

## ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN PARA MAXIMIZAR EL MARGEN BRUTO EN UN SISTEMA TRADICIONAL GANADO-CULTIVO DEL SECANO DE LA IX REGIÓN<sup>1</sup>

### Production strategies to maximize the gross margin on a traditional crop-livestock system of the dryland of the IX Region<sup>1</sup>

Adrián Catrileo S.<sup>2</sup>\*, Max Véjar M.<sup>3</sup> y Claudio Rojas G.<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

Based on a real crop-livestock production system, a linear programming model was developed to evaluate and maximize gross margins of the system. The real system evaluated over 4 seasons at the Carillanca Research Center, IX Region, considered a total surface of 15 ha, and a crop rotation with oats (*Avena sativa*), lupines (*Lupinus angustifolius*), wheat (*Triticum aestivum*) and two years of pasture with Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) and red clover (*Trifolium pratense*). Hereford steers of 7 - 9 months of age were integrated into the system in order to finish them at 16-18 months of age and 390-400 kg liveweight (LW). The matrix of the model included 27 decision variables and 30 restrictions. Dry matter production of the pasture (input) was the basis of the cattle feeding. The daily LW gain of the steers was simulated through equations considering LW, DM availability and energy content of the pasture. Model results permit the examination of different options. For a system of 15 ha, the maximum gross margin was M\$ 1,843 (pesos) with a fixed rotation of 3 ha for each crop and 27 steers in the system. In the evaluation of a free crop rotation, the gross margin of the system increased to M\$ 2,672 with 49 steers on 10 ha of pasture, 2.7 ha of lupines and 0.88 ha of oats. In both situations, the animals were the main economic contributors of the system.

**Key words:** linear programming, gross margin, beef production.

#### RESUMEN

Basado en un sistema real de producción de ganado y cultivos, se desarrolló un modelo de programación lineal para evaluar y maximizar márgenes brutos del sistema. El sistema real evaluado durante 4 temporadas en INIA-Carillanca (38° 35' lat. S., 70° 50' long. O.), consideró una superficie total de 15 hectáreas y una rotación de cultivos con avena (*Avena sativa*), lupino (*Lupinus angustifolius*), trigo (*Triticum aestivum*) y dos años de praderas de ballica italiana (*Lolium multiflorum*) y trébol rosado (*Trifolium pratense*). Novillos Hereford de 7-9 meses de edad fueron integrados al sistema con el objeto de terminarlos a pastoreo, con 16-18 meses de edad y 390-400 kg de peso vivo. La matriz del modelo considera 27 variables de decisión y 30 restricciones. La producción de materia seca de la pradera (input) representó la base de la alimentación del ganado. La ganancia diaria de peso de los novillos fue simulada a través de ecuaciones que consideran el peso vivo, la disponibilidad de materia seca y el contenido energético de la pradera. Los resultados del modelo permiten examinar diferentes opciones. Para un sistema de 15 ha el máximo margen bruto fue M\$ 1.843 con una combinación fija de 3 ha de cada cultivo y 27 novillos. Al considerar una asignación libre de los cultivos, el margen bruto aumentó a M\$ 2.672 e incluyó 49 novillos en 10 ha de praderas, 2,7 ha de lupino y 0,88 ha de avena. En ambas situaciones, los animales fueron el principal contribuyente económico del sistema.

**Palabras clave:** programación lineal, margen bruto, producción de carne bovina.

<sup>1</sup> Recepción de originales: 23 de Agosto 2001.

Trabajo presentado a la XXIII Reunión Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal. 21-23 de octubre 1998. Chillán, Chile.

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Carillanca, Casilla 58 D, Temuco, Chile.

E-mail: acatrileo@carillanca.inia.cl \*Autor para correspondencia.

<sup>3</sup> Universidad de la Frontera, Facultad de Ingeniería y Administración, Casilla 54-D, Temuco, Chile.

