



COL 13/99

# VALIDACIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUCCIÓN DE CARNE EN LA ZONA ANDINA COLOMBIANA<sup>1</sup>

J. E. Vargas; B. Rivera; C. A. Agudelo, C. A. Díaz<sup>2</sup>

Universidad de Caldas, Departamento de Sistemas de Producción  
Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN)  
Iniciativa ecorregional para la investigación en ganadería (ILRI-CIP)

## RESUMEN

Los modelos de simulación son herramientas que permiten acercarse a los resultados de una serie de interacciones complejas que afectan el sistema de producción, su funcionamiento, características y respuestas a diversas condiciones del entorno. El objetivo de la investigación realizada fue evaluar la capacidad de los modelos Nutrient Requirements of Beef Cattle (NRC) y Carata (Programa de raciones de mínimo costo para rumiantes), para predecir el comportamiento de sistemas intensivos de producción de carne. La investigación se realizó en la granja Montelindo (17 animales en rotación, carga 6 animales/ha, machos cebú castrados, praderas heterogéneas con dominancia de india, y una rotación de 5 x 35 días) y en la Hacienda Pinares (42 animales en 4 sistemas de producción, 4.5-6 animales/ha, rotaciones de 5 x 45 días, y dos tipos de pasturas y dos razas de animales enteros: estrella-brangus, estrella-cebú, tanzania-brangus, tanzania-cebú).

Se realizó una extensa revisión bibliográfica para determinar los parámetros de calidad de los pastos, y evaluaciones de campo para determinar disponibilidad de materia seca, parámetros climáticos, peso y ganancia de peso. El potencial de predicción de los modelos se basó en la relación peso simulado/peso real. El criterio de eficiencia del ajuste del modelo NRC fue 81%, con un rango entre 72 y 86%, indicando que la simulación subestima la ganancia de peso. Al aumentar el consumo del modelo en 11%, en el caso de Pinares, y 5% en Montelindo, como lo recomienda algunos autores, el ajuste alcanza un promedio de 105% (98 - 115%). Para validar el modelo Carata, en condiciones de pastoreo, se hizo necesario calcular los costos de cosecha, utilizando el modelo NRC; el criterio de

---

<sup>1</sup> Contribución de la línea de investigación: Desarrollo metodológico para el análisis de sistemas de producción. brivera@cumanday.ucaldas.edu.co

<sup>2</sup> MVZ, MSc, Profesor; MV, Dr. sc. agr., Profesor; Estudiantes de los programas de Ingeniería Agronómica, Medicina Veterinaria y Zootecnia; respectivamente.

eficiencia del ajuste fue 113%, con un promedio de 100% en Pinares y 167% en Montelindo. El modelo NRC demostró la bondad que tiene para predecir ganancia de peso, en sistemas intensivos de producción de carne, ajustando el consumo simulado, pero es más exigente en información. El modelo Carata, es más sencillo y tiene menores requerimientos de información, pero no se recomienda su uso para sistemas con severas limitaciones de producción y que se alejan del concepto de condiciones controladas de animales estabulados; además requiere, incluir una estimación del costo de cosecha. La capacidad predictiva de ambos modelos utilizados, resultó poco sensible a cambios en proteína cruda y cenizas, pero fue altamente dependiente de la información sobre NDT.

## INTRODUCCIÓN

Los modelos de simulación son herramientas que permiten explicar el comportamiento de los sistemas de producción bajo condiciones naturales, su funcionamiento, sus características y sus respuestas a diversas condiciones que presenta el medio ambiente, permitiendo: describir el problema, evaluar los efectos que produce el cambio de los factores productivos en el comportamiento del sistema, buscar soluciones adecuadas a un problema específico, permitir la experimentación con sistemas que aún no existen, o con sistemas existentes pero sin llegar a modificarlos; reduciendo en gran medida las restricciones de tiempo y de costos (Quiroz *et al.*, 1996; Aguilar y Cañas 1992). Para la Universidad, los modelos de simulación constituyen una poderosa herramienta de docencia, que permite la capacitación de los asistentes técnicos en el manejo de sistemas, proporcionándoles conocimientos y experiencia para hacer el proceso de transferencia de tecnología más dinámico y efectivo. Los modelos utilizan ecuaciones construidas a partir de la teoría y de resultados experimentales, y se validan igualmente mediante ensayos experimentales (Giraldo *et al.*, 1998).

