

Desarrollo de un modelo de simulación para la producción de carne bovina

Fecha de recepción: 07/05/2008

Fecha de aceptación: 12/05/2008

Edgardo Vargas Jarquín¹

Este trabajo estudia el problema de simular los sistemas de producción de carne bovina basados en el pastoreo y se fundamenta en las investigaciones agronómicas existentes aplicables a las condiciones tropicales

Palabras clave

Sistemas de producción de carne bovina, pastoreo, sistemas de la producción, bovinos para carne, algoritmos, programa de simulación, modelo computacional, simulación, desarrollo de novillos, engorde de novillos.

Key words

Beef cattle grazing system simulation, beef cattle grazing system, beef cattle system, beef cattle, algorithms, simulation program, computing program, simulation.

Resumen

Este trabajo estudia el problema de simular los sistemas de producción de carne bovina basados en el pastoreo y se fundamenta en las investigaciones agronómicas existentes aplicables a las condiciones tropicales. Esta información se transformó en algoritmos que fueron integrados en un programa de simulación. El objetivo fundamental ha sido crear un modelo computacional que considere las fases de desarrollo y engorde

de novillos en pastoreo, lo cual constituye sólo una parte del modelo real.

En este artículo se describen todas las fórmulas utilizadas para simular tanto el comportamiento animal, como el comportamiento de los pastos, del clima y algunas decisiones tomadas por el hombre. El sistema fue desarrollado en SIMSCRIPT II.5, un lenguaje especializado en simulación y orientado a objetos, lo cual permitió modelar cuatro objetos que interactúan durante el tiempo de corrida, con una o más instanciaciones, a los cuales se llamó: hombre, animal, repasto y clima.

Abstract

This work studies the problem related to beef cattle grazing system simulation. It is based on augment agronomic research applied to tropical conditions. The information was transformed into algorithms that were integrated in a simulation program. The main goal was to develop a computing program able to model growing and finishing stages of beef cattle under grazing conditions,

1. Instituto Tecnológico de Costa Rica Sede San Carlos, Profesor Adjunto, Escuela de Computación del ITCR. Corre electrónico: edvargas@itcr.ac.cr

which is considered to be only one part of the real model.

This describes all formulas used to describe animal performance, grass yield some environmental conditions, and some man-made decisions are described. This system was developed through SIMSCRIP II.5, which is a simulating specialized computing object-oriented language. This system allowed to model four different objects (MAN-ANIMAL-PASTURE-ENVIRONMENTAL FHASE) that interact among them, and with one or more instances during the running time.

Introducción

Con este proyecto se pretendió crear un modelo de simulación que representara una parte del sistema real de producción de carne bovina mediante pastoreo. Desafortunadamente, no se encontró ningún modelo que combinara la producción de pasto, el pastoreo y el crecimiento de los animales. En este contexto, el modelo más importante resultó ser el desarrollado por Kahn (1982), y Kahn y Spedding (1983, 1984), que es una modificación del modelo TAMU propuesto por Sanders y Cartwright (1979, 1979a), dado que permitió extraer las funciones animales requeridas.

Seman et al., (1991) propuso un modelo para estudiar el comportamiento del pastoreo en relación con la presión de pastoreo, la altura y la densidad del pasto, pero sin enlazarlo a un modelo de crecimiento de los animales. En el modelo CNCPS de la Universidad de Cornell (Fox et al., 1992; Nicholson et al., 1992; Russel et al., 1992, y Snifeen et al., 1992), se evalúa los requerimientos alimenticios y la respuesta de la producción bovina, al igual que en el propuesto por Meek y Kirkpatrick (1991). Otro tipo de modelos es orientado a la dinámica poblacional, como el HERDPLAN diseñado por Oguntade (1991), con el objetivo de apoyar la toma de decisiones en este campo. También se abordó la evaluación económica de las

diferentes duraciones del empadre (Werht et al., 1991) y campos tan específicos como la utilización del fósforo en la producción de carne vacuna (Miller et al., 1990). Asimismo, fue publicado otro modelo por Williams et al., (1992) orientado a la predicción del peso del cuerpo vacío, dependiendo de la dieta y de las características individuales de los animales.

El modelo de simulación que se presenta aquí considera el modelo de crecimiento de los animales, el modelo de crecimiento del pasto en los repastos, el efecto del clima, el proceso de rotación y las decisiones que puede tomar el hombre respecto a dicha rotación.

Metodología

Para la selección de los modelos matemáticos utilizados en este trabajo, se empleó los siguientes criterios: los modelos de las funciones del animal deben permitir cuantificar exactamente el consumo de energía diaria y su gasto o utilización en las diferentes funciones: mantenimiento, actividad, crecimiento y cambio de peso; deben permitir la simulación individual de cada animal; ser capaces de responder a los cambios en los factores de manejo de los repastos, que son: días de ocupación, días de descanso, presión de pastoreo y fertilización nitrogenada, y permitir la simulación individual de los repastos.

