

MODELO DE SIMULACION DE PRODUCCION DE LECHE.

I. ESTRUCTURA Y CALIBRACION¹

Simulation model for milk production. I. Structure and calibration

Mario Silva G.², Alberto Mansilla M.² y Ernesto Jahn B.³

SUMMARY

A model simulating a system of milk production with Holstein cows was designed. Its structure consists of a main program, which defines pasture and stock production and management. This program can work with several pasture types, by changing the respective experimental information. It can simulate different numbers and sizes of fields, as well as different stocking rates. It uses a first subroutine, describing the cows' intake and weight processes. This subroutine, in turn, calls two other subroutines, related to gestation and lactation.

Thus, it is possible to simulate a stock with continuous or seasonal calving, in which lactating, pregnant and dry cows exist. These three latter states are regulated according to energetic inputs and requirements.

This model assumes that protein is not a limiting factor in any of the diets. It functions with different types and amounts of concentrates, according to the cows' milk production. This supplementation operates for variable periods, according to the purpose of the systems under study. The amounts and quality of these feeds are given as inputs.

Calibration showed enough consistency with the existing physical experimentation. The main variables considered in this stage, were milk production and liveweight, which showed a high correlation between simulate and actual values.

INTRODUCCION

La producción lechera constituye un sistema complejo, en el que intervienen un gran número de elementos, que interaccionan entre sí. Esto hace que su estudio sea difícil y de alto costo, al encararlo con las herramientas usuales de la investigación tradicional. Esta situación es producto, en gran medida, del enfoque estático, determinístico y analítico que presenta ésta última y que, además, se caracteriza por ser capaz de trabajar con sólo un pequeño número de variables.

Estas características conducen a pensar que es necesario introducir, en los estudios de sistemas de producción lechera, la dinámica que presenta el sistema real y complementar la fase analítica con una síntesis de los aspectos físicos, biológicos y económicos, aplicando técnicas que permitan usar un mayor número de variables en forma simultánea, para producir avances satisfactorios en la comprensión del sistema como un todo.

Este problema metodológico llevó a aplicar en este trabajo el enfoque de sistemas, que presenta esta capacidad de análisis y síntesis global. Se estima que esta vía permite acercarse más fácilmente a las situaciones que vive el agricultor y, por lo tanto, ofrecerle soluciones más reales a través de la investigación.

El objetivo del modelo que se presenta, es evaluar biológicamente diferentes alternativas de producción de

¹ Recepción de originales: 9 de julio de 1986.

² Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, U. de Chile, Casilla 1004, Santiago, Chile.

³ Estación Experimental Quilamapu (INIA), Casilla 426, Chillán, Chile.

leche con vacas holandesas y, de este modo, guiar las prioridades de la investigación física en este campo.

EL MODELO

Ordenamiento y jerarquización del modelo

El modelo funciona a dos niveles de organización: 1. aspectos de manejo del rebaño; y 2. control de los procesos biológicos. La primera parte opera dentro del programa principal, SIPRODE, y la segunda, esencialmente, en las subrutinas NUTRIC, LACTAN y GESTAC (Figura 1).

SIPRODE: Programa que opera con los individuos del rebaño; su comportamiento es un reflejo del comportamiento de cada vaca. Con esta estructura, el modelo es capaz de funcionar con rebaños que se someten a diferentes modalidades de pariciones, lo que le otorga flexibilidad. Para operar, es necesario definir el rebaño de vacas en términos de individuos; la información más importante que debe ingresarse, al momento de iniciar la aplicación del modelo, se refiere a:

- Número de animales
- Días de preñez de cada vaca
- Días post-parto de cada vaca
- Peso vivo de cada hembra
- Edad de cada individuo del rebaño
- Momento de la próxima preñez
- Potencial de producción de leche de cada vaca

En relación a la pradera, contempla la posibilidad de pastorearlas o bien cosechar parte de ellas, para la confección de henos o ensilajes, en el momento que

se estime oportuno. Con el fin de ejecutar el manejo del pastoreo, el modelo cambia los animales de potrero, cada vez que la disponibilidad llega a un límite crítico y los envía al potrero de mayor disponibilidad de forraje. En las simulaciones que se describen más adelante, el modelo trabaja con una pradera de trébol blanco y ballica, estimándose el límite crítico en 600 kg de m.s./ha. La información necesaria, en relación a las praderas, se refiere a:

- El tipo de pradera
- La tasa de crecimiento y su digestibilidad
- El número y tamaño de potreros
- Disponibilidad inicial de forraje en cada potrero
- Momento de cosecha de forraje, para heno o ensilaje

El modelo contempla la posibilidad de operar con concentrados externos al sistema y con forrajes suplementarios, provenientes de las praderas o de cultivos exógenos al sistema. Además, puede funcionar con diferentes cantidades y tipos de suplementos, de acuerdo al nivel de producción de las vacas. En este aspecto, puede operar con tres grupos de vacas. La información necesaria se refiere a:

- Definición de los grupos de animales, en términos de producción diaria de leche.
- Cantidad y digestibilidad de cada concentrado, por grupos de animales, de acuerdo a su nivel de producción.
- Cantidad y digestibilidad de forraje, por grupos de animales, de acuerdo a su nivel de producción.
- Días en que se inicia y termina la alimentación con concentrados o forrajes.