Las necesidades de competitividad de la actividad de ceba, ha obligado a la intensificación de los sistemas, mediante la incorporación de nuevas especies forrajeras, nuevas técnicas de fertilización, y genotipos más productivos, que a su vez, requieren del desarrollo de herramientas rápidas y eficientes, que fortalezcan el proceso de toma de decisiones en investigación, transferencia, docencia y desarrollo pecuario. Para el análisis de este tipo de sistemas de producción de carne, se han desarrollado algunos modelos que han demostrado su potencial de predicción en distintas condiciones de producción (Ainslie *et al.*, 1993; Aguilar y Cañas, 1992; Kolver *et al.*, 1996; Quiroz *et al.*, 1996; Russell *et al.*, 1992; Stone *et al.*, 1993). El Modelo Nutrient Requirements of Beef Cattle versión 1996 (NRC) fue desarrollado por el National Research Council, en zonas templadas. El Modelo Carata (Programa de raciones de mínimo costo para rumiantes) fue desarrollado por la Universidad Católica de Chile, para el altiplano andino, para predecir ganancia diaria de peso, en animales estabulados (Aguilar y Cañas, 1992). La información sobre el poder de predicción de estos modelos bajo condiciones tropicales es escasa. Disponer de un modelo validado de simulación de sistemas de producción de ceba, permitirá estudiar y resolver

problemas con ahorro de tiempo, dinero y esfuerzo, además de aportar una nueva herramienta para la docencia.

El objetivo del proyecto fue evaluar la capacidad de dos modelos matemáticos, NRC y Carata, para predecir la ganancia de peso en los sistemas intensivos de producción de carne en la zona andina colombiana, bajo distintos escenarios, de tal manera que se conviertan en herramientas de análisis de investigadores, asistentes técnicos, productores, y docentes, que se encuentren relacionados con actividades de ceba.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### • Localización

La investigación se realizó en la granja Montelindo de la Universidad de Caldas, y en la Hacienda Pinares, en Armenia (Quindío). Montelindo se encuentra ubicada a 5° 05' latitud norte, 75° 40' longitud Oeste, a una altura de 1.010 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 22.8 °C y con una humedad relativa de 75%. Pinares se encuentra ubicada a 4° 31' latitud Norte, 75 ° 47' longitud Oeste, a una altura de 1.350 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 22.2°C, y una humedad relativa del 78%.

### • Tipos de sistemas

Las principales características de los sistemas de producción, utilizadas para la validación de los modelos, se presentan en la Tabla 1.

**Tablas 1. Características de los sistemas de producción de cebas intensivas, utilizadas para la validación de los modelos.**

Característica	Tipo de Sistemas de Producción				
	Estrella-Brangus (EB)	Estrella-Cebú (EC)	Tanzania-Brangus (TB)	Tanzania-Cebú (TC)	India-Cebú (IC)
Localidad	Pinares	Pinares	Pinares	Pinares	Montelindo
Ocupación/descanso (días)	5/45	5/45	5/45	5/45	5/35
Pasto	Estrella	Estrella	Tanzania	Tanzania	India
Raza	Brangus	Cebú	Brangus	Cebú	Cebú
Castración	No	No	No	No	Si
No. de animales	9	12	9	12	17
Carga animal (animales/ha)	4.5	6.0	4.5	6.0	5.5
Área (ha)	2.0	2.0	2.0	2.0	3.1
No. de potreros	10	10	10	10	8
No. de pesajes	2	2	2	2	6
No. de aforos	5	5	5	5	9
Fecha de inicio	25/01/99	25/01/99	25/01/99	25/01/99	14/10/98
Fecha de finalización	6/05/99	7/05/99	24/04/99	11/06/99	2/06/99

En Montelindo, las praderas son heterogéneas en su composición, encontrándose 6 tipos de pastos, pero predomina el India (*Panicum maximum*) y se presenta una alta

incidencia de malezas. En Pinares, las praderas de estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) y Tanzania (*Panicum maximum*, cv. tanzania), son altamente homogéneas, sin presencia de malezas.

