

UN MODELO DE SIMULACION PARA LA PRODUCCION DE CARNE BOVINA A PASTOREO¹

A simulation model for beef production under grazing

Rosangela Zocal², Julia Avendaño R.³, Sergio Hazard T.⁴ y Raúl Cañas C.⁵

SUMMARY

A mathematical model, with estocastic variability in function of animal feed intake, was developed. It simulates three different extensive beef production systems, based in continuous grazing. The principal management decisions (initial herd structure, herd reproductive and management data, sward fertilization, feed supplementation, and animal purchasing and selling management) that can affect the system, are inputs of the model.

Forage availability and nutritive value in each field are actualized weekly, according to amount of old and new material, which determines animal feed consumption. Liveweight changes, within each animal category, are estimated through the energy and protein balances. Animals are changed to another category, according to physiological status or age. A summary, containing meat and forage production/ha and average stocking rate in each field, is generated at the end of each simulated year.

The model was validated using experimental data from the Cauquenes Exp. Sta. (INIA, Chile). The maximum differences between model and experimental weight gains were 11.50%, for cows, and 0.20%, for calves, in the raising system, and 1.90%, for steers, in the beef production system.

INTRODUCCION

La producción extensiva de carne en el país, empleando razas especializadas, está basada en la utilización de praderas, la fuente más económica de nutrientes y porque las razas de carne presentan gran rusticidad.

Para abordar el estudio de sistemas de producción, existen básicamente tres métodos: 1. considerar un sistema real, en que predio y productor forman un todo indivisible; 2. a través de la investigación analítica, que

considera diferentes formas de producción, haciendo abstracción de factores antrópicos; y 3. a través del análisis de sistemas, que permite definir un sistema en forma abstracta, mediante un modelo matemático, que utilizando funciones biológicas, relaciona insumos, productos y procesos (Morley, 1972).

La ventaja de los modelos matemáticos, respecto a la investigación tradicional, es que permiten integrar y analizar los diferentes factores que intervienen en un sistema productivo, obteniendo resultados en menor tiempo y, en muchos casos, a menor costo.

¹ Recepción de originales: 30 de junio de 1986.

Parte de la tesis presentada por la primera autora, para optar al título de Magister en Producción Animal, Pontificia U. Católica de Chile.

² CNP Gado de Leite (Embrapa). Rodovia MG 133, Km 42. CEP 36155 Coronel Pachecho—MG, Brasil.

³ Subestación Experimental Cauquenes (INIA), Casilla 165, Cauquenes, Chile.

⁴ Estación Experimental Carillanca (INIA), Casilla 58—D, Temuco, Chile.

⁵ Facultad de Agronomía, U. Católica de Chile. Casilla 114—D, Santiago, Chile.

Los objetivos de este trabajo son reunir, analizar y cuantificar la información disponible, para desarrollar un modelo de simulación de producción bovina en condiciones de pastoreo, que permita una vez validado, efectuar inferencias sobre el efecto de cambios cuantitativos de los factores de entrada.

DEFINICION DEL PROBLEMA

El modelo representa sistemas con pastoreo continuo de la pradera anual, en el secano interior de la VII Re-

gión de Chile. Permite considerar suplementación en los períodos críticos. Describe el sistema físico, a nivel de rebaño, tomando como unidad al animal, con sus diferentes funciones orgánicas; es dinámico, con una variabilidad estocástica, en la función consumo animal.

La metodología se basa en la Teoría General de Sistemas, siguiendo las etapas de análisis, síntesis, verificación, validación, análisis de sensibilidad e inferencias, planteadas por Aguilar y Cañas (1979). Para su desarrollo, se realizó un programa computacional en lenguaje Basic IV, procesado en un microcomputador COMMODORE CBM-8032.

ANALISIS DEL SISTEMA

En cualquier sistema de producción existen factores exógenos y endógenos.

Dentro de los externos, el clima (temperatura, humedad, viento, radiación y precipitación) juega un rol importante. Gastó y Contreras (1972) señalan que el monto de las precipitaciones es el principal factor limitante en la productividad de pasto en zonas Mediterráneas subhúmedas. Según Gastó (1966), en Cauquenes, el 65,90/o de los años son normales, el 13,60/o muy lluviosos, el 11,40/o lluviosos, el 9,10/o secos y el 00/o muy secos. El monto total varía entre 532 y 1.014 mm, con una media de 696 mm. Basado en lo anterior, se consideraron 532, 662, 855 y 1.014 mm, para años muy secos, secos, normales, lluviosos y muy lluviosos, respectivamente. Respecto a otros factores del clima y a los del suelo, se asumió que manifiestan su efecto en la tasa de crecimiento y en el valor nutritivo de la pradera.

Los factores propios del sistema, se pueden agrupar en:

— Características del productor: éste forma parte del sistema, ya que sus decisiones afectan sus componentes, a la vez que se produce una retro-alimentación

— Características de la unidad productiva o predio: comprende una serie de variables, que corresponden a decisiones que debe tomar el productor. En la abstracción del modelo, se consideraron como las más relevantes:

a. Tipo de explotación. Puede ser: crianza, engorda o crianza—engorda. En el primer caso, las ventas consisten en terneros al destete y vacas de rechazo. En la masa, se considera, además, las vaquillas de reemplazo. La engorda contempla la venta de novillos, a distintos pesos y edades. La crianza—engorda, considera la cría y la recría del ternero, hasta su venta como novillo gordo; están presentes en ella todos los tipos anteriores de animales.

En los tipos que consideran hembras, se puede originar una amplia gama de sistemas de explotación, dependiendo del manejo que se da al vientre: época de parición, edad al destete, duración del encaste, índices de reemplazo de vacas, de parición y de mortalidad, que constituyen las entradas (inputs) del modelo.

b. Animales. Se considera diferentes categorías, según edad y estado fisiológico. En crianza: vaquillas 1 (destete a 18 meses); vaquillas 2 (19 meses a primer encaste); vaquillas preñadas; vacas preñadas y vacas en lactancia. En engorda: novillos 1 (destete a 18 meses); novillos 2 (19 a 24 meses) y novillos 3 (> 25 meses, hasta la venta). La crianza—engorda, considera todas las categorías anteriores. Para cada una de ellas, se debe suministrar como entrada el número de animales, peso vivo (P.V.) y edad.

c. Pradera. Considera solamente la pradera natural, con o sin fertilización en diferentes fórmulas. Se debe ingresar la disponibilidad inicial de forraje de cada potrero.

d. Superficie total. Se ingresa con la superficie de cada potrero. El número de potreros es fijo: 4, 2 y 6, para las explotaciones de crianza, engorda y crianza—engorda, respectivamente.

e. Compra y venta. Considera la posibilidad de compra y vender animales a través de todo el año.

f. Suplementación. Es posible suplementar en forma rutinaria, o sólo en períodos críticos. En ambos casos, se debe señalar: tipo y cantidad de cada suplemento; fecha de inicio y fin de la suplementación; valor nutritivo; y potrero en que se suplementará.

