su realización, los mismos se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Modelos multicriterios: incorporación de alternativas productivas
Table 2. Multicriteria models: incorporation of productive alternatives

	Modelo I	Modelo II	Modelo III
Alternativas incorporadas (Restricciones máximas)	Período Estival		
	Perejil (0,3 ha)	Espinaca (2 ha)	Espinaca (2 ha)
	Zanahoria (2 ha)	Perejil (0,3 ha)	Perejil (0,3 ha)
			Zanahoria (2 ha)
	Período Invernal		
	Perejil (0,3 ha)	Apio (2 ha)	Apio (2 ha)
Zanahoria (2 ha)	Perejil (0,3 ha)	Perejil (0,3 ha)	
		Zanahoria (2 ha)	

Las restricciones en los modelos se tomaron evaluando parámetros tecnológicos y agroeconómicos como: la situación climática de la zona, la ausencia de invernaderos para la producción a gran escala, la mano de obra familiar y la demanda del mercado a nivel microrregional, como en el caso del perejil (*Petroselinum hortense* L.). En cuanto a la superficie máxima dedicada a algunos cultivos, como señalan López de Pablo *et al.* (1997), entre los horticultores es frecuente en la práctica productiva la diversificación, ya que el mismo implica menor riesgo y evita la excesiva necesidad puntual de mano de obra.

Se utilizó el software Lingo (1999) para determinar las curvas de soluciones posibles (valores de las funciones objetivos), encontrar el punto ideal (punto donde ambos objetivos se optimizan) y el anti-ideal (punto que indica la solución menos atractiva para el decisor).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestra para cada uno de los modelos, el conjunto compromiso a partir del cual se deben elegir los valores óptimos de las variables de decisión.

Resultados Modelo I: Las alternativas viables para el período estival e invernal, en este modelo, se muestran en el Cuadro 3, donde se indican las respuestas en el espacio de las funciones objetivos.

