

# Modelo de simulación para los sistemas de producción de carne en los Llanos Orientales de Colombia

P. K. Thornton y R. R. Vera\*

Uno de los objetivos de la investigación del Programa de Pastos Tropicales del CIAT es identificar sistemas de manejo que permitan el uso eficiente de áreas pequeñas de pasturas de gramíneas y leguminosas asociadas de calidad superior a la de la vegetación nativa. Como parte de este proceso de investigación, se desarrolló un submodelo matemático de simulación de producción de carne que utilizó como punto de partida un modelo ya existente (Kahn y Spedding, 1983, 1984; Kahn y Lehrer, 1983), el cual se modificó y validó para las condiciones de los Llanos Orientales de Colombia. En forma conjunta las secciones de Sistemas de Producción de Ganado y Ecofisiología del Programa desarrollaron un modelo conceptual de la interacción entre la pastura asociada y el animal en pastoreo que posteriormente se acopló al submodelo de producción de carne para efectos de experimentación.

El presente artículo describe en forma resumida ambos submodelos, considera sus usos posibles y discute algunos resultados experimentales.

## Submodelo de producción de carne

El submodelo de producción de carne es una adaptación del modelo desarrollado por la Universidad de Reading, el cual funciona alrededor del flujo de energía consumida por el animal, considerando dicha energía en términos de calidad y cantidad y su distribución para satisfacer los diversos requerimientos del animal tales como crecimiento, reproducción, producción de leche y actividad física. El modelo requiere como insumos parámetros indicadores del potencial genético como peso vivo y producción máxima de leche, así como parámetros ambientales sobre calidad y disponibilidad de forraje y gasto de energía.

La Figura 1 muestra las principales características de la dinámica del hato y los posibles destinos de los animales. En la versión actual del modelo los terneros destetos entran a un hato de animales de reemplazo o de levante por el tiempo que sea necesario; eventualmente pueden morir, ser vendidos o usados como reemplazos en el hato de cría. En cada intervalo de tiempo se realiza un número considerable de cálculos sobre cada uno de los animales en el hato, principalmente relacionados con requerimientos energéticos, consumo de MS, producción de leche, cambios de peso y reproducción. También es posible comprar animales de levante y vacas de cría.

Los eventos tratados en forma probabilística son los siguientes: muertes, ocurrencia de

\* Respectivamente: Especialista en sistemas de producción, Division of Agricultural Resource Management, The Edinburgh School of Agriculture, West Main Road, Edinburgh EH93JG, Scotland, y jefe de la sección de Sistemas de Producción de Ganado del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Apdo. aéreo 6713, Cali, Colombia.