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de entender el funcionamiento de los sistemas agrícolas y ganaderos y cómo éstos pueden afectar o son afectados por influencias externas, es en la actualidad de la mayor importancia. Desde este punto de vista el enfoque de sistemas como técnica de análisis, requiere que el analista defina el sistema, sus límites y componentes, desarrolle modelos de sus componentes, y los integre para el estudio de la respuesta del sistema como un todo (Rabbinge *et al.*, 1994). A nivel de predio, Maino *et al.* (1993) han desarrollado y aplicado estas técnicas a través de un modelo de objetivos múltiples con el objeto de evaluar el impacto de diferentes acciones tecnológicas y de desarrollo rural en predios de pequeños productores de la VIII Región del país. En un sentido más amplio, algunos modelos de programación lineal (PL) han sido utilizados para evaluar los efectos combinados de factores económicos y de medio ambiente en sistemas mixtos ganado-cultivo (De Koeijer *et al.*, 1995).

Una de las características de la IX Región es la presencia de sistemas mixtos de producción de secano (Catrileo y García, 1994). Dentro de estos sistemas, una parte importante corresponde a predios con superficies inferiores a 50 ha que bajo las actuales condiciones de mercado tienen dificultades para obtener la mejor combinación del uso de suelo, con rubros tradicionales de secano como son el trigo, lupino, avena y la producción de carne bovina. Rojas *et al.*, (1993) demostraron en condiciones experimentales, el potencial de producción de carne con novillos a partir de una sucesión de cultivos en una superficie de 15 ha que puede representar la realidad de muchos productores de la IX Región.

La metodología de PL ha sido descrita por Dent *et al.* (1986), siendo sugerida como una vía para analizar cursos de acción y sus posibles implicancias a nivel predial. Adicionalmente, la técnica de PL ha sido unida a técnicas de simulación (Herrero *et al.*, 1999) con el fin de desarrollar una mayor comprensión del sistema y apoyar en la toma de decisiones y aplicarlo posteriormente, en el diseño de estrategias de

manejo para un uso más eficiente de los recursos suelo, ganado y praderas presentes en el predio.

El presente trabajo tuvo por objetivo establecer un modelo de PL, que tomando en cuenta una combinación de cultivos y ganadería y sujetos a diferentes restricciones, pudiera evaluar diferentes opciones para maximizar los márgenes brutos del sistema.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño de la matriz de PL plantea una superficie fija de 15 ha, considerando la rotación avena (*Avena sativa*), lupino (*Lupinus angustifolius*), trigo (*Triticum aestivum*) y dos años de una pradera compuesta por trébol rosado (*Trifolium pratense*) y ballica bianual (*Lolium multiflorum*). El sistema integra a esta rotación novillos Hereford de 7 a 9 meses de edad y 200 kg de peso vivo inicial.

La función objetivo del sistema corresponde a la maximización de los márgenes brutos obtenidos de la venta de trigo, avena, lupino y novillos de 18 meses de edad de 400 kg. La sumatoria de la superficie destinada a cada cultivo consideró un máximo de 15 ha, manteniendo la restricción de la combinación de cultivos bajo la condición,  $X_i \leq S/5$  donde, S corresponde a superficie total, y  $X_i$  al tipo de cultivo; de esta forma, cada cultivo no podía ocupar una superficie superior a 3 ha.

Para la situación ganadera, se distribuyó mensualmente la disponibilidad de materia seca (kg MS ha<sup>-1</sup>) asociada a su contenido de energía (Mcal EM kg<sup>-1</sup> MS), y ello se contrastó con el requerimiento energético del ganado, lo cual se determinó a través de una ecuación de consumo que relacionó peso vivo (PV) y disponibilidad de MS por hectárea con el balance energético (MAFF, 1987). Durante la época invernal se asumió que los animales tenían acceso a suplementación con ensilaje y grano (avena y lupino) proveniente del sistema, para evitar caídas de PV. La matriz de PL consideró un total de 27 actividades y 30 restricciones entre las cuales, además de la superficie, figuran restricciones de superficie destinada a ensilaje del sistema, distribución mensual de la oferta de MS de la pradera, de rotación o vínculos de la superficie en producción

de cada cultivo y aquella destinada para venta o suplementación, y el capital de operación.

Todos los precios se consideraron en moneda al momento de julio de 1999 (1 US\$ = \$516,74; 1 UF = \$14.906,67) y los rendimientos según antecedentes recogidos de situaciones reales de la IX Región, como resultado de la aplicación de paquetes tecnológicos recomendados por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) en cada cultivo y praderas.