- **Modelos Utilizados**

Para simular la ganancia de peso, se utilizaron los modelos NRC y Carata. Los datos de entrada del NRC se presentan en la Tabla 2. Según Fox *et al.* (1995), el modelo determina los requerimientos de mantenimiento y crecimiento del animal, y realiza el balance para determinar ganancia de peso, con base en el aporte del forraje. El modelo NRC, está compuesto por los submodelos Nrc.bat (conjunción de archivos para la simulación), Feeds.bat (Alimentos), Tables.bat (Requerimientos del animal). Las ecuaciones que utiliza el modelo para estimar consumo, fueron publicadas por Fox *et al.* (1992), y se basan en un consumo potencial dado por el peso metabólico del animal y el contenido de energía del forraje, afectados por factores como edad, raza, grado de marmoreo, aditivos alimenticios, temperatura y disponibilidad de materia seca.

**Tabla 2. Datos de entrada exigidos por el modelo NRC para la simulación.**

Animal	Manejo	Ambiente	Alimentación
Tipo	Aditivos	Velocidad del viento	Materia seca (%)
Edad	Pastoreo o estabulación	Temperatura previa	Fibra detergente neutra
Sexo	Unidad de pastoreo	Temperatura actual	Lignina
Peso	Materia seca (kg/ha)	Frío nocturno	Cenizas
Condición corporal	Días de pastoreo	Longitud del pelo	Nutrientes digestibles totales
Peso maduro	Número de animales	Grosor de la piel	Calcio
Raza	Pendiente del terreno	Condición del pelaje	Fosforo
Grado de marmoreo		Estrés por calor	

Los autores del modelo Carata (Aguilar y Cañas, 1992) dividen las variables de este modelo en variables de estado y variables de entrada.(Tabla 3). Por ser un modelo de tipo aleatorio, calcula diferentes valores para consumo, que van entre 2.78 y 3.23% del peso vivo (Aguilar y Cañas, 1992). Las ecuaciones utilizadas para simular la ganancia de peso fueron publicadas por Aguilar y Cañas (1992).

**Tabla 3. Datos de entrada exigidos por el modelo Carata para la simulación.**

Variables de estado		Variables de entrada	
Identificación de la	Tabla de	Dieta	Condiciones

<b>ración</b>	<b>requerimientos</b>		<b>climáticas</b>
Tipo de Ganado	Materia seca máxima y mínima (kg/animal.día)	Materia seca máxima y mínima (kg/animal.día)	Temperatura mínima
Peso promedio	Energía metabólica	Energía metabólica	Temperatura máxima
Producción promedio	Proteína cruda	Proteína cruda	Velocidad del viento
	Fibra cruda	Fibra cruda	
	Calcio	Calcio	
	Fósforo	Fósforo	
		Disponibilidad	

- **Determinación de ganancias reales de peso vivo**

En Pinares se registró el peso inicial y el peso final de los animales; la ganancia diaria de peso se determinó, con base en la diferencia entre peso final y peso inicial, así:

$$Ganancia (g/animal.día) = (Peso\ final - Peso\ inicial) / Número\ de\ días$$

En Montelindo se realizaron 6 pesajes. La ganancia diaria de peso se determinó con base en la fórmula anterior y por una regresión de peso x días del ensayo.

- **Información sobre condiciones climáticas y disponibilidad y calidad de forraje**

Los datos climáticos que se registraron en ambas localidades, durante el período de observación, y que se utilizaron para las simulaciones, se obtuvieron de las estaciones climáticas Montelindo y el Agrado, del Centro Nacional de Investigaciones del Café (CENICAFE).

Para medir la oferta de materia seca (MS) de los forrajes en Montelido, se muestrearon 3 potreros en cada una de las rotaciones 2, 4 y 6, para un total de 9 muestras utilizando para el muestreo un marco de 1.0 x 0.5 m. En Pinares, se muestrearon 3 potreros en la rotación 1, y 2 en la rotación 3. El muestreo se realizó utilizando 1 marco de 0.5 x 1 m, en los potreros de estrella, y un marco de 1.0 x 1.0m en los potreros de Tanzania. En cada muestreo se lanzaron 3 marcos al azar, se cortó el forraje a una altura de 40 cm para India y Tanzania, y 30 cm para estrella, se mezclaron las tres muestras de cada lote, se pesaron, se tomó una muestra de 2 kg y se llevó al horno de secado durante 5 días, período al final del cual se determinó el peso seco de la muestra.

