

OPTIMIZACION DEL ENGORDE DE BOVINOS EN PASTOREO EN LA PAMPA ARGENTINA MEDIANTE PROGRAMACION LINEAL

A. GARCIA MARTINEZ

J.J. RODRIGUEZ ALCAIDE

Economía Agraria. Universidad de Córdoba
Avda. Medina Azahara, 7. 14005 Córdoba. ESPAÑA

D.E.M. RUIZ

Producción Animal. Facultad de Agronomía y Veterinaria
Universidad Nacional de Río Cuarto.
Ruta 8, km 603. 5800 Río Cuarto. ARGENTINA

RESUMEN

Se desarrolla una metodología que permite establecer la ración a coste mínimo, así como el nivel de producción de máximo beneficio en la invernada en el engorde o cebo del bovino de la región pampeana argentina, bajo un sistema productivo básicamente pastoril.

Se calcula mediante programación lineal la ración a mínimo coste, contemplando las restricciones de energía metabólica, energía neta de crecimiento y engorde, proteína bruta, consumo de materia seca y administración de concentrado. Una vez establecida la ración a mínimo coste se determina por iteraciones múltiples el nivel de ganancia media diaria que genera un beneficio máximo. El modelo permite incorporar todas aquellas restricciones fisiológicas que se estimen oportunas y calcula la ración de máximo beneficio.

A tenor del resultado obtenido con este modelo de optimización se propone la modificación de la estrategia de alimentación con concentrado, anticipando la administración del mismo, con el consiguiente incremento del Margen Bruto en 23 dólares por hectárea y reduciendo el proceso de cebo de un novillo mediano de 15,8 meses a 10,2 meses.

PALABRAS CLAVE: Producción bovina
Optimización
Programación lineal

INTRODUCCION

La fase de engorde del ganado vacuno presenta diversas modalidades. El origen de los animales que entran a formar parte del sistema, la edad al destete, raza, condiciones de manejo o circunstancias socioeconómicas o culturales que puedan imponer determinados limitantes, son entre otros los factores que condicionan esta etapa final en la vida del animal.

Sin embargo, el factor más relevante es la alimentación, que en ocasiones puede representar hasta el 90 p. 100 de los costes totales. Por ello su optimización ha sido y es objeto de una atención especial por parte de los técnicos, ganaderos, investigadores y economistas.

Recibido: 11-3-97

Aceptado para su publicación: 9-10-97

Así, para el ganadero es primordial predecir el resultado esperado del alimento ofrecido a los animales. La función de producción cuantifica la relación existente entre los requerimientos de factores productivos y los productos generados en la actividad habitual de la empresa agropecuaria (Cordonnier *et al.*, 1973; Gorosquieta, 1975; Brigham *et al.*, 1978; Rodríguez *et al.*, 1993). De ahí, el interés del cálculo de las funciones de producción para cada empresa pecuaria en concreto (Castañeda, 1979; Colom, 1993, 1994).

En el caso del engorde del bovino de carne, la función de producción viene dada por el conocimiento de las técnicas de producción y responde a la capacidad de metabolizar la energía que recibe a través del pastoreo directo o por suplementación (Garret, 1971, 1974, 1976, 1980; Doyle *et al.*, 1989). Existen actualmente varios modelos matemáticos que describen las curvas de crecimiento de los bovinos, así como las diferentes relaciones entre insumos y productos a lo largo de estas (Byers, Butterfield, 1976; Dulphy, Demarquilly, 1994; Lofgreen, Garrot, 1968; Lonne, 1994).

Estos modelos se pueden mejorar (Frank, 1984) y así, en el presente trabajo se desarrolla una metodología para determinar la ración a coste mínimo y el nivel de producción que genera el máximo beneficio (Sher *et al.*, 1994; Woodward *et al.*, 1995), concretamente en la formulación de una ración óptima para la invernada o engorde de bovinos en pastoreo en la región pampeana argentina.

MATERIAL Y METODOS

Sistema de explotación

La región pampeana argentina, según datos del censo de 1988, dispone de una cabaña de más de 41 millones de cabezas de ganado vacuno de producción cárnica. Gran parte de estos animales pertenece a razas de origen británico y en menor frecuencia los cruces con ganado tipo Cebú (Nelore, Brahman) y autóctono (Criollo).

El sistema de explotación del ganado de engorde o cebo en la región pampeana, consiste en el acabado de los novillos a partir de los 6-8 meses con un peso aproximado de 150-180 kg de peso vivo, que salen al cabo de unos 15 meses con un peso vivo medio aproximado entre los 430-450 kg.

La alimentación es fundamentalmente pastoril, en base a la utilización y aprovechamiento de praderas permanentes de alfalfa, con bajos niveles de suplementación energética. Para este propósito se utilizan granos de maíz o sorgo limitados al período invernal.

Función de producción

A fin de establecer la función de producción se puede emplear una expresión del tipo:

$$Q = f(v_1, v_2, v_3, \dots v_n) \quad [1]$$

Donde:

Q: Cantidad de producto.

v_i : Factores productivos.

La función de engorde o crecimiento se expresa, como la cantidad de energía necesaria para producir una cantidad de carne (Danelon, 1994; Webster, 1978). En el caso de los novillos de tamaño medio (430-450 kg), de acuerdo al sistema NRC (National Research Council) se plantea la siguiente expresión:

$$LWG = 13,91 \text{ ENg}^{0,9116} \text{ W}^{-0,6357} \quad [2]$$

Donde:

LWG: Ganancia de peso vivo (Kg).

ENg: Energía neta de engorde (Mcal).

W: Peso vivo (Kg).