Este programa envía información a las subrutinas NUTRIC, GESTAC y LACTAN, la que una vez procesada, se utiliza para definir tres variables de estado: producción de leche, peso vivo de la vaca y crecimiento fetal.

NUTRIC: Subrutina que determina el consumo de cada animal y evalúa los requerimientos de mantención. También da paso a las subrutinas GESTAC o LACTAN, cuando las vacas están preñadas o en lactancia, o bien a ambas, cuando en lactancia y preñadas. Una vez procesada en éstas, la información vuelve a NUTRIC, determinándose en ella los cambios de peso vivo de cada vaca, de acuerdo a la información recogida y procesada en ella y en las subrutinas GESTAC y LACTAN.

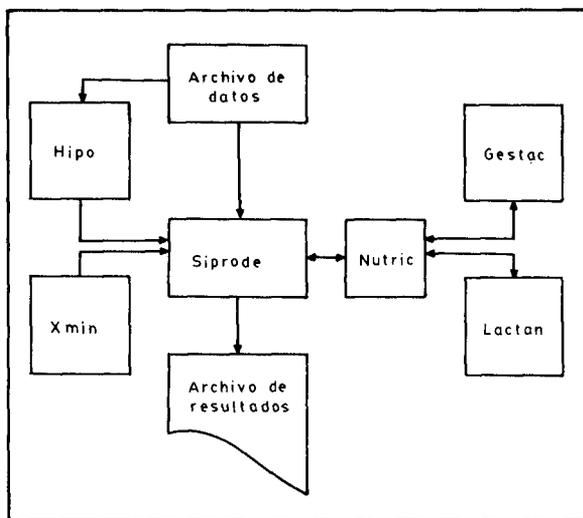


FIGURA 1 Estructura del modelo.
FIGURE 1. Structure of the model.

GESTAC y LACTAN: En estas subrutinas se realiza un balance entre el aporte del alimento, las reservas corporales y los requerimientos de la producción de leche y de la gestación. Al mismo tiempo, estas subrutinas informan a SIPRODE, según corresponda, acerca de la producción de leche y del crecimiento del feto, por día.

Estructura biológica del sistema

Proceso de crecimiento de la pradera y determinación de la digestibilidad: La información acerca del crecimiento de la pradera, se obtuvo de los datos de tasa de crecimiento de m.s. (TCREC) de la pradera de *Trifolium repens* y *Lolium perenne*, según Vyhmeister (1976). Para traspasar esta información de parcela pequeña a nivel de potrero, se supuso una disminución del 50% en los valores. Como los valores para la tasa diaria de crecimiento, no se presentaban como una variable continua, se hizo uso de una subrutina HIPO, para interpolar esta información y obtener el valor correspondiente a cada día.

La disponibilidad de m.s. del forraje en cada potrero, se definió del siguiente modo:

$$\text{DISP}(i) = \text{DISP}(i) + \text{TCREC} - \text{CONST} \quad (\text{Ec. 1})$$

donde:

DISP(i) = disponibilidad de forraje del i-ésimo potrero, en kg de m.s./ha;

TCREC = tasa de crecimiento de la pradera de cualquier potrero, en kg de m.s./ha/día; y

CONST = consumo total del forraje pastoreado por las vacas, en kg de m.s./día.

La información acerca de la digestibilidad de la pradera se obtuvo a partir de la información proporcionada por Jahn y otros (1983).

Proceso de consumo: Se seleccionó cinco factores, como aquéllos que controlan la mayor parte de las variaciones en el consumo. Se planteó, en general, que:

$$\text{CONS} = \text{FDPV} \times (0,025 \times \text{PV} + 0,1 \times \text{L}) \times \text{FDISP}; \text{ Si } \text{FDISP} < \text{FDIG} \quad (\text{Ec. 2})$$

o bien:

$$\text{CONS} = \text{FDPV} \times (0,025 \times \text{PV} + 0,1 \times \text{L}) \times \text{FDIG}; \text{ Si } \text{FDISP} \geq \text{FDIG} \quad (\text{Ec. 3})$$

donde:

FDPV = factor que regula el consumo, a través de la condición del animal en relación al P.V.;

PV = peso vivo en kilos;

L = producción diaria de leche en litros;

FDISP = multiplicador del consumo, relacionado con la disponibilidad de m.s. de la pradera; y

FDIG = multiplicador del consumo, relacionado con la digestibilidad de la m.s.

Las ecuaciones 2 y 3, asumen un consumo máximo en función del P.V. y la producción de leche. La adición de la información sobre disponibilidad y digestibilidad del forraje, determina el consumo real que cada animal hace de la pradera. La adición de suplementos, se analiza más adelante.