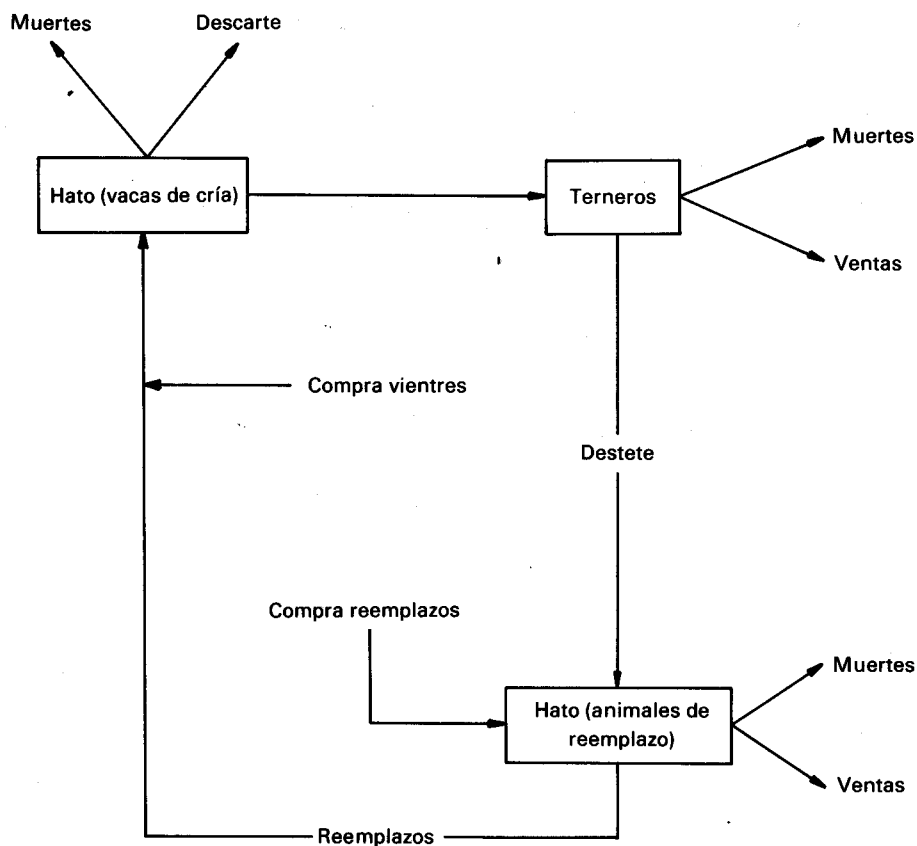


Figura 1. Dinámica del hato en el submodelo animal.

estros, sexo del ternero al nacer, esterilidad luego de distocia, y abortos entre el séptimo y el noveno mes de gestación. Es posible, además, introducir variabilidad a lo largo del período de tiempo simulado, incorporando, por ejemplo, los efectos de condiciones climáticas a la producción de forraje. En consecuencia la respuesta de un hato a un conjunto de condiciones iniciales es variable o estocástica.

## Submodelo de pasturas

El submodelo conceptual de pastoreo en una asociación de dos especies se desarrolló con la colaboración de M. J. Fisher. Su objetivo fue ayudar en el establecimiento de un programa de investigación destinado a mejorar el conocimiento de la dinámica de pasturas asociadas, tanto en presencia como en ausencia del animal en pastoreo.

Este submodelo constituye una aproximación de las funciones conceptuales para pasturas mono-específicas desarrollado por Noy-Meir

(1975), y aunque no ha sido validado hasta el presente, parece responder en forma razonable a los diferentes estímulos ensayados. El crecimiento de cada componente se modela utilizando tres funciones básicas: el índice de área foliar (IAF), la tasa de senescencia o crecimiento negativo como funciones de la biomasa, y la tasa de crecimiento potencial como función del IAF. El crecimiento potencial se modifica posteriormente a un crecimiento real o actual con base en los efectos de competencia, tanto espacial como no espacial.

Para introducir el efecto de la estación en el crecimiento se define un parámetro modificador de crecimiento de la pastura que puede variar entre 0 y 1 y es función de la relación entre la evapotranspiración actual y potencial ( $E_a/E_p$ ). Esta relación, que también varía entre 0 y 1, define el comienzo y el final de la estación lluviosa, o sea, la estación de crecimiento activo. En este caso el valor de  $E_a/E_p$  se calculó utilizando un modelo simple de balance hídrico con base en períodos sucesivos de cinco días para 12 años de información climática existente

en el Centro Nacional de Investigaciones (CNI) ICA-CIAT Carimagua.

La Figura 2 muestra dos series de tiempo diferentes para 1974 y 1975; el comienzo falso de la estación lluviosa de este último año es pronunciado, pero se sabe con base en información climática existente que tales eventos pueden ocurrir con una frecuencia de uno en cuatro años. El hecho de no encontrar autocorrelación entre años sugiere que la ocurrencia de precipitaciones atípicas en un año no tiene efecto sobre la cantidad de lluvia del año siguiente. Lo anterior indica que es posible seleccionar al azar cualquier serie de años para una simulación, así como para simular los valores históricos de la evapotranspiración.

En el submodelo los efectos simulados del animal sobre la pastura se refieren al consumo de cada una de las dos especies asociadas y a la reducción en la biomasa de ambas. La selectividad del animal por la gramínea o la leguminosa se representa con el uso de una función de preferencia que relaciona la proporción del componente en la dieta con la proporción disponible en la pastura.