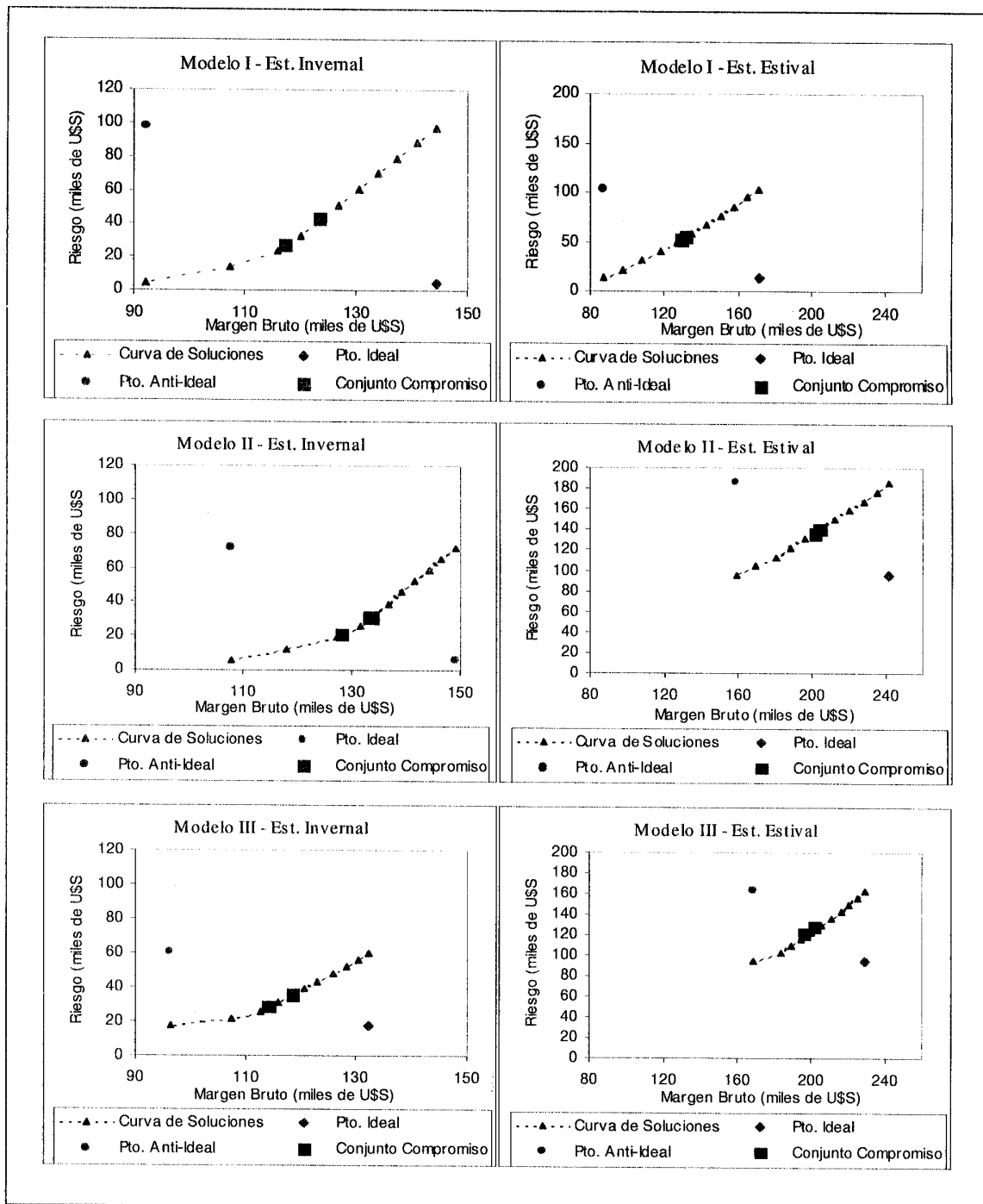


Figura 1. Modelos multicriterios: curva solución y conjunto compromiso. Punto ideal y anti-ideal en el espacio de las funciones objetivas.

Figure 1. Multicriteria models: solution curve and compromise set. Ideal and anti-ideal point in the function objective space.

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de los modelos.

Cuadro 3. Funciones objetivos y variables de decisión en los límites del conjunto compromiso. Modelo I

Table 3. Objective functions and decision variables in the limits of the compromise set. Model I

	Período Estival		Período Invernal	
	L ₁	L _∞	L ₁	L _∞
Funciones objetivos				
Margen Bruto	U\$S 129.098	U\$S 131.867	U\$S 117.238	U\$S 123.776
Riesgo	U\$S 52.186	U\$S 55.236	U\$S 28.524	U\$S 43.000
VARIABLES DE DECISIÓN				
Cultivo	Superficie			
Acelga	0,00 ha	0,00 ha	0,27 ha	0,60 ha
Achicoria	0,74 ha	0,83 ha	0,89 ha	0,98 ha
Cebolla de verdeo	n.c.	n.c.	1,00 ha	1,00 ha
Chaucha	0,64 ha	0,60 ha	n.c.	n.c.
Lechuga	4,53 ha	4,26 ha	0,30 ha	0,30 ha
Perejil	0,30 ha	0,30 ha	0,30 ha	0,30 ha
Pimiento	0,30 ha	0,30 ha	n.c.	n.c.
Puerro	n.c.	n.c.	2,66 ha	2,21 ha
Remolacha	0,66 ha	0,89 ha	0,30 ha	0,30 ha
Repollo	n.c.	n.c.	0,30 ha	0,30 ha
Tomate	0,38 ha	0,38 ha	n.c.	n.c.
Zanahoria	2,00 ha	2,00 ha	2,00 ha	2,00 ha
Zapallito	0,30 ha	0,30 ha	n.c.	n.c.

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del Modelo I.

U\$S año 2000 (Argentina 1 \$ = 1 U\$S).

n.c. = No contemplada en el plan de producción por ser cultivo no estacional.

L₁ = Solución de mayor eficiencia.

L_∞ = Solución de mayor equidad.

La incorporación de la zanahoria (*Daucus carota* L.) como nuevo cultivo de estación cálida, produjo diferencias en la relación margen bruto-riesgo, constituyéndose esta propuesta como la más conveniente.

La realización de estas propuestas para el período estival optimizaron los logros financieros, observándose una duplicación en la diferencia entre el margen bruto obtenido y capital, con respecto a la situación real. Para la época invernal los resultados mostraron que todos los cultivos propuestos en el Modelo I se incorporaron para su realización.

En promedio en el período estival la relación riesgo/margen bruto descendió de un 84% en la situación inicial a sólo 40%; y para la propuesta de estación fría dicha relación disminuyó de un 64% al 30% en promedio.

Resultados Modelo II: Cuando se propusieron como nuevas alternativas de producción apio (*Apium graveolens* L. var. dulce (Mill.) Pers.) (2 ha) y perejil (*Petroselinum hortense* L.) (0,3 ha) en la realización invernal, o bien espinaca (*Spinacia oleracea* L.) (2 ha) y perejil (0,3 ha), en el período estival, los resultados mostraron que ingresaron como válidos la realización de

todos los cultivos, excepto la acelga en el período cálido (ver Cuadro 4).