Los pasos seguidos en este trabajo son: construcción de los modelos lógicos de crecimiento de las pasturas, basados en funciones matemáticas y en procedimientos heurísticos; obtención de información de campo (muestreo de repastos) para establecer los parámetros básicos de la producción de pasto, con el objeto de modelar el pastoreo; modelación y programación del prototipo para simular el consumo voluntario de pasto y el crecimiento de los animales; modelación de las interrelaciones lógicas y programación del prototipo para simular el manejo rotacional de los

repastos; modelación y programación de la recuperación de los repastos usando tanto las funciones obtenidas por regresión por parte de Ramírez (1974), Zañartu (1975) y Lemus (1977), como un modelo heurístico propuesto por el autor de este trabajo, y la construcción de los prototipos de simulación del manejo y producción de los repastos, y del engorde de los animales.

Por otra parte, la plataforma de simulación utilizada en el proyecto se denomina **SIMSCRIPT**, versión II.5, producida por *CACI Products Company* y es una plataforma de trabajo orientada a objetos y especializada en simulación.

El proyecto se restringió a una sola especie de pasto llamada Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*, *Vanderyst var nlemfuensis*). Algunos atributos y procesos clave de los elementos que se involucran en la simulación son generados estocásticamente. Por ejemplo, el peso inicial de los animales y el consumo de materia seca fueron generados en forma aleatoria utilizando la distribución normal.

Cabe destacar que el modelo sólo simula la fase de desarrollo y engorde de los animales. Además, los modelos de pasto sólo son aplicables a condiciones de Trópico Húmedo, puesto que las investigaciones base fueron hechas en Turrialba (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) y San Carlos (Instituto Tecnológico de Costa Rica).

Resultados y discusión

El modelo está sustentado en el funcionamiento de cuatro objetos principales: objeto hombre, objeto animal, objeto repasto y objeto clima. Dentro del modelo, el clima se puede considerar secundario por su nivel de desarrollo.

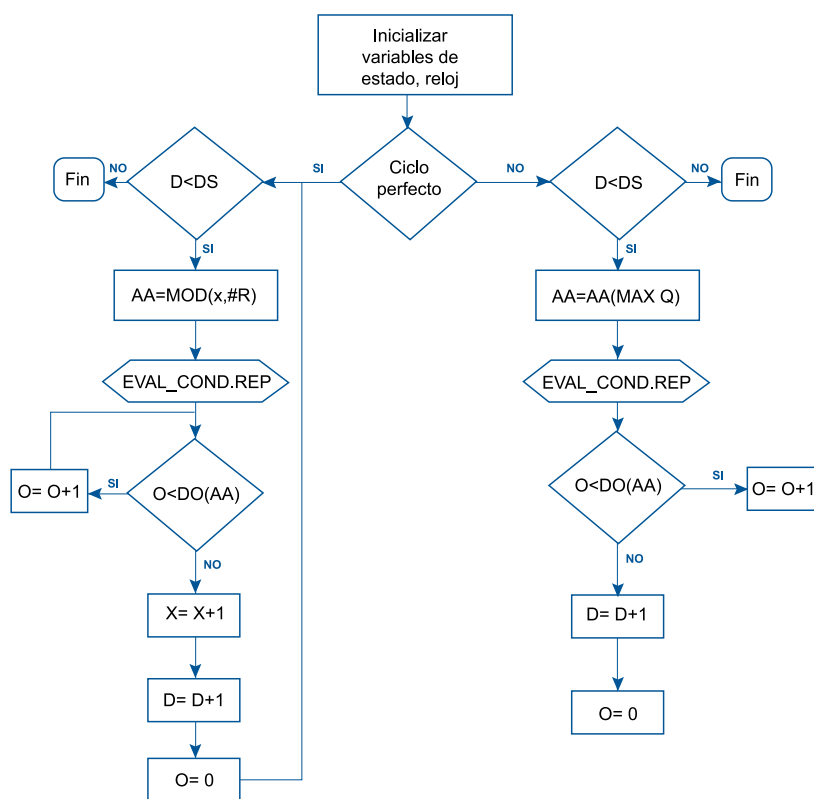
El objeto hombre

Este objeto realiza dos funciones elementales: rotar los animales entre los repastos y evaluar la condición de los repastos en cuanto a su capacidad de recuperación y de sostener la alimentación de los animales.

Para poder ejecutar la primera función, hay que determinar si los días de ocupación y descanso son iguales entre los repastos. Si se cumple esta condición, se necesita definir si los días de descanso son iguales a los días de ocupación, multiplicados por el número de repastos menos uno:

$$\text{días.descanso} = \text{días.ocupación} * (\#\text{repastos} - 1)$$

Luego de identificar si el ciclo de rotación es perfecto, para establecer cuál apartado debe ser ocupado por los animales, el objeto se guía por el algoritmo de la Figura 1.



- D: Días de ejecución
- DS: Días de simulación
- AA: Aparto Activo
- x: Número de veces que se ha cambiado de repasto
- #R: Número de repastos
- DO: Días de ocupación máximos del apartado
- O: Días que he estado ocupado el repasto
- MAX Q: Identificación del apartado que tiene la máxima producción

Figura 1. Diagrama simplificado del algoritmo del objeto hombre.