La información sobre calidad de los pastos para la simulación, fue obtenida de Laredo (1985) y Fox *et al.* (1999). Los datos de Nutrientes Digestibles Totales (NDT), fueron calculados a partir de la Energía Metabólica (EM) y de la Energía Digestible (ED), utilizando las siguientes formulas (Sniffen *et al.*, 1992):

$$ED(\text{Mcal/kg MS}) = 0.82 * EM(\text{Mcal/kg MS})$$

$$\text{NTD} = \frac{\text{ED}(\text{Mcal/kg MS}) * 100}{4.409}$$

- **Determinación de ganancias simuladas de peso vivo**

Se simularon las ganancias de peso de cada animal individual (59 novillos) y la ganancia promedio de cada sistema de producción, durante todo el período de observación, utilizando los modelos NRC y Carata.

En Pinares, dado que se trabajó con animales enteros para ceba, no con fines de reproducción, las corridas del modelo NRC se hicieron con la opción de novillos implantados. Para utilizar el modelo Carata, se seleccionaron los requerimientos de animales de 400 kg; debido a que es un modelo estocástico, se realizaron cinco corridas con la misma información de entrada y se obtuvo el promedio, de la información de salida.

- **Potencial de predicción**

Para determinar el potencial de predicción del modelo, se utilizó como criterio de eficiencia del ajuste, la relación peso simulado/peso real, para cada sistema de producción, el mismo criterio utilizado por Giraldo *et al.* (1998). Además del promedio, se calculó el coeficiente de variación (CV) y se registraron los rangos mínimo y máximo. El análisis de sensibilidad de los modelos, se realizó sobreestimando y subestimando en un 10% los contenidos de NDT (Nutrientes Digestibles Totales), PC (Proteína Cruda), y cenizas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- **Condiciones climáticas del ensayo e información sobre disponibilidad y calidad del forraje**

Las condiciones climáticas, registradas durante el periodo de observación, utilizadas como información de entrada para los modelos, se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4. Datos climáticos registrados durante el período de observación.**

	Temperatura °C			Humedad relativa (%)
	Máxima	Mínima	Media	
Pinares	27.0	16.2	20.6	81

(25/1/99 – 11/6/99)				
Montelindo (14/10/98 – 2/6/99)	29.3	18.2	22.9	73

Fuente: CENICAFE

La oferta de materia seca registrada durante el período de observación en los diferentes sistemas fue: Estrella-Brangus, 4.862 kg/ha; Estrella-Cebú, 3.966 kg/ha; Tanzania-Brangus, 4.980 kg/ha; Tanzania-Cebú, 4.490 kg/ha; India-Cebú, 2.412 kg/ha.

La información de calidad de los pastos, seleccionada de la revisión bibliográfica realizada, y que se utilizó como información de entrada para los modelos, se presenta en la Tabla 5.

**Tabla 5. Calidad de los forrajes**

	MS %	NDT %	PC %	Cenizas %
Estrella	21.5	58.0	10.0	11.0
Tanzania	18.4	57.5	9.6	12.7
India	19.1	55.0	7.1	9.8

Fuentes: Laredo (1985) y Fox et al. (1999)

- **Ganancias reales de peso vivo**

En Montelindo el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de la regresión lineal días del ensayo vs peso promedio, fue 0.98. La estimación de la ganancia mediante regresión, redujo el coeficiente de variación, sin afectar la dimensión del promedio (Tabla 6). Las ganancias de peso en Montelindo (India - Cebú) fueron menores que en Pinares y presentaron un mayor coeficiente de variación. Las mayores ganancias se observaron en pasto estrella, con ganado cebú.

**Tabla 6. Promedio de ganancia diaria de peso (g/anim.día), coeficiente de variación (CV), valores máximo y mínimo, y peso medio (kg) bajo los distintos sistemas de producción.**

Sistema de producción	Ganancia real (g/animal.día)	CV (%)	Valor máximo (g/animal.día)	Valor mínimo (g/animal.día)	Peso medio (kg)
Estrella-Brangus	606	26	850	430	416
Estrella-Cebú	733	11	890	590	363
Tanzania-Brangus	650	19	850	404	431