**Resolución del problema**

Para la resolución de la matriz se utilizó la PL a través de la herramienta de optimización y asignación de recursos “Solver” de Microsoft Excel, programa disponible para su uso en PC, que actúa sobre el sistema definido en la hoja de cálculo buscando los valores que satisfacen las restricciones y la celda objetivo.

En términos algebraicos y notación PL, la resolución de un problema cuya función objetivo es la maximización puede ser establecido de la siguiente manera:

Encontrar los valores de X1, X2, X3, .....Xj.....Xn que maximizen Z:

$$Z = C1X1 + C2X2 + \dots + CjXj + \dots + CnXn$$

Sujeto a

$$a11X1 + a12X2 + \dots + a1jXj + \dots + a1nXn \leq b1$$

$$a21X1 + a22X2 + \dots + a2jXj + \dots + a2nXn \leq b2$$

.....

$$am1X1 + am2X2 + \dots + amjXj + \dots + amnXn \leq bm$$

y donde,

$$X1, X2, \dots, Xj, \dots, Xn \geq 0$$

Para este efecto, con las ecuaciones de la función objetivo y las restricciones del modelo, se construyó la matriz en la hoja de cálculo Excel y sobre ella, se planteó la matriz sobre la cual se aplicó la macro “Solver” (Cuadro 1). Los coeficientes necesarios para la construcción de la matriz, vale decir, los insumos ocupados en cada rubro integrante de la combinación de cultivos, son proporcionados por hojas de cálculo anexas, considerando la actualización de la información contenida en ellas y de esta manera, si es necesario,

actualizar también el contenido de la matriz general.

**Variables de decisión**

Las variables de decisión o en este caso, celdas cambiantes, corresponden a aquellas celdas que afectan el valor de la función objetivo (FO), quedando definidas como sigue:

- XT : hectáreas sembradas de trigo.
- XA : hectáreas sembradas de avena.
- XAV : hectáreas de avena cuya producción se vende.
- XL : hectáreas sembradas de lupino.
- XLV : hectáreas de lupino cuya producción se vende.
- XP1 : hectáreas de pradera 1er año.
- XP2 : hectáreas de pradera 2do año.
- XN : número de cabezas de ganado.
- XSM : kilogramos de suplemento de ensilaje mensual por animal.
- XS : kilogramos de MS ensilada en la temporada actual.
- XRS : kilogramos de MS ensilada remanente temporada actual.
- XSA : kilogramos de MS ensilada remanente temporada anterior.
- Xsha : hectáreas destinadas a ensilaje en la temporada actual.
- XAM : kilogramos de suplemento de avena mensual por animal.
- XML : kilogramos de suplemento de lupino mensual por animal.
- XR1...XR12: kilogramos de materia seca remanente mensual.

**Función objetivo**

Como se señaló anteriormente el objetivo corresponde a la maximización de los márgenes brutos obtenidos de las actividades de producción de trigo, avena, lupino y animales, correspondiente a los precios de insumos y precios de la temporada 1998/99. Así, la función objetivo (FO) queda definida como la ecuación que corresponde a los márgenes brutos (MB) de los cultivos y animales multiplicado por el número de hectáreas o de animales según corresponda:

$$\text{Maximizar FO} = \text{MB Trigo} \times \text{XT} + \text{MB Avena} \times \text{XAV} + \text{MB Lupino} \times \text{XLV} + \text{MB An} \times \text{XN}$$





Los valores de los márgenes brutos (\$ ha<sup>-1</sup>) se calcularon sobre la base de los costos directos asociados a la producción del cultivo, el rendimiento por hectárea y el ingreso recibido a los precios vigentes al momento del análisis (julio 1999). De esta forma el MB para cada actividad (cultivos y ganadería) se calculó restando al ingreso total los costos directos asociados, y de acuerdo a los paquetes tecnológicos recomendados por INIA Carillanca (Rojas *et al.*, INIA CRI Carillanca, comunicación personal). Para efectos del análisis, se consideraron rendimientos unitarios de 5; 4,5; y 2,1 t de grano por hectárea, para trigo, avena y lupino, respectivamente, y atendiendo a los costos, se generaron MB de M\$85,5; M\$21,6; y M\$42,4 por hectárea, para los mismos cultivos. El MB para los animales se determinó en M\$51,6 por cabeza, representando la reposición el costo de mayor incidencia. Estos datos, que alimentan la matriz, se insertaron a través de una planilla Excel donde es posible modificar sus valores.