Se puede concluir que la función de crecimiento de los novillos, en la que el peso vivo (W) se fija *a priori* y, por tanto, se mantiene constante, se puede expresar del siguiente modo:

$$Q = f(\text{ENg}) \quad [3]$$

Una vez determinada la función de producción se puede buscar:

El óptimo técnico, que se sitúa al principio de la fase de rendimientos decrecientes, donde se igualan en producto físico medio y el producto físico marginal. El máximo físico o la producción máxima, se alcanza cuando la elasticidad es igual a cero; es decir, la relación marginal entre factor y producto se hace nula.

En la empresa pecuaria la determinación final de donde debe establecerse la producción es una decisión de carácter económico y está influida por los precios del factor y el producto. Si se pretende maximizar el beneficio generado por la empresa, debe buscarse el punto en el que el coste marginal se iguala al ingreso marginal. El coste marginal es el aumento marginal del factor por su precio y el ingreso marginal es el producto logrado por ese incremento del factor multiplicado por su precio. Matemáticamente se plantea, a partir de [3], la siguiente expresión:

$$B = Q \text{Pq} - (\text{ENg} \text{Pe} + \text{CF}) \quad [4]$$

Q: Unidades de producto.

Pq: Precio unitario del producto.

ENg: Energía utilizada en el engorde o crecimiento.

Pe: Precio de la energía

Se maximiza el beneficio, cuando la derivada primera de B respecto de ENg, se anula, o sea:

$$\text{Max } B = \delta B / \delta \text{ENg} = 0;$$

$$dB/d\text{ENg} = dQ/d\text{ENg} * \text{Pq} - \text{Pe} = 0$$

o expresado de otro modo, se alcanza el óptimo económico cuando:

$$dQ/d\text{ENg} * \text{Pq} = \text{Pe} \quad \text{ó} \quad dQ * \text{Pq} = d\text{Eng} * \text{Pe}$$

Combinación a mínimo coste

En el caso de dos factores sustitutivos ENg_1 y ENg_2 , se busca la combinación a mínimo coste, a partir de:

$$Q = f(ENg_1, ENg_2)$$

Donde:

ENg_1 : Nivel de energía neta de engorde del heno de alfalfa.

ENg_2 : Nivel de energía neta de engorde del maíz.

$$y \quad C = ENg_1 * P_{ENg_1} + ENg_2 * P_{ENg_2}$$

Donde:

P_{ENg_1} : Precio del factor ENg_1 .

P_{ENg_2} : Precio del factor ENg_2 .

“C” es el coste total de los factores variables insumidos, siendo P_{ENg_1} y P_{ENg_2} los precios unitarios de los mismos. La condición de mínimo, para tales precios constantes, viene expresado por las ecuaciones:

$$Q = f(ENg_1, ENg_2) \quad y \quad dC = P_{ENg_1} * d ENg_1 + P_{ENg_2} * d ENg_2 = 0$$

La condición necesaria se expresa por la igualdad:

$$(\delta f / \delta ENg_1) / P_{ENg_1} = (\delta f / \delta ENg_2) / P_{ENg_2}$$

o bien

$$(\delta f / \delta ENg_1) / (\delta f / \delta ENg_2) = P_{ENg_1} / P_{ENg_2}$$

o sea, que la relación de precios de los factores, ha de ser igual a la relación marginal de sustitución entre los mismos. Desde el punto de vista geométrico se halla el punto de equilibrio en el punto de tangencia entre la curva de isocuanta (Q) y la recta de isocoste (C) (Fig. 1). La línea de isocostes unitaria es aquella que representa las diferentes combinaciones de factores que se pueden adquirir con una unidad de capital (Rodríguez Alcaide, 1993).

Nivel óptimo de producción

El polígono que une las distintas combinaciones de factores a mínimo coste se denomina *Senda de Expansión* (Fig. 1) e indica la forma más económica de alcanzar un determinado nivel de producción a partir de:

$$Q = f(ENg_1, ENg_2) \quad y \quad C = ENg_1 * P_{ENg_1} + ENg_2 * P_{ENg_2} + \dots + ENg_n * P_{ENg_n}$$

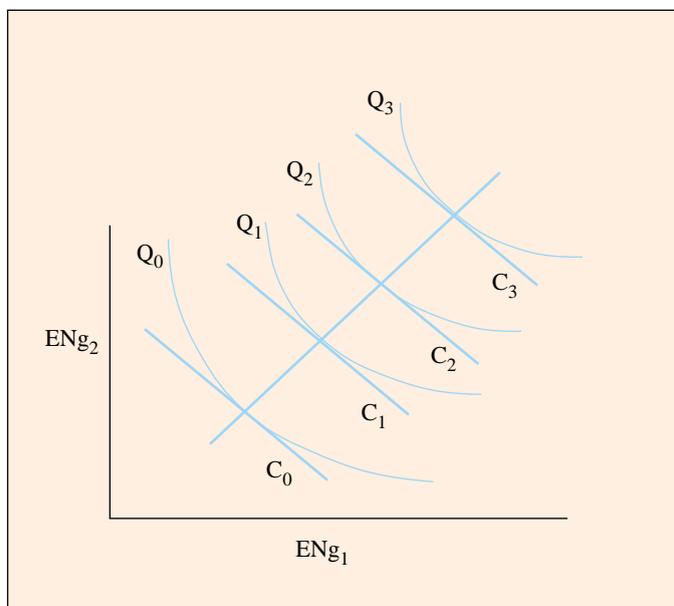


Fig. 1.—Senda de expansión
Growth path

aplicando el método de los multiplicadores de Lagrange, se obtiene como condición para el equilibrio:

$$(\delta f / \delta EN_{g1}) / P_{EN_{g1}} = (\delta f / \delta EN_{g2}) / P_{EN_{g2}} = \dots = (\delta f / \delta EN_{gn}) / P_{EN_{gn}} = 1/\lambda$$

que expresa la ley de igualdad de las productividades marginales.

El nivel de producción de máximo beneficio se obtiene para aquella combinación de factores en que se igualan los cocientes, respecto al precio, de las productividades marginales de cada factor.

