

Modelo estocástico para evaluación bio-económica de un sistema de producción bovino de cría y engorde bajo condiciones de pastoreo

J Galindo y B Vargas*

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Alajuela, Costa Rica

**Posgrado Regional en Ciencias Veterinarias Tropicales, Universidad Nacional, Apdo. postal 304-3000, Heredia, Costa Rica*

bvargasl@costarricense.cr

Resumen

Se construyó un modelo estocástico de simulación representativo de un sistema de producción bovino de cría y engorde bajo condiciones de pastoreo. El modelo se utilizó para estimar el rendimiento bioeconómico anual del sistema y para evaluar la importancia relativa de distintas variables de entrada sobre 2 parámetros de rendimiento del sistema: kilogramos de ternero destetado por vaca expuesta a toro y utilidad neta. Los resultados se presentaron en forma de valores económicos (Δ utilidad neta/ Δ variable entrada) para rasgos biológicos de interés.

De acuerdo con el modelo la tasa de preñez es la variable biológica que presenta mayor impacto sobre estos 2 parámetros, estimándose un valor económico de US\$868 \pm 22 ($R^2=0,24$). En segundo plano, el periodo abierto y el peso a sacrificio presentaron valores económicos de US\$-181,2 \pm 7,45 ($R^2=0,11$) y US\$101,8 ($R^2=0,06$). Otras variables tales como el porcentaje de rendimiento en canal (US\$1125 \pm 117,1, $R^2=0,02$), la tasa de mortalidad predestete (US\$-1381,4 \pm 116,5; $R^2=0,03$) y la tasa de descarte involuntario en adultos (US\$-2613,5 \pm 233,5; $R^2=0,02$) presentaron también altos valores económicos, pero con un menor impacto relativo sobre las utilidades debido a que presentan menor rango de variación.

De estos resultados se infiere que las variables reproductivas son las más determinantes en la rentabilidad de una finca ganadera de cría y engorde.

Palabras claves: ganado de carne, modelos de simulación, valores económicos

Stochastic model for bioeconomic evaluation of beef breeding-and-fattening production system under grazing conditions

Abstract

A stochastic simulation model was built in order to represent a beef breeding-and-fattening range production system. The model was used to estimate annual bio-economic performance of the production unit and to assess relative importance of several input variables on 2 main output performance parameters: kilograms of calf weight weaned per cow exposed to breeding and net income. Final results were expressed in terms of economic values (Δ annual net income/ Δ input variable) for several biological traits.

According to the model pregnancy rate was the variable with the highest impact on these 2 output parameters, with an estimated economic value of US\$868 \pm 22 ($R^2=0,24$). In second place, days open and slaughter weight presented economic values of US\$-181,2 \pm 7,45 ($R^2=0,11$) and US\$101,8 ($R^2=0,06$). Other variables, such as dressing percentage (US\$1125 \pm 117,1; $R^2=0,02$), pre-weaning mortality rate (US\$-1381,4 \pm 116,5; $R^2=0,03$) and cow involuntary culling rate (US\$-2613,5 \pm 233,5; $R^2=0,02$) showed high economic values, but lower relative impact due to their reduced variation.

It is inferred from these results that reproductive performance is the main factor determining economic performance in this type of system.

Keywords: beef cattle, economic values, simulation models

Introducción

Un modelo de simulación es una abstracción de un sistema o proceso real, una simplificación formal que incluye los elementos esenciales que conforman un sistema. En el área de la producción animal, los modelos de simulación han sido utilizados con diversos objetivos. Algunos modelos representan procesos biológicos específicos, por ejemplo curvas de crecimiento (Solano y Vargas 1997, Pereda-Solis et al 2005) o curvas de lactancia (Vargas et al 1999); mientras que otros describen procesos de producción integrados (Konandreas y Anderson 1982, Quiroz et al 1994, León Velarde y Quiroz 2001).

En general, los modelos de simulación pueden proveer información valiosa para ser utilizada en la toma de decisiones a nivel de hato, ya que permiten estimar el impacto y la importancia relativa de la variación en parámetros económicos y biológicos sobre la productividad de la empresa ganadera (Werth et al 1991, Tess y Kolstad 2000a,b; Julien y Tess 2002). Por medio de estos modelos es posible también estimar el valor económico de distintos rasgos de producción (Koots y Gibson 1998; Vargas et al 2002; Forabosco et al 2005, Rewe et al 2006). El valor económico de un rasgo se define como el cambio en una función de utilidad, expresado por unidad animal, resultante de un cambio de una unidad en el mérito del rasgo considerado (Groen 1989a; Plazier et al 1997). En modelos integrados estos valores económicos pueden ser obtenidos como derivadas parciales de los distintos rasgos de interés sobre la función de utilidad.

La gran mayoría de los modelos bioeconómicos utilizados para estimación de valores económicos son de tipo determinístico (Van Arendonk 1985; Groen 1989a,b; Koenen et al 2000; Vargas et al 2002). En modelos determinísticos la variabilidad en los parámetros de entrada es representada utilizando distribuciones de probabilidad discretas, por lo que los valores económicos resultantes son estimaciones puntuales invariables. En modelos de simulación estocástica es posible utilizar distribuciones de probabilidad continuas, lo que permite obtener estimaciones tanto de los valores económicos como de sus desviaciones estándar. Asimismo, la simulación estocástica permite cuantificar de manera más precisa la sensibilidad de los valores económicos a posibles cambios en diversos parámetros del modelo.

El objetivo del presente estudio fue construir un modelo de simulación estocástico para evaluar la eficiencia bioeconómica de un sistema de producción de ganado de carne en el trópico húmedo de Costa Rica.

Materiales y métodos

Estrategia general de modelación

Se construyó un modelo de simulación estocástico para representar un hato de carne (cría y engorde). Los parámetros de entrada para el modelo se obtuvieron de información procedente del hato de cría y engorde perteneciente al Instituto Tecnológico de Costa Rica, ubicado en San Carlos, provincia de Alajuela, a una altura de 172 metros sobre el nivel del mar. El hato se ubica en una región de clima tropical húmedo, con una precipitación anual de 3062mm, una temperatura promedio de 27.3°C y una humedad relativa de 85.3%. El hato se conforma principalmente de cruces entre razas Brahman con las razas Simmental o Charolais.