El objeto hombre puede seguir un ciclo perfecto de rotación, en cuyo caso sólo interesa cuál es el aparto que sigue. Pero si la rotación es imperfecta, ésta se hace usando otros criterios. En este modelo se utiliza el repasto con la máxima producción de materia seca (MS). En la realidad, los finqueros observan sus repastos y con base en su experiencia, establecen cuál es el que se “ve mejor”, guiándose por el volumen de materia verde, la infestación de maleza, el verdor y otros, de manera que el modelo maneja un criterio más objetivo, pero que en la realidad es muy difícil de utilizar.

Para la evaluación de los repastos, el objeto debe verificar si la recuperación (reposición del pasto post-pastoreo) alcanzará por lo menos el 90% de la MS que poseía el aparto al iniciar la simulación y también evaluar si la cantidad de MS en el repasto es suficiente como para que los animales coman una ración no menor al 90% de la ración óptima.

El objeto repasto

De este objeto se diseñó tres modelos diferentes, utilizando información de campo en un caso, las funciones desarrolladas por Ramírez (1974) en otro y las presentadas por Lemus (1977) y Zañartu (1975) en el último, a los cuales se denominó Modelo Heurístico, Modelo 74 y Modelo 7577, respectivamente.

Modelo heurístico

Durante el período de investigación, se midió la producción de tres repastos de Estrella Africana, de lo cual se obtuvo que la producción promedio de materia seca es de 1.900 Kg/Ha/corte y que la producción se recupera a razón de 35.27 Kg MS/Ha/día. Por otro lado, se estableció que la digestibilidad de la MS de los pastos de estas regiones debería ser en promedio de un 59.9%, según los datos de Kahn y Spedding (1983, 1984). Por tanto, se estableció este valor como punto medio de partida y si durante el descanso, el pasto alcanzara la máxima producción, la digestibilidad

disminuirá un 0.5% por día adicional, hasta un mínimo de un 42%, con el objeto de simular la maduración natural.

Modelo 74

Este Modelo se basa en una serie de funciones de regresión cuyo modelo general es el siguiente (Ramírez, 1974):

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{44}X_4^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{14}X_1X_4 + b_{23}X_2X_3 + b_{24}X_2X_4 + b_{34}X_3X_4$$

donde: y = variable de respuesta
 X_1 = período de ocupación
 X_2 = período de descanso
 X_3 = presión de pastoreo (disponibilidad diaria de forraje seco/animal)
 X_4 = dosis de nitrógeno (Kg/Ha/año)
 b_0 = constante

Los coeficientes para estas funciones se muestran en el Cuadro 1.

Debido a que las diversas funciones creadas por Ramírez (1974) presentan puntos inconsistentes tanto para la producción como para la digestibilidad, las mismas son acotadas de la siguiente forma:

- Funciones de producción y tasas de incremento

Si $y < 0$ entonces $y = 0$

- Función de digestibilidad

Si $y < 45$ entonces $y = 45$

Si no

Si $y > 66.7$ entonces $y = 66.7$

Modelo 7577

Este modelo opera, al igual que el anterior, con un conjunto de funciones, cada una para una etapa del año. El primer grupo de funciones son las propuestas por Zañartu (1975) para un período fundamentalmente seco, ya que el estudio lo realizó de noviembre de 1974 a mayo de 1975.

Para la evaluación de los repastos, el objeto debe verificar si la recuperación (reposición del pasto post-pastoreo) alcanzará por lo menos el 90% de la MS que poseía el aparto al iniciar la simulación y también evaluar si la cantidad de MS en el repasto es suficiente como para que los animales coman una ración no menor al 90% de la ración óptima.

Cuadro 1. Coeficientes de la función de producción y digestibilidad. Pasto Estrella ofrecido en Ton/Ha.

Variable de respuesta	b0	b1	b2	b3	b4	b11	b22	b33
y1	-0.6851	-0.0884	0.0388	0.2211	-0.0013	0.0086	-0.0023	-0.0077
y2	-9.7092	-0.9981	0.6578	2.0425	-0.0076	-0.0696	-0.0281	-0.0729
y3	-1.7940	-0.2672	0.2735	-0.0040	0.0088	0.0031	-0.0011	0.0100
y4	-21.5742	-1.2398	2.6473	0.7294	0.0898	-0.0689	-0.0166	0.0987
y5	-3.9498	0.2451	0.1842	0.1942	0.0050	-0.0139	-0.0029	-0.0047
y6	-85.1911	6.3143	3.4760	3.7271	0.1273	-0.3800	-0.0565	-0.0956
y7	0.3333	0.0539	0.0659	-0.0550	-0.0032	-0.0104	-0.0013	-0.0001
y8	5.5421	-0.3795	1.2615	-0.5659	-0.0552	-0.0424	-0.0156	-0.0106
y9	58.5697	3.8364	-1.4311	-0.9074	-0.0315	-0.0389	0.0203	0.0691