En este esquema, se asume que la disponibilidad y la digestibilidad de la m.s. del forraje presentan un efecto aditivo. Dicho de otro modo, se estima que si la disponibilidad es suficiente y la digestibilidad presenta un valor que restringe el consumo, sólo ésta actuará limitándolo. El caso contrario, ocurrirá cuando la digestibilidad sea alta y la disponibilidad de forraje sea baja.

Como se propone en las ecuaciones 2 y 3, el consumo voluntario del animal depende de su condición corporal y P.V. (2,5%). Esto es consistente con las observaciones hechas por Tayler (1959) y Bines, Suzuki y Balch (1969), quienes encontraron que las vacas gordas presentaron un menor consumo que las flacas. Silva y otros (1985) encontraron el mismo efecto del estado corporal sobre el consumo de forraje de ovejas secas.

Con el fin de considerar el efecto de la condición corporal del animal, se estimó el P.V. promedio del rebaño, en relación a su edad. Datos experimentales obtenidos por Carlos Pedraza G. (Est. Exp. La Platina—INIA, comunicación personal), para un rebaño de vacas holandesas, determinaron el uso de la función que aparece en la Figura 2. En el modelo, las variables referentes al rebaño se calculan a partir del comportamiento individual de cada vaca, para poder estudiar sistemas con parición estacional o continua; por ello, el uso de la función recién mencionada implica que todos los animales del rebaño simulado tienen el mismo tamaño y las diferencias de P.V. se deben sólo a su condición corporal, para una misma edad.

Con el fin de cuantificar la condición del animal, el modelo calcula los desvíos relativos (DVPV) del P.V. real (PV), a partir de la función que relaciona la edad del animal con el P.V. que debería tener:

$$\text{DVPV} = \text{PV}/\text{PQDT} - 1 \quad (\text{Ec. 4})$$

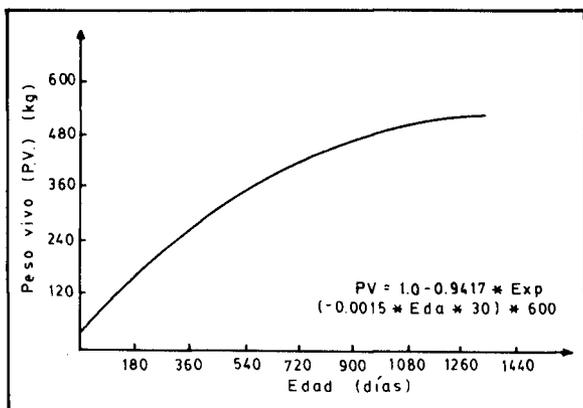


FIGURA 2. Función que asocia el P.V. con la edad en el modelo, en vacas holandesas.

FIGURE 2. Function relating liveweight with age in the model, in Holstein cows.

donde:

PV = P.V. real del animal

PQDT = P.V. que debería tener la vaca, de acuerdo a su edad.

En ausencia de valores experimentales para relacionar DVPV con el consumo, se utilizaron las funciones para ovejas usadas por Lozano y Silva (1981) y confirmadas por Silva y otros (1985).

Otro aspecto en el cual no se encontró antecedentes para vacas lecheras, fue la relación magnitud de consumo y disponibilidad de forraje. En ausencia de información para construir una función asintótica del tipo:

$$FDISP = 1 - B \times EXP(-C \times DISP) \quad (\text{Ec. 5})$$

Se utilizó una línea recta, con un valor máximo cuando la disponibilidad fue 2000 kg y un valor mínimo, cuando fue 600 kg de m.s./ha.

Para cuantificar la relación entre la digestibilidad de m.s. y consumo (FDIG), se utilizó las funciones obtenidas por Conrad (1966). A partir de esta información, se construyó el multiplicador que aparece en la Figura 3.

La influencia y la modalidad con que actúan el P.V. y la producción de leche/día, están descritas en las ecuaciones 2 y 3. En estos dos aspectos, se usaron las fórmulas propuestas por Alderman y Barber y presentadas por Bines (1975).

Consumo de materia seca de suplemento: Se asumió que los animales, cada día, primero comen algún tipo

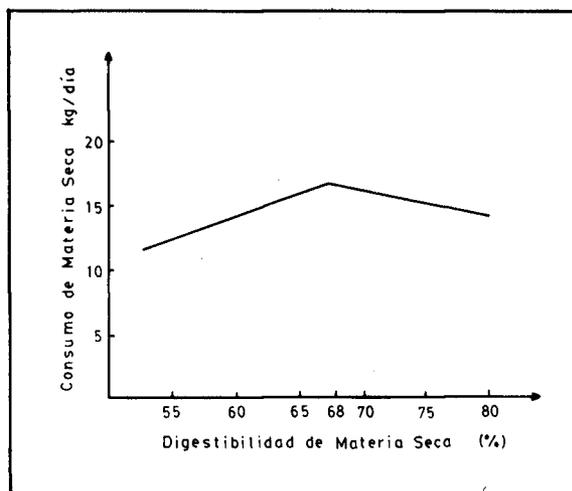


FIGURA 3. Función que relaciona la digestibilidad con el consumo de m.s. del forraje, en el modelo (Conrad, 1966).