El modelo se construyó utilizando la hoja electrónica Excel Versión 2003 (Microsoft Corporation 2003) en combinación con el programa especializado para simulación estocástica @RISK Versión 4.1 (Palisade Corporation 2002). El modelo fue construido para simular un sistema de producción de cría y engorde en estado de equilibrio. El tamaño del hato de cría se asumió fijo en 280 cabezas, con producción de reemplazos dentro del mismo hato. Las hembras de reemplazo son criadas hasta el destete, momento en el cual se realiza un primer descarte de las hembras que no serán utilizadas para reemplazo. Posteriormente pasan a la etapa de desarrollo hasta alcanzar el peso de entrada a monta e ingresar al hato de cría. Todas las hembras son servidas por monta natural con sementales de raza Brahman o sementales cruzados con razas *Bos taurus* Charolais o Simmental. Los cruzamientos se realizan buscando mantener una predominancia de la raza Brahman. Los machos son criados y engordados hasta alcanzar un peso de sacrificio de aproximadamente 450 kg.

El modelo estima la productividad bioeconómica del hato durante un periodo de un año calendario. Se consideraron distintas variables de entrada (Tabla 1) especificadas con base en el rendimiento productivo y reproductivo real observado en el hato.

Tabla 1. Parámetros de entrada, códigos y valores de base (Valor Base±D.E) asumidos en el modelo estocástico de simulación del hato en estudio

Parámetros de entrada	Código	Valor base	(D.E)	Unidades
<i>Hembras de Reemplazo</i>				
(Richards) <i>a</i>	HRa	536,6	-	Fijo Parámetro
(Richards) <i>b</i>	HRb	0,996	-	Fijo Parámetro
(Richards) <i>c</i>	HRc	0,000731	0,0000731	Parámetro
(Richards) <i>m</i>	HRm	0,540	-	Fijo Parámetro
Peso destete	PDH	200	-	Fijo kg
Margen seguridad (destete a novillas)	MSDN	10	-	%
Descarte involuntario (Destete-Parto)	DIDP	4	0,50	%
Peso a primera monta	PPM	320	-	10 kg
Rendimiento en canal novillas desecho	RCNA	54,2	-	1,0 %
<i>Machos de Engorde</i>				
(Richards) <i>a</i>	MRa	767,6	-	Fijo Parámetro
(Richards) <i>b</i>	MRb	0,9762	-	Fijo Parámetro
(Richards) <i>c</i>	MRc	0,00124	0,000124	Parámetro
(Richards) <i>m</i>	MRm	0,869	-	Fijo Parámetro

Peso destete	PDM	220	Fijo	kg
Peso a sacrificio	PSNO	450	20	kg
Descarte involuntario (Destete-Sacrificio)	DIDS	2,0	0,20	%
Rendimiento en canal	RCNO	60,2	1,0	%
<i>Hato de cría</i>				
Tasa de Preñez	TP	84,7	5	%
Tasa de Mortalidad Prenatal	TMPN	2,9	0,5	%
Descarte involuntario	DIA	2,00	0,5	%
Longitud Preñez	LP	270	Fijo	d
Periodo Abierto	PA	124	15	d
Mortalidad pre-destete	TMPD	7,1	1	%
Partos a Descarte	PD	5	(3 a 7 =20%) ^a	n
Peso promedio vaca desecho	PPVD	450	15	kg
Rendimiento en canal vacas desecho	RCVD	52,8	1,0	%
<i>Parámetros Económicos</i>				
Precio kg pie hembra destetada	\$PHD	0,825	Fijo	US\$ kg ⁻¹
Precio kg canal vaca desecho	\$CVD	2,0	0,05	US\$ kg ⁻¹
Precio kg canal novillas	\$CNA	2,187	0,05	US\$ kg ⁻¹
Precio kg canal novillo	\$CNO	2,6	0,05	US\$ kg ⁻¹
Costo Base nacimiento a destete	\$CBND	20,4	2,04	US\$ un ⁻¹ año ⁻¹
Costo Base desarrollo (machos y hembras)	\$CBD	63,6	6,36	US\$ un ⁻¹ año ⁻¹
Costo Base engorde machos	\$CBEM	68,5	6,85	US\$ un ⁻¹ año ⁻¹
Costo Base vaca adulta	\$CBVA	183,8	18,3	US\$ un ⁻¹ año ⁻¹
Costo por administración	\$CAD	12000	Fijo	US\$ año ⁻¹

^a El número de partos a descarte se simuló mediante una distribución discreta con 20% de probabilidad de descarte en partos 3,4,5,6,7.

Estas variables se representaron mediante simulación estocástica utilizando principalmente distribuciones normales de probabilidad, con el fin de considerar no solamente los promedios (situación base), sino también la dispersión que se observa en la población. Estas variables de rendimiento se combinaron con parámetros de tipo económico para obtener variables de salida (Tabla 2) relacionadas con estimados de productividad bioeconómica a nivel de empresa, expresados en términos de un año calendario. Se obtuvieron un total de 5000 iteraciones del modelo utilizando una estrategia de muestreo de Hipercubo Latino (Palisade Corporation 2002).