SINTESIS DEL SISTEMA

Basado en la información disponible y a través de la racionalidad de los conceptos, se decidió cuales eran los componentes más relevantes y su interacción o conexión entre ellos (Figura 1). Cada componente se desarrolló como subrutina computacional.

Subrutina Pradera

La vegetación natural de la zona Mediterránea subhúmeda corresponde a la estepa de *Acacia caven*, descrita por Acuña, Avendaño y Ovalle (1983). La pradera se caracteriza por su marcada estacionalidad de crecimiento, lo que exige suplementar en ciertas épocas del año. Acuña y otros (1982) indican que su productividad es de 1,5 ton m.s./ha/año; al fertilizarla con N y P, se incrementó su producción en 2000/o.

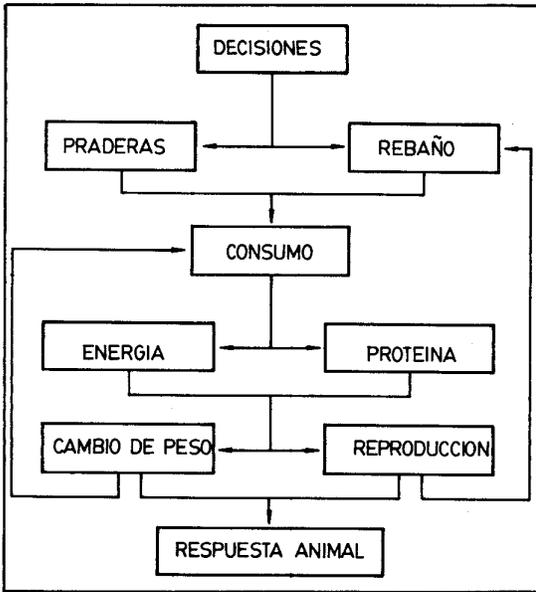


FIGURA 1. Diagrama básico de la estructura del modelo con las diferentes subrutinas e integración entre ellas.

FIGURE 1. Basic diagram of the model structure with the different subroutines and integration between them.

La información sobre los factores que determinan la producción de la pradera, fue obtenida básicamente en ensayos realizados en la Subest. Exp. Cauquenes del INIA (Avendaño y Ovalle, 1984). Algunos datos fueron ajustados y otros estimados, cuando no existía información.

La disponibilidad de forraje (D) es la cantidad de m.s. existente en el potrero y a la cual el animal tiene acceso. Semanalmente, es actualizada en función del consumo, de la tasa de crecimiento semanal y ajustada por el factor de descarga natural (0,96); éste fue estimado en base a datos de Ovalle y otros (1983). La D semanal/potrero se actualiza así:

$$D(i) = (D(i) \times AP(i) \times 0,96) \times (1 + CM(i))$$

donde D (i) = disponibilidad semanal de forraje en el potrero i;

AP (i) = área del potrero i;

CM (i) = crecimiento semanal de forraje en el potrero i.

Durante la simulación de cada potrero, se calcula el total de forraje consumido (TC (i)). En la semana siguiente, D (i) se calcula como sigue:

$$D(i) = D(i) - TC(i) / AP(i)$$

La digestibilidad (Dg) promedio semanal es calculada según la Dg del material nuevo y del viejo, ponderados por su respectiva proporción.

Según Avendaño y Ovalle (1984), la fertilización permite aumentar la producción de m.s. Sin embargo, la información no es suficiente y fue necesario simplificar el problema. Se utilizaron cuatro factores de corrección: 1,1; 1,3; 1,5 y 2,4, para 4 niveles de fertilización.

Subrutina Consumo

En la Figura 2 se muestra los factores considerados, que afectan el consumo (C); a continuación se analizan los más relevantes.

Abreu (1975) desarrolló una ecuación para predecir el consumo (Y) en praderas de zonas templadas, en función del P.V. y la D:

$$Y = P \times 0,03 \times (1 - e^{-0,001664 \times D})$$

donde: P = peso vivo (P.V.)

En esta ecuación, si la D no es limitante, el consumo será el 30/o del P.V. Utilizando esta relación, se determinó el consumo potencial (CP), para cada una de las categorías en función del P.V.

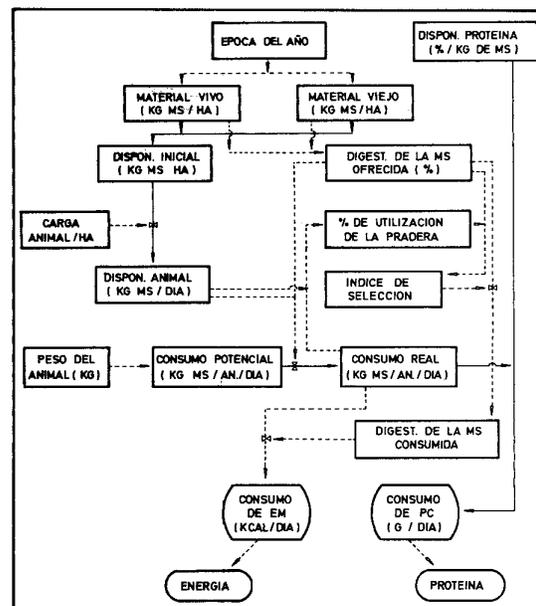


FIGURA 2. Diagrama de flujo de la subrutina consumo del modelo.

FIGURE 2. Flow diagram of the intake subroutine of the model.

El modelo, al simular el C por categorías o grupos de animales, no considera la variabilidad entre individuos. Sin embargo, sí lo hace entre pastoreo y categorías de animales, al utilizar una curva estocástica de distribución Gaussiana, con una desviación standard de 7,50/o, desarrollada por Aguilar, Friedli y Cañas (1983).