### Restricciones

Las restricciones en un total de 30, a las que está sujeto el problema son las siguientes:

#### a. Restricciones de superficie

Las restricciones de superficie se dividen, a su vez en: restricciones de superficie total y restricciones de rotación. La restricción de superficie total establece el tamaño total del predio a explotar. Si bien el sistema productivo real, base del estudio, se realiza sobre una superficie total de 15 ha, el modelo permite modificar este valor (aumentando o disminuyendo el número de hectáreas totales) o incluso liberar esta restricción y poder calcular el tamaño óptimo, quedando limitado sólo por restricciones técnicas y especialmente económicas (capital invertido). De esta forma, la superficie total del sistema puede ser descrita de la siguiente manera:

$$XT + XA + XL + XP1 + XP2 \leq 15 \text{ ha}$$

Por su parte, las restricciones de rotación (5), una para cada cultivo, se definen como:

$$Xi = S / N$$

donde:

$X_i$ : tipo de cultivo

S : superficie total

N: número de cultivos en secuencia (en este caso, N=5).

Por ejemplo, para el trigo la restricción de rotación es:  $XT \leq 3$ , donde XT corresponde a hectáreas sembradas de trigo.

En el sistema real los cultivos ocupan igual superficie y la rotación corresponde a la secuencia A-L-T-P1-P2 (avena (A), lupino (L), trigo (T)) y dos años de pradera (ballica Italiana y trébol rosado de primer y segundo año, P1 y P2, respectivamente).

#### b. Restricciones para el balance de materia seca MS

Para la elaboración de las restricciones de MS, 12 en total (desde enero a diciembre), el modelo asume el siguiente balance en la temporada:

$$\text{MS producida} + \text{MS suplemento} + \text{MS residual temporada anterior} = \text{MS consumida} + \text{MS residual}$$

En la matriz "Solver" se ordenaron mensualmente los aportes de MS de la pradera y los requerimientos de los animales (expresados en MS). Se asume que al inicio de los cálculos el modelo parte con animales de 200 kg PV a los cuales asigna un consumo diario de MS acorde a su peso, el cual se incrementa según el contenido energético del alimento disponible. Ello da origen a una tabla de consumo y pesos esperados y que cada mes calcula el consumo total de materia seca por mes por animal menos el suplemento entregado.

El consumo total de MS en kilogramos por animal por día es calculado según la ecuación de consumo ya descrita en otros trabajos (Catrileo, 1992):

$$CTMS = PV \times 0,028 \times (1 - e^{-0,001664 \times D})$$

donde:

CTMS: consumo total de MS (kg MS animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>);

PV: peso vivo (kg); D: disponibilidad de MS diaria por hectárea (kg MS ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)

Tradicionalmente, se ha considerado como consumo potencial un 3% del peso vivo del animal, aunque ello depende además del peso, de la digestibilidad del forraje, estado fisiológico del ganado, disponibilidad de forraje y otros factores que en conjunto pueden hacer variar el valor entre 2 y 3% (Allen, 1992). En este estudio se asumió que el coeficiente 0,028 representó más adecuadamente al porcentaje máximo de PV que el animal consume diariamente en MS, bajo condiciones de pastoreo.

Dado que el consumo esperado depende entre otros, de la disponibilidad de MS y del PV del animal, es necesario calcular para cada mes la ganancia o pérdida de peso de los animales y sumarla o restarla según corresponda, al peso del mes anterior. El peso inicial de entrada de los novillos al sistema es ingresado por el usuario.

La ganancia de peso se obtiene con la siguiente ecuación (MAFF, 1987):

$$\text{GPD} = \text{Eg} / (6,28 + 0,3 \times \text{Eg} + 0,0188 \times \text{PV})$$

donde:

GPD: ganancia de peso diario ( $\text{kg animal}^{-1} \text{d}^{-1}$ ); Eg: energía disponible para crecimiento ( $\text{MJ EM animal}^{-1} \text{d}^{-1}$ ); PV: peso vivo por animal ( $\text{kg animal}^{-1}$ ).