Tabla 2. Parámetros de salida del modelo de simulación y fórmulas de cálculo

Parámetros de salida	Unidad	Código	Fórmula de cálculo ^a
Hembras- Edad a Peso de Monta	años	EPM	$(\ln(((PPM/HRa)^{(1/HRm)}-1)/(-HRb))/(-HRc))/365$, donde \ln =logaritmo natural y $^{\wedge}$ = potenciación
Hembras-Ganancia de Peso	kg día ⁻¹	GPHE	$(PPM-30)/(EPM \times 365)$
Hembras-Edad a Primer parto	años	EPP	$((PPM/GPHE)+LP)/365$
Hembras-Vida Productiva	años	VP	$VU-EPP$
Hembras-Vida útil	años	VU	$EPP+PD \times ((LP+PA)/365)$
Crías Nacidas	n año ⁻¹	CN	$(HA \times TP/100 - (TMPN/100 \times HA) - (DIA/100 \times HA))/(PA+LP) \times 365$
Terneros (as) destetados	n año ⁻¹	TD	$CN - (TMPD/100 \times CN)$
Tasa de destete	%	TDT	$(TD/HA) \times 100$
kgs terneros × vaca expuesta	kg año ⁻¹	KTVE	$(TDT/100) \times ((PDH+PDM)/2)$
kgs terneros destete total	kg año ⁻¹	KT	$(TDT) \times ((PDM+PDH)/2)$
kgs ternera destete a venta	kg año ⁻¹	KTDV	$kTT/2 - (HR1P \times (1+DIDP/100+MSDN/100)) \times PDH$
Novillos a sacrificio	n año ⁻¹	NOS	$(TD/2) \times (1-DIDS/100)$
kgs novillos a sacrificio	kg año ⁻¹	kNOS	$NOS \times PSNO$
Novillas a Sacrificio	n año ⁻¹	NAS	$HR1P \times MSDN/100$
kgs novillas a venta	kg año ⁻¹	kNAV	$NAS \times PPM$
kgs Vacas a Desecho	kg año ⁻¹	kVD	$HA \times TR/100 \times PPVD \times RCVD/100$
Tasa de reemplazo	%	TR	$100/VU$
Hembras requeridas a 1er parto	n año ⁻¹	HR1P	$HA \times TR/100$
Machos Ganancia Peso a Sacrificio	kg día ⁻¹	GPM	$(PSNO-31)/(ESNO \times 365)$
Edad a Sacrificio Novillos	años	ESNO	$(\ln(((PSNO/MRa)^{(1/MRm)}-1)/(-MRb))/(-MRc))/365$, donde \ln =logaritmo natural y $^{\wedge}$ = potenciación
Ingreso por venta carne	US\$ año ⁻¹	I	$(kNOS \times RCNO/100 \times \$CNO) + (kNAV \times RCNA/100 \times \$CNA) + (kTDV \times \$PHD) + (kVD \times RCVD/100 \times \$CVD)$
Costos	US\$ año ⁻¹	C	$(CN \times CBND) + (HR1P \times \$CBD \times (EPP-0,666)) + (HA \times \$CBVA) + (TD/2 \times \$CBEM \times (ESNO-0,666)) + (TD/2 \times CS \times \$CS \times (ESNO-0,666) \times 365)$

Utilidad US\$ año⁻¹ UN I-C

^a Códigos de variables de entrada se especifican en tabla 1.

Se estimó la productividad de la empresa en términos de año calendario en vez de ciclo productivo con el fin de medir el efecto de variaciones en rendimiento reproductivo sobre el flujo (biológico y económico) del hato. Los resultados del modelo se reportaron para un animal promedio y para el hato completo. Para todas las variables de salida se obtuvieron valores promedio con sus errores estándares y se pudo cuantificar la importancia relativa, en términos de R^2 , de cada una de las variables de entrada sobre cada una de las variables de salida.

Seguidamente se describen en mayor detalle las características del modelo:

Crecimiento en reemplazos y machos

Para representar el crecimiento de los animales dentro del hato se utilizó la función de Richards [$y = a \times (1 - b \times e^{-cx})^m$, Richards 1959], la cual ha sido utilizada en varios estudios para describir el crecimiento de bovinos de carne (Naazie et al 1999, Pereda-Solis et al 2005). Esta función consta de 4 parámetros que definen la forma sigmoideal de la curva de crecimiento de un bovino. El parámetro a es un valor asintótico que se interpreta como el peso adulto; el parámetro b es una constante de integración; el parámetro c está relacionado con la pendiente de la curva y por tanto con la tasa de crecimiento (dY/dt) y con el grado de madurez (peso al punto de inflexión dividido entre a , Nadarajah et al 1984). Por último el parámetro m define el punto de inflexión de la curva, o sea el momento en que la curva de crecimiento pasa de ser cóncava a convexa, siendo el punto donde la ganancia de peso es máxima. Los valores ajustados para los parámetros a , b , c y m de hembras y machos (Tabla 1) fueron obtenidos mediante procedimientos de regresión no lineal aplicados a promedios de peso históricos observados en el sistema de producción bajo estudio, utilizando el procedimiento NLIN del programa SAS (SAS 1990).

Los parámetros a , b y m de la curva de crecimiento fueron asumidos fijos. Por el contrario, para el parámetro c se asumió un 10% de variación con el fin de representar la variabilidad en ganancia de peso (GPHE y GPM, Tabla 2) a nivel individual. En el modelo Richards, la derivada (dY/dt , ganancia de peso) es directamente proporcional con c , cuando a y m se asumen fijos (Nadarajah et al 1984). Al asumir un peso maduro constante con una velocidad de crecimiento variable, la ganancia de peso tiene un impacto sobre la edad a primera monta (EPM) y edad al parto (EPP) en hembras, así como en la edad de sacrificio de los machos (ESNO), situación que se observa generalmente en el campo.

Los parámetros de peso a destete (PDH y PDM, Tabla 1) fueron asumidos como fijos, de acuerdo a la práctica observada en el hato de base.

Modelación del ciclo reproductivo

El rendimiento reproductivo del hato estuvo definido principalmente por las variables tasa de preñez y longitud del periodo abierto. Se consideraron además tasas de mortalidad (pre-natal, pre-destete y descarte involuntario en adultos). Para el descarte de las vacas se asumió una distribución uniforme del descarte en vacas desde el tercer hasta el séptimo parto.

El número de crías nacidas se expresó por *año calendario*, ya que varió en función de la tasa de preñez y del periodo abierto. La tasa de preñez determinó el flujo de animales por cada *ciclo productivo*, y este resultado se ajustó por la longitud del intervalo entre partos para obtener un estimado del flujo de animales por *año calendario*.

Para representar las posibles asociaciones existentes entre algunas variables de entrada se utilizaron distribuciones de probabilidad correlacionadas. Se asumió una correlación de 0,75 en la simulación de las tasas de mortalidad (TMPN y TMPD, Tabla 1) y el descarte involuntario (DIDP y DIDS, Tabla 1) entre las distintas etapas, considerando que generalmente existe relación estrecha entre parámetros de eficiencia sanitaria en distintas etapas dentro de un mismo sistema de producción.