## Experimentación con el modelo

Los submodelos de producción de carne y de crecimiento de la pastura se conectaron entre sí y con un conjunto de subrutinas de análisis económicos. Algunos aspectos de los resultados biológicos de la experimentación con el modelo se discuten a continuación.

En la Figura 3 se presenta la evolución del peso simulado de un animal en dos dietas diferentes: una basada exclusivamente en sabana nativa y la otra en una pastura mejorada, con digestibilidades promedio de 44 y 55%, respectivamente. De acuerdo con el modelo, el animal en sabana entre 9 meses y 8.5 años, edad a la cual muere, concebirá tres veces dando origen a tres terneros, uno de los cuales morirá antes del destete; los cambios aparentes de peso se producen principalmente por cambios en la condición fisiológica del animal. Por el contrario, en la pastura mejorada, el animal tiene oscilaciones de peso caracterizadas por períodos más cortos que en la sabana. Los resultados anteriores son un ejemplo de la alta sensibilidad del modelo a cambios en el valor nutritivo de los recursos forrajeros simulados.

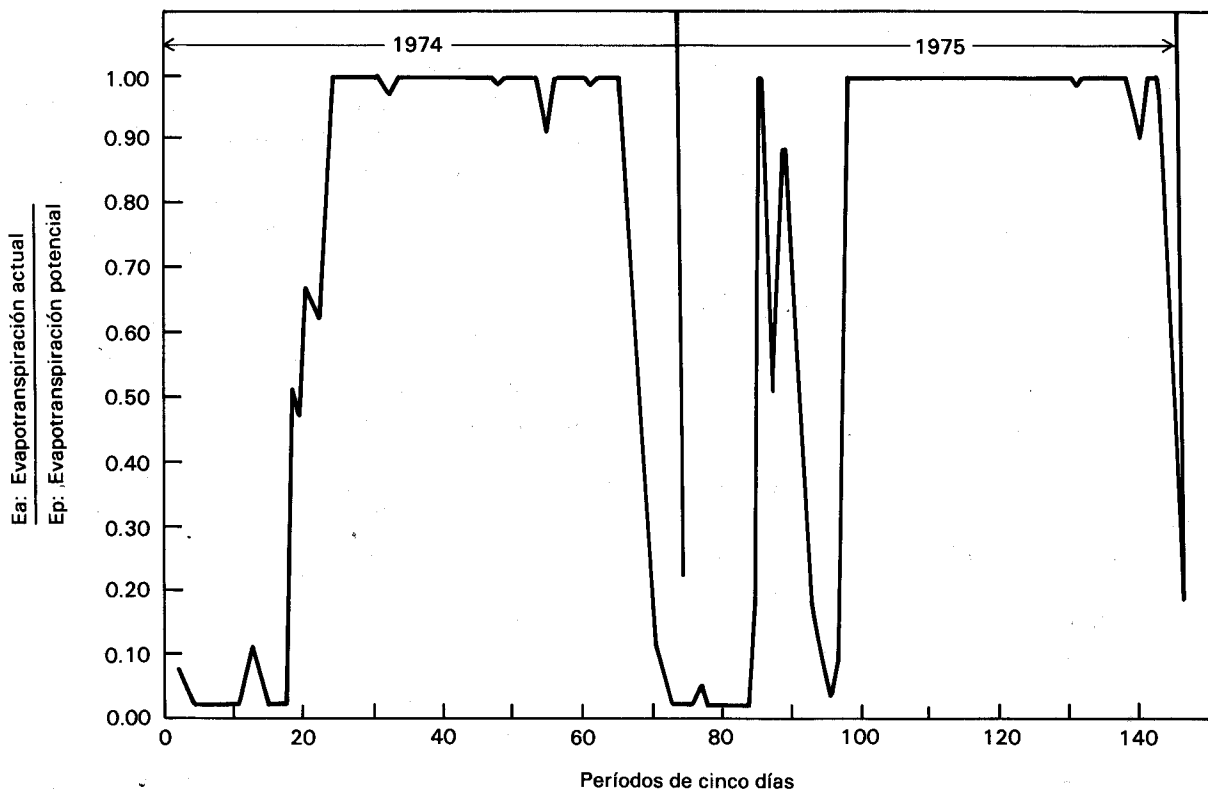


Figura 2. Relación  $Ea/Ep$  en el CNI Carimagua en períodos de cinco días entre 1974 y 1975.