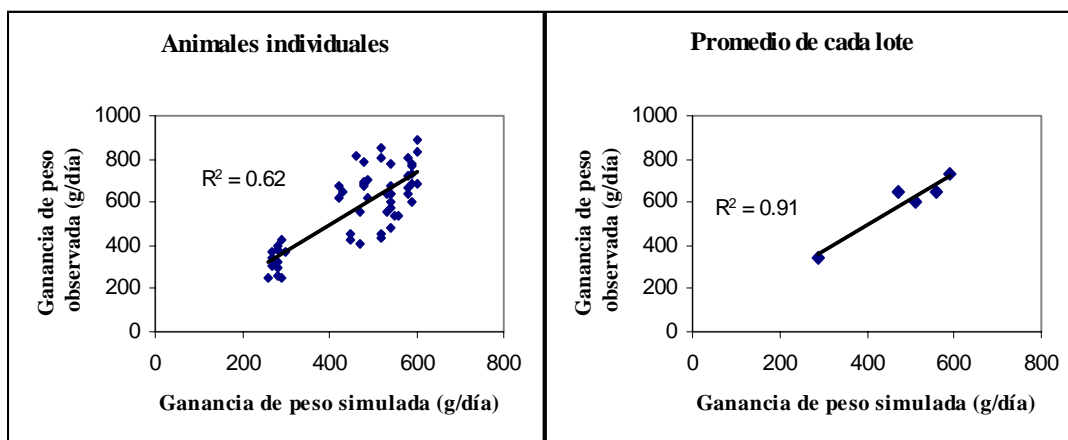
Tanzania-Cebú	644	11	788	540	403
India-Cebú*	338	37	534	73	365
India-Cebú**	339	29	533	121	367

\* *Determinado con base en la diferencia entre peso final y peso inicial*

\*\* *Determinado con base en una regresión días x peso*

- **NRC: ganancias simuladas de peso y capacidad de predicción del modelo**

La regresión lineal entre ganancias simuladas y ganancias observadas, utilizando la información de animales individuales, presentó un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.62, mientras la misma regresión, con los datos promedio, presentó un mejor coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.91 (Figura 1).



**Figura 1. Correlación entre ganancias de peso observadas y simuladas, calculadas con base en animales individuales y en el promedio de cada lote.**

El ajuste del modelo fue 0.81, con un rango entre lotes de 0.72 y 0.86, indicando que la simulación subestima la ganancia de peso, dado que todos los valores estuvieron por debajo de la unidad. Existen diferencias fisiológicas y morfológicas (relación tallo - hoja) entre los pastos de zona templada y zona tropical a un mismo nivel de NDT, las cuales pueden significar una diferencia en consumo de hasta un 20% (Dennis and Stuart, 1995). Kolver *et al.*-(1997) reportan que el modelo subestima el consumo en 11%. Stone (1993) ajustó el consumo predicho por el modelo en 11.6%, para mejorar la capacidad de predicción. Con base en la información anterior, y dadas las características de las pasturas, el consumo calculado por el modelo NRC fue ajustado en 11% en el caso de Pinares, y 5% en Montelindo. Al ajustar el consumo, la relación simulado/observado mejoró notablemente, alcanzando un promedio de 1.05, con una distribución normal y un rango entre 0.98 y 1.15 (Tabla 7).

**Tabla 7. Comparación de la ganancia real y simulada de peso (g/animal.día) y capacidad de predicción del modelo (relación ganancia simulada/observada), sin y con ajuste del consumo simulado (modelo NRC).**

Sistema de producción	Ganancia Real	Consumo 100%		Consumo ajustado	
		Ganancia Simulada	Simulada/Observada	Ganancia Simulada	Simulada/Observada
Estrella-Brangus	606	520	0.86	700	1.15
Estrella-Cebú	733	590	0.81	760	1.03
Tanzania-Brangus	650	470	0.72	640	0.98
Tanzani-Cebú	644	540	0.84	700	1.08
India-Cebú	338	280	0.83	350	1.03
Promedio	594	480	0.81	618	1.05
C.V. (%)	44	42	6	44	7
Mínimo	338	280	0.72	350	0.98
Máximo	733	590	0.86	740	1.15

En la localidad Pinares, no se encontraron diferencias en el promedio del criterio de ajuste, entre especies de pastos y razas. No obstante, el CV es mayor al simular el comportamiento de la raza Brangus, indicando probablemente mayor confiabilidad del modelo para simular ganancias de peso de animales Cebú (Tabla 8).