FIGURE 3. Function relating forage dry matter digestibility with intake, in the model (Conrad, 1966).

de concentrado y, posteriormente, salen a pastorear la pradera. En esta situación, el ensilaje forma un complemento, que va disminuyendo en la medida que aumenta la disponibilidad de pradera. También se puede optar por ofrecer a las vacas concentrado + ensilaje, permitiendo un consumo máximo de ambos suplementos, definido por el usuario, cuando la disponibilidad de la pradera lo aconseja, y disminuyendo la cantidad de éstos en la medida que aumenta dicha disponibilidad. Esta disminución mantiene la proporción de concentrado y ensilaje.

Consumo de energía metabolizable: El modelo primero obtiene la digestibilidad ponderada, por la cantidad de m.s. de los componentes de la dieta. Luego, este valor se pondera por el factor 0,81 y por la cantidad total de m.s. consumida por cada animal. Por este camino, se estima la cantidad de energía metabolizable disponible (EMC), para los procesos metabólicos que cada animal debe llevar a cabo durante su permanencia en el rebaño.

Proceso de ganancia y pérdida de peso vivo: Se considera animales en los siguientes estados fisiológicos:

- Vacas en lactancia y no gestantes
- Vacas en lactancia y gestación.
- Vacas en gestación y secas, y
- Vacas secas y sin gestar

De este modo, el balance energético comprende sólo los cambios de P.V., como es el caso de vacas secas sin gestar, o bien considera los procesos de lactancia y/o preñez, dependiendo del estado fisiológico de las

hembras. Si la hembra no está en lactancia ni gestante, el balance está dado por la siguiente función, para determinar los cambios de P.V. (CP):

$$CP = [EMC - (EMM + EGP)] \times EU/VEP \quad (\text{Ec. 6})$$

donde:

VEP = valor energético de un kg de P.V. en MJ/kg y cuyo valor se obtiene a través de la siguiente ecuación (ARC, 1980):

$$VEP = 6,1352 + 0,036471 \times P.V. \quad (\text{Ec. 7})$$

EMC = energía metabolizable consumida por el animal (MJ); y

EMM = energía metabolizable para mantención (MJ), definida por la siguiente función (MAFF, 1975):

$$EMM = 8,3 + 0,091 \times P.V. \quad (\text{Ec. 8})$$

EGP = cantidad de energía gastada en pastoreo

La corrección de la energía gastada por los animales en mantención, se llevó a cabo por un factor 0,15 (Blaxter, 1964; Langlands y otros, 1963), aun cuando se reconoce que las mayores necesidades de mantención en pastoreo son variables, para las diferentes condiciones ambientales a que se someten las vacas lecheras. Esta decisión se basó, fundamentalmente, en que:

- de los gastos adicionales en pastoreo, el desplazamiento es el más importante;
- en el manejo de los rebaños, todos los animales tienen una actividad similar; y
- existe una imprecisión en los métodos empleados en las estimaciones realizadas (INRA, 1981).

EU = eficiencia con que se utiliza la energía metabolizable para pérdida de P.V., mantención y ganancias de P.V. En los dos primeros casos, se supuso una eficiencia de 0,72 (MAFF, 1975). Cuando existen aumentos de P.V., se varía la eficiencia en función de la energía metabolizable de la dieta, de acuerdo a la siguiente ecuación (MAFF, 1975):

$$EU = 0,0435 \times EMDCG \quad (\text{Ec. 9})$$

donde:

EMDCG = concentración energética por gramo de alimento.

Cuando la vaca está en lactancia, el balance energético se modifica, definiéndose del siguiente modo:

$$CP = [EMC - (EMM + ECUL + EGP)] \times EU/VEP \quad (\text{Ec. 10})$$

El nuevo elemento ECUL, es la energía del cuerpo que puede utilizarse diariamente para producir leche.

Si la vaca (además de estar en lactancia) está gestando, los cambios de P.V. incluyen este proceso:

$$CP = [EMC - (EMM + ECUL + EPDCG + EGP)] \times EU/VEP \quad (\text{Ec. 11})$$

donde:

EPDCG = energía diaria requerida, en cualquier momento de la gestación, proveniente de las reservas corporales.

Proceso de lactancia: La información básica de producción de leche (PCL) usada en este modelo, se obtuvo del estudio realizado por Jahn y otros (1976). A partir de esta información, haciéndose uso de la curva de Wood (1980) y del factor FEDAD (I), se derivó una familia de curvas de acuerdo al número del parto, asumiendo que las vacas tienen su primera parición a los 24 meses de edad. De acuerdo a los factores de corrección usados, las lactancias de mayores producciones se sitúan en animales de 6 a 8 años de edad.