Los factores ajenos al animal que afectan el C de forraje, son numerosos; para efectos productivos y en condiciones de pastoreo, se pueden reducir a: D y Dg del forraje disponible para el animal (Marchi, 1973; Hodgson, 1982; Weston, 1982). De acuerdo con estos antecedentes, el C real de forraje (CV) es calculado a partir del CP, corregido por los factores de D (FD) y de Dg (FG) del forraje:

$$CV = CP \times FD \times FG$$

El consumo de forraje aumenta hacia una asíntota, a medida que se incrementa la D (Freer, 1981; Arnold y Dudzinski, 1978; Arnold, 1970). En este modelo, el FD utilizado corresponde a la pendiente de la curva de la ecuación desarrollada por Abreu (1975). El FG se calculó a través de una serie de raciocinios. Hodgson y Maxwell (1979) indican que el C de forraje es máximo cuando la Dg es alta (750/o) y disminuye en un 200/o, cuando es de 600/o. Con estos valores se ajustó la ecuación a una recta, considerando la digestibilidad del forraje ofrecido (GD), de acuerdo a:

$$CG = CP \times ((GD - 0,7) + 1)$$

donde: CG = máximo consumo de forraje de acuerdo a la Dg ofrecida.

El FG se calcula dividiendo CG por el CP.

También, se ha comprobado que la Dg de lo consumido es mayor que la del material ofrecido, por la selectividad (S) que realiza el animal (Arnold y Dudzinski, 1978; Arnold, 1981; Hodgson, 1982). Esta, en un animal a potrero, está determinada por un conjunto de factores, que interactúan entre sí (Arnold, 1981); la cuantificación de estos factores todavía no está bien determinada. El índice de selección (IS) fue calculado así:

$$IS = 1 + (SD \times SG)$$

donde, SD y SG corresponden a la corrección de la S por la D y Dg del forraje, respectivamente. El primero depende linealmente de la utilización de la pradera (UP):

$$SD = 0,625 - (1,25 \times UP)$$

donde, UP es el cociente entre el consumo total de una categoría de animales y la D diaria de forraje en

el potrero. El SG corresponde al ajuste a una parábola efectuada por Zoccal (1983), usando datos de Jamieson y Hodgson (1979a):

$$SG = (GD^2 - (0,6 \times GD) - 0,16) / -0,5$$

donde: GD = D de la m.s. ofrecida en el potrero (en decimales).

Cabe señalar que el IS fue validado mediante una regresión lineal, con datos experimentales obtenidos por Jamieson y Hodgson (1979b). Se encontró que este índice es capaz de predecir la selectividad con 86,20/o de seguridad, a un nivel de significación del 50/o (Zoccal, 1983).

Los animales, al consumir concentrado, dejan de consumir una cierta cantidad de forraje. Por lo tanto, el consumo total de forraje (CF) se calculó como la diferencia entre el CV y el consumo de suplemento (SC).

En terneros y terneras, existe una problemática en relación al consumo y desarrollo ruminal. Según Roy (1972), el CP de un ternero con el rumen desarrollado, es de 3,30/o de su P.V., valor utilizado en el modelo. No obstante, si se considera que el ternero consume leche, se debe restar al CP, el consumo de leche, determinado de acuerdo a la curva de producción diaria de la vaca.

El desarrollo ruminal está directamente relacionado con la dieta que consume el animal, ya que los alimentos fibrosos estimulan el desarrollo del retículo—rumen y de las papilas (González, García y Valenzuela, 1981). Bascuñan y Cañas (1978) proponen una ecuación que relaciona el consumo acumulado de fibra (AF) y el porcentaje de desarrollo ruminal, de acuerdo al peso metabólico (PM):

$$AF = AF + (CP \times 1.000 \times 0,2) / PM$$

Conociendo el AF por ternero, se calculó el desarrollo ruminal (DR) (Bascuñan y Cañas, 1978):

$$DR = 102 - 107 \times e^{-0,006 \times AF}$$

Finalmente, se calculó el consumo real de forraje (CF) de acuerdo al desarrollo ruminal, multiplicando CP por DR.

Subrutina partición de la Energía

Se estima el consumo de energía metabolizable (EM) y su distribución en función de los requerimientos del animal, jerarquizando de acuerdo a su prioridad (Raúl Cañas C., U.C., comunicación personal) (Figura 3). Frente a un cierto consumo de EM, el animal primeramente lo utiliza para mantención y para conseguir su

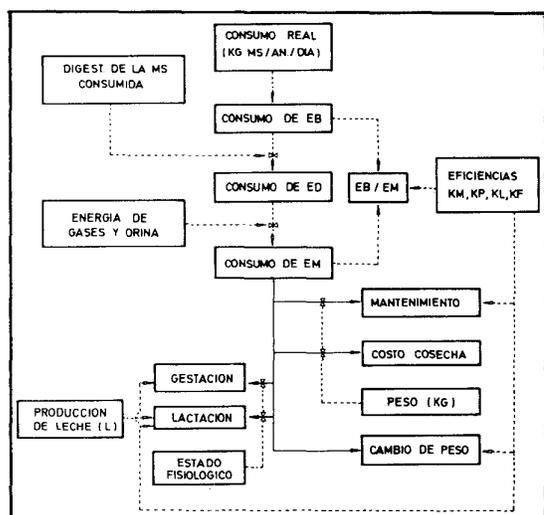


FIGURA 3. Diagrama de flujo de la subrutina energía del modelo.

FIGURE 3. Flow diagram of the energy subroutine of the model.

alimento (costo de cosecha); si existe excedente, se destina a producción. Para el caso de las hembras, los requerimientos de energía para gestación y lactancia tienen prioridad sobre el cambio de P.V. Cuando el animal presenta un balance de energía negativo, moviliza reservas corporales en el mismo orden de prioridad.

La EM del forraje consumido se calculó asumiendo: una energía bruta de 4,4 Mcal/kg m.s. (ARC, 1980); una digestibilidad de la energía similar a la de la m.s.; y pérdidas por gases y orina del 19% de la energía digestible (Blaxter, 1964; Webster, 1979; ARC, 1980; Cañas, Aguilar y Gasman, 1983; Wainmann, 1976, citado por Alderman, 1979). Este valor se multiplicó por los kilos de m.s. consumidos (CF), y se le agregó el consumo de EM proveniente de los suplementos (EC). La ecuación quedó como sigue:

$$CEM = ((4,4 \times GC \times 0,81) \times CF) + EC$$

donde: CEM = consumo de EM

Requerimientos de EM para mantención (RM). Se calculó en función de CEM (Cañas, 1974):

$$RM = 126,11 / (1 + 2,00262 \times e^{-0,0036 \times CEM})$$

No se consideró energía adicional para regulación de la temperatura corporal, ya que no es necesaria en zona de termoneutralidad (Hazard, 1983).