En el modelo, la tasa de reemplazo (TR, Tabla 2) es producto de la longitud de la vida útil (VU, Tabla 2), la cual está en función del número de partos a descarte (PD, Tabla 1), la edad a primer parto (EPP, tabla 2) y la longitud del ciclo reproductivo (preñez (LP, Tabla 1) + días abiertos (PA, Tabla 1).

Parámetros económicos

En relación a los indicadores de tipo económico, se ingresaron al modelo estimados del costo de mantenimiento para cada una de las etapas (Tabla 1): predestete (\$CBND), desarrollo (\$CBD), engorde (\$CBEM) y vaca adulta (\$CBVA).

En el cálculo de estos costos de mantenimiento se consideró información relacionada con: mano de obra (tipo, cantidad, razón operarios por animal), pastoreo (con base en costo local de alquiler por hectárea para ganadería), uso de insumos

animales (p.e desparasitantes, vacunas), mantenimiento de instalaciones y equipo (combustibles, cercas, transporte), mantenimiento de potreros (fertilizantes, plaguicidas). El costo por vaca adulta también incluye el uso de los machos reproductores. Estos costos fueron expresados por unidad animal por año calendario con base en la carga animal observada en el hato.

Además de un costo base, el modelo consideró también un margen de variación del 10% con el fin de representar la posible inestabilidad e incertidumbre en precios de distintos insumos. De la misma manera se consideró la posible variación en los precios de la carne (Tabla 1, \$PHD, \$CVD, \$CNA, \$CNO). Se consideró también un costo fijo único adicional por administración del hato (\$CAD).

En la simulación de los costos, se asumió en el modelo una correlación de 0,90 entre los costos de mantenimiento estimados para las distintas etapas (Tabla 1, \$CBND, \$CBD, \$CBEM, \$CBVA), considerando que generalmente existe relación alta y positiva entre los precios de distintos insumos.

En los parámetros de salida (Tabla 2) se combinan los parámetros de eficiencia biológica y los parámetros económicos para producir estimados de eficiencia económica del hato. Los parámetros económicos considerados fueron: ingreso total (por venta de carne), costo total (por mantenimiento de animales y administración) y margen de utilidad. No se consideraron en este modelo ingresos o costos no relacionados con la actividad de venta de carne.

Análisis de correlaciones y cálculo de valores económicos

Se calcularon los coeficientes de correlación entre las principales variables (biológicas y económicas) del modelo y la variable de salida kilogramos de ternero destetado por vaca expuesta a toro (*KTVE*) como indicador de eficiencia biológica del hato. La variable *KTVE* ha sido utilizada en estudios similares (Davis et al 1994, Julien y Tess 2002), ya que mide tanto la eficiencia reproductiva de las madres, como el nivel de mortalidad y la eficiencia en crecimiento de las crías. Del mismo modo se calcularon correlaciones entre las mismas variables y la variable de salida Utilidad Neta (*UN*), como indicador de la eficiencia económica del hato.

También se obtuvieron estimados del valor económico para distintos rasgos biológicos de interés. El valor económico se define como el cambio en la utilidad neta (US\$ año⁻¹) por cada unidad de incremento en una variable de entrada, p.e un incremento de 1% en tasa de preñez (Vargas et al 2002). En el presente estudio el valor económico se expresó a nivel de la unidad de producción.

Resultados y discusión

Situación base

La tabla 3 muestra los valores obtenidos para los parámetros de salida del modelo. Se presentan los parámetros de eficiencia biológica y económica, junto con el rango de variación esperado en función de las distribuciones asumidas para las variables de entrada.

Tabla 3. Parámetros de salida resultantes de la simulación estocástica

Parámetro	Unidad	Promedio	D.E	Mínimo	Máximo
Hembras-Edad a Primera monta	años	1,82	0,23	1,1	3,0
Hembras-Ganancia de Peso	kg día ⁻¹	0,442	0,05	0,277	0,616
Hembras-Edad a Primer Parto	años	2,56	0,23	1,8	3,7
Hembras-Vida Productiva	años	5,4	1,54	2,9	8,4
Hembras-Vida Util	años	8,0	1,55	5,1	11,3
Crías Nacidas	n año ⁻¹	207,4	14,79	156,3	259,6
Terneros (as) destetados	n año ⁻¹	192,7	14,17	144,6	245,0
Tasa de destete	%	68,8	5,06	51,7	87,5
kgs terneros × vaca expuesta	kg año ⁻¹	144,5	10,62	108,5	183,8
kgs terneros destete total	kg año ⁻¹	40457,5	2975	30374,6	51458,4
kgs ternera destete a venta	kg año ⁻¹	11878,6	2200	5001,2	18218,2
Novillos a sacrificio	n año ⁻¹	94,4	6,9	70,9	120,1
kgs novillos a sacrificio	kg/año	42477,2	3620	30956,9	57248,7
Novillas a Sacrificio	n año ⁻¹	3,7	0,7	2,5	5,5
kgs novillas a venta	kg año ⁻¹	1171,4	238	788,8	1748,6
kgs Vacas a Desecho	kg año ⁻¹	8699,9	1794	5469,1	13580,6
Tasa de reemplazo	%	13,1	2,66	8,9	19,7

Hembras requeridas a 1er parto	n año ⁻¹	36,6	7,45	24,8	55,1
Machos Ganancia Peso a Sacrificio	kg día ⁻¹	0,595	0,07	0,376	0,837
Edad a Sacrificio Novillos	años	1,96	0,25	1,28	3,21
Ingreso por venta carne	US\$ año ⁻¹	85652,9	6985	64222,4	111469,5
Costos	US\$ año ⁻¹	80209,2	6180	58285,1	102388,9
Utilidad	US\$ año ⁻¹	5443,7	8504	-24540,7	35976,1

La producción esperada de Kg de ternero destetado por vaca expuesta a toro es de $144,5 \pm 10,6$ Kg año⁻¹. Davis et al (1994) reportaron estimados similares, en el rango de 152 a 165 kg de ternero destetado por ciclo de producción por vaca expuesta en cruces de Simmental×Hereford. Asimismo, la tasa de destete reportada en dicho estudio (68,2%) fue también similar al 68,6% determinado en nuestro estudio. Por el contrario, Julien y Tess (2002) reportaron un estimado de 204 kg, producto principalmente de una tasa de preñez mucho mayor (96%) al obtenido en el presente estudio.