Sin embargo, en los planteamientos habituales de producción tiene lugar una mayor complejidad ya que las raciones se componen de un número elevado de materias primas y deben cumplir otros requisitos complementarios al del requerimiento energético. Además, los precios de la Energía Neta de engorde que aporte cada ingrediente varía con la composición de la ración debido a que la eficiencia de utilización depende de las interacciones con todos los componentes. De esta manera se motiva metodológicamente la programación lineal para resolver este tipo de problemas.

Programación lineal

En los años sesenta se incorporan las técnicas de programación lineal en el racionamiento ganadero, resolviendo problemas tales como: raciones a coste mínimo, la ración

más económica a distintos niveles proteicos, o con niveles variables de proteína y energía (Rodríguez Alcaide, 1962; Rodríguez Alcaide, Bustamante Navarro, 1962; Brokken, 1971; Mc Donough, 1971), etc.

Estas técnicas han sido muy utilizadas en nutrición y alimentación animal de modo que actualmente existen en el mercado numerosos programas comerciales para ordenadores personales que definen la ración de coste mínimo para un determinado nivel de engorde y contemplan las restricciones fisiológicas establecidas. Este es un punto muy importante, ya que con el fin de optimizar la alimentación resulta imprescindible utilizar una ración de mínimo coste.

La técnica de programación lineal permite encontrar en un espacio de n dimensiones, dado por los diferentes componentes de la ración, la combinación que cumple todos los requisitos solicitados y minimiza el coste total de la misma. Sin embargo, la cuestión a solucionar y que aborda el presente trabajo de investigación es la determinación del nivel de producción de máximo beneficio, es decir, ¿cuál de las raciones de mínimo coste es la que se debe utilizar para maximizar el beneficio?

Modelo en función de la energía

Considerando solamente el gasto de alimentación, tal como lo indica la función de producción establecida, se observa que el engorde es una función que cumple con la ley de rendimientos decrecientes. La representación gráfica de los engordes producidos con diferentes niveles de energía y diferentes pesos vivos, se observan en la Figura 2. Se indican las diferentes cantidades de energía necesarias para obtener un aumento de peso de un kilogramo con distintos niveles de energía neta de engorde (ENg) por día y la respuesta con diferentes pesos vivos.

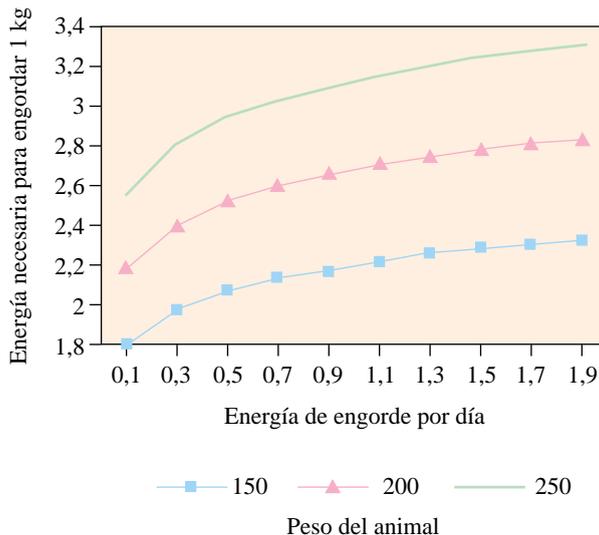


Fig. 2.—Requerimientos de energía para ganar un kilogramo
Energy requirements to increase a kilogramme

En cuanto a los costes, si bien los aumentos de energía son lineales, el precio de la misma va a sufrir aumentos a medida que se utilizan mayores cantidades. Esto se hace particularmente notorio en los sistemas pastoriles bovinos donde se utilizan fundamentalmente forrajes groseros y la capacidad de ingesta es una restricción importante. Como el consumo voluntario de materia seca no puede ser superado, la única manera que resulta factible para incrementar la cantidad de energía consumida es mediante la elevación del contenido energético de esa materia seca. Esto significa reemplazar o sustituir parte del forraje grosero por concentrados energéticos o granos con el consecuente aumento de los costes de la ración.

De este análisis surge una consecuencia importante que se contrapone con la opinión de diversos autores (Barnard, Nix, 1984), los gastos correspondientes a mantenimiento no son fijos sino variables. Por tanto, la variación de los costes está formada por dos componentes, tal como se expresa en las ecuaciones propuestas por el NRC que se transcriben a continuación:

$$\Delta Q Py = \Delta \text{Coste alimentación}$$

$$\text{ó, expresado de otra manera, } \Delta Q Py = \Delta Cs Pr + \Delta Pr (Cs - \Delta Cs)$$

Donde:

Cs: Consumo total en kilogramos.

ΔCs : Variación en el consumo total.

Pr: Precio de la ración por kilogramo.

ΔPr : Variación del precio de la ración.

La técnica de programación lineal utilizada para el cálculo de las raciones de mínimo coste puede ser adaptada con el fin de obtener las dietas que maximicen el beneficio de la explotación. Se ha utilizado la técnica de iteraciones múltiples con programación lineal, según el desarrollo y la secuencia que se explica a continuación (Fig. 3):

- A) Se introducen los datos referidos a los alimentos: EM/kg, PB y el precio de los productos posibles, en este caso los alimentos disponibles habitualmente en los sistemas de engorde pampeanos (Tabla 1).