El modelo también se adaptó para trabajar con vacas de diferente potencial de producción, usándose un factor FPOT, que permite fácilmente cambiar este potencial, en cada procesamiento, si fuera necesario.

Como en las lecherías suelen producirse déficits en la alimentación de las vacas, que afectan la producción de leche y que modifican la glándula mamaria, se consideró necesario que el modelo tomara en cuenta este aspecto. De esta manera, una vaca que ha sufrido una merma en su producción por alguna restricción alimentaria mayor a dos semanas, no vuelve a producir su potencial, aunque la cantidad y la calidad del alimento vuelvan a niveles que permitan producirlo (Paul, 1980; INRA, 1981). La disminución de leche (DISMPL), se planteó del siguiente modo:

$$DISMPL = DIFPL \times 0,01 \quad (\text{Ec. 12})$$

donde:

DIFPL = diferencia de producción de leche entre la producción diaria potencial y la real.

Una vez que la producción de leche ha sido definida por el efecto de estos tres aspectos, se expresa la producción diaria de leche en energía (PDLE), a través de la siguiente función en MJ/día. (Ec. 13)

$$PDLE = (PCL \times FEDAD + FPOT - DISMPL) \times VEL$$

donde:

VEL = valor energético de la leche expresada en MJ/kg y que es igual a 2,9 (INRA, 1981).

De este modo, si DISMPL es igual a cero y la alimentación o las reservas corporales permiten satisfacer estos requerimientos, la vaca producirá todo su potencial. Si las fuentes de energía, llámese alimento o reservas corporales, no satisfacen la potencialidad de la vaca, DISMPL será distinto de cero y los requerimientos a cubrir son los del potencial de la vaca menos la cantidad de leche en que éste ha disminuido, por el efecto del alimento o de la condición corporal del animal.

La vaca, como se acaba de mencionar, puede obtener la energía para producir leche del alimento (ECCR) o de las reservas corporales (ECUL). En el primer caso, el modelo usa una eficiencia de 0,62 (Moe, Flatt y Tyrrel, 1972) y en el segundo, una eficiencia de 0,82 (MAFF, 1975; Moe y Flatt, 1969).

Como la vaca no puede hacer uso de las reservas corporales en forma ilimitada, el modelo permite que el animal enflaquezca hasta que su condición se haya deteriorado en un 10% del P.V. que debería tener, de acuerdo a su edad (Wood, King y Youndan, 1980). Bajo este límite, la vaca no usa reservas corporales para producir leche. Si ésta es la situación y el alimento que se proporciona es insuficiente, la producción de leche continuará disminuyendo.

Proceso de gestación: La vaca, al estar preñada, requiere una cantidad adicional de energía para sostener el desarrollo del feto y de los contenidos uterinos, que crecen en forma exponencial y que adquieren especial importancia al final de la preñez. En este proceso, la hembra afronta tres gastos adicionales de energía. El primero se relaciona con la energía almacenada en el útero y en los contenidos uterinos (EC) y cuyo monto se puede estimar a través de la siguiente ecuación (MAFF, 1975):

$$EC = 0,03 \times EXP (0,0174 \times EFIS) \quad (\text{Ec. 14})$$

donde:

EFIS = días de preñez

Un segundo gasto proviene del hecho de que en una vaca preñada la producción de calor es más grande que en una que no esté en esta condición (Rattray y otros, 1974). Este incremento calórico de gestación (HIG), se puede estimar en bovinos como sigue (MAFF, 1975).

$$HIG = 0,904 \times EXP (0,01 \times EFIS) \quad (\text{Ec. 15})$$

Como cerca de la mitad del HIG se origina por el crecimiento del feto y en las estructuras asociadas, y la otra mitad se origina por la energía para mantener el feto y el incremento del metabolismo basal de la hembra en este estado fisiológico, los requerimientos de energía metabolizable en MJ/día de la preñez (ERPG), se pueden plantear como sigue:

$$ERPG = EC + HIG/2 + HIG/2 \times 0,72 \quad (\text{Ec. 16})$$

Esta ecuación asume que la energía proveniente del alimento para la mantención del feto y el aumento del metabolismo basal, es usada con una eficiencia de 0,72.

El peso fresco de los tejidos fetales se estimó usando un valor energético por kilo de P.V. del feto, de 5,8597 (ARC, 1980).

Puesta en ejecución y alternativas de uso del modelo

El modelo fue construido en lenguaje FORTRAN y procesado en el computador IBM-370 del Servicio de Sistemas de Información de la Universidad de Chile. El intervalo de cálculo del modelo es de un día.