Requerimientos de EM para costo de cosecha (CC). Rozas y otros (1978) y Ortúzar (1979) han estimado ecuaciones para calcular el CC. Posteriormente, Catrileo (1981) modificó la primera de éstas, asumiendo una asíntota superior de 48 kcal/kg de P.V. La ecuación utilizada es similar a ésta última, sólo que el valor de la asíntota superior es de 30 kcal/kg de P.V., conforme a lo señalado por Osuji (1974):

Disp = disponibilidad de forraje =

$$813,86 \times \ln(30 - CC) - 311,79 \times \ln(CC - 12) + 803$$

donde: CC = costo de cosecha

Posteriormente, el CC es corregido, si el animal consume suplemento.

Requerimientos de EM para producción (gestación y producción de leche). Los de gestación (RP) se calcularon según el tiempo de gestación (t):

$$RP = 0,27 \times e^{-0,0106 \times t}$$

El aumento de peso debido a la gestación se calculó de acuerdo al ARC (1980), considerando el peso del útero grávido, entre el día t y t-1 de gestación, el cual es sumado al P.V.

Los requerimientos de EM para producción de leche (RL) se calcularon a partir de la leche producida (LL). Al respecto, Neville (1962) señala que vacas herefordas producen 882 kg de leche en 240 ds de lactancia; por otra parte, R. Cañas C., U.C. (comunicación personal) indica que su distribución es 45, 32 y 23% para el primer, segundo y tercer tercio, respectivamente. Neville (1962 y 1974) y Hohenboken y otros (1972) estiman la producción de leche en 4,96, 3,52 y 2,53 lt/día para cada tercio de la lactancia.

Basado en estos antecedentes, se construyó la curva de lactancia con el máximo a los 60 ds (Bond y Wiltbank, 1970), considerando una EM/lt de leche de 1,122 Mcal (Neville, 1974; Neville y Mc Cullough, 1969; Dawson y otros, 1960, citados por Preston y Willis, 1970). Los RL serían:

$$RL = 1,122 \times (5,607143 + (-0,115476 \times SL))$$

donde: SL = semana de lactancia

Cambio de peso. Una vez cubiertos todos los requerimientos anteriores, se realizó un balance de energía; si éste es positivo, el animal gana peso. Esta ganancia (GP) se calcula en función de la energía neta disponible para GP (ENGP) y el peso (PX), según la relación presentada por el MAFF (1975), adaptada para el ti-

po de praderas de la zona, según valores dados por C. Ovalle M. y J. Avendaño R., INIA (comunicación personal).

$$GP = ENGP / (1,5 + (0,07 \times ENGP)) + 0,0045 \times PX$$

en donde:

$$ENGP = (EDGP \times Kf) / 1000$$

siendo EDGP = EM disponible para GP y Kf = eficiencia de utilización de la EM para GP, según la relación (ARC, 1980):

$$Kf = 0,81 \times Q \times 0,03$$

donde: Q = metabolizabilidad de la dieta

Cuando el balance energético es negativo, el animal pierde peso. La eficiencia con la que el animal utiliza la EM de la pérdida de peso es 0,85 (ARC, 1980). El valor energético de cada kilogramo de pérdida de peso es 6,69 Mcal. De esta manera, la pérdida de peso (PG) se calculó según:

$$PG = (EDGP / 0,85) / 6,69 / 1000$$

En este caso, EDGP corresponde al déficit de energía metabolizable.

Subrutina Proteína

El cálculo de los requerimientos de proteína fue realizado a través del esquema propuesto por el ARC (1980) (Figura 4). Estos requerimientos, al igual que los de EM, ocurren simultáneamente en los animales; sin embargo, para una mejor comprensión, son calculados en forma separada.

El consumo total de proteína (IP) se calculó en base al consumo y al contenido de proteína del pasto, sumando el consumo de proteína del suplemento, cuando corresponde.

A continuación se analizará someramente lo referente a síntesis y degradación microbiana y, más en detalle, los requerimientos (R) de proteína y el balance proteico.

Síntesis y degradación microbiana. La digestibilidad de la m.s., que es aparentemente digerida en el rumen, fue elegida como una estimación de la energía disponible para la síntesis microbiana. Asumiendo que un 19% de la energía aparentemente digerible se pierde (gases y orina) y que 1 kg de m.s. contiene 19 megajoules de ED, se calculó el consumo de m.s. aparentemente digerible (CSAD), que puede ser utilizado

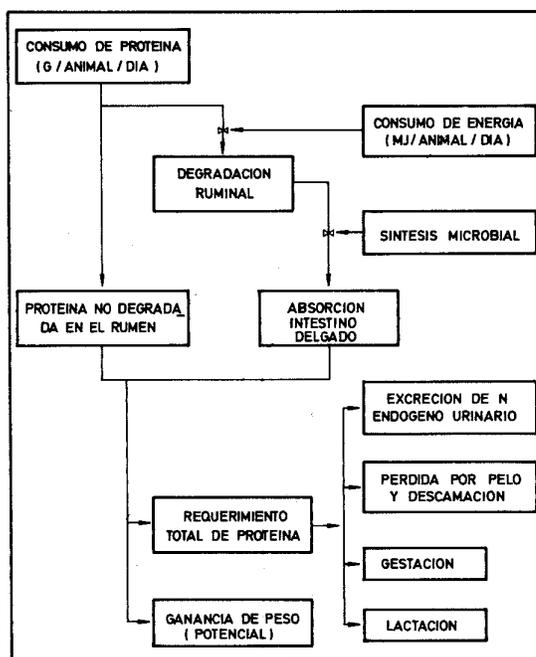


FIGURA 4. Diagrama de flujo de la subrutina proteína del modelo.

FIGURE 4. Flow diagram of the protein subroutine of the model.

para la síntesis microbiana, en función del CEM expresado en megajoules (ETU):

$$CSAD = ETU / (19 \times 0,81)$$

La proteína que es degradada en el rumen (RDP), es función del CSAD multiplicado por 6,25.

Por otra parte, la producción de N microbiana (NM) en el rumen, es de 30 g/kg de m.s. aparentemente digerible (ARC, 1980), valor que fue utilizado; dado que la eficiencia aparente de la conversión de N de la dieta en NM es 1,0, la producción de NM, expresada en g/día, se calculó multiplicando el RDP por 30. Trenkle (1982) y Van Soest y otros (1982) informan que la eficiencia de la transformación del NM a N aminoacídico (NAA) es 0,80. La absorción de N proteico en el intestino delgado (NID) es de 0,7 (ARC, 1980). El total de N retenido en el cuerpo (NR) fue calculado, multiplicando el NID por 0,75.