Variable de respuesta	b44	b12	b13	b14	b23	b24	b34
y1	0.0000	0.0081	0.0022	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001
y2	0.0000	0.0776	0.0261	0.0004	0.0011	0.0007	0.0014
y3	0.0000	0.0104	-0.0020	0.0001	-0.0140	-0.0004	0.0001
y4	0.0000	0.1206	-0.1243	0.0051	-0.1290	-0.0053	0.0011
y5	0.0000	0.0034	-0.0060	-0.0002	-0.0036	-0.0000	0.0001
y6	0.0001	0.0452	-0.0808	-0.0034	-0.0433	-0.0022	0.0022
y7	0.0000	0.0000	0.0038	0.0001	-0.0007	0.0000	0.0002
y8	0.0000	0.0100	0.0921	0.0039	-0.0320	-0.0000	0.0030
y9	0.0000	-0.0734	-0.0986	-0.0022	0.0045	0.0029	-0.0035

donde:

- y1= Producción de MS Período 1
- y2= Tasa de incremento diario de MS Período 1
- y3= Producción de MS Período 2
- y4= Tasa de incremento diario de MS Período 2
- y5= Producción de MS Período 3
- y6= Tasa de incremento diario de MS Período 3
- y7= Producción de MS Período 4
- y8= Tasa de incremento diario MS Período 4
- y9= Digestibilidad de la materia orgánica

Las funciones son las siguientes:

$$y_1 = 2.489 + 0.00764X_1 + 0.00331X_2 + 0.0229X_1^2 + 0.000000597X_2^2 - 0.000638X_1 * X_2$$

$$y_2 = -44.954 + 18.0874X_1 + 0.0564X_2 - 1.641X_1^2 - 0.0000189X_2^2 - 0.00477X_1X_2$$

$$y_3 = 62.904 - 7.345X_1 - 0.00421X_2 + 0.356X_1^2 - 0.0000147X_2^2 + 0.00614X_1 * X_2$$

donde y_1 = Disponibilidad real de forraje en Ton/Ha

y_2 = Tasa de crecimiento del pasto (kg MS/Ha/día)

y_3 = % de digestibilidad in vitro de la materia orgánica

X_1 = Presión de pastoreo (kg MS/100 kg PV/día)

X_2 = Dosis de nitrógeno en kg/Ha

Las funciones propuestas por Lemus (1977) cubren el período lluvioso del año, dado que su ensayo fue realizado entre mayo y diciembre de 1976. Seguidamente, se presentan dichas funciones:

$$y_1 = -233.26 + 236.04X_1 + 10.76X_2 + 792.77X_1^{0.5} - 115.66X_2^{0.5} - 0.87X_1X_2$$

$$y_2 = 1466.79 + 512.92X_1 + 10.78X_2 - 746.39X_1^{0.5} - 105.74X_2^{0.5} + 0.1X_1X_2$$

$$y_3 = 72.45 + 0.51X_1 + 0.37X_2 + 58.29X_1^{0.5} - 3.4X_2^{0.5} - 0.03X_1X_2$$

$$y_4 = 112.29 - 0.03X_1 + 0.05X_2 - 22.99X_1^{0.5} - 2.27X_2^{0.5} + 0.02X_1X_2$$

$$y_5 = 72.0714 - 0.1018X_1 - 4.42705X_2 + 0.6732X_1^{0.5} - 2.0572X_2^{0.5} + 0.01488X_1X_2$$

$$y_6 = 72.0714 - 0.1018X_1 - 4.42705X_2 + 0.6732X_1^{0.5} - 2.0572X_2^{0.5} + 0.01488X_1X_2$$

donde:

y_1 = Disponibilidad de forraje en kg MS por corte de período 1

y_2 = Disponibilidad de forraje en kg MS por corte de período 2

y_3 = Tasa de crecimiento del pasto (kg/Ha/día), período 1

y_4 = Tasa de crecimiento del pasto (kg/Ha/día), período 2

y_5 = % digestibilidad in vitro del forraje (% de la MS) período 1

y_6 = % digestibilidad in vitro del forraje (% de la MS) período 2

El objeto clima

El objeto clima se diseñó para poder hacer variar la aplicación de las funciones en los modelos 74 y 7577, de manera que existen dos versiones del objeto, en una se aplican los períodos de las funciones de Ramírez (1974) y en la otra se combinan los intervalos de tiempo de los estudios de Zañartu (1975) y Lemus (1977), como se describe a continuación:

Modelo 74

Período 1= del día 29 al 153

Período 2= del día 154 al 229

Período 3= del día 230 al 291

Período 4= resto de días del año

Modelo 7577

Período 1= menos de 141 y más de 344

Período 2= del día 141 al 243

Período 3= resto de días del año

El objeto animal

Para el objeto animal, se tiene que hacer cuatro cálculos:

- Calcular el peso normativo
- Calcular el consumo teórico de materia seca (MS)
- Calcular el consumo real de materia seca (MS)
- Calcular la ganancia de peso

Todas las operaciones que se utilizan aquí están basadas en el trabajo presentado por Kahn (1982), con excepción del cálculo del consumo teórico, que es un modelo heurístico diseñado por el autor de este trabajo. El funcionamiento de este modelo está basado en un flujo de energía traducido en varios puntos a unidades tangibles (kilogramos de peso vivo), para dar significado externo al sistema.