TABLA 1
COMPOSICION DE ALIMENTOS
Feeds composition

Producto	EM (Mcal/kg)	PB (g/kg MS)	Precio (\$/kg MS)	MS (%)
Pradera alfalfa	2,25	200	0,01	21
Maíz grano	3,3	98	0,18	88
Sorgo grano	3	100	0,12	87
Soja semilla	3,29	428	0,26	88
Heno	2	160	0,06	80

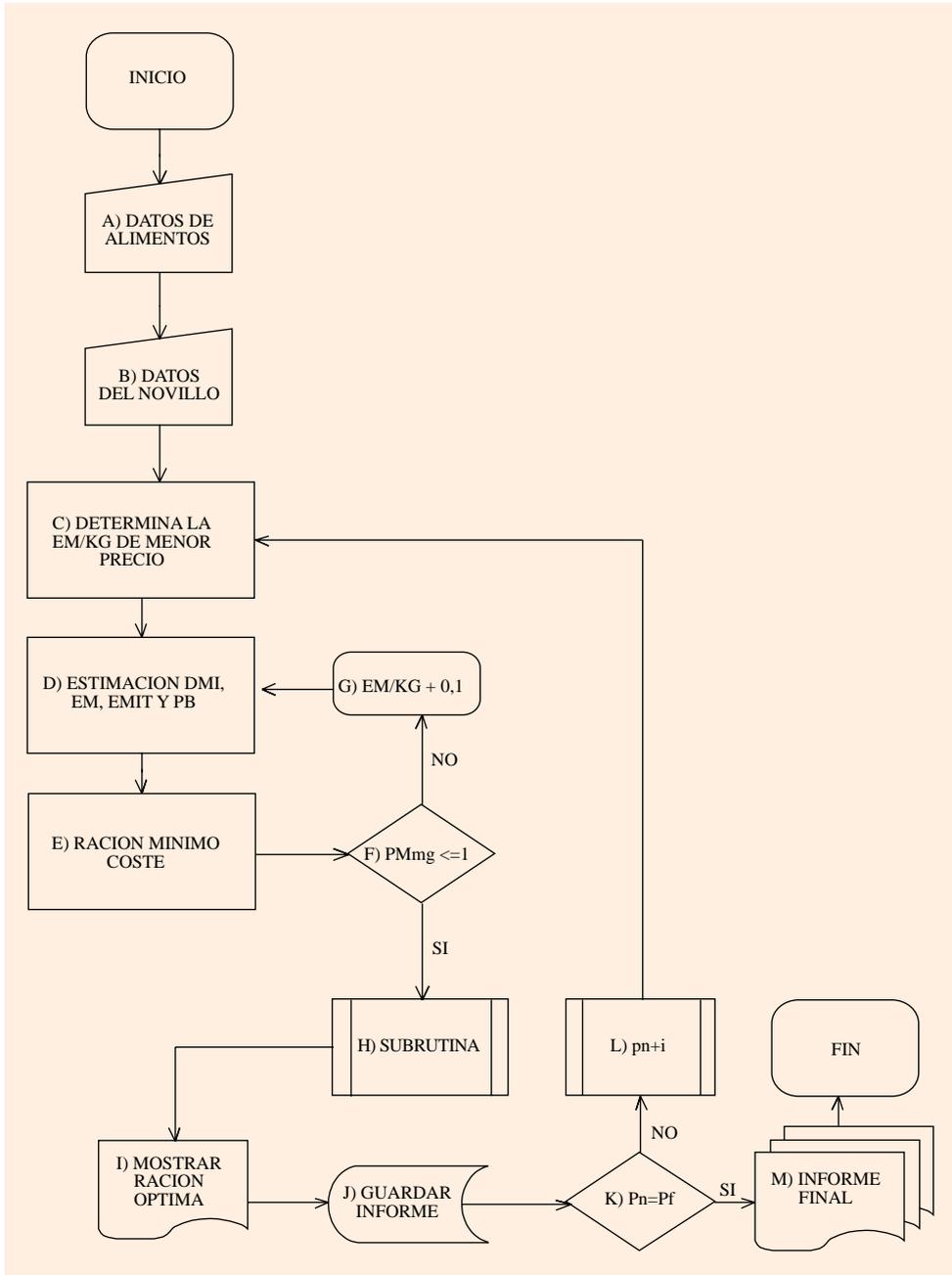


Fig. 3.—Diagrama de flujos del modelo
Flows diagram of the model

Todos los parámetros se expresan en relación al kilogramo de MS del factor, al igual que las restricciones establecidas. Los precios a utilizar son los de mercado más un 20 p. 100 estimado como el coste de preparación y distribución a los animales.

- B) El modelo está diseñado para novillos de mediano tamaño (pertenecientes a razas de origen británico, utilizadas habitualmente en las explotaciones pampeanas), con peso de terminación "Pf" de 430 kg y con un peso inicial "Pi" entre 150-180 kg, siendo "Pn" el peso en el momento *n*. Asimismo, se introduce el intervalo de crecimiento "i".
- C) Se determina la energía metabólica (EM/kg) del alimento a menor coste a fin de iniciar el proceso; este valor se modificará en cada iteración de acuerdo con el incremento de EM predeterminado. La operativa desarrollada consiste en seleccionar el precio más bajo entre los alimentos propuestos y posteriormente aquel con mayor concentración de energía. En sistemas pastoriles el alimento de selección corresponderá a las praderas debido a su bajo precio por kilogramo de MS.
- D) A tenor de las ecuaciones de predicción, basadas en el nivel de EM/kg de alimento, se estima el consumo de materia seca (DMI), de energía metabólica total (EMT), el engorde diario esperado y los requerimientos de proteína bruta (P.B.) del siguiente modo:

Una vez establecido el nivel de EM por kilogramo de MS del alimento se procede a calcular la ENm y ENg a partir de las siguientes expresiones del NRC:

$$\text{ENm por kg de MS} = 1,37 \text{ EM} - 0,138 \text{ EM}^2 + 0,0105 \text{ EM}^3 - 1,12$$

$$\text{ENg por kg de MS} = 1,42 \text{ EM} - 0,174 \text{ EM}^2 + 0,0122 \text{ EM}^3 - 1,65$$

Asimismo, se determina la ingesta máxima, en kilogramo de MS según la ecuación:

$$\text{DMI} = W^{0,75} (0,1493 \text{ ENm} - 0,0460 \text{ ENm}^2 - 0,0196)$$

Se define el consumo total de energía metabólica (EMT), según la expresión:

$$\text{EMT} = \text{EM} * \text{DMI}$$

Conocido los kilogramos de MS para mantenimiento según:

$$\text{kg mant} = 0,077 W^{0,75} / \text{ENm por kg de MS}$$

Se establece que la energía disponible para engorde (ER) es igual al consumo de materia seca menos la cantidad destinada a mantenimiento, de modo que:

$$\text{ER} = (\text{DMI} - \text{kg mant}) * \text{ENg por kg de MS}$$

Donde:

EMT: Energía metabólica total (Mcal/kg).