Requerimientos totales de proteína (TN). Están conformados por:

— La excreción de N endógeno urinario (NEU), calculada según datos del ARC (1980):

$$NEU = (5,9206 \times \text{LOG}(PX) - 6,76) \times 6,25$$

- Las pérdidas de proteína por el pelo y descamación (PNP), determinadas a través de experimentos realizados por Blaxter (1964), citado por ARC (1968), en función del peso metabólico (PM), según:

$$PNP = (0,018 \times PM) \times 6,25$$

- Los aumentos de peso debido al crecimiento del feto y de los órganos reproductivos, calculados en forma separada e independiente de los aumentos de peso absolutos o verdaderos. Los requerimientos de proteína para gestación (PG), se calcularon en función de la proteína retenida en el feto y tejidos reproductivos (PU) y del tiempo de gestación (t), según las ecuaciones propuestas por el ARC (1980):

$$PG = 10 \log (PU \times 0,03437 \times e^{(-0,00262 \times t)})$$

$$PU = 3,707 - 3,698 \times e^{-0,00262 \times t}$$

- Los requerimientos de proteína para producción de leche, que corresponden a la cantidad secretada en la leche, la cual es de 35 g/lit de leche producida (Bond y Wiltbank, 1970; y Neville, 1974).

La proteína de la dieta que no sufre degradación ruminal (UDP). Fue estimada en función del IP, de la proporción de degradación en el rumen y de la eficiencia con que es absorbida en el intestino delgado; para los dos últimos, se eligió los valores de 80% y 0,7 (ARC, 1980), respectivamente:

$$UDP = IP \times (1 - 0,8) \times 0,7$$

Cambio de peso. La proteína disponible para ganancia de peso (PD) depende del consumo de proteína (IP), de los requerimientos totales de proteína (TN), de la retención de proteína en el cuerpo (NR), y de la proteína no degradada en el rumen (UDP):

$$PD \text{ K} ((IP - TN) + NR + UDP) / 1000$$

La ecuación que determina el peso del animal será:

$$WP(j) = PZ + PD$$

donde: WP(j) = cambio de peso debido al balance proteico

PZ = proteína contenida en el cuerpo animal

Esta última cantidad (PZ), en función del peso del animal (PX) según Anrique (1976), citado por Catrio (1981), es:

$$PZ = -1,2345 + 0,215745 \times PX - 0,0001 \times PX^2$$

Dado que existe una ganancia de peso en función del consumo de energía y de la proteína, se consideró la ganancia o pérdida de peso de acuerdo a lo más limitante. Así, si la ganancia de peso por energía es menor que la por proteína, el incremento de peso real, es aquel obtenido por el balance energético y viceversa. Cuando hay pérdida de peso, se considera la mayor pérdida generada por uno de los dos balances: energético o proteico.

Subrutina reproducción

Existen dos funciones que hacen posible la dinámica de un rebaño: reproducción y crecimiento. La eficiencia reproductiva de los rebaños de cría incide de modo fundamental en la eficiencia total de producción de carne.

Normalmente, los problemas reproductivos de los rebaños están íntimamente relacionados con un consumo insuficiente y/o utilización ineficiente de la energía y/o proteína. Por otra parte, las vaquillas de primer y segundo encaste son las que presentan los mayores problemas reproductivos. En el modelo, el porcentaje de concepción de éstas (C3), fue estimado de acuerdo a la ecuación propuesta por Abreu (1975), en función del peso al principio de la época de encaste:

$$C3 = 1 - 204,5 \times e^{-0,028 \times PX}$$

Se consideró que las vaquillas de segundo parto tienen el mismo porcentaje de concepción que las vacas adultas, calculado a partir del porcentaje de parición menos el de aborto, ambos datos suministrados como "entradas".

Al parto, la vaca pierde alrededor de 50 a 60 kg de P.V., debido al ternero y a los tejidos asociados al nacimiento. Se decidió tomar un valor promedio de 55 kg, el cual se descuenta del peso al momento del parto.

La época de parición puede ocurrir en el modelo en cualquier período del año, según la época de encaste; y la edad de destete también es variable, porque depende del manejo del rebaño, y podrá ser adelantado o atrasado según las condiciones del año, ingresándose ambas como "entradas".

VERIFICACION

La verificación es una etapa en la cual se comprueba la racionalidad y consistencia de las funciones o ecuaciones para estimar las variables del modelo y las relaciones entre ellas. Esta etapa es un proceso continuo, hasta que el modelo es validado.

VALIDACION

La validación estadística usada fue un análisis de regresión, propuesto por C. Aguilar G. y R. Cañas C., U.C. (comunicación personal), que en la hipótesis nula, considera el intercepto = 0 y la pendiente = 1.

Se utilizó información de Avendaño y otros (1982) y Ovalle, Avendaño y Ruiz (1983), trabajos realizados en la Subest. Exp. Cauquenes (INIA).

Para la alternativa de engorda, se usó la modalidad extensiva del tercer ciclo (E3, en Ovalle, Avendaño y Ruiz, 1983), con animales a pastoreo en pradera anual durante todo el período de experimentación, con uso de suplementación invernal. En el Cuadro 1 y la Figura 5, es posible observar los resultados del experimento físico y los entregados por el modelo; el coeficiente de correlación simple es de 0,98, lo que implica que el modelo es capaz de estimar en muy buena forma lo que ocurre en la realidad.

Para la crianza, se utilizó los valores de la segunda temporada del sistema de cría obtenidos por Avendaño y otros (1982), manejando las vacas en forma similar al sistema de engorda y con pariciones a fines de invierno. Para lograr una validación más precisa, las vacas fueron divididas según el número del parto (de primero a quinto); no se consideraron las de tercer parto, porque fueron sólo dos en el experimento.

Las variaciones de P.V. de los vientres de primer y quinto parto, de los terneros y terneras del experimento físico y los entregados por el modelo, se presentan en las figuras 6, 7 y 8, respectivamente. El coeficiente de correlación simple más bajo (0,80), entre los datos experimentales y los del modelo, se obtuvo en el grupo de vaquillas de primer parto (Cuadro 1; Figura 6).