Como uno de los objetivos del trabajo fue situarse en diferentes alternativas de producción, el modelo está abierto para procesarse con un conjunto más o menos extenso de variables de manejo. Entre los más importantes, pueden señalarse los siguientes:

- Puede usar cualquier tipo de pradera, si se dispone de la información relacionada con la tasa de crecimiento de m.s. y su digestibilidad.
- Permite usar diferente cantidad y tipo de concentrado y diferente cantidad y tipo de forraje suplementario.
- Es factible variar el período y oportunidad en que se da el concentrado y el forraje suplementario.
- Se puede cosechar hasta dos potreros, para conservación de forraje.
- Se puede variar el tamaño y número de potreros y el tamaño del rebaño; luego, a través de la modificación de cualquiera de estas variables, se puede cambiar la carga animal.
- Puede trabajar con partos en cualquier momento del año.
- Puede empezar el trabajo con vacas en diferentes estados fisiológicos.

- Acepta vacas de diferentes edades, peso vivo y potencial lechero.

Dentro de sus restricciones, es necesario destacar que no considera el efecto del clima en la producción de leche del rebaño.

CALIBRACION

La validación es una de las etapas más importantes, pero más difíciles de llevar a cabo en la modelación. Para ello, es necesario contar con experimentos que proporcionen datos que permitan colocar al modelo en la situación en que se llevaron a cabo, con los resultados obtenidos en los diferentes niveles tróficos que abarca. Como los estudios hechos en las estaciones experimentales no han tenido el propósito de evaluar un modelo determinado, ocurre que son escasos los experimentos que cuentan con antecedentes que permitan realizar este proceso. Por otro lado, montar un ensayo sólo con esta finalidad, después de desarrollar el modelo, es prácticamente imposible por el costo y el tiempo que ello significa, en el contexto de la experimentación en producción animal. Sin embargo, al margen de situaciones ideales, es factible llevar a cabo un proceso de calibración, que permita, con un mínimo de credibilidad, ir ganando confianza en el estudio de modelación realizado.

Con el fin de evaluar el modelo respecto a la realidad, dentro del objetivo para el que fue desarrollado, se comparó su comportamiento en relación a un experimento con vacas en pastoreo en una pradera de trébol

blanco y ballica inglesa, con suplementación invernal (Ernesto Jahn B., E.E. Quilamapu—INIA, comunicación personal). Este ensayo fue llevado a cabo en la Estación Experimental Human (INIA—Los Angeles). Hubo que eliminar 3 vacas, de las 12 del ensayo, por no contar con la información requerida por el modelo, respecto a fecha de parto y/o nacimiento.

La información de entrada al modelo y que permitió simular las condiciones del experimento, se presenta en los cuadros 1 y 2. La evaluación se realizó respecto a dos variables, adecuadamente consideradas en el experimento: producción de leche mensual del rebaño y P.V. promedio de las vacas.

En la Figura 4, se presenta la información de producción de leche, respecto al tiempo en el modelo y en el experimento. Se observa que el error del modelo frente a la realidad no sobrepasó el 10%, con excepción de las confrontaciones hechas el 10 de febrero y de marzo, en que alcanzó un 25%.

En la Figura 5, se presenta la misma información a través de una regresión. Se puede apreciar que el coeficiente de correlación (r) fue de 0,94 y la desviación estándar (s) fue del 209 lt/mes, promedio. Esta variación, en términos relativos (coeficiente de variación), señala que en marzo se obtuvo el mayor valor (7,1%) y en mayo, el menor valor (5,3%).

En la Figura 6, se muestra los resultados de P.V. promedios, a través del tiempo. Se puede apreciar que los valores reales y simulados no se apartaron más de un 6,6%. En este caso (Figura 7), r fue de 0,74 y la

CUADRO 1. Datos necesarios de la pradera y los suplementos para iniciar la ejecución del modelo, de acuerdo a la situación del experimento que se usó para calibrar

TABLE 1. Pasture and supplement data necessary to start the model execution according to the experimental situation used for calibration

Potreros:		Disponibilidad de m.s. en cada potrero (1-6)					
		1	2	3	4	5	6
Número	ha	kg de m.s./ha					
6	0,75	3.000	2.500	2.200	2.000	1.800	1.000

Grupos vacas según prod. leche lt/día	Cantidad m.s. suplemento	Cantidad m.s. ensilaje	Digestibilidad m.s. suplemento	Digestibilidad m.s. suplemento
	kg/día	kg/día	%	%
0-10	10	2,9	70,0	65,0
11-15	10	2,9	70,0	65,0
16-20	10	2,9	70,0	65,0

CUADRO 2. Datos necesarios de cada vaca del rebaño para iniciar la ejecución del modelo, de acuerdo a la situación del experimento que se usó para calibrar
TABLE 2. Data for each cow in the herd necessary to start the model execution, according to the experimental situation used for calibration

Número	Edad (meses)	Días postparto	Días de preñez	Peso vivo (kg)	Días próxima preñez	Peso tejido fetales (kg)
1	43	92	2	517	—	0,001
2	74	216	137	585	—	2,867
3	41	280	135	411	—	2,759
4	44	220	146	497	—	3,403
5	44	234	129	477	—	2,456
6	44	240	86	472	—	1,006
7	35	40	0	424	—	0,000
8	45	287	145	504	—	3,339
9	62	48	1	461	—	0,000