El modelo estima una salida anual promedio de $94,4 \pm 6,9$ novillos a sacrificio con una edad de $1,96 \pm 0,25$ años. La edad de sacrificio predicha por el modelo es muy similar al promedio real observado en el hato, lo que confirma la eficiencia en el ajuste de la curva de crecimiento. El peso maduro predicho por el modelo de Richards para los machos (767,6 kg) es mayor al promedio de pesos observado en los machos adultos del hato (700 kg). Sin embargo, los datos disponibles a edad adulta fueron limitados. El ajuste de la curva en el rango de edades (0 a 1800 días) y pesos (31 a 700 kg) disponibles en el hato base fue adecuado.

Cabe agregar que se evaluó el ajuste de otros 3 modelos clásicos de crecimiento (Brody, Gompertz y Logístico) pero su ajuste no fue mejor que el de Richards con los datos disponibles. En algunos casos los estimados de peso al nacimiento o de peso a edad adulta fueron muy altos o muy bajos, e incluso en el modelo Logístico no se logró convergencia. Por el contrario, para el periodo de vida entre el nacimiento y la salida a sacrificio, el modelo Richards sí logró un ajuste satisfactorio en comparación con los promedios reales observados en el hato para animales de ambos sexos. Es importante notar que el modelo Richards es una generalización de varios modelos clásicos de crecimiento tales como Brody, Gompertz, Bertalanffy, Logístico siendo más flexible que éstos ya que no asume un punto de inflexión fijo. En nuestro estudio, el valor ajustado del parámetro m se ubicó entre 0 y 1, lo que implica ausencia de punto inflexión posnatal (Nadarajah et al 1984). Posiblemente esa sea la razón por la que se logra un mejor ajuste con Richards.

El modelo estima una tasa de reemplazo de $13,1 \pm 2,7\%$. En el modelo la tasa de reemplazo se calcula con base en la vida útil (Tabla 2), la cual a su vez depende del número de partos, la edad a primer parto y el periodo abierto. De esta manera una reducción en la edad a primer parto o en la longitud del periodo abierto aumenta la vida útil y causa una reducción en las tasas de reemplazo. La tasa de reemplazo a su vez define el número de hembras de reemplazo necesarias para mantener el tamaño constante de 280 vacas de cría. En la situación base el modelo estima que se requieren un total de $36,6 \pm 7,45$ hembras de reemplazo. Las hembras en exceso se asumen vendidas en su mayoría a edad de destete, según la práctica común del hato, aunque algunas (10%) son retenidas para ser seleccionadas hasta la edad de primera monta.

En general el rendimiento de este hato es representativo de sistemas de producción de carne del trópico húmedo basados en pastoreo. En estos sistemas las tasas de preñez son por lo general menores al 80%, lo que a su vez implica tasas de destete inferiores al 70%. Por el contrario, sistemas más intensivos en climas templados reportan tasas de preñez hasta del 95% (Julien y Tess 2002) y tasas de destete generalmente mayores al 80% (Long 1980), lo que permite tasas de reemplazo mucho más altas, de hasta un 20%.

En cuanto a los parámetros económicos se puede observar que el modelo estima un ingreso promedio anual por venta de carne de US\$ $85652,9 \pm 6985$ y una utilidad neta anual de US\$ $5443,7 \pm 8504$. De los ingresos por venta de carne aproximadamente el 76,4% corresponde a venta de novillos de engorde, el 13,3% a terneras de destete (y novillas en exceso) y el 10,3% a venta de vacas de desecho. Dentro de los costos el 69,4% corresponden al mantenimiento del hato de cría, el 15,6% a desarrollo y engorde y el 15,0% restante a costos de administración. Algunos de estos costos no son tangibles para la unidad de producción bajo estudio (p.e administración, alquiler por ha de pastoreo), sin embargo fueron considerados con el fin de obtener un estimado más preciso de las utilidades netas de un sistema de este tipo.

Aunque el modelo no pudo ser validado de manera rigurosa los principales parámetros de salida calculados por el modelo (p.e, edades a primera monta, edades a sacrificio, número de novillos a sacrificio, kgs de novillo a sacrificio, tasas de reemplazo, ingresos económicos) se ajustaron a valores reales observados en el hato en años recientes. Debe señalarse sin embargo que el sistema real no es completamente estático en cuanto a tamaño del hato, además de que existen variables de manejo adicionales que son difíciles de considerar en el modelo, o que no fueron de interés para la presente investigación, tales como reducción o aumento de áreas disponibles de pastoreo, así como ingresos o salidas no planificadas de animales. Este tipo de factores hacen difícil una validación rigurosa del modelo construido en este estudio.

Análisis de correlaciones

Como se observa en la tabla 3, la variable *KTVE* presentó un rango de variación de 75,3 kg (108,5-183,8) mientras que para la variable *UN* fue de US\$ 60516,8 (-24540,0 hasta +35976,1).

En la figura 1 se observa que la única variable de entrada que presentó una correlación positiva estadísticamente significativa ($P < 0,05$) con *KTVE* fue la tasa de preñez, con un valor de 0,80.