EM: Energía metabólica (Mcal/kg).

ENg: Energía neta de engorde (Mcal/kg).

ENm: Energía neta de mantenimiento (Mcal/kg).

ER: Energía disponible para engorde (Mcal).

DMI: Consumo de materia seca (kg/d).

kg mant: Kilogramos de ración destinados a mantenimiento (Kg de MS).

Con este parámetro se estima el nivel de engorde diario alcanzado por la presente ración, como:

$$Q = 13,91 ER^{0,9116} W^{-0,6357}$$

A partir de la estimación del engorde se determinan los requerimientos de proteína bruta "PB" como:

$$PB = (F + U + S + G) / D * BV * CE$$

Donde:

PB: Proteína bruta (g/día).

F: Pérdida metabólica proteica en heces, estimado en un 3,34 p. 100 de DMI.

U: Nitrógeno urinario endógeno = $2,75 PV^{0,5}$.

S: Proteína pérdida de la piel = $0,2 PV^{0,6}$.

G: Proteína de depósito tisular (en g) = $(268 - 29,4 \text{ valor calórico de la ganancia, Mcal/kg})$ ganancia diaria de peso en kg.

D: Digestibilidad verdadera de la proteína (90 p. 100).

BV: Valor biológico (66 p. 100).

CE: Conversión de la ración a proteína postruminal (100 p. 100).

E) Se calcula, mediante programación lineal, la ración a mínimo coste (CTR) cumpliendo los niveles establecidos de EMT, DMI y proteína.

$$\text{Min CTR, dado que } CTR = \sum_{j=1}^n X_j P_{xj}$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n X_j \leq \text{DMI calculado.}$$

$$\sum_{j=1}^n X_j PB_j \geq \text{Requerimiento de PB calculado.}$$

$$\sum_{j=1}^n X_j EM_j = \text{EMT.}$$

$$\sum_{j=1}^n X_j^c \leq \text{DMI} * \text{máximo porcentaje de concentrado establecido.}$$

Donde X_j es la cantidad de alimento j consumido en kg de MS.

F) Se calcula la productividad monetaria marginal, según la expresión:

$$PMmg = \delta Q * Pq / \delta CTR \text{ con respecto a la ración anterior}$$

Si:

PMmg = 1; Se alcanza el nivel de producción óptimo.

PMmg \neq 1; Puede deberse a:

PMmg > 1; Se ha de incrementar la producción.

PMmg < 1; La producción se sitúa en zona de ineficiencia técnica.

El programa no se desplaza a PMmg < 1 ya que se inicia el proceso con las ración de menor coste y se establecen relaciones descendentes del producto monetario marginal; por tanto, resultados de valores de PMmg distintos a uno implica que se ha de incrementar la producción.

- G) En el caso de que tome valores superiores a uno se incrementa en una unidad (0,1 Mcal/kg) el valor de EM/kg y se desarrolla una iteración que comienza en "D", estimando nuevamente la producción esperada con esa ración.
- H) Se ejecuta la subrutina (Diagrama 2) destinada a disminuir los intervalos de energía en la ración a fin de buscar una solución con menor error.
- I) En el caso que el PMmg sea menor a 1 se visualiza la ración calculada anteriormente, como ración óptima.
- J) Se almacena internamente el informe de la ración óptima.
- K) Se comprueba si el peso del animal "Pn" es igual al peso final propuesto "Pf".
- L) En el caso de que Pn \neq Pf, implica que Pn < Pf. En esta situación se le adiciona al peso el intervalo establecido en "B", iniciándose de nuevo el proceso en "C" (Fig. 4).
- M) Si Pn = Pf, significa que se ha alcanzado el peso final predeterminado, con la consiguiente finalización del proceso de maximización del beneficio de la invernada y se genera un informe final que recoge la ganancia media diaria y la ración óptima para cada nivel de peso del novillo.

A fin de comparar los resultados se anualizan mediante la aplicación de un factor que contemple el tiempo empleado en el cebo respecto a la unidad de tiempo objeto de análisis, en este caso períodos de un año.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se presentan los resultados técnicos y económicos obtenidos bajo dos escenarios que contemplan la realidad actual de los sistemas productivos pampeanos:

Sistema de alimentación de la región pampeana

Los sistemas tradicionales de alimentación en la región pampeana no contemplan la incorporación de suplementos, en tanto que los actuales efectúan suplementaciones estratégicas.