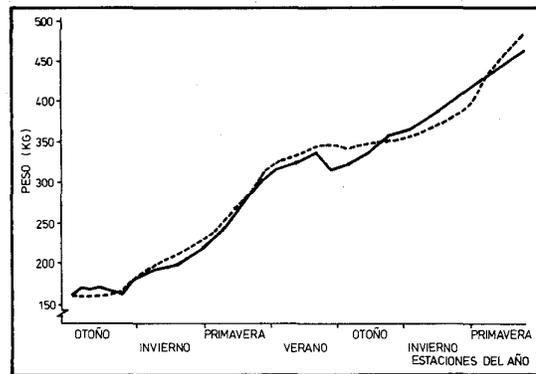


FIGURA 5. Variaciones del P.V. de novillos en el experimento físico (—) y los entregados por el modelo (---), $r = 0,98$.

FIGURE 5. Liveweight variations of the steers in the experiment (—) and obtained by the model (---), $r = 0.98$.

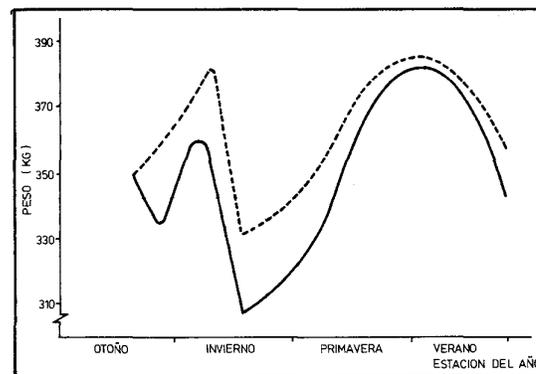


FIGURA 6. Variaciones del P.V. de vaquillas de primer parto en el experimento físico (—) y los entregados por el modelo (---), $r = 0,80$.

FIGURE 6. Liveweight variations of the first calving heifers in the experiment (—) and obtained by the model (---), $r = 0.80$.

CUADRO 1. Pesos vivos iniciales y finales (kg), período considerado (ds) y coeficientes de correlación simple de los grupos de animales con el cual el modelo fue validado

TABLE 1. Initial and final liveweight (kg), days considered and simple correlation coefficients of the groups of animals used to validate the model

Animales	Período (días)	Peso inicial		Peso final		r
		Exp. ¹	Mod. ²	Exp.	Mod.	
Novillos	624	162	162	463	468	0,98
Vacas:						
primer parto	308	349	350	350	355	0,80
segundo parto	308	358	359	382	373	0,89
cuarto parto	308	387	388	400	414	0,91
quinto parto	308	455	457	464	466	0,94
Terneros	180	32	32	169	172	0,99
Terneras	180	29	29	159	169	0,99

¹ Experimental; ² Modelo.

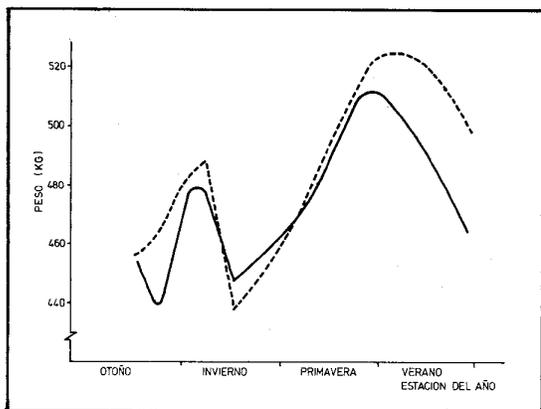


FIGURA 7. Variaciones del P.V. de vacas de quinto parto en el experimento físico (—) y los entregados por el modelo (---), $r = 0,94$.

FIGURE 7. Liveweight variations of the fifth calving cows in the experiment (—) and obtained by the model (---), $r = 0,94$.

En el período invernal, el modelo sobreestimó las ganancias de P.V. en un 7,50/o (Figura 6), debido a que asumió que estas vaquillas consumían igual cantidad de suplemento que las vacas. Además, durante la gestación de estas vaquillas, consideró que lograban las mismas ganancias de P.V. que las vacas, hecho que también pudo afectar la dispersión de los valores. En todo caso, el modelo predice satisfactoriamente (800/o) la realidad.

Respecto al cambio de P.V. de terneros y terneras, el modelo es capaz de representar con bastante exactitud lo que ocurre en la realidad ($r = 0,99$) (Cuadro 1; Figura 8).

En resumen, se podría señalar que el modelo en algunos casos sobrestima y en otros subestima la ganancia de P.V. de los vientres, sin existir una relación con el número de partos. Sin embargo, en el caso de novillos y terneros, es un buen estimador de las variaciones de P.V.

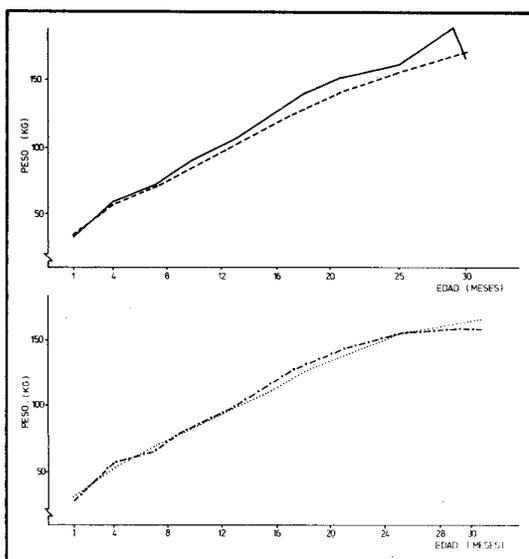


FIGURA 8. Variaciones del P.V. de los terneros y terneras en el experimento físico (—, -x-x) y los entregados por el modelo (---,), $r = 0,99$.

FIGURE 8. Liveweight variations of the male and females calves in the experiment (—, -x-x) and obtained by the model (---,), $r = 0,99$.

ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Consistió en hacer variar la digestibilidad promedio del forraje ofrecido en + 5; + 2; - 2 y - 50/o. Se utilizó este criterio, en consideración a que la digestibilidad afecta el consumo de m.s. y selectividad, y por lo tanto, el consumo de EM. Con ello, se detectaron cambios importantes en el peso de novillos, durante un período de un año y nueve meses (Cuadro 2). La máxima desviación porcentual se observó al aumentar la digestibilidad en 50/o, encontrándose diferencias en la ganancia de peso de 67 kg, valor muy similar a la diferencia obtenida al disminuirla en un 50/o.