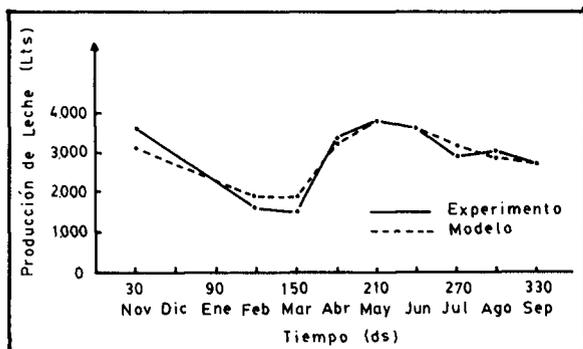


FIGURA 4. Producción mensual de leche del rebaño, en el modelo y en el experimento utilizado para la calibración.

FIGURE 4. Monthly milk production of the herd, in the model and in the experiment used for calibration.

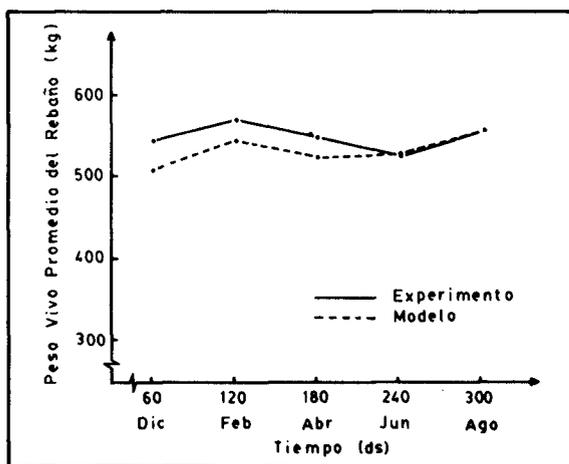


FIGURA 6. P.V. promedio del rebaño respecto del tiempo, en el modelo y en el experimento usado en la calibración.

FIGURE 6. Mean liveweight of the herd in relation to time, in the model and in the experiment used for calibration.

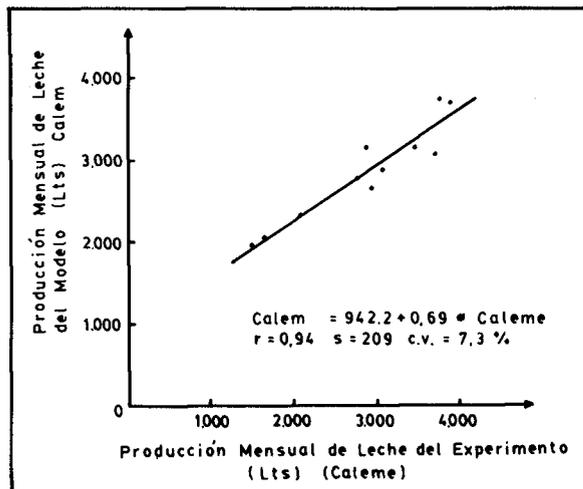


FIGURA 5. Regresión entre la producción mensual de leche del rebaño, en el modelo y en el experimento usado en la calibración.

FIGURE 5. Regression between the monthly milk production of the herd, in the model and the experiment used for calibration.

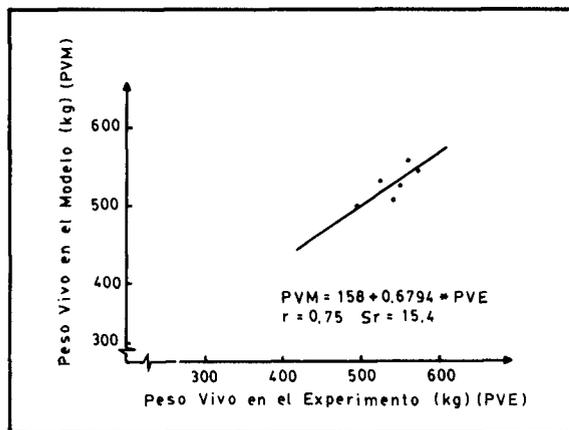


FIGURA 7. Regresión entre el P.V. promedio del rebaño, en el modelo y en el experimento usado en la calibración.

FIGURE 7. Regression between the mean liveweight of the herd, in the model and in the experiment used for calibration.

desviación estándar ascendió a 18,9 kg de P.V. El coeficiente de variación, en esta variable, estuvo en un rango de 3,4 y 3,7%, correspondiendo estos valores a los meses de agosto y diciembre. Debe destacarse, sin embargo, que la poca variación del P.V., hizo difícil obtener un coeficiente de regresión más elevado.

Respecto a producción total de leche, mientras la producción del experimento alcanzó a 31.386 lt, el modelo indicó 32.632 lt, o sea la diferencia en esta variable, no sobrepasó el 0,7%.