Cálculo del peso normativo del animal

El peso normativo se puede definir como el peso promedio de los animales (en este caso, novillos) de la raza X cuando han estado en óptimas condiciones. La función propuesta es la siguiente:

$$WM(t) = WMA(1 - 0.67 * \exp(-k(t - 180)/30))$$

El WMA (siglas en inglés para peso normativo) se calculó considerando que sólo se simulará novillos, por tanto:

$$WMA(\text{novillos}) = WMA(\text{vaca}) * 1.15$$

Cálculo del consumo teórico de materia seca

El cálculo del consumo teórico de materia seca se basa en la calidad del alimento, específicamente en la digestibilidad de la materia seca, aunque este fenómeno

también depende de la disponibilidad de forraje.

Según Conrad et al.,, citado por Kahn y Spedding (1984), las pasturas pueden ser de baja (52.1-66.7%) y alta (66.7-80%) digestibilidad. Ellos postulan que en el rango de digestibilidad baja, el consumo voluntario de alimento está controlado por

la tasa de paso y la cantidad de material indigestible en el tracto digestivo (límite físico) y está positivamente relacionado con la digestibilidad. Por tanto, como la mayoría de los forrajes de las condiciones tropicales está dentro de esta categoría, se utilizó la ecuación del límite físico para simular el consumo teórico. Para esta fase la ecuación es:

$$I = 0.0107W / (1 - DIG)$$

donde:

I= Consumo de materia seca (kg/vaca/día)

W= Peso vivo del animal (kg)

DIG= Digestibilidad de la materia seca (fracción)

Cálculo del consumo real de materia seca

La fórmula del consumo teórico expuesta anteriormente, contrasta con la propuesta por Abreu, citado por Cañas y Aguilar (1992), la cual está basada en la disponibilidad del forraje y dice que:

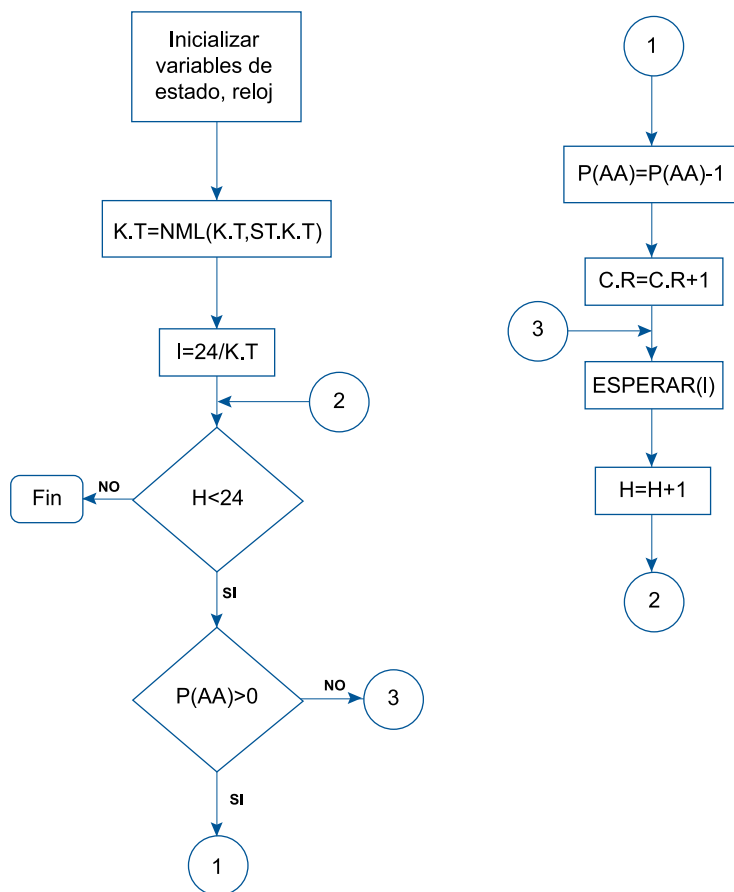
$$Y = 0.03W(1 - \exp(-0.00664D))$$

donde: Y = consumo de materia seca, kg/día

D= disponibilidad de forraje, kg MS/día

Con esta ecuación se podría tratar de corregir la deficiencia que presenta la fórmula de Conrad, que sólo considera el peso del animal y la calidad del pasto. Sin embargo, ambas calculan el consumo de materia seca (kg/día), por lo que no existe forma de hacer algún tipo de sustitución de una en la otra. Por tanto, se decidió estimar la cantidad de consumo real estableciendo una competencia entre los animales por el recurso forrajero. En este sentido, se planteó que la capacidad de competir por el recurso forrajero fuera determinada por el peso vivo del animal, como se puede ver en la Figura 2.