CUADRO 2. Digestibilidad, peso vivo inicial y final, error y desvío porcentual resultantes del análisis de sensibilidad

TABLE 2. Digestibility, initial and final liveweight, error and percentage deviation obtained in the sensibility analysis

Digestibilidad de la m.s. ofrecida	Peso (kg)		Error Porcentual	Desvío Porcentual
	inicial	final		
Usada en el modelo	162	486	—	—
más 50/o	162	553 (67)	9,33	7,09
más 20/o	162	513 (27)	3,75	2,85
menos 20/o	162	460 (-26)	- 3,49	2,81
menos 50/o	162	421 (-65)	- 8,86	6,90

CONCLUSIONES

- El modelo de simulación desarrollado permite representar con confiabilidad el cambio de P.V. en animales herefords a pastoreo continuo, con variaciones que fluctúan entre 0,2 a 11,50/o, dependiendo del sistema validado.
- Con él es posible simular una amplia gama de situaciones, a través de las condiciones iniciales y de manejo del sistema ingresado.

— La selectividad, (diferencia entre la digestibilidad de la m.s. ofrecida y consumida) resultó de gran importancia para calcular el consumo de energía metabolizable y ganancias de peso, bajo las condiciones de producción de forraje consideradas en el modelo.

— Al realizar un análisis de sensibilidad, variando la digestibilidad del forraje ofrecido, se detectó que pequeños cambios (50/o), provocan diferencias notables de ganancias de P.V. de los animales a pastoreo.

RESUMEN

Se desarrolló un modelo matemático, con variabilidad estocástica en la función de consumo animal, que simula tres diferentes sistemas extensivos de producción de carne, con pastoreo continuo, y que permite analizar el efecto de distintas estrategias de manejo sobre las respuestas productivas de los animales.

Las principales decisiones de manejo que pueden afectar los resultados del sistema son ingresadas como "entradas". Estas son: composición inicial del rebaño; datos reproductivos y de manejo del rebaño; uso de fertilización; uso de suplementación; y manejo de compra y venta de animales.

El modelo actualiza semanalmente la disponibilidad y valor nutritivo del forraje de cada potrero, de acuerdo a la cantidad de material vivo y viejo existente en ca-

da uno de ellos, que determinan el consumo realizado por los animales. A través del balance energético y proteico, se estima el cambio de peso de cada categoría. El cambio de categoría se realiza de acuerdo con el estado fisiológico del animal y/o edad.

Al final de cada año simulado, se presenta un resumen que incluye las producciones de carne y pasto/ha y la carga animal promedio de cada potrero.

El modelo fue validado, usando resultados experimentales de la Subest. Exp. Cauquenes (INIA). Las máximas diferencias observadas entre las ganancias de peso dadas por el modelo y las medidas experimentalmente, fueron: 11,50/o para las vacas y 0,20/o para los terneros, en el sistema crianza; y 1,90/o para los novillos, en el sistema engorda.

LITERATURA CITADA

- ABREU, M.P. 1975. Simulación de crecimiento y performance reproductivo en vaquillonas de primer y segundo entore. En: Sistema de Producción Pecuaria—Principios y Aplicación en Investigación y Extensión. (Ed.) Caballero, H.D., Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas—OEA.
- ACUÑA P., H.; AVENDAÑO R., J. y OVALLE M., C. 1983. Caracterización y variabilidad de la pradera natural del secano interior de la zona Mediterránea subhúmeda. Agricultura Técnica (Chile) 43 (1): 27—83.
- ACUÑA P., H.; AVENDAÑO R., J.; SOTO O., P. y OVALLE M., C. 1982. Praderas de secano en las regiones del Maule y Biobío. Chillán, Chile, INIA, Estación Experimental Quilmapu. Boletín Técnico N° 54 (15 Qui). 106 p.
- AGUILAR G., C. y CAÑAS C., R. 1979. Algunas consideraciones del uso del análisis de sistemas en Ciencias Agrícolas. Ciencia Interamericana (OEA) 20 (1—2): 8—12.
- AGUILAR G., C.; FRIEDLI, C.; and CAÑAS C., R. 1983. The growth curve of animals. Journal of Agricultural Systems 10: 133—147.
- ALDERMAN, G. 1979. Application of practical rationing systems. En: (Ed.) Pigden, W.J.; Balch, C.C.; and Graham, M. Standardization of Analytical Methodology for Feeds. Proc. Workshop. Canada, Ottawa, p.: 29—35.
- ARC—Agricultural Research Council. 1968. Necesidades nutritivas de los animales domésticos. N° 2 Ruminantes. Editorial Academia, España.
- ARC—Agricultural Research Council. 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. CAB, London. 351 p.
- ARNOLD, G.W. 1970. Regulation of food intake in grazing ruminants. En: (Ed.) A.T. Phillipson. Physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminants. Oriel Press. 264 p.