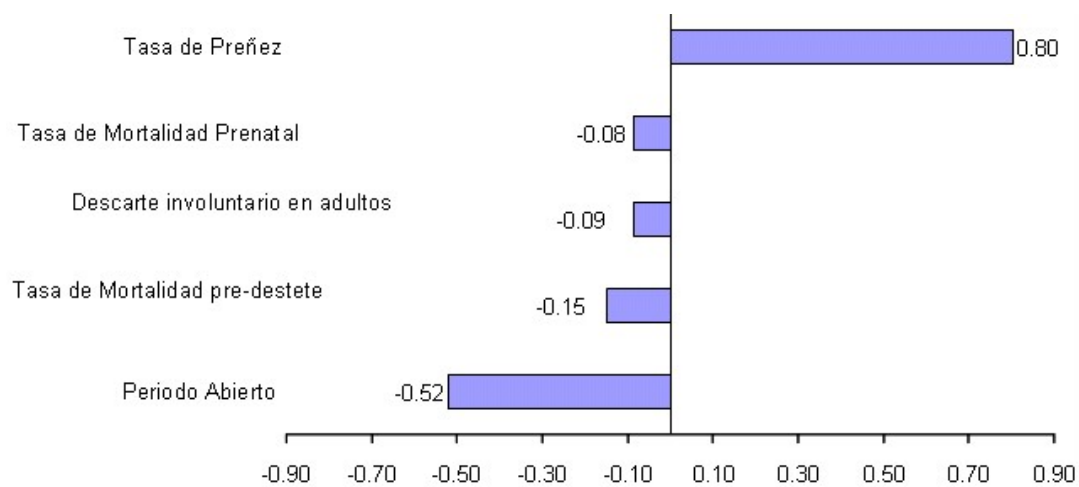


Figura 1. Estimados de correlación entre parámetros de eficiencia biológica y variable de salida *kgs de ternero destetado por vaca expuesta a toro (KTVE)*

Es evidente que esta correlación positiva se debe a que la tasa reproductiva ejerce un efecto directo sobre la disponibilidad y flujo de animales en el sistema. Por el contrario, varias variables presentaron correlaciones negativas significativas ($P < 0,05$), entre las cuales la más importante fue el periodo abierto (-0,52), seguida por la tasa de mortalidad predestete (-0,15), el descarte involuntario en adultos (-0,09) y la mortalidad prenatal (-0,08). Debido a que *KTVE* está expresado por año calendario periodos abiertos más largos redundan en menor producción anual de terneros. De la misma manera, los aumentos en mortalidad afectan negativamente la disponibilidad de animales de sacrificio en distintas etapas de crecimiento, aunque su impacto es menor en magnitud.

En la figura 2 se observa el resultado del análisis de correlaciones para la variable de salida utilidad neta anual (en US\$). Como se aprecia, hay más variables correlacionadas significativamente ($P < 0,05$) con la utilidad en comparación con *KTVE*, debido a que existen parámetros de rendimiento y parámetros económicos adicionales (p.e precio de la carne) que también tienen un impacto considerable sobre la utilidad.

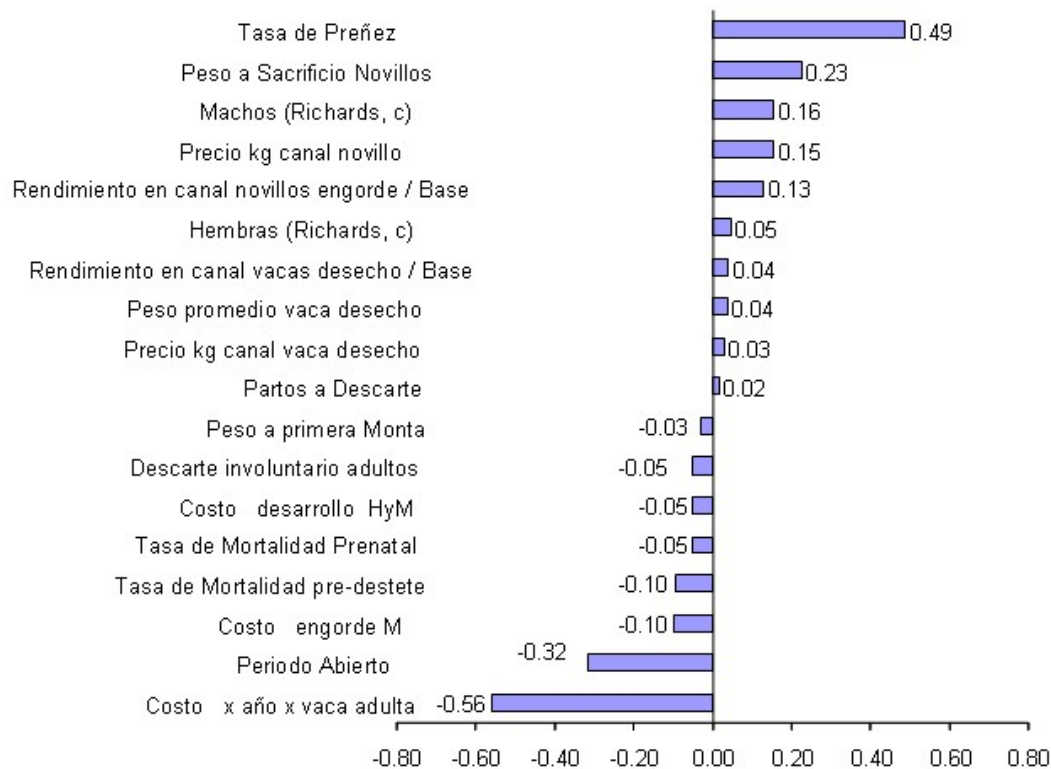


Figura 2. Estimados de correlación entre parámetros de eficiencia biológica y la variable de salida *utilidad neta anual*

La variable con mayor correlación positiva fue la tasa de preñez (0,49), seguida por el peso a sacrificio (0,23), el crecimiento en machos (0,16), el precio de la carne de novillo (0,15) y el rendimiento en canal (0,13). Nuevamente, la mayor relevancia de la tasa de preñez es debida a su gran efecto sobre el flujo de animales en el sistema. Se observa además la gran importancia de los parámetros relacionados con el rendimiento de los machos, debido a que estos representan la mayor parte de los ingresos por venta de carne en este sistema.

También se observa como el precio de la carne en canal de novillo tiene un efecto importante. Esto refleja la importancia relativa de variables exógenas al sistema de producción, las cuales tienen también un efecto determinante sobre las utilidades del sistema. Con base en los resultados del modelo es posible calcular un *precio de equilibrio*, es decir, el precio límite que produciría una utilidad neta igual a cero. Para la situación base, fijando todos los demás parámetros en su valor promedio, el precio de equilibrio sería de US\$2,39, en comparación con el precio base de US\$2,55. Considerando la inestabilidad del mercado de la carne, esto denota un margen de utilidad neta muy estrecho para este sistema de producción.