La energía disponible para crecimiento (Eg) se obtiene multiplicando el consumo total de energía hecho por el animal (CTE) por un coeficiente de eficiencia de ganancia de peso (0,435). A su vez, CTE es igual al consumo total de energía menos aquella que el animal necesita para su mantención, es decir,

$$\text{Eg} = \text{CTE} \times 0,435$$

donde: CTE: energía total consumida ( $\text{MJ EM animal}^{-1} \text{d}^{-1}$ ); Mn: energía necesaria para mantención ( $\text{MJ EM animal}^{-1} \text{d}^{-1}$ ).

De acuerdo a lo sugerido por algunos autores (MAFF, 1987; Cañas, 1998), en el requerimiento energético se incluyó un factor de incremento de un 15% adicional al gasto de energía de mantención, por efecto de la actividad en pastoreo.

El consumo total de energía fue calculado en base al consumo total de MS multiplicado por el contenido de energía metabolizable por kilogramo de materia seca (CEP,  $\text{MJ EM kg}^{-1} \text{MS}$ ) que corresponde, en consecuencia a:

$$\text{CTE} = \text{CTMS} \times (\text{CEP} \times 4,18)$$

donde: CTMS: consumo total de MS ( $\text{kg MS animal}^{-1} \text{d}^{-1}$ ); CEP: contenido de EM ( $\text{Mcal kg}^{-1} \text{MS}$ ); 4,18: coeficiente de conversión ( $\text{MJ Mcal}^{-1} \text{EM}$ ).

Por otro lado, la energía de mantención (Mn) se obtiene a través de la ecuación (MAFF, 1987):

$$\text{Mn} = \text{F} \times (5,67 + 0,061 \times \text{PV}) / 0,72$$

donde: F: gasto de energía de mantención.

El valor de F se multiplica por 1,15 para agregar el gasto energético por la actividad de pastoreo.

Encuanto a la producción de MS y contenido energético de las praderas, los valores se obtienen a partir del registro mensual de praderas de secano bajo corte (Rojas y Romero, 1994; Rojas *et al.*, 1995) y del análisis del contenido de EM ( $\text{Mcal kg}^{-1} \text{MS}$ ) realizado en laboratorio. Se asumió que tanto las praderas de primer año como aquellas de segundo año, tienen la misma producción anual y con similar régimen de estacionalidad.

De acuerdo con la experiencia en el sistema real, se consideró que durante los primeros cuatro meses sólo está disponible para el ganado la producción de la pradera de segundo año, dado que la pradera de primer año sembrada en abril, sólo puede ser utilizada en pastoreo a partir del mes de agosto. A mediados de septiembre y hasta mediados de noviembre se rezaga un 30% de la superficie destinada a praderas, cuya producción es destinada a ensilaje, y durante los meses de invierno se considera la suplementación del ganado a partir del consumo de grano de avena o lupino producidos en el sistema.

### **c. Restricciones de número de animales**

Las restricciones indican el número mínimo de novillos (XN) que se pretende mantener dentro

del sistema y la carga animal máxima técnicamente factible que éste soporta. En el sistema real se ha llegado a 26 animales, por lo que la carga animal máxima tolerada en praderas se considera igual a 4,5 animales ha<sup>-1</sup>.

En la aplicación se requiere de datos iniciales que alimenten al modelo para el análisis. En este caso, se inicia con un número de 10 terneros. El número mínimo de animales y la carga animal son fijados por el usuario teniendo como base que:

$$XN \geq 10$$

$$XN \leq (P1+P2) \times \text{carga animal}$$

#### d. Materia seca ensilada

Se refiere a 5 restricciones: la superficie destinada a ensilaje, la MS producida, el forraje remanente de la temporada anterior, el ensilaje consumido en la temporada, y el forraje conservado sobrante o remanente, si existe.