Esta nueva distribución de cultivos proporcionó un conjunto de valores de decisiones que mejoraron los márgenes brutos y riesgos empresariales comparados con los observados en la situación real. Se observó que para el período de estación fría la diferencia entre ambos aumentó en valores que superan 15%, y se complementó con un aumento de aproximadamente 70% cuando la nueva propuesta fue la del período estival. La adopción de los nuevos cultivos propuestos por este modelo en el período invernal se constituyó en los mejores logros con respecto a los restantes.

Resultados Modelo III: La propuesta de inclusión de dos alternativas importantes en cada período de producción, como es la adopción de 2 ha destinadas a apio y a zanahoria, para los cultivos de estación fría, o la misma superficie de espinaca y zanahoria en el período de verano, proporcionó resultados que indican que este modelo fue viable únicamente para los cultivos estivales. La distribución de cultivos para este modelo se puede observar en el Cuadro 5.

La propuesta de este modelo optimizó los logros financieros, observándose un aumento aproximado de 90% con respecto a la situación real,

Cuadro 4. Funciones objetivas y variables de decisión en los límites del conjunto compromiso. Modelo II

Table 4. Objective functions and decision variables in the limits of the compromise set. Model II

	Período Estival		Período Invernal	
	L_1	L_∞	L_1	L_∞
Funciones objetivas				
Margen Bruto	U\$S 201.382	U\$S 203.609	U\$S 128.091	U\$S 133.268
Riesgo	U\$S 137.000	U\$S 140.000	U\$S 21.900	U\$S 31.266
Variables de decisión				
Cultivo	Superficie			
Acelga	0,00 ha	0,00 ha	0,00 ha	0,23 ha
Achicoria	0,82 ha	0,99 ha	0,94 ha	1,00 ha
Apio	n.c.	n.c.	2,00 ha	2,00 ha
Cebolla de verdeo	n.c.	n.c.	1,00 ha	1,00 ha
Chauca	1,44 ha	1,77 ha	n.c.	n.c.
Espinaca	2,00 ha	2,00 ha	n.c.	n.c.
Lechuga	0,30 ha	0,30 ha	0,30 ha	0,30 ha
Perejil	0,30 ha	0,30 ha	0,30 ha	0,30 ha
Pimiento	0,30 ha	0,30 ha	n.c.	n.c.
Puerro	n.c.	n.c.	1,98 ha	1,70 ha
Remolacha	4,09 ha	3,45 ha	0,30 ha	0,41 ha
Repollo	n.c.	n.c.	0,42 ha	0,30 ha
Tomate	0,30 ha	0,44 ha	n.c.	n.c.
Zapallito	0,30 ha	0,30 ha	n.c.	n.c.

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del Modelo II.

U\$S año 2000 (Argentina 1 \$ = 1 U\$S).

n.c. = No contemplada en el plan de producción por ser cultivo no estacional.

L_1 = Solución de mayor eficiencia.

L_∞ = Solución de mayor equidad.

Cuadro 5. Funciones objetivos y variables de decisión en los límites del conjunto compromiso. Modelo III

Table 5. Objective functions and decision variables in the limits of the compromise set. Model III

	Período Estival		Período Invernal	
	L ₁	L _∞	L ₁	L _∞
Funciones objetivos				
Margen Bruto	U\$S 196.170	U\$S 201.853	U\$S 114.162	U\$S 118.415
Riesgo	U\$S 123.000	U\$S 129.000	U\$S 29.000	U\$S 36.000
VARIABLES DE DECISIÓN				
Cultivo	Superficie			
	L ₁	L _∞	L ₁	L _∞
Acelga	0,00 ha	0,00 ha	0,00 ha	0,00 ha
Achicoria	0,57 ha	0,75 ha	0,47 ha	0,60 ha
Apio	n.c.	n.c.	2,00 ha	2,00 ha
Cebolla de verdeo	n.c.	n.c.	1,00 ha	1,00 ha
Chaucha	0,30 ha	0,30 ha	n.c.	n.c.
Espinaca	2,00 ha	2,00 ha	n.c.	n.c.
Lechuga	0,30 ha	0,30 ha	0,30 ha	0,30 ha
Perejil	0,30 ha	0,30 ha	0,30 ha	0,30 ha
Pimiento	0,30 ha	0,52 ha	n.c.	n.c.
Puerro	n.c.	n.c.	1,02 ha	0,86 ha
Remolacha	2,29 ha	2,36 ha	0,30 ha	0,31 ha
Repollo	n.c.	n.c.	0,30 ha	0,30 ha
Tomate	1,19 ha	1,02 ha	n.c.	n.c.
Zanahoria	2,00 ha	2,00 ha	2,00 ha	2,00 ha
Zapallito	0,60 ha	0,30 ha	n.c.	n.c.