Otras variables con correlaciones positivas pero cercanas a cero fueron crecimiento en hembras (0,05), rendimiento en canal de vacas de desecho (0,04), el peso de la vaca de desecho (0,04), el precio de carne para vaca de desecho (0,03) y el número de partos a descarte (0,02). Estas variables se relacionan principalmente con parámetros de rendimiento en producción cárnica de las hembras, por lo que su efecto es menor, aunque positivo.

La velocidad de crecimiento (determinada por parámetro *c*, función Richards) también mostró una correlación significativa con la utilidad. Esto se debe a que al reducirse la edad a sacrificio se reduce también la duración de los periodos de desarrollo y engorde, lo cual redundaría en una disminución (pequeña) de los costos anuales por concepto de crianza.

A diferencia de las anteriores, las variables que se correlacionaron negativamente con la utilidad fueron, en orden de importancia, el costo por vaca adulta (-0,56) y el periodo abierto (-0,32), seguidas por el costo del engorde de machos (-0,10), la tasa de mortalidad pre-destete (-0,10) y con menor importancia la tasa de mortalidad prenatal (-0,05), el costo de la etapa de desarrollo (-0,05), el descarte involuntario de adultos (-0,05) y el peso a primera monta (-0,03).

Como se observa, el costo de mantenimiento de las hembras adultas ($\text{US\$}203,1 \text{ UA}^{-1} \text{ año}^{-1}$) es el factor de mayor importancia relativa en la determinación de la utilidad, ya que representa un 69,4% de los costos. Aunque el sistema de producción que se analiza es extensivo, el componente principal de este costo lo constituye la mano de obra requerida para el manejo de ganado y áreas de pastoreo. En el modelo los costos de mantenimiento de potreros se expresan por unidad animal asumiendo una carga animal fija de $2,5 \text{ UA ha}^{-1}$.

Nuevamente el efecto negativo de los días abiertos es debido a que la utilidad se expresa en términos anuales por lo que ciclos de producción más largos reducen los rendimientos anuales. De la misma manera, el incremento en mortalidad también afecta la disponibilidad de animales, aunque su efecto es menor.

Valores económicos de rasgos productivos

En un proceso de simulación la magnitud de las correlaciones y su significancia estadística no son criterios suficientes para determinar el verdadero impacto de cada variable de entrada porque el número de muestras o corridas del modelo puede ser aumentado a discreción del usuario causando que algunas correlaciones, aunque bajas, sean estadísticamente distintas de 0 ($P < 0.05$). Por esta razón en el presente estudio se calcularon además los valores económicos y sus respectivos R^2 , los cuales en este caso representan mejor el impacto relativo de cada variable de entrada sobre los 2 parámetros de interés (kTVE y UN).

En este estudio se estimaron los valores económicos a nivel de empresa, para los rasgos productivos de mayor impacto (Tabla 4). Como se observa, las variables con valores económicos positivos son tasa de preñez, peso a sacrificio, rendimiento en canal (machos), ganancia de peso (en machos y hembras) y número de partos a descarte.

Tabla 4. Valores económicos^a para parámetros de eficiencia biológica

Variable	Escala	Valor Económico (ΔUS\$) ^a	E.E v.E	R ²
Tasa de Preñez	%	867,8	21,9	0,239
Peso a Sacrificio	kg	101,8	5,73	0,059
Rendimiento en Canal Machos	%	1124,8	117,1	0,018
Ganancia de Peso (machos)	g día ⁻¹	6,70	1,74	0,003
Ganancia de Peso (hembras)	g día ⁻¹	5,14	2,22	0,001
Partos a descarte	n	110,9	83,5	0,000
Periodo Abierto	Días	-181,2	7,45	0,106
Tasa de mortalidad predeste	%	-1381,4	116,5	0,027
Descarte involuntario adultos	%	-2613,5	233,5	0,024
Edad de Primera Monta (hembras)	meses	-112,1	42,4	0,002

^a Fluctuación en la *utilidad neta anual* de la empresa (US\$ año⁻¹) por cada unidad de incremento en la variable respectiva

En el sistema de producción bajo estudio, un incremento de 1% en la tasa de preñez representaría un aumento de aproximadamente US\$868±21,9 en la utilidad neta anual de la unidad de producción.

De la misma manera, el valor económico positivo del peso a sacrificio significaría que mayores pesos a sacrificio producirían mayores ganancias anuales. Este resultado es de particular interés y se debe a que la edad de sacrificio no es una limitante en este sistema de producción, ya que el costo de oportunidad asumido por alquiler de una hectárea de pastoreo es relativamente bajo. Cabe señalar sin embargo que el modelo no considera posibles disminuciones en el rendimiento en canal a mayores edades de sacrificio, ni posibles restricciones de área de pastoreo al aumentar la carga animal.

El rendimiento en canal presenta el valor económico positivo más alto (1124±1124,8), pero con un R^2 bajo. Esto se debe principalmente a que la desviación estándar asumida para este rasgo es relativamente baja (60,4±1.0%). Aunque no se contó con datos locales de variabilidad de rendimiento en canal, estudios previos reportan desviaciones estándares cercanas al 1% (Velásquez y Alvarez 2004), que fue la que se utilizó en el presente estudio.

También se observan valores económicos positivos de US\$6,7±1,74 y US\$5,1±2,22 por cada aumento de 1 g en la ganancia de peso promedio de machos y hembras, respectivamente. En este caso, este valor económico estaría relacionado con la disminución en los costos por reducción en la longitud del periodo de engorde. Sin embargo, el R^2 respectivo es nuevamente muy bajo, lo que indica que no es un factor determinante en este sistema.

Finalmente, el valor económico positivo para el número de partos parecería favorecer el descarte a edades más avanzadas. En este caso, el efecto positivo se debe a que un mayor número de partos implicaría una mayor vida útil y una reducción en la tasa de reemplazo (variable TR, tabla 2). Menores tasas de reemplazo implican menor requerimiento de novillas de reemplazo y por consiguiente una mayor disponibilidad de hembras en exceso para venta. El efecto sin embargo es pequeño, lo que se denota en el bajo R^2 . Debe señalarse además que el modelo no considera posibles disminuciones en rendimiento reproductivo de hembras con mayor número de partos, lo que podría tener un impacto importante en el sentido y magnitud del valor económico estimado para este rasgo.