**Tabla 8. Comparación de la capacidad de predicción del modelo NRC, según la especie de pasto y la raza del animal, en la localidad Pinares.**

Especie	Brangus		Cebú	
	Sim/Obs	CV (%)	Sim/Obs	CV (%)
Estrella	1.16	25	1.03	11
Tanzania	0.99	23	1.06	15

- **Carata: ganancias simuladas de peso y capacidad de predicción del modelo**

El modelo Carata simuló originalmente con un criterio de ajuste de sólo 1.68, indicando una gran divergencia con las ganancias observadas. Carata simula el comportamiento de animales estabulados, donde el costo de cosecha es igual a cero. Para validar el modelo en condiciones de pastoreo, se hizo necesario calcular los costos de cosecha, utilizando el modelo NRC. Al incorporar los costos de cosecha, el criterio de eficiencia del ajuste promedio del modelo fue 1.13 (Tabla 9). En las rotaciones de Pinares (estrella y tanzania), el modelo presentó un ajuste promedio de 1.00 y un CV de 2.7%. En cambio, en Montelindo (india), el ajuste fue sólo 1.67. Las condiciones en Pinares, con una alta disponibilidad de forraje (promedio, 4.574 kg/ha de MS), se asemejan más a una

situación de animales estabulados, condiciones para las cuales se desarrolló el modelo Carata, contrastando con Montelindo donde la disponibilidad de forraje fue de apenas 2.412 kg/ha de MS.

- **Análisis de sensibilidad de los modelos**

Los modelos no fueron sensibles a cambios en los niveles de proteína cruda y cenizas, tanto al sobreestimarlos como al subestimarlos, hasta un 10%. Sin embargo, la respuesta a cualquier cambio en el nivel de NDT, fue de gran magnitud (Tabla 10). Los resultados indican la importancia de una determinación muy precisa de los niveles de NDT, para favorecer la capacidad de los modelos para predecir ganancias de peso.

**Tabla 9. Comparación entre la ganancia observada y simulada de peso (g/animal.día) y capacidad de predicción del modelo (relación ganancia simulada/observada), sin y con ajuste por costo de cosecha (modelo Carata).**

Sistema de producción	Real	Sin costo de cosecha		Con costo de cosecha	
		Simulada	Sim/obs	Simulada	Sim/obs
Estrella-Brangus	606	927	1.52	607	1.00
Estrella-Cebú	733	1008	1.37	738	1.00
Tanzania-Brangus	650	958	1.47	628	0.97
Tanzania-Cebú	644	955	1.48	665	1.03
India-Cebú	338	877	2.59	567	1.68
Promedio	594	945	1.68	641	1.13
CV %	25	5	27	10	26
Máximo	733	1.008	2.59	738	1.68
Mínimo	338	877	1.37	567	0.97

**Tabla 10. Sensibilidad de los modelos NRC y Carata (relación ganancia simulada/observada), a cambios de +10% y -10%, en los valores de NDT.**

Sistema de producción	+10%		-10%	
	NRC	Carata	NRC	Carata
Estrella-Brangus	1.76	1.56	0.44	0.54
Estrella-Cebú	1.51	1.51	0.48	0.59
Tanzania-Brangus	1.59	1.13	0.34	0.44
Tanzania-Cebú	1.65	1.28	0.45	0.54
India-Cebú	2.04	2.11	0.03	0.75

Promedio	1.71	1.52	0.35	0.57
----------	------	------	------	------

## CONCLUSIONES

En términos generales, los modelos NRC y Carata, demostraron la bondad que tienen para simular ganancia de peso, en sistemas intensivos de producción de carne. Salvo que se disponga de mecanismos para controlar el consumo de animales individuales, los resultados sugieren que los modelos deben ser utilizados para simular ganancias promedio de peso.

El modelo NRC presentó menores coeficientes de variación, y el criterio de eficiencia del ajuste estuvo relativamente cerca de la unidad, bajo los distintos sistemas de producción donde fue validado. Sin embargo, este modelo es más exigente en información, dado que incluye un mayor número de variables para explicar la producción. Debe tenerse en cuenta, que para utilizar el modelo NRC bajo condiciones tropicales, se requiere ajustar el consumo simulado por el modelo, entre 5 y 11%, dependiendo de las características de la pastura, especialmente en lo que a disponibilidad de materia seca y contenido de NDT, se refiere.