El ensilaje producido corresponde a la producción de las praderas con un rezago de 30% de la superficie de praderas o de la superficie necesaria para cubrir las necesidades de ensilaje, desde mediados de septiembre hasta mediados de noviembre, de esta manera:

Ensilaje

Hectáreas ensiladas:

$$Xsha = FR \times (XP1 + XP2)$$

Producido:

$$Xsha \times (PMSse+PMSoc+PMSno) - XS = 0$$

Consumido:

$$XSM - ETT \times XN = 0$$

Remanente:

$$XS + XSA - XSM - XRS = 0$$

donde: FR: fracción de la superficie de praderas destinadas a ensilaje (kg MS); ETT: ensilaje total por animal consumido en la temporada; PMSse: MS septiembre; PMSoc: MS octubre; PMSno: MS noviembre.

#### e. Vínculos de avena y lupino

Corresponde a las restricciones (4) que representan al número de hectáreas de cada cultivo (avena y lupino), cuya producción de grano es destinada tanto a la venta como al consumo de los animales en invierno, y que provienen de la misma superficie, lo cual se expresa en la matriz de la siguiente forma:

Avena:

$$Rav \times XA - Rav \times XAV - ATT \times XN = 0$$

$$ATT \times XN + XAM = 0$$

Lupino:

$$Rlu \times XL - Rlu \times XLV - LTT \times XN = 0$$

$$LTT \times XN + XLM = 0$$

donde: ATT: cantidad total de avena consumida como suplemento por animal (kg MS); LTT: cantidad total de lupino consumida como suplemento por animal (kg MS); Rav, Rlu: rendimientos de los cultivos de avena y lupino (kg ha<sup>-1</sup>).

Para efectos de suplementación del ganado se asumió que los animales tienen acceso al consumo de grano de avena y de lupino en cantidades de 1 kg diario, aparte de la suplementación con ensilaje.

#### f. Restricción de capital

Esta restricción indica que la suma de todos los costos (Co) debe ser menor a la cantidad de capital disponible, el cual es indicado al inicio de la ejecución de la aplicación, de manera que para un capital disponible de M\$8.000 se expresa:

$$CoXT \times XT + CoXA \times XA + CoXL \times XL + CoP1 \times XP1 + CoP2 \times XP2 + CoXN \times XN + CokgS \times XSM + PXA \times XAM + PXL \times XLM \leq 8.000.000$$

#### Ejecución de la macro "Solver"

Una vez que se han inicializado y actualizado los valores en las aplicaciones que alimentan la matriz, se está en condiciones de ejecutar la herramienta de optimización y asignación de recursos Solver de Microsoft Excel. La aplicación genera tres tipos de informes: el informe de respuestas, informe de sensibilidad, y el informe de límites de

inclusión en la solución. Se puede elegir uno, dos o los tres tipos de informe. El tiempo que tarda la macro Solver en llegar a una solución varía de acuerdo al computador personal que se esté utilizando y al grado de complejidad de la aplicación escogida.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez planteado el modelo, se ejecutó en una primera etapa para el análisis de diferentes restricciones y de disponibilidad de capital. Cabe señalar que el margen bruto en estudio no consideró el costo alternativo de la tierra, ni el interés al capital de operación. La mano de obra no se consideró como una restricción. En general, el resultado obtenido fue en función de los MB originalmente incorporados a cada uno de los rubros integrantes de la rotación, vale decir, aquellos rubros con mayor MB por hectárea y en consecuencia, con mayor contribución al MB del sistema, tuvieron una participación relevante en

la solución factible del problema. Es así, que a los precios vigentes de cultivos y ganadería, el componente animal tuvo un mayor aporte dentro de la solución óptima del sistema, siendo la avena el rubro de menor contribución económica, a pesar de responder a un paquete tecnológico recomendado, dados los precios alcanzados a la cosecha.

A efectos de evaluar la solución óptima bajo distintas opciones, se analizaron los resultados que arrojó el modelo en relación a la matriz original (Cuadro 2). La ejecución del programa de optimización mostró una función objetivo (MB) de \$1.843.472 para la ejecución del sistema con un máximo de 15 ha y contempló 3 ha de trigo, 0,49 ha de avena, 2,99 ha de lupino, 6 ha de praderas, y 27 cabezas de ganado en el sistema. Los resultados mostraron la ocupación total de la superficie considerada (15 ha), pero no así todo el capital (M\$8.000) del cual sólo se ocupó en el sistema \$6.327.174, debido a las restricciones impuestas.