Según este algoritmo, los animales más pesados comerán más veces en un día,



- donde: AA: Aparto Activo
 K.T: Consumo teórico de materia seca del animal
 I: Intervalo de alimentación
 NML: Distribución normal con media K.T y desviación estándar ST.K.T
 ST.K.T: Desviación estándar del consumo de MS (materia seca).
 P(AA): Producción del Objeto Repasto (Aparto Activo)
 C.R.: Consumo real de materia seca del animal
 H: Duración en horas

Figura 2. Algoritmo simplificado del consumo real de MS (materia seca).

porque se calcula por medio de $I=24/\text{peso_vivo}$, donde I es un número real que representa el intervalo en horas que espera un animal para volver a comer.

En esta Figura también se puede observar que se utilizó la estrategia que siguió Catrileo, citado por Cañas y Aguilar (1992), de manera que se usó una curva estocástica de distribución gaussiana para crear la variabilidad en consumo que naturalmente se da entre animales del mismo peso. Puesto que Blaxter y Wilson, citados por Cañas y Aguilar (1992), dicen que la variabilidad entre individuos de un mismo peso puede alcanzar valores de hasta un 7.5% de dispersión media, se utilizó la ecuación que se presenta en la Figura 3.

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(0.075K.t)}} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{(t-K.T)}{0.075K.T} \right]^2}$$

donde: $f(t)$ = Consumo
 t = Consumo aleatorio, kg/día
 $K.T$ = Consumo teórico, kg/día

Figura 3. Curva estocástica de distribución gaussiana para crear la variabilidad en el consumo que se da entre animales de un mismo peso.

Cálculo de la ganancia de peso

La ganancia de peso de los animales se puede dar por dos razones, a saber: la ganancia natural de peso debida a una buena alimentación a través del tiempo y el fenómeno del *crecimiento compensatorio*.

Con base en los últimos adelantos, en esta sección del modelo de simulación se utiliza todas las fórmulas propuestas por Kahn (1982), las cuales se basan en estudios propuestos por la ARC (Agricultural Research Council, UK) y los trabajos de Sanders y Cartwright (1979, 1979a). Esto lleva a que los cálculos energéticos se realicen en contraposición con la práctica

que se sigue en el país, ya que éstos se basan comúnmente en las recomendaciones de la NRC (National Research Council, USA, 1984). La decisión de descartar estas recomendaciones se debió a que en pruebas preliminares del modelo, el cual inicialmente se había programado tomando como base las recomendaciones de la NRC, se obtuvo resultados de aumentos de peso extremadamente grandes, puesto que los animales terminaban con promedios superiores a los 550 kg de peso vivo en un año de simulación, partiendo de pesos iniciales promedio de 200 kg y de ocho meses de edad, aproximadamente. Además, el autor cree que los criterios presentados por Kahn (1982) son todavía suficientemente consistentes.

La única diferencia que se presenta en esta sección respecto a las funciones de Kahn, es que H es el valor utilizado para estimar la energía digestible (ED) que posee el pasto Estrella. Como este pasto es utilizado en este trabajo, se tuvo que buscar información que resolviera el problema de calcular cuánta ED existe en un kilogramo de materia seca de este pasto.

Según Sánchez (1992), el pasto Estrella posee 2.46 Mcal de ED/kg de MS (materia seca), lo cual permite obtener la energía metabolizable (EM) con la siguiente fórmula:

$$EM = \text{kg MS/día} * 2.46 * 0.74 * 4.186$$

donde:

$$EM = \text{MJ/día}$$

$$\text{kg MS/día} = \text{Consumo real de MS}$$

$$4.186 = \text{Factor de conversión de Mcal a MJ}$$

$$0.74 = \text{Factor de conversión de ED a EM}$$

El factor de conversión de ED a EM dice que el 74% de la ED es utilizada por el animal como EM y es el valor mínimo de EM según Boschini (1978), puesto que él señala que en la transformación de la

La ganancia de peso de los animales se puede dar por dos razones, a saber: la ganancia natural de peso debida a una buena alimentación a través del tiempo y el fenómeno del crecimiento compensatorio

ED en EM se dan pérdidas de un 3% a un 8% en gases, de un 3% a un 12% en calor y de un 2% a un 6% en orina. Haciendo la suma de los valores máximos de estas pérdidas, se obtiene un total de 26%. Hay que señalar que se prefirió utilizar este valor en lugar de uno intermedio, por no tener a disposición uno de variabilidad, con el cual se habría podido simular la variación usando una estrategia similar a la recomendada por Catrileo, según la cita de Cañas y Aguilar (1992), y utilizada en este modelo para simular el consumo real.