RESUMEN

Se construyó un modelo para simular un sistema de producción de leche con vacas holandesas. Su estructura consiste en un programa principal, que define la producción y el manejo de la pradera y del rebaño. Este programa puede operar con diversos tipos de praderas, al cambiarse la información experimental respectiva. Es capaz de simular diferentes números y tamaños de potreros y diferentes cargas animales. Usa una primera subrutina, que describe los procesos de consumo y peso de las vacas. Esta, a su vez, llama a otras dos subrutinas, que dicen relación con los estados fisiológicos de la vaca: gestación y lactancia. De este modo, se puede simular un rebaño con una parición continua o estacional, en la cual existen vacas en lactancia, preñadas y secas. Estos tres últimos procesos, se regulan de acuerdo a los aportes y requerimientos energéticos.

Este modelo supone que la proteína no es limitante en ninguna de las dietas suministradas. Puede funcionar con diferentes tipos y cantidades de concentrados, de acuerdo a la producción de leche de las vacas. Esta suplementación opera por períodos variables, de acuerdo a los propósitos de los sistemas que se estudian. La cantidad y calidad de estos alimentos se suministran en forma externa al modelo.

La calibración mostró bastante consistencia con la experimentación física existente. Las principales variables consideradas en esta etapa, fueron producción de leche y P.V., las que mostraron una correlación alta entre valores simulados y reales.

LITERATURA CITADA

- ARC—Agricultural Research Council. 1980. The Nutrient Requirement of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. 351 p.
- BINES, J.A.; SUZUKI, S.; and BALCH, C.C. 1969. The quantitative significance of long-term regulation of food intake in the cow. *British Nutrition* 23: 695–704.
- BINES, J.A. 1975. Factors influencing voluntary food intake in cattle. En: *Easter School in Agricultural Science. Principles of cattle production*. England, Chapel River. 288–305.
- BLAXTER, L.K. 1964. *Metabolismo Energético de los Rumiantes*. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 314 p.
- CONRAD, H.R. 1966. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: Physiological and physical factors limiting feed intake. *Animal Science* 25: 235–277.
- INRA—Institut National de la Recherche Agronomique. 1981. *Alimentación de los Rumiantes*. Ediciones Mundi Prensa, Madrid. 697 p.
- JAHN B., E.; VYHMEISTER B., H.; VIDAL B., A.; BONILLA E., W. y MILLAS P., A. 1983. Sistemas de pastoreo para vacas en lactancia. *Agricultura Técnica (Chile)* 43 (3): 203–209.
- JAHN B., E.; KLEE G., G.; BUSTAMANTE M., J. y RUIZ N., I. 1976. Efecto de ganancias de peso en vacas holandesas durante el período seco sobre la producción de leche. *Agricultura Técnica (Chile)* 36: 37–43.
- LANGLANDS, J.P.; CORBETT, J.L.; Mc DONALD, I.; PULLAR, J.D. 1963. Estimation of the energy required for maintenance by adult sheep. *Animal Production* 5: 1–9.
- LOZANO J., U. y SILVA G., M. 1981. Un enfoque conceptual del consumo de forraje de ovejas que pastorean una pradera Mediterránea anual. *Avances Producción Animal* 6 (2): 41–52.
- MAFF—Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 1975. *Energy allowances and feeding systems for ruminants*. Technical Bulletin. 33. 79 p.

- MOE, P.W. and FLATT, W.P. 1969. Use of body tissue reserves for milk production by the dairy cow. *Dairy Science* 52: 928.
- MOE, P.W.; FLATT, W.P. and TYRREL, H.F. 1972. Net energy value of feeds for lactation. *Dairy Science* 55: 945–958.
- PAUL, W. 1980. Modellbetrachtungen zur optimalen fütterung einer milchkuh über eine laktationsperiode. *Landbanforschung Volkenrode* 30, Jahrgang, Heft 1, S. 43–50.
- RATTRAY, P.V.; GARRETT, W.N.; EAST, N.E.; and HINMAN, N. 1974. Growth development and composition of the ovine conception and mammary gland during pregnancy. *Animal Science* 38: 613–626.
- SILVA G., M.; MANSILLA M., A.; CASO DE DIOS, I. y GARCIA D., G. 1985. Influencia del estado corporal en el consumo de forrajes de ovejas adultas. *Avances Producción Animal* (En prensa).
- TAYLER, J.C. 1959. A relationship between weight of internal fat, fill and the herbage intake of grazing cattle. *Nature* 184: 2021–2022.
- VYHMEISTER B., H. 1976. Curva de producción de una pradera de trébol blanco–gramínea sometida a dos frecuencias de corte. U. de Concepción Chillán, Concepción, Escuela de Agronomía. 66 p. (Tesis Ing. Agr.).
- WOOD, P.D.P. 1980. Breed variations in the slope of the lactation curve of cattle and their implications for efficiency. *Animal Production* 31: 133–141.
- WOOD, P.D.P.; KING, J.O.L. and YODAN, P.G. 1980. Relationships between size, live–weight change and milk production characters in early lactation in dairy cattle. *Animal Production* 31: 143–151.