**Cuadro 2. Resultados del modelo en relación a la matriz original de un sistema ganadero asociado a cultivos en el secano de la IX Región.**

**Table 2. Model results in relation to the original matrix of a livestock system associated with crops in the dryland of the IX Region.**

Variables	Unidad	Valor original/base	Valor modelo
Trigo	ha	3,0	3,0
Avena	ha	3,0	0,49
Lupino	ha	3,0	2,99
Pradera 1 <sup>er</sup> año	ha	3,0	3,0
Pradera 2 <sup>o</sup> año	ha	3,0	3,0
Novillos	cabezas	26	27
Función objetivo	\$	1.791.900	1.843.472
Capital utilizado	\$	8.000.000	6.347.011

En una segunda evaluación, se hizo correr el modelo sin restricciones de combinación de cultivos y praderas (Caso 1, Cuadro 3) manteniendo una superficie máxima de 15 ha de superficie. En este caso, el capital disponible se ocupó en su totalidad y se invirtió en aquellas actividades más rentables, en este caso la cría-engorda, con el consiguiente aumento de la función objetivo hasta M\$2.672 (Cuadro 3) destinando 0,88 ha a la siembra de avena y 2,70 ha a lupino con 10 ha de pradera y 49 cabezas de ganado. Para

esta situación toda la superficie de avena y lupino se destinó a la alimentación del ganado. Al restablecer la restricción de superficie para las praderas (Caso 2, Cuadro 3) el sistema invierte en el cultivo del trigo con 7,35 ha, cuyo aporte es mayor al margen bruto del sistema bajo esta condición. Al igual que en el caso anterior, la totalidad de la producción de la avena y el lupino se destinaron a la alimentación del ganado que incluyó un total de 27 animales.

**Cuadro 3. Resultados del modelo al realizar variaciones de superficie en el sistema.****Table 3. Model results in relation to variations in the surface area of the system.**

VARIABLES	UNIDAD	Caso 1	Caso 2
Trigo	ha	0	7,35
Avena	ha	0,88	0,49
Lupino	ha	2,70	1,04
Pradera 1 <sup>er</sup> año	ha	5,00	3,00
Pradera 2 <sup>o</sup> año	ha	5,00	3,00
Novillos	cabezas	49	27
Margen bruto sistema	\$	2.672.830	2.079.055

Caso 1 : asignación libre cultivos y praderas.

Caso 2 : asignación libre cultivos.

Al evaluar los resultados del modelo en relación a la restricción de capital, se observó que al disminuir el capital disponible, el sistema tendió a disminuir el monto invertido en la recría-engorda de novillos privilegiando a los cultivos, especialmente el lupino (Cuadro 4). Este cambio obedeció a la menor disponibilidad de capital para invertir en rubros más rentables (animales)

frente a la restricción de superficie y en algunos cultivos como la avena cuyos costos de producción eran más altos en relación al margen bruto que aporta (menor al de los otros cultivos) y el trigo, que en este escenario cedió su espacio a lupino que presentaba una mayor contribución al margen bruto del sistema.

**Cuadro 4. Resultados del modelo al evaluar el uso de diferentes disponibilidades de capital en un sistema ganado-cultivo de secano en 15 ha de superficie. IX Región.****Table 4. Results of the model on evaluating the use of different levels of available capital for a crop-livestock system of 15 ha in the dryland of the IX Region.**

Capital disponible	Unidad	\$3.000.000	\$4.000.000	\$5.000.000	\$6.000.000
Trigo	ha	0	0	1,99	3,00
Avena	ha	0,31	0,41	0,45	1,68
Lupino	ha	3,00	3,00	3,00	3,00
Praderas (1 y 2 años)	ha	4,00	6,00	6,00	6,00
Novillos	cabezas	17	23	25	27
Función objetivo	\$	990.071	1.322.462	1.598.737	1.814.859

Dadas las características del modelo, en una segunda etapa se busca evaluar el comportamiento del sistema bajo una situación de menores rendimientos, más cercano a la realidad de medianos y pequeños productores, y reflejar en el análisis las limitaciones prediales de gestión y superficie que generalmente se encuentran a nivel de este estrato de productores. La aplicación puede permitir evaluar las situaciones de ingreso mínimo que es posible alcanzar para definir la unidad económica mínima factible para una

rotación de cultivos tradicionales de secano bajo restricciones de superficie. Bajo la evaluación preliminar realizada en este estudio, se logró establecer que para una combinación fija de 15 ha, en la secuencia de cultivos y uso ganadero indicada, se generó un MB que al menos financia el ingreso mínimo mensual de un grupo familiar de acuerdo con la legalidad vigente.