En el primer resultado obtenido con el modelo se simula un escenario actual de manejo en la Pampa donde se establecen valores medios de carga por hectárea (1,7 UGM/ha)

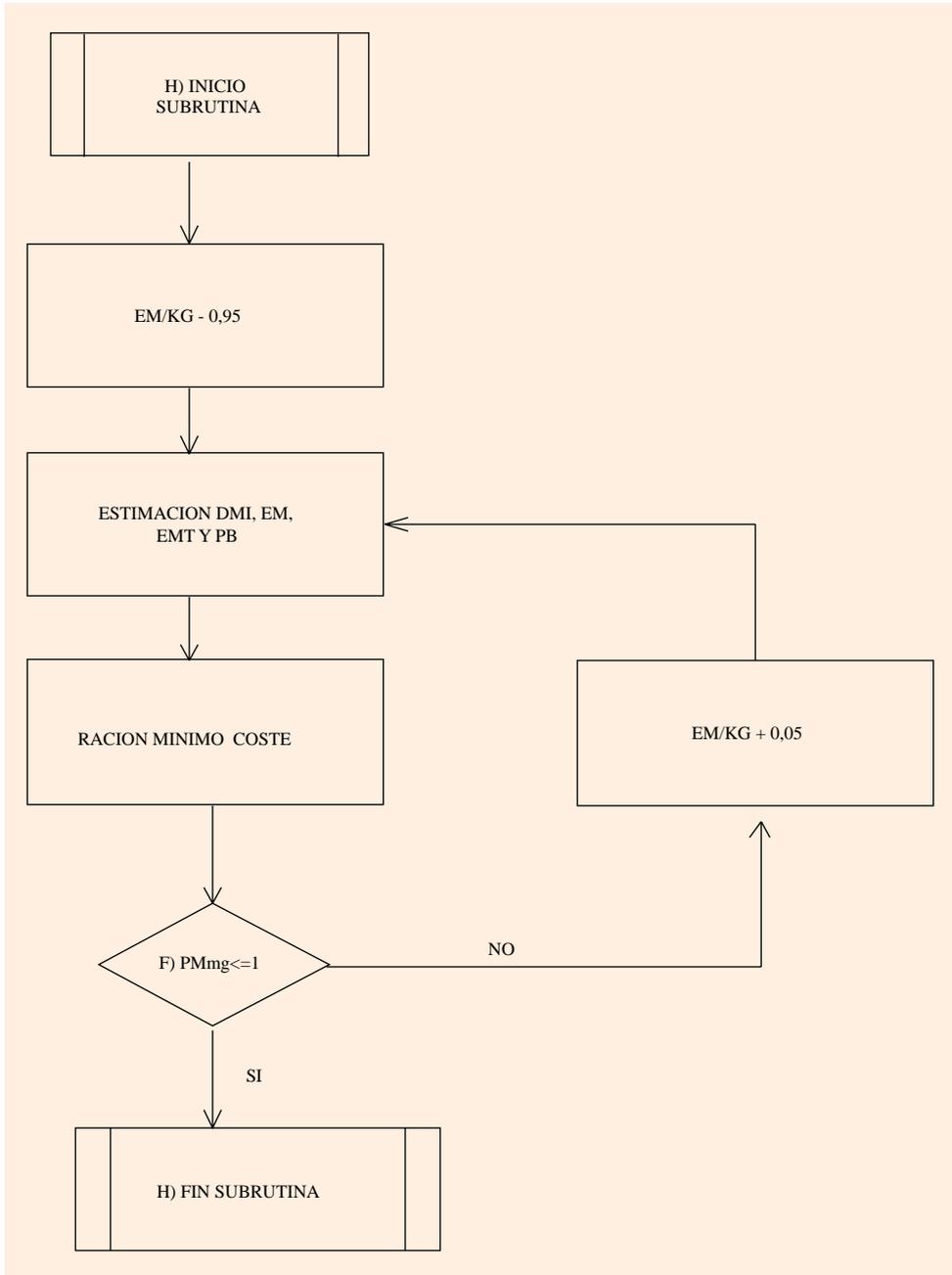


Fig. 4.—Diagrama de flujos de la subrutina
Flows diagram of the subroutine

con una suplementación en donde se restringe el consumo de concentrado, siendo nulo en los primeros meses de crecimiento y alcanzando el 20 p. 100 en la fase de terminación del engorde.

Los resultados se ofrecen en la Tabla 2, donde se observa que se genera un gasto total de suplementación en torno a los 15 dólares por hectárea, dato que se aproxima a las estimaciones publicadas en las ediciones CREA y Márgenes Agropecuarios (AACREA, 1996). Supuesto que no existen limitantes en cuanto al consumo total de praderas, ni variaciones en su calidad a lo largo del año, el modelo arroja un resultado por hectárea ligeramente superior a los propuestos por diversos autores (Agromercado, 1996), en un 5 a 10 p. 100, lo que puede atribuirse fundamentalmente al hecho de no considerar las limitantes en cuanto a producción de las praderas.

Resultado del modelo de optimización

El resultado del modelo de optimización propone modificar la estrategia de alimentación, utilizando suplemento en las primeras etapas de crecimiento del animal, aprovechando que la eficiencia de conversión de los animales jóvenes es superior a la presentada por los adultos. En el modelo se incorpora una restricción que fija el máximo de consumo de concentrado en un 40 p. 100.

Además de estas razones técnicas existen unos precios de *inputs* en Argentina que justifican la incorporación de concentrados a la dieta.

Los resultados económicos ponen de manifiesto que el coste marginal debido al incremento del consumo de concentrado es de 70 dólares por hectárea y año. En tanto que el ingreso marginal es de 94 dólares, lo que supone un beneficio marginal de 24 dólares.

La principal diferencia entre los modelos se debe a la diferente utilización del gasto variable "suplementación" y al modificarse éste se generan diferentes curvas de crecimiento para los animales. Por tanto, ambos modelos difieren básicamente en el tiempo que tardan los animales en alcanzar el peso objetivo propuesto. Mientras que en el primer caso se emplean 15,8 meses en alcanzar el peso de faena (420 kg), lo que significa unos niveles de crecimiento diario superiores a la media de las explotaciones de cebo argentinas. En el segundo modelo se alcanza el peso final en 10,2 meses. Los valores de los flujos marginales han sido anualizados mediante el factor 0,76 y 1,2 en el modelo actual y en el propuesto, respectivamente.

Consideraciones al modelo

Existe un factor tiempo que no es considerado en el presente modelo, como un componente de la función de producción. Sin embargo, el proceso de engorde es una función de la energía consumida y del tiempo invertido. Ambos factores actúan de forma competitiva ya que cuanto mayor es la cantidad utilizada de uno de ellos, menores cantidades se precisarán del otro factor para alcanzar un peso dado.