- ARNOLD, G.W. 1981. Grazing behaviour. En: (Ed.) Morley, F.H.W. World Animal Science. Grazing Animal. Elsevier. p.: 125.
- ARNOLD, G.W. and DUDZINSKI, M.L. 1978. Diet selection and food intake. En: *Enthology of free-ranging domestics animals*. Elsevier.
- AVENDAÑO R., J. y OVALLE M., C. 1984. Mejoramiento de la pradera natural Mediterránea subhúmeda a través de fertilización y épocas de rezago. *Agricultura Técnica (Chile)* 44 (3): 217–227.
- AVENDAÑO R., J.; OVALLE M., C.; RUIZ N., I.; FRANCO P., I. y FUENTES V., R. 1982. Sistema de producción de terneros Hereford en pradera natural de secano de la región Mediterránea subhúmeda de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 42 (3): 177–191.
- BASCUÑAN, J. y CAÑAS C., R. 1978. Informe del Proyecto "Modelo de simulación del Desarrollo Ruminal". Dirección de Investigación de la Universidad Católica de Chile (DIUC).
- BLAXTER, K.L. 1964. *Metabolismo Energético de los Ruminantes*. Acribia. Zaragoza, España.
- BOND, J. and WILTBANK, J.N. 1970. Effect of energy and protein on estrus, conception rate, growth and milk production of beef females. *J. Animal Science* 30 (3): 438–444.
- CAÑAS C., R. 1974. The lactational efficiency complex in rats. Ph.D. Thesis, Dept. Animal Science, University of California, Davis.
- CAÑAS C., R.; AGUILAR G., C. y GASMAN, M. 1983. Relaciones bioenergéticas en sistemas de producción de bovinos. En: (Ed.) Gasman, M. *Sistemas en Agricultura*. Depto. Zootecnia, U.C. IISA–8305.
- CATRILEO, A. 1981. Desarrollo de un modelo de simulación para el estudio del cambio de peso en novillos a pastoreo. Tesis Magister en Producción Animal. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- FREER, M. 1981. The control of food intake by grazing animals. En: (Ed.) Morley, F.H.W. World Animal Science. *Grazing Animals*. Elsevier. p.: 105–124.
- GASTO, J.M. 1966. Variación de las precipitaciones anuales de Chile. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Agronomía, Est. Exp. Agronómica. *Boletín Técnico* Nº 24. p.: 4–20.
- GASTO C., J. y CONTRERAS T., D. 1972. Bioma pratense de la región Mediterránea de pluviometría limitada. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Agronomía, Estación Experimental Agronómica. *Boletín Técnico* Nº 35: 3–29.
- GONZALEZ, F.; GARCIA, F. y VALENZUELA, X. 1981. Efecto del destete a diferentes edades usando igual cantidad de dieta líquida en el comportamiento de terneros neo-natos. *Ciencia e Investigación Agraria* 8 (2): 91–103.
- HAZARD T., S. 1983. Algunos factores del medio ambiente que afectan el comportamiento productivo y reproductivo de vacas lecheras a pastoreo. Seminario III. Depto. Zootecnia. Facultad de Agronomía. P.U. Católica de Chile.
- HODGSON, J. 1982. Influence of sward characteristics on diet selection and herbage intake by the grazing animal. En: *Nutritional Limits to Animal Production from Pastures*. (Ed.) J.B. Hacker. Commonwealth Bureau. p.: 153–166.
- HODGSON, J. and MAXWELL, T.J. 1979. Grazing research and grazing management. The Hill Farming Organization. Biennial Report. Bush Estate, Penicuik, Midlothian, UK. p.: 169–187.
- HOHENBOKEN, W.K.; HAUSER, E.R.; CHAPMAN, A.B.; and CUNDIFF, L.V. 1972. Partitioning lactation TDN consumption in Hereford between maintenance, gain and milk production. *J. Animal Science* 34 (1): 152–160.
- JAMIESON, W.S. and HODGSON, J. 1979a. The effect of daily herbage allowance and sward characteristics upon the ingestive behaviours and herbage intake of calves under strip-grazing management. *Grass Forage Science* 34: 261–271.
- JAMIESON, W.S. and HODGSON, J. 1979b. The effects of variation in sward characteristics upon the ingestive behaviour and herbage intake of calves and lambs under a continuous stocking management. *Grass Forage Science*. 34: 273–282.
- MARCHI, A. 1973. Principios generales para la suplementación de ganado. Información Técnica Nº 100. INTA, San Luis, Argentina.
- MAFF—Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 1975. Energy allowances and feeding systems for ruminants. Technical Bulletin Nº 35. UK. HMSO.
- MORLEY, F.H.W. 1972. A system approach to animal production; What is it about?. *Aust. Soc. Animal Production Proceedings* 9: 1.
- NEVILLE, W.E. Jr. 1962. Influence of dam's milk production and other factors on 120 and 240 day weight of Hereford calves. *J. Animal Science* 21: 315–320.
- NEVILLE, W.E. Jr. 1974. Comparison of energy requirements of non-lactating Hereford cows and estimates of energetic efficiency of milk production. *J. Animal Science* 38 (3): 681–686.
- NEVILLE, W.E. Jr. and Mc CULLOUGH, M.E. 1969. Calculated energy requirements of lactating and non-lactating Hereford cows. *J. Animal Science* 29: 823–829.
- ORTUZAR, J. 1979. Un modelo de simulación por computadora para predecir el cambio de peso y producción de lana en ovinos a pastoreo. Tesis de Ing. Agr., Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Depto. de Zootecnia.
- OSUJI, P.O. 1974. The physiology of eating and energy expenditure of the ruminant at pasture. *J. Range Management* 27 (6): 437–443.
- OVALLE, C.; AVENDAÑO, J. y RUIZ, I. 1983. Sistemas de producción de carne en novillos Hereford en pradera natural de la región Mediterránea subhúmeda. I. Comportamiento animal. *Agricultura Técnica (Chile)* 43 (1): 1–11.
- OVALLE M., C.; AVENDAÑO R., J.; SOTO O., P. y ACUÑA P., H. 1983. La carga animal en pradera natural de la zona Mediterránea subhúmeda. I. Efecto sobre la pradera. II. Comportamiento animal. *Compendios. IX Reunión Latinoamericana de producción animal*. Santiago, Chile. 25 al 29 de julio de 1983. PF–90 y PF–91.
- PRESTON, T.R. and WILLIS, M.B. 1970. *Intensive beef production*. Oxford, Pergamon Press. 540 p.

- ROY, J.H.B. 1972. *The Calf*. Vol I. Iliffe Books. Londres.
- ROZAS, R.; CAÑAS C., R; GASTO C., J.; AGUILAR G., C. y FRIEDLIE, C. 1978. Costo ecológico de cosechas de alimento en ovinos en pastoreo; IV Conferencia Mundial de Producción Animal. Buenos Aires, Argentina. 20 al 26 de agosto de 1978.
- TRENKLE, A. 1982. The metabolizable protein feeding standard. En: (Ed.) Owens, F.N. Protein Requirements for Cattle. Symposium, Oklahoma State Univ. p.: 238–244.
- VAN SOEST, P.J.; SNIFFEN, C.J.; MERTENS, D.R.; FOX, D.G.; ROBINSON, P.H.; and KRISHNAMOORTHY, U. 1982. A net protein system for cattle: The rumen submodel for nitrogen. En: (Ed.) Owens, F.N. Protein Requirements for Cattle. Symposium, Oklahoma State Univ. MP-109. p.: 265–279.
- WEBSTER, A.J.F. 1979. Energy metabolism. En: (Ed.) British Council. Commonwealth Agricultural Bureaux. The management and diseases of sheep. p.: 166.
- WESTON, R.H. 1982. Animal factors affecting feed intake. En: (Ed.) Hacker, J.B. Nutritional Limits to Animal Production from Pastures. Commonwealth Agricultural Bureaux. p.: 183–198.
- ZOCCAL, R. 1983. Desarrollo de un modelo de simulación que permita predecir la selección de bovinos a pastoreo con diferentes tipos de praderas, disponibilidad y digestibilidad. Seminario III, Depto. de Zootecnia, Facultad de Agronomía, Univ. Católica de Chile.