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del Modelo III.

US\$ año 2000 (Argentina 1 \$ = 1 US\$).

n.c. = No contemplada en el plan de producción por ser cultivo no estacional.

L₁ = Solución de mayor eficiencia.

L_∞ = Solución de mayor equidad.

en la diferencia entre el margen bruto obtenido y el capital arriesgado para la producción.

Dentro de las propuestas de incorporación potencial de nuevas estrategias de producción, y el riesgo económico distintivo que conlleva cada una de éstas, para la estación estival se observó un carácter constante de la relación marginal de transformación entre los criterios de riesgo económico en función del margen bruto, mientras que en el período invernal dicha relación se comportó según un crecimiento cuadrático. La adopción de cualquiera de estas propues-

tas significará una disminución importante del riesgo a asumir para su puesta en práctica y la elección de las soluciones, que sin ser óptimas, sí serán eficientes, se corresponden con una mayor diversificación de los cultivos a realizar con respecto a lo observado en los planes actuales de los establecimientos.

Las anteriores discusiones muestran que los modelos que contemplan optimizar más de un objetivo, como obtener el mayor margen bruto y el menor riesgo económico, son adecuados para describir comportamientos de un sistema

resultante de la compleja interacción de muchos componentes mutuamente dependientes.

Es interesante destacar que la combinación de enfoques multicriterios, que conforma la metodología desarrollada, posibilita que en todo momento esté presente el criterio de los productores, decisores del sistema, y constituyen un procedimiento de trabajo que resulta de utilidad para poder abordar problemas en el campo de la toma de decisiones sobre planes de producción hortícolas, pudiendo ser aplicada parcial o totalmente, según las restricciones de cada sistema.

No se puede soslayar que los sistemas de producción no se conciben sólo en función de las potencialidades y restricciones económicas, sino que responden también a razones socio-tecnológicas; no considerar este hecho representaría excluir del análisis los problemas políticos, sociales y económicos que influyen en los sistemas hortícolas. Es precisamente porque apostamos a esta concepción, que cobra relevancia esta aplicación y los resultados obtenidos para un proyecto concreto de desarrollo del sector.

Como expresa en Bocco *et al.* (2000), en el momento de la toma de decisiones y aplicación de estos resultados es siempre recomendable complementarlos con el conocimiento que tengan los investigadores y productores de la zona de estudio, debido a la presencia de factores que no siempre son cuantificables en un modelo.

CONCLUSIONES

Los modelos multicriterios constituyen una herramienta válida para estudiar los efectos prede-

cibles de la incorporación de nuevas alternativas productivas, considerando distintos factores, como los niveles de satisfacción económica del productor, la adecuación de los recursos, y las restricciones productivas particulares de cada sistema de producción.

En la aplicación realizada para el Cinturón Verde de Córdoba, Argentina, se debe destacar que las soluciones que representan planes productivos con mejores logros financieros son las que ingresan una importante diversificación de los cultivos dentro de la estrategia de explotación. La producción obtenida en los distintos períodos climáticos muestra mayores o menores logros, según el modelo adoptado.

En las propuestas correspondientes a cultivos de estación fría, la incorporación del apio permite obtener los mejores resultados, por ello es recomendable que los productores asuman las tecnologías necesarias para realizar este cultivo. Para la estación estival la realización de la alternativa que incluye a la zanahoria y el perejil resulta en el mayor aumento de la diferencia margen bruto-riesgo económico. En la mayoría de los modelos la acelga no tiene posibilidad de continuar como alternativa productiva para los productores que componen este grupo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos muy especialmente al Ingeniero Agrónomo Gabriel Ávila quien prestó un importante asesoramiento sobre épocas y modo de producción del área bajo riego del Cinturón Verde de Córdoba, Argentina.

LITERATURA CITADA

Alarcón, S., S. Alonso, y A. Serrano. 1997. Modelización de explotaciones agrarias mediante programación matemática. Una aplicación en la comarca de Arévalo-Madrigal (Ávila). *Investigación Agraria: Economía* 12:299-320.