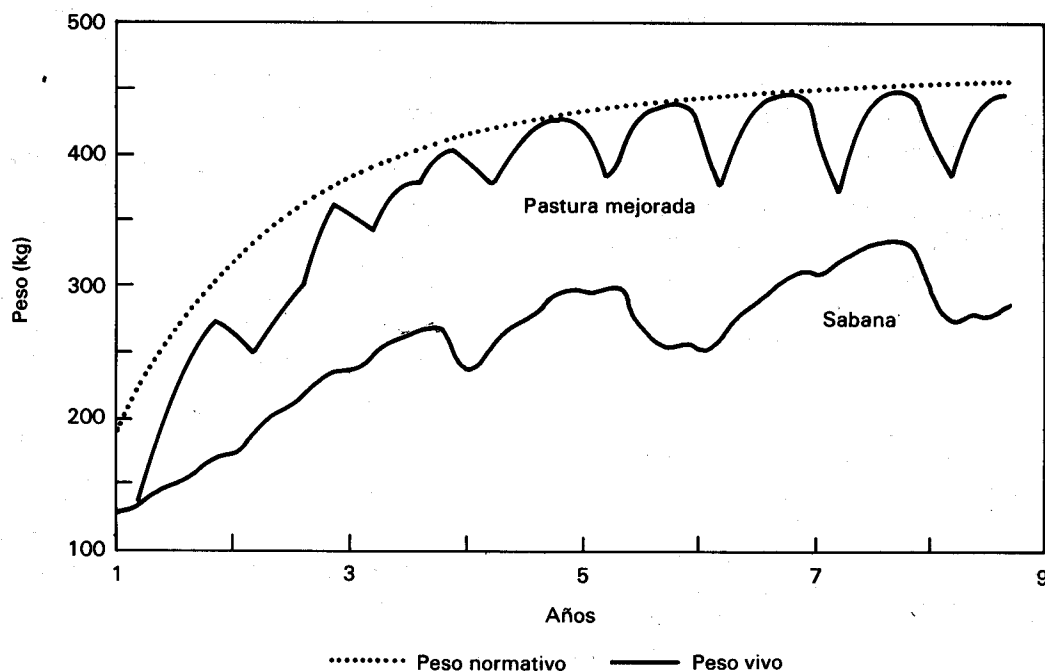


Figura 3. Cambios en ganancia de peso vivo de un hato de cría en dos tipos de pasturas.

En la Figura 4 se observa la curva de respuesta de la producción simulada a mejoras en la digestibilidad de la dieta ofrecida. En adición a los retornos marginales decrecientes observados como resultado de la mejor digestibilidad, las curvas sugieren que un hato mantenido exclusivamente en sabana nativa y que produzca sus propios reemplazos es el peor sistema de producción, el cual apenas logra sostenerse a largo plazo.

Las variables de producción obtenidas por la simulación de varias estrategias de manejo se incluyen en el Cuadro 1. Para todas las simulaciones el enfoque que se siguió consistió en considerar la sabana como el último recurso, en ausencia de la disponibilidad de pasto mejorado, lo cual indica que la disponibilidad de forraje en la sabana no es limitativa, pero sí su calidad. El modelo de pastura mejorada se utilizó para calcular la cantidad de MS diaria disponible, y considera que si la disponibilidad de MS/animal es inferior a cierto límite, los animales se transfieren a sabana, hasta que la disponibilidad de la pastura se recupere. Se hicieron simulaciones de 12 años con un hato de 30 vacas, cuya composición en edad y condición fisiológica eran similares a las observadas en sistemas reales (Vera y Seré, 1985). Los terneros se destetaron a 270 días de edad y se practicó el