El modelo Carata tiene menores requerimiento de información, y es sencillo y fácil de manejar. El modelo demostró su potencial de predicción, bajo condiciones de sistemas con escasas limitaciones de los factores de producción y que se acercan al concepto de condiciones controladas de animales estabulados.

La capacidad predictiva de ambos modelos utilizados, resultó altamente sensible a los valores de Nutrientes Digestibles Totales (NDT) de los forrajes. El mayor esfuerzo analítico, debería centrarse en mejorar la precisión de la determinación de los niveles de NDT en los forrajes.

## BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, C.; Cañás, R. 1992. Simulación de sistemas: Aplicaciones en producción animal. pp. 185-284. In: Ruiz, M. (ed.). Simulación de Sistema Pecuarios. Instituto Interamericano de Cooperación Para la Agricultura (IICA). 284 p.

Ainslie, S.J.; Fox, D.G.; Perry, T.C.; Ketchen, D.J. y Barry M.C. 1993. Predicting Amino Acid Adequacy of Diets Fed to Holstein Steers. J. Anim. Sci. 71:1312-1319 .

Dennis, P.; Stuart, R. 1995. Protein and Energy Utilization by Ruminants at Pasture. J. Anim. Sci. 73:278-290.

Fox, D. G.; Sniffen, C. J.; Oconnor, J. D.; Russell, J. B.; Van Soest, P. J. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle Requirements and Diet Adequacy. J. Anim. Sci. 70:3578-3596.

Fox, D.G.; Barry, M.C.; Pitt, R.E.; Roseler D.K.; Stones W.C. 1995. Application of the Cornell Net Carbohydrate and Protein Model for cattle consuming forages. J. Anim. Sci. 73:267-277.

Fox, D.G.; Tylutki, T.P.; Pell, A.N.; Van Amburgh, M.E.; Chase, L.E.; Pitt, R.E.; Rasmussen, C.N.; Tedeschi, L.O.; Durbal, V.J. 1999. The Cornell Nutrient Management Planning System. PART 1: The Net Carbohydrate and Protein System for Evaluating Herd Nutrition and Nutrient Excretion. Feed Library (Department of Animal Science, Cornell University, 130 Morrison Hall, Ithaca, New York 14853-4801).

Giraldo, L.M.; Lizcano, L.J.; Gijsman, A.J.; Rivera, B. Y Franco, L.H. 1998. Adaptación del Modelo DSSAT para simular la producción de *Brachiaria decumbens*. Pasturas tropicales. 20(2):2-10.

Kolver, E.S; Barry, M.C.; Penno, J.W.; Muller, L.D. 1996. Evaluation of the Cornell Net carbohydrate and Protein System for dairy cows fed pasture-based diets. <http://nzsap.rsnz.govt.nz/proc/sapt96.html#dairyb>.

Laredo, M.A. 1985. Tabla de Contenido Nutricional en Pastos y Forrajes de Colombia. Programa Nacional de Nutrición Animal. División de disciplinas pecuarias. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Bogotá, Colombia. 23 p.

NRC. 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle (6<sup>th</sup> Ed.) National Academy Press, Washington D.C.

Quiroz, R; Velarde, C.L.; Arce, B; Genin, D. 1996. Resultados de ensayos en ganadería con modelos de simulación. p 113-123. In: B. Rivera; R. Aubad (eds). El enfoque de sistemas de producción y la incorporación de criterios de política. Corpoica, Santa Fe de Bogotá, Colombia.

Russell, J. B.; O'connor, J. D.; Fox, D. G.; Van Soest, P. J.; Sniffen, C. J. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminant Fermentation. J. Anim. Sci. 70:3551-3561.

Sniffen, C. J.; Oconnor, J. D.; Van Soest, P. J.; Fox, D. G.; Russell, J. B. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. carbohydrate and protein availability. J. Anim. Sci. 70:3562-3577.

Stone, W.C.; Chase, L.E.; y Fox D.G. 1993. Field application of the Cornell Net Carbohydrate and protein system model in progressive dairy herd. Departament of Animal Science, Cornell University. [Http://www.cornell.edu](http://www.cornell.edu).