Bocco, M., A. Serafini, y E. Tártara, 1999. Programa Gesthor 2.0. 20 p. Universidad Nacional de Córdoba. Secretaría de Extensión Universitaria, Córdoba, Argentina.

- Bocco, M., S. Sayago, y E. Tártara. 2000. Elección de alternativas productivas en explotaciones hortícolas: modelización a partir de la programación multiobjetivo. *Revista de Investigación Agraria*. Instituto Nacional de Investigación Agraria 15:27-45.
- Gómez-Limón, y J.A., Berbel, J. 1995. Aplicación de una metodología multicriterio para la estimación de los objetivos de los agricultores del regadío cordobés. *Investigación Agraria: Economía* 10:103-123.
- Hazell, P. 1971. A linear alternative of quadratic and semivariance programming for farming planing under uncertainty. *Am. J. Agric. Econ.* 53:53-62.
- Hazell, P., and Norton, R.D. 1986. Risk in the farm model. p.76-110. *In* Mathematical programming for economic analysis in agriculture. MacMillan, London, U.K.
- INTA. 1982. Serie de pasos a seguir en una caracterización de sistemas de producción. p. 21-26. Seminario sobre tipificación y clasificación de sistemas de producción. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Salta, Argentina.
- LINGO PC/6.0. 1999. Lindo Systems Inc.1415 N. Dayton. Chicago, Illinois. Consultas en <http://www.lindo.com>
- López de Pablo, M., J. Calatrava y R. Cañero. 1997. La descentralización del uso de mano de obra como estrategia productiva en horticultura Almeriense: Viabilidad y coste de oportunidad. *Investigación Agraria*. *Revista de Investigación Agraria*. Instituto Nacional de Investigación Agraria. Serie Economía y Sociología Agraria. Madrid 12: 409-424.
- Municipalidad de Córdoba-Argentina. 2000. Cotizaciones del Mercado de Abasto de Córdoba. Disponible en: <http://www.mercadocordoba.com.ar/mercadoc/cotiz.htm> Leído: 01/09/00 al 20/12/00.
- Rehman, T., and C. Romero. 1993. The application of the MCDM paradigm to the management of agricultural system: some basic considerations. *Agricultural Systems* 41:239-255.
- Romero, C. 1993. La teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones. p. 195. Ed. Alianza, Madrid, España.
- Romero, C. 1996. Multicriteria decision analysis and environmental economics: An approximation. *European Journal of Operational Research* 96:81-89.
- Sumpsi, J.M., F. Amador, and C. Romero. 1997. On Farmers Objectives: A Multi-Criteria Approach, *European Journal of Operational Research* 96:64-71.
- Tártara, E., J. Apezteguía, A. Roberi, M. Bocco, y O. Adib. 1999. Características de los sistemas fruti-hortícolas bajo riego del Cinturón Verde de la Ciudad de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables – Municipalidad de Córdoba. Dirección de Publicaciones Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Yu, P.L. 1985. Multiple-Criteria Decision Making. Concepts, Techniques and Extensions. 402 p. Kluwer Academic/Plenum Publishers, Hardbound, New York, USA.
- Yu, P.L., and M. Zeleny. 1975. The set of all nondominated solutions in linear cases and multicriteria simplex method. *Journal of Mathematical Analysis and Applications* 49:430-468.
- Zeleny, M. 1973. Compromise Programming. *In* Multiple Criteria Decision Making. p. 262-301. University of South Carolina Press, Columbia, USA.

ANEXO 1. MODELO TIPO

I. Período Estival

MAX $16.26 x_1 + 11.8 x_2 + 10 x_4 + 35.78 x_5 + 3.56 x_7 + 21.95 x_8 + 12.32 x_{10} + 20.4 x_{11}$
 $+ MB_i x_i + MB_j x_j$

SUBJECT TO

2) $x_1 + x_2 + x_4 + x_5 + x_7 + x_8 + x_{10} + x_{11} + x_i + x_j \leq 9.85$

3) $3.9 x_1 + 5 x_2 + 4.1 x_4 + 4 x_5 + 2.8 x_7 + 10 x_8 + 5.03 x_{10} + 12 x_{11} + C_i x_i + C_j x_j \leq 48.1$

4) $6.67 x_1 - 1.22 x_2 - 0.09 x_4 + 10.24 x_5 + 1.06 x_7 - 0.05 x_8 - 5.57 x_{10} - 1.71 x_{11} + d_i x_i + d_j x_j + n_1 - p_1 = 0$