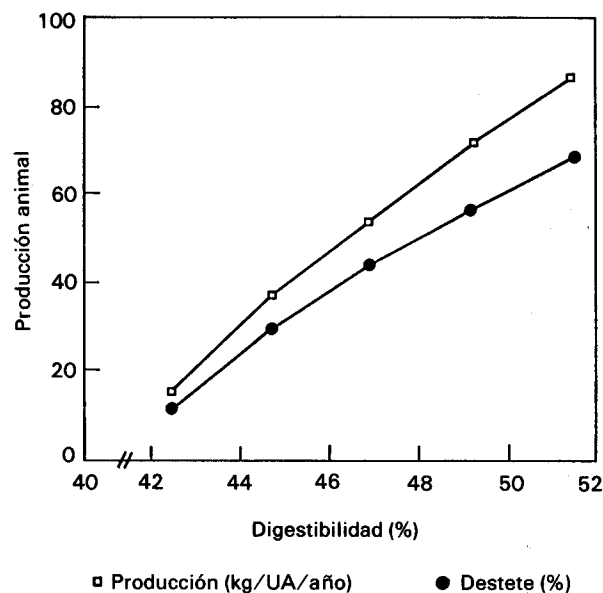


Figura 4. Respuesta del submodelo animal a cambios en la digestibilidad del forraje consumido.

descarte de vacas dos veces al año con base en su edad o estado de fertilidad. En cada caso los destetos se vendieron, excepto aquéllos necesarios para mantener constante el tamaño del hato. Los principales resultados de esta simulación son los siguientes:

1. La adición de 30 ha de pasturas mejoradas, manteniendo constantes las demás condiciones de manejo, resultó en un aumento significativo de los niveles de producción animal.
2. La calidad de la pastura mejorada simulada parece insuficiente para realizar montas estacionales o de corta duración, ya que sólo un número reducido e insuficiente de animales recuperó su peso para concebir en el período considerado.
3. No se demostraron beneficios del destete precoz, aunque se sabe que las ventajas de dicha práctica, encontradas experimentalmente, no están explícitamente incorporadas en este modelo. Al ser diseñado exclusivamente con base en el flujo de energía, éste no incorpora los posibles mecanismos hormonales involucrados en el destete precoz.
4. Se encontró un efecto benéfico de la selección del hato de cría con base en la edad y la fertilidad de los animales.
5. Biológica y económicamente es factible incorporar explotaciones de doble propósito en los sistemas simulados, ordeñando las vacas en grados variables.
6. La disponibilidad de energía fue limitativa durante la estación seca. Por lo tanto, la monta restringida que no resulte en vacas lactantes en dicho período podría reducir los efectos perjudiciales de dicha estación. De igual manera, el ordeño en sistemas de doble propósito debería limitarse a la estación lluviosa.

Los mayores retornos económicos del uso de pasturas mejoradas se logran en sistemas de doble propósito con ordeño estacional (Thornton, 1987). Sin embargo, dicho análisis ignora el nivel de habilidad gerencial requerido por tales sistemas.

### Otros usos posibles del modelo

Con la mejora gradual del modelo se espera identificar otros cambios en los sistemas existentes para mejorar su productividad. La

Cuadro 1. Promedio y error estándar resultantes de la aplicación del modelo en nueve tratamientos seleccionados y 21 replicaciones.

Tratamiento	Variables incluidas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
150 ha de pastura	32±0.3	4.0±0.01	626±4.1	40±0.3	47±0.2	133±0.3	11±0.2	34±0.5
30 ha de pastura mejorada	42±0.2	3.1±0.01	389±0.8	74±0.3	83±0.5	148±0.3	8±0.2	81±0.5
30 ha de sabana mejorada más:								
Selección estricta	41±0.1	3.0±0.01	396±0.9	71±0.3	84±0.4	148±0.3	5±0.2	86±0.6
Monta estacional meses V-VII	39±0.1	3.3±0.02	431±1.9	74±0.5	72±0.5	148±0.3	7±0.2	81±0.7
Monta estacional meses VI-II	43±0.1	3.1±0.01	389±0.8	71±0.3	84±0.5	144±0.3	7±0.2	85±0.6
Destete temprano a 210 días	45±0.2	3.0±0.01	385±0.8	66±0.3	85±0.6	131±0.3	7±0.2	79±0.7
Ordeño 1/3 de leche producida	40±0.1	3.1±0.01	382±0.8	67±0.4	85±0.6	129±0.3	7±0.2	73±0.6
Ordeño 1/3 de leche producida en la época lluviosa	41±0.1	3.1±0.01	388±0.8	71±0.3	84±0.5	133±0.3	7±0.2	79±0.7
Ordeño 1/3 de leche producida en época lluviosa y monta estacional en los meses VI-II	42±0.2	3.1±0.01	390±0.9	65±0.3	85±0.4	131±0.3	5±0.2	85±0.6