Son necesarias, sin embargo, otras evaluaciones para determinar el efecto de las limitaciones

técnicas que se presentan en terreno en los sistemas de superficies pequeñas, con baja capacidad de gestión, o insuficiente uso de insumos tecnológicos. Igualmente, es claro que el sistema productivo, especialmente de secano, debe no sólo satisfacer una condición económica sino que su resultado debe estar asociado a una buena rotación de cultivos, que aunque con un menor MB probable, debe ser sustentable en el mediano y largo plazo, desde el punto de vista del uso de los recursos.

## CONCLUSIONES

El planteamiento de la matriz permitió evaluar diferentes opciones para sistemas tradicionales de secano. A los precios vigentes de la temporada 1998/99, la avena resultó con un MB menor, a pesar de responder a un paquete tecnológico recomendado. En el análisis, a los costos y precios del grano, el lupino representó el rubro más rentable, y la mayor contribución al MB del sistema lo representó el aporte de ganado.

## LITERATURA CITADA

- Allen, D. 1992. Rationing Beef Cattle. Chalcombe Publications. 80 p. Church Lane, Kingston, Near Canterbury, Kent. UK.
- Cañas, C.R. 1998. Alimentación y nutrición animal. Facultad de Agronomía y Ciencias Forestales. Pontificia Universidad Católica de Chile. 550 p. Editorial P. Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Catrileo, S.A. 1992. Modelo de simulación de pastoreo y engorda de novillos en predios de agricultura mixta de la Región de la Araucanía. *Agricultura Técnica (Chile)* 52:241-250.
- Catrileo, S.A., y J.C.D. García. 1994. Grupos GTT como método de transferencia tecnológica en predios del sur de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 54:310-317.
- Dent, J.B., R.S. Harrison, and B.K. Woodford. 1986. Farm planning with linear programming: concept and practice. 209 p. Butterworths, Sydney, Australia.
- Herrero, M., R.F. Fawcett, and J.B. Dent. 1999. Bioeconomic evaluation of dairy farm management scenarios using integrated simulation and multiple-criteria models. *Agricultural Systems* 62:169-188.
- MAFF. 1987. Energy allowances and feeding systems for ruminants. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Department of Agriculture and Fisheries for Scotland. Department of Agriculture for Northern Ireland. 85 p. Reference Book N° 433. Her Majesty's Stationery Office, London, UK.
- Koeitjer, T.J. de; J.A. Renkema, and J.J.M. Van Menswort. 1995. Environmental-economic analysis of mixed crop-livestock farming. *Agricultural Systems* 48:515-530.
- Maino, M., J. Berdegué, and T. Rivas. 1993. Multiple objective programming. An application for analysis and evaluation of peasant economy of the VIII Region of Chile. *Agricultural Systems* 41:387-397.
- Rabbinge, R., P.A. Leffelaar, and H.C. Van Latesteijn. 1994. The role of systems analysis as an instrument in policy-making and resource management. p. 67-79. *In* Opportunities, use and transfer systems research methods in agriculture to developing countries. P. Goldsworthy and F.W.T Penning de Vries (eds.). Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
- Rojas, G.C.; A. Catrileo, y R. Campillo. 1993. Sistema de recría y engorda con novillos cruzas de Holstein por Frisones Negros, integrado a una sucesión de cultivos en el valle de la IX Región. *Agricultura Técnica (Chile)* 53:225-235.
- Rojas, G.C., y O. Romero. 1994. Sistema de recría-engorda de novillos Hereford, utilizando festuca con trébol subterráneo en el valle de la IX Región. *Agricultura Técnica (Chile)* 54:130-135.
- Rojas, G.C., R. Galdames, y O. Romero. 1995. Efecto del hongo endófito de la festuca (*Acremonium coenophialum* Morgan Jones and Gams) sobre la ganancia de peso en novillos a pastoreo. *Agricultura Técnica (Chile)* 55:134-139.