Las fórmulas usadas para simular el flujo de energía se pueden resumir como sigue:

$$EM = (EM_{ant} + EAct + Ganancia * EVG / kf) * 1.025$$

donde:

EM_{ant}= Requerimientos de energía para mantenimiento

EAct= Requerimientos de energía para actividad

Ganancia= Incremento del peso vivo (kg/día)

EVG= Valor de la energía neta para la ganancia de peso (MJ/KG)

1.025= Factor que permite estimar un sobre consumo pequeño, superior a las necesidades estrictamente energéticas.

Sin embargo, la ganancia de peso se limita a la ganancia normativa o sea, la ganancia que se debería tener según la función del peso normativo, de forma que si la ganancia fuera mayor al peso.normativo(t)-peso.normativo(t-1), se asignaría más bien esta diferencia como ganancia.

Una excepción a esta regla se da cuando los animales han sido sometidos a una mala alimentación durante un tiempo considerable, lo cual produce una disminución del aumento de peso e incluso su pérdida, porque no se cubren los requerimientos energéticos para la ganancia, el mantenimiento o la actividad. Cuando los animales son sometidos otra

vez a buenas condiciones alimenticias, se produce un fenómeno que se denomina *crecimiento compensatorio*. Este crecimiento corresponde a un aumento muy acelerado de peso, mucho mayor al cambio del peso normativo y que dura aproximadamente cuatro semanas, hasta que se restituye el peso que debería tener el animal si no hubiera sufrido la merma nutricional. Este cómputo se hace de la siguiente manera:

$$Ganancia_{total} = ganancia + [p.n(t) - p.n(t-1)]f/26$$

donde:

ganancia= ganancia de peso en kg/día

p.n= peso normativo

t= día actual de la simulación

Descripción de la interfaz del programa

En la Figura 4 se muestra la interfaz del programa de simulación, la cual es idéntica para todas las variantes.

En la primera parte se presenta una tabla con los valores que identifican los repastos, sus días de ocupación, de descanso, la digestibilidad del material y la producción de materia seca. Según va transcurriendo el tiempo de simulación, estos valores van cambiando, con lo cual se puede conocer su comportamiento.

En la parte central de la pantalla se puede ver cuál es el aparcamiento ocupado, con la indicación de la presión de pastoreo, la producción, la carga animal y el número de animales que están en el repasto.

Finalmente, se presenta dos gráficos, uno que permite ver cuál es el peso normativo y el peso promedio de los animales, y otro en el que se observa el consumo y la presión de pastoreo.

Conclusiones

Fue posible combinar el modelo propuesto por Kahn (1982, 1983, 1984), que maneja sobre todo un modelo de crecimiento

Una excepción a esta regla se da cuando los animales han sido sometidos a una mala alimentación durante un tiempo considerable, lo cual produce una disminución del aumento de peso e incluso su pérdida, porque no se cubren los requerimientos energéticos para la ganancia, el mantenimiento o la actividad.

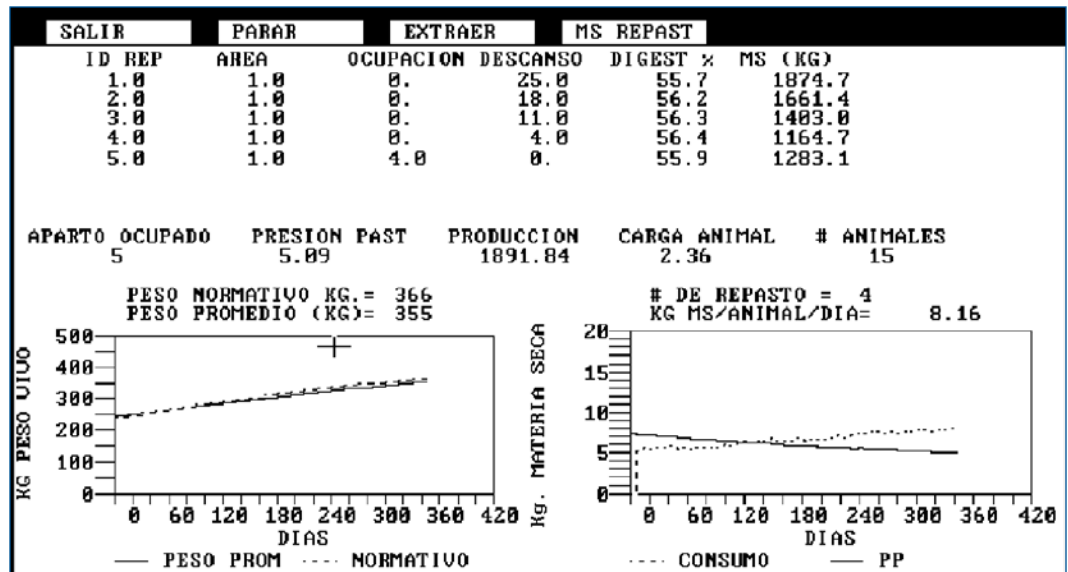


Figura 4. Interfaz del programa en el que se muestra los valores que toman las diferentes variables controladas en la simulación.