5) $-0.52 x_1 + 2.56 x_2 + 2.96 x_4 + 6.29 x_5 - 0.15 x_7 + 0.23 x_8 + 7.11 x_{10} - 2.52 x_{11} + d_i x_i + d_j x_j + n_2 - p_2 = 0$

6) $-6.15 x_1 - 1.34 x_2 - 2.87 x_4 - 16.53 x_5 - 0.90 x_7 - 0.17 x_8 - 1.55 x_{10} + 4.23 x_{11} + d_i x_i + d_j x_j + n_3 - p_3 = 0$

7) $16.26 x_1 + 11.8 x_2 + 10 x_4 + 35.78 x_5 + 3.56 x_7 + 21.95 x_8 + 12.32 x_{10} + 20.4 x_{11} + MB_i x_i + MB_j x_j - MB = 0$

8) $N_1 + P_1 + N_2 + P_2 + N_3 + P_3 - RIES = 0$

9) $x_1 + x_2 + x_4 + x_5 + x_7 + x_8 + x_{10} + x_{11} + x_i + x_j - th = 0$

10) $x_1 \leq 3$

11) $x_2 \geq 0,3$

12) $x_4 \geq 0,3$

13) $x_5 \leq 1,5$

14) $x_7 \geq 0,3$

15) $x_8 \geq 0,3$

16) $x_{10} \geq 0,3$

17) $x_{11} \geq 0,3$

18) $x_i \leq r_i$

19) $x_j \leq r_j$

20) $th \geq 9,85$

END

II. Período Invernal

MAX $16.26 x_1 + 11.8 x_2 + 5.1 x_3 + 35.78 x_5 + 37 x_6 + 5.16 x_9 + 12.32 x_{10} + MB_i x_i + MB_j x_j$

SUBJECT TO

2) $x_1 + x_2 + x_3 + x_5 + x_6 + x_9 + x_{10} + x_i + x_j \leq 9.85$

3) $3.9 x_1 + 5 x_2 + 4.2 x_3 + 4 x_5 + 2 x_6 + 3.8 x_9 + 5.03 x_{10} + C_i x_i + C_j x_j \leq 29.58$

4) $6.67 x_1 - 1.22 x_2 - 1.17 x_3 + 10.24 x_5 + 6.76 x_6 - 4.87 x_9 - 5.57 x_{10} + d_i x_i + d_j x_j + n_1 - p_1 = 0$

5) $-0.52 x_1 + 2.56 x_2 - 1.75 x_3 + 6.29 x_5 + 5.97 x_6 - 3.32 x_9 + 7.11 x_{10} + d_i x_i + d_j x_j + n_2 - p_2 = 0$

6) $-6.15 x_1 - 1.34 x_2 + 2.91 x_3 - 16.53 x_5 - 12.73 x_6 + 8.19 x_9 - 1.55 x_{10} + d_i x_i + d_j x_j + n_3 - p_3 = 0$

7) $16.26 x_1 + 11.8 x_2 + 5.1 x_3 + 35.78 x_5 + 37 x_6 + 5.16 x_9 + 12.32 x_{10} + MB_i x_i + MB_j x_j - MB = 0$

8) $N1 + P1 + N2 + P2 + N3 + P3 - RIES =$
 9) $x1 + x2 + x3 + x5 + x6 + x9 + x10 + xi + xj - th = 0$
 10) $x1 \leq 3$
 11) $x2 \geq 0,3$
 12) $x3 \geq 0,3$
 13) $x5 \leq 1$
 14) $x6 \leq 1$
 15) $x9 \geq 0,3$
 16) $x10 \geq 0,3$
 17) $xi \leq r_i$
 18) $xj \leq r_j$
 END

! x1 = acelga
 ! x2 = lechuga
 ! x3 = repollo
 ! x4 = zapallito
 ! x5 = achicoria
 ! x6 = cebolla de verdeo
 ! x7 = chaucha
 ! x8 = pimiento
 ! x9 = puerro
 ! x10 = remolacha
 ! x11 = tomate
 ! xi = alternativa i-ésima
 ! xj = alternativa j-ésima

Donde

xi, xj = alternativas productivas para cada modelo, de acuerdo al Cuadro 2.

MB_i, C_i, d_i, r_i corresponden a Margen Bruto, Costo, Desviación de los márgenes brutos con respecto al promedio del margen bruto para cada año, y Restricción de superficie máxima, todo ello para la alternativa productiva i-ésima. Análogamente para MB_j, C_j, d_j, r_j .