TABLA 2 (Continuación)
SALIDAS DEL MODELO DE SIMULACION
Outputs of the simulation model

2. Salida del modelo actual de cebo													
RACION (kg MS por animal y día)													
Pastos	Pi	Pn1	Pn2	Pn3	Pn4	Pn5	Pn6	Pn7	Pn8	Pn9	Pn10	Pn11	Pf
Pastura	4,597	4,975	5,344	5,704	6,057	6,403	6,743	7,078	7,407	7,293	7,595	7,843	7,843
Verdeó invierno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Verdeó verano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Otros	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Suplemento y heno	Pi	Pn1	Pn2	Pn3	Pn4	Pn5	Pn6	Pn7	Pn8	Pn9	Pn10	Pn11	Pf
Maíz	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sorgo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,719	0,749	0,780	0,824
Soja	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Heno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,049	0,343
Otros	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
RESULTADOS ECONOMICOS													
Gasto de alimentación	\$/ha	Kg MS/ha	Resultados										Resultados anualizados
a) Pastos	52,12	3,066	Ingresos netos animal (\$/UGM)	131,40	Ingresos por ha y año	169,04							
			Carga (kg animal/ha)	640	Coste SPH	15,60							
b) Suplemento y heno			Engorde diario (kg/día)	0,50	Otros costes directos*	65,00							
Maíz	0,00	0	Ingresos por ha (\$/ha)	223,38	Margen	88,45							
Sorgo	15,43	76	Margen (\$/ha)*	207,78									
Soja	0,00	0											
Heno	0,17	2											
TOTAL SPH*	15,6	77											
TOTAL ALIMENTACION	67,72	3,143											

* Otros costes directos fijos: conservación y amortización de pastos, sanidad, personal.

* Margen obtenido a partir de considerar exclusivamente coste directo variable la suplementación y el heno.

* Total coste de suplementación y heno.

TABLA 2 (Continuación)
SALIDAS DEL MODELO DE SIMULACION
Outputs of the simulation model

3. Salida del modelo de optimización													
	Pi	Pn1	Pn2	Pn3	Pn4	Pn5	Pn6	Pn7	Pn8	Pn9	Pn10	Pn11	Pf
Peso animal (kg)	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420
EM/kg	2,540	2,540	2,540	2,540	2,530	2,470	2,400	2,330	2,270	2,210	2,160	2,160	2,160
Engorde diario (kg/día)	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00	0,93	0,85	0,76	0,68	0,59	0,52	0,52	0,52
Precio ración	0,279	0,302	0,325	0,347	0,355	0,327	0,284	0,234	0,188	0,137	0,093	0,097	0,100
Duración (días)	309,82	19,74	19,74	19,74	19,74	19,96	21,42	23,57	26,37	29,51	33,64	38,19	38,19
TOTAL DIAS													309,82

RACION (kg MS por animal y día)													
	Pi	Pn1	Pn2	Pn3	Pn4	Pn5	Pn6	Pn7	Pn8	Pn9	Pn10	Pn11	Pf
Pastos													
Pastura	0,994	3,240	3,480	3,714	3,945	4,606	5,367	6,148	6,869	7,591	8,242	8,566	8,885
Verdeco invierno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Verdeco verano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Otros	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Suplemento y heno													
	Pi	Pn1	Pn2	Pn3	Pn4	Pn5	Pn6	Pn7	Pn8	Pn9	Pn10	Pn11	Pf
Matíz	0,166	0,180	0,193	0,206	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sorgo	1,829	1,980	2,127	2,270	2,630	2,339	1,917	1,437	0,993	0,512	0,088	0,091	0,095
Soja	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Heno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Otros	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,091	0,095	0,097	0,086

TABLA 2 (Continuación)
SALIDAS DEL MODELO DE SIMULACION
Outputs of the simulation model

		RESULTADOS ECONOMICOS			
Gasto de alimentación	\$/ha	Kg MS/ha	Resultados	Resultados anualizados	
a) Pastos	31,13	1.831	Ingresos netos animal (\$/UGM)	131,40	
			Carga (kg animal/ha)	522	
b) Suplemento y heno			Engorde diario (kg/día)	0,77	
Maíz	4,51	15	Ingresos por ha (\$/ha)	223,38	
Sorgo	81,81	401	Margen (\$/ha)*	137,06	
Soja	0,00	0			
Heno	0,00	0			
TOTAL SPH*	86,32	416			
TOTAL ALIMENTACION	131,40	2.247			

* Margen obtenido a partir de considerar exclusivamente coste directo variable la suplementación y el heno.

* Otros costes directos fijos: conservación y amortización de pastos, sanidad, personal.

* Total coste de suplementación y heno.

Existen dos criterios a seguir en la elección de la combinaciones de factores a utilizar:

Uno el desarrollado por el modelo propuesto que maximiza el beneficio del período, independientemente del tiempo, en cuyo caso selecciona la combinación de mínimo coste para cada isocuanta. Existe otro criterio de máxima rentabilidad financiera; es decir, maximizar el beneficio por día, considerando el tiempo una variable y, por tanto, diferenciar la ración de mínimo coste con la de máximo beneficio por día.

Las explotaciones argentinas se ajustan al criterio de mínimo coste y máximo beneficio del período, que es menos sensible a los procesos inflacionarios, sustentables en el tiempo y de baja inversión en capital circulante. No obstante, en escenarios como el actual, con una inflación inferior al 2 p. 100 y con una paridad del peso argentino respecto al dólar 1:1, se cuestiona el adoptar un criterio de máxima rentabilidad financiera.

CONCLUSIONES

Los sistemas de gestión agropecuarios utilizados en Argentina se especializan en la asignación de recursos entre múltiples actividades, sin considerar la eficiencia técnica y de asignación para cada actividad. El desarrollo de un modelo de optimización del acabado de novillos permite cuantificar la eficiencia técnica y asignativa de la actividad.