1 = Número promedio de unidades animal en el hato  
 2 = Edad en años al primer parto  
 3 = Intervalo en días entre concepciones  
 4 = Producción (kg/UA/año)

5 = Porcentaje de concepción  
 6 = Peso al destete (kg)  
 7 = Mortalidad de adultos (%)  
 8 = Ventas (kg/UA/año).

interfaz pastura-animal es sin duda un área susceptible de mejorar. Igualmente, el modelo asume homogeneidad de suelos y su fertilidad; por lo tanto, es necesario investigar su valor de predicción en condiciones específicas de suelo.

Los beneficios potenciales del modelo de pasturas son de gran valor: además de su utilización con el modelo de producción de carne, ayudando así en la formulación y prueba de estrategias de manejo, existen otras dos áreas en las cuales puede ser de utilidad: 1) en el análisis de la estabilidad de asociaciones de gramíneas y leguminosas, dando indicaciones de las características deseables de una determinada especie, en relación con las cualidades de la especie acompañante, ya sea en términos de vigor o de aceptabilidad por el animal; y 2) el modelo puede ayudar a reducir el largo y costoso proceso de evaluación, particularmente en los ensayos de pastoreo, permitiendo una eliminación rápida de los manejos no factibles o poco viables.

## Summary

A brief description is given of a mathematical model that simulates beef production in the eastern savannas of Colombia where extensive cattle production systems are practiced. The model is energy-driven and can be used to simulate numerous management strategies such as controlled mating, introduction of sown pastures, culling criteria, milking of cows, and others.

The model is highly sensitive to changes in the nutritional value of the forage resources simulated. However, the model suggests that forage availability is seldom a limiting factor.

Simulated results on the effect of introducing sown pastures of moderate nutritional value show significant increases of animal yields. Even

so, management-intensive practices such as short duration matings are not feasible. However, a mating season that avoids maintaining suckling cows during the dry season would be beneficial in terms of system performance.

Milking of cows during the wet season is biologically and economically feasible in systems that incorporate sown pastures.

## Referencias

- Kahn 1984. A dynamic model for the simulation of cattle beef production: II. An investigation of various factors influencing the voluntary intake of dry matter and the use of the model in their validation. *Agric. Systems* 13:63-82.
- y Spedding, R. C. 1983. A dynamic model for the simulation of cattle beef production: I. General description and effects of simulation techniques on model results. *Agric. Systems* 12:101-111.
- y Lehrer, A. R. 1983. A dynamic model for the simulation of cattle beef production: III. Reproductive performance of beef cows. *Agric. Systems* 13:143-159.
- Noy-Meir, I. 1975. Stability of grazing systems: an application of predator prey graphs. *J. Ecol.* 63:459-480.
- Thornton, P. K. 1987. Experimentation with a beef production model for the savannas of Colombia. Cali, Colombia, (Centro Internacional de Agricultura Tropical) CIAT. 20 p. (Mimeografiado.)
- Vera, R. R. y Seré, C. 1985. Brasil, Colombia, Venezuela: Los sistemas de producción pecuaria extensiva del trópico sudamericano. Análisis comparativo. En: ——— (eds.). *Sistemas de producción pecuaria extensiva; Brasil, Colombia, Venezuela. Informe final Proyecto ETES (Estudio Técnico y Económico de Sistemas de Producción Pecuaria 1978-1982)*. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical. p. 431-450.