Para simular la actividad de consumo de pasto por parte de los animales, se tuvo que crear un modelo heurístico de competencia entre ellos. Este modelo logra que los animales más pesados logren alimentarse mejor que los más livianos, si las condiciones de pastura son deficientes.

animal, con los componentes de *clima*, *apartos* y *hombre*, para crear un modelo de simulación que por lo menos permite conocer cómo se desarrollan novillos de engorde en condiciones de pastura. Sin embargo, los modelos de pastura se sustentaban en funciones que presentaban alguna inconsistencia, por lo cual se tuvo que agregar nociones heurísticas a estos modelos.

Para simular la actividad de consumo de pasto por parte de los animales, se tuvo que crear un modelo heurístico de competencia entre ellos. Este modelo logra que los animales más pesados logren alimentarse mejor que los más livianos, si las condiciones de pastura son deficientes.

Para los Modelos 74 y 7577, se logró simular el efecto del clima con base en el hecho de que en las zonas tropicales hay básicamente dos épocas, la lluviosa y la seca. Gracias a este efecto, el comportamiento de las pasturas varía entre las dos épocas y por tanto, los repastos producen más durante la lluviosa.

El objeto clima se encarga de hacer esta diferenciación.

Bibliografía

- Boschini, C. 1978. *Tablas de requerimientos energéticos para bovinos*. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica, E. 232 pp.
- Cañas, R. y Aguilar, C. 1992. *Uso de la bioenergética en producción de bovinos. Simulación de Sistemas Pecuarios*. Ed. by M. E. Ruiz. San José, Costa Rica, Instituto de Cooperación para la Agricultura. Red de Investigación en Sistemas de Producción Animal de Latinoamérica, 11-100.
- Fox, D. G. et al., 1992. *A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy*. Journal of Animal Science. 70(11):3578-3596.
- Kahn, H. E. 1982. *The development of a simulation model and its use in the evaluation of cattle production systems*. Tesis PhD. United Kingdom. University of Reading. 290 pp.
- _____ & Spedding, C. R. W., 1983. *A dynamic model for the simulation of cattle herd production systems: Part 1- General description and effects of simulation techniques on model results*. Agricultural Systems. 12:101-111.

- _____, 1984. *A dynamic model for the simulation of cattle herd production systems: Part 2- An investigation of various factors influencing the voluntary intake of dry matter and the use of the model in their validation.* Agricultural Systems 13:63-82.
- Lemus, A. A. 1977. *Producción de carne bovina en praderas de pasto estrella (Cynodon nlemfuensis, Vandyerst var nlemfuensis) bajo diferentes presiones de pastoreo y niveles de fertilización nitrogenada.* Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica. Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 104 pp.
- Meek, R. M.; Kirkpatrick, D. J. 1991. *An economic nutrition model of beef production.* Agricultural Systems, 36:105-116.
- Miller, C. P. et al.,. 1990. *Phosphorus and beef production in Northern Australia.* 10 Strategies for phosphorus use. Tropical Grasslands, 24:239-249.
- Muslera, E. y Ratera, C. 1984. *Praderas y Forrajes: producción y aprovechamiento.* Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa, 702 pp.
- Nicholson, C. F. et al.,. 1992. *Simulating dual purpose cattle requirements and production responses in Tropical Latin America.* Impreso en Ithaca, NY. Cornell University. Versión ampliada de un manuscrito sometido al Journal of Animal Science.
- National Research Council (NRC). 1984. *Nutrient Requirements of Domestic Animals.* Sixth Revised Edition. National Academy of Science. Washington, D.C. National Academy Press. 90 pp.
- Oguntade, A. E. 1991. *Herdplan - a population model for beef cattle production planning and decision-making.* Computers and Electronics in Agriculture. 5:347-358.
- Ramírez, A. 1974. *Efecto del ciclo de uso, la presión de pastoreo y la fertilización nitrogenada en la producción de praderas de pasto estrella (Cynodon plectostachyus) (K. Schum Pilger).* Tesis M.Sc. Turrialba, C. R. Programa Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA-CATIE. 122 pp.
- Russel, J. B. et al.,. 1992. *A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets; I. Ruminant fermentation.* Journal of Animal Science. 70(11):3551-3561.
- Sanders, J. O. & Cartwright, T. C. 1979. *A general cattle production systems model. Part 1. Description of the model.* Agricultural Systems. 4:217-227.
- _____. (1979a). *A general cattle production systems model. Part 2. Procedures used for simulating animal performance.* Agricultural Systems. 4:289-309.
- Seman, D. H. et al.,. 1991. *Simulating the influence of stocking rate, sward height and density on steer productivity and grazing behavior.* Agricultural Systems. 37:165-181.
- Williams, C. B. et al.,. 1992. *Computer model to predict empty body weight in cattle from diet and animal characteristics.* Journal of Animal Science. 70(10):3215-3222.
- Zañartu, D. 1975. *Presión de pastoreo y fertilización nitrogenada en la producción de carne en praderas de pasto estrella (Cynodon nlemfuensis, Vandyerst var nlemfuensis).* Tesis M.Sc. Turrialba, C. R. Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 99 pp.