La asignación correcta de recursos en la explotación bovina de carne, siguiendo el criterio de mínimo coste y en consecuencia de máximo beneficio del período y comparando con el sistema actual de finalización de novillos, producirá un incremento del 26,45 p. 100 en el Margen Bruto, una reducción del tiempo de finalización del novillo del 35,44 p. 100; esto se conseguirá mediante un coste marginal de 70 dólares y una modificación de la estrategia de suplementación.

SUMMARY

Optimization of the bovine fattening in grazing in the Pampa's region (Argentina) using linear programming

A methodology for establish the minimum cost ration and the optimum production level for the beef yield in the Pampa's region (Argentina) is developed.

Using linear programming a minimum cost ration is calculated regarding restriction about energy, protein, DMI, and concentrates intake. Through multiples iterations is estimated the daily gain that maximises the profit.

The model let introduce some restrictions and it is runned by a spreadsheet in order to make easy to uses.

In attention to the model results, a modification in the feed supply would be done. The use of more concentrate and the consequent increase in the gross margin (23\$/ha) and in the daily gain can reduce the duration of the process and increase the daily profit.

KEY WORDS: Beef production
Optimization
Linear programming

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AACREA, 1996. Revista de los CREA. Ed. Consorcio Regional de Experimentación Agrícola. Buenos Aires. Argentina.
AGROMERCADO, 1996. Agromercado. El negocio del campo al día. Ed. Negocios del Campo. Córdoba. Argentina.

- BARNARD, C.S., NIX, J.S., 1984. Planeamiento y control agropecuario. El Ateneo, Buenos Aires.
- BRIGHAM, E. F., PAPPAS, J. L., 1978. Economía y administración. Ed. Iberoamericana. México.
- BROKKEK R. F., 1971. Formulating beef rations for improved performance under enviroment stress. American Journal of Agricultural Economics. N.º 53:79-71.
- BYERS F.M., BUTTERFIELD R.M., 1976. New concepts of cattle growth. Sydney: Sydney University Press.
- CASTAÑEDA J., 1979. Lecciones de teoría económica. Ed. Aguilar. Madrid.
- COLOM A., 1993. La optimización direccional a partir de funciones de producción y su relación con la senda de expansión. Invest. Agr.: Econ. Vol. 8: 433-461.
- COLOM A., 1994. Estimación paramétricas de fronteras de producción: Eficiencia productiva en empresas productoras de maíz. Invest. Agr.: Econ. Vol. 9: 5-32.
- CORDONNIER, P., CARLES R., MARSAL P., 1973. Economía de la empresa agraria. Ed. Mundi Prensa. Madrid.
- DANELON José L., 1994. Necesidades nutritivas del ganado vacuno de carne. Ed. Hemisferio Sur, S.A.. Buenos Aires. Argentina.
- DOYLE C.J., BAARS J.A., BYWATER C.A., 1989. A simulation model of bull beef production under rotational grazing in the Waikato Region of New Zealand. Ed. Agricultural Systems N.º 31:247-278.
- DULPHY J.P., DEMARQUILLY C., 1994. The regulation and prediction of feed intake in ruminants in relation to feed characteristics. Livestock Production Science 39: 1-12.
- FRANK R.G., 1984. La optimización de la carga animal en la invernada vacuna. Ed. Cátedra de Administración Rural de la Universidad de Buenos Aires. 14. Argentina.
- GARRETT W.N., 1971. Energetic efficiency of beef and dairy steers. J.Anim. Sci. 32:451-456.
- GARRETT W.N., 1974. Energy gain in mature, nonpregnant beef cows. J. Anim. Sci. 34:238 (Abstr).
- GARRETT W.N., 1976. Least cost gain and profit projection. Estimating nutrient requiriments. Calif. Feeders Day Rep. 15:68
- GARRETT W.N., 1980. Energy utilization of growing cattle as determined in seventy-two comparative slaughter experiments. P.3 in Energy Metabolism, L.E. Mount, ed, EAAP Publ. N.º 26. London: Butterworths.
- GOROSQUIETA J., 1975. Economía de la explotación agropecuaria. Ed. Mensajero. Bilbao.
- LONNE INGVAERTSEN K. 1994. Models of voluntary food intake in cattle. Livestock Production Science 39: 19-38.
- LOFGREEN G.P., GARRET W.N., 1968. A systems for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. J. Anim. Sci. 27: 793-806.
- McDONOUGH J.M., 1971. Feed formulation for least cost of gain. American Journal of Agricultural Economics. 53 (1): 106-108.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1976. Nutrient Requirements of Beef Cattle. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- RODRIGUEZ ALCAIDE J.J., GARCIA MARTINEZ A., MARTOS PEINADO J., 1993. Economía de la empresa agropecuaria. Ed. Cátedra de Economía Agraria de la Universidad de Córdoba. España.
- RODRIGUEZ ALCAIDE J.J., 1962. La programación lineal aplicada en la formulación de raciones alimenticias. *Boletín de Zootecnia* 183: 1205-1225.
- RODRIGUEZ ALCAIDE J.J., BUSTAMANTE NAVARRO R., 1962. Una modificación en el simplex para obtener la ración más económica a distintos niveles proteicos. *Boletín de Zootecnia* 188: 1405-1412.
- SHER A., AMIR H., 1994. Optimization with fuzzy constraints in agricultural production planning. Edit Agricultural Systems 45: 421-441.
- WEBSTER, A.J.F., 1978. Prediction of energy requirements for growth in beef cattle. World Rev. Nutr. Diet. 30:189-226.
- WOODWARD S. J.R., WAKE G. C., 1995. Optimal grazing of a multi-paddock system using a discrete time model. Ed. Agricultural Systems 48:119-139.