En contraposición a los resultados anteriores, las variables de periodo abierto, tasa de mortalidad predestete, tasa de descarte involuntario en adultos y edad de primera monta presentaron valores económicos negativos. Un incremento de 1 día en el promedio de días abiertos representaría una disminución aproximada de US\$181,2±7,45 en las utilidades anuales, presentando esta variable un R^2 de 10.6%. Asimismo, se estima que incrementos de 1% en la mortalidad predestete o en el descarte involuntario de adultos representarían disminuciones considerables de hasta US\$1381,4±116,5 y US\$2613,5±133,5 en las utilidades, respectivamente. Sin embargo, estas 2 variables presentan R^2 menores al 3%. En los tres casos, estas variables se relacionan claramente con la disponibilidad de animales para sacrificio.

Asimismo, el modelo estima también una disminución de US\$112,1±42,4 por cada aumento de 1 mes en la edad a primera monta de las hembras. Esta relación negativa se debe básicamente al incremento en costos asociado con la crianza de reemplazos, sin embargo el error estándar para este estimado es alto y el R^2 muy bajo por lo que el impacto de esta variable sobre la utilidad es menor bajo las circunstancias analizadas.

Pocos estudios han reportado valores económicos para rasgos productivos en sistemas ganaderos de carne bajo condiciones tropicales. Rewe et al (2006) realizaron un estudio similar en ganado de raza Boran bajo condiciones de pastoreo en una región semiárida de Kenya. Dicho estudio también reportó valores económicos altos y positivos para rendimiento en canal, tasa de destete, porcentaje de carne consumible y tasa de sobrevivencia en vacas adultas; así como valores económicos intermedios para tasa de sobrevivencia posdestete, peso de vaca adulta y peso de venta de novillos. Estos resultados mayormente concuerdan con los obtenidos en el presente estudio.

Koots y Gibson (1998) también reportan valores económicos para sistemas de producción de carne con razas puras. Sus resultados indican que los rasgos con mayor valor económico son el rendimiento en canal, tasa de sobrevivencia en terneros y fertilidad; en congruencia con lo observado en el presente estudio. Forabosco et al (2005) reportan un valor económico alto para fertilidad (expresado como número de terneros nacidos vivos) y un valor medio para longitud de vida productiva; así como un valor económico negativo para edad a primera inseminación, lo que también concuerda con los resultados del presente estudio.

Conclusiones

- El modelo construido permite cuantificar de manera bastante precisa el posible impacto (aislado y agregado) de distintas variables endógenas y exógenas, sobre la eficiencia bioeconómica de un sistema de producción bovino de cría y engorde bajo condiciones de pastoreo.
- De acuerdo con el modelo la tasa de preñez es la variable biológica que presenta mayor impacto sobre la producción anual de kgs de ternero destetado por vaca expuesta y sobre la utilidad neta de la empresa. En segundo plano, el periodo abierto y el peso a sacrificio. Otras variables con efecto significativo son la tasa de mortalidad predestete y descarte en adultos. De estos resultados se infiere por lo tanto que las variables reproductivas son las más determinantes en la rentabilidad de un hato ganadero de cría y engorde. Cabe señalar que la tasa de preñez y el periodo abierto observados en el hato (variables de entrada en este modelo) son en realidad producto tanto de la eficiencia de las vacas como de los sementales.
- Se observó además que el margen de utilidad en este tipo de sistema es altamente sensible al precio de venta de la carne de novillo, al grado de que bajo condiciones de eficiencia promedio, una reducción de 10% en este precio implicaría márgenes de utilidad negativos.
- Debido a que el modelo se maneja enteramente en ambiente de hoja electrónica su operación es sumamente sencilla, lo que permite explorar rápidamente el efecto de modificaciones en las distintas variables de entrada y realizar análisis bajo distintos tipos de escenarios (biológicos y económicos).

Bibliografía

- Davis K C, Tess M W, Kress D D, Doornbos D E and Anderson D C 1994** Life Cycle Evaluation of Five Biological Types of Beef Cattle in a Cow-Calf Range Production System: II. Biological and Economic Performance; Journal of Animal Science 72:2591-2598 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/72/10/2591>
- Forabosco F, Bozzi R, Boetcher P, Filippini F, Bijma P and Van Arendonk J A M 2005** Relationships between profitability and type traits and derivation of economic values for reproduction and survival traits in Chianina beef cows; Journal of Animal Science 83:2043-2051 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/83/9/2043>
- Groen A F 1989a** Economic values in cattle breeding. I. Influence of production circumstances in situations without output limitations; Livestock Production Science 22:1-16
- Groen A F 1989b** Economic values in cattle breeding. II. Influence of production circumstances in situations with output limitations; Livestock Production Science 22:17-30
- Julien D J and Tess M W 2002** Effects of breeding date, weaning date, and grazing season length on profitability of cow-calf production systems in southeastern Montana; Journal of Animal Science 80:1462-1469 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/80/6/1462>
- Koenen E P C, Berentsen P B M and Groen A F 2000** Economic values of live weight and feed-intake capacity of dairy cattle under Dutch production circumstances; Livestock Production Science 65:235-250

- Konandreas P A and Anderson F M 1982** Cattle herd dynamics: An integer and stochastic model for evaluating production alternatives. International Livestock Centre for Africa Addis Ababa, Ethiopia. ILCA Research Report No. 2
- Koots K R and Gibson J P 1998** Economic values for beef production traits from a herd level bioeconomic model; Canadian Journal of Animal Science 78:29-46 <http://cgi1.uoguelph.ca/pub/abstracts/KootsGibson.pdf>
- León Velarde C and Quiroz R 2001** Modeling cattle production systems: integrating components and their interactions in the development of simulation models. *In*: Proceedings of the Third International Symposium on Systems Approaches for Agricultural Development. International Potato Center (CIP), Lima Perú. p. 18
- Long C R 1980** Crossbreeding for beef production: experimental results; Journal of Animal Science 51:1197-1223 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/51/5/1197.pdf>
- Microsoft Corporation 2003.** Microsoft® Office Excel..
- Naazie A, Makarechian M and Hudson R J 1999** Evaluation of life-cycle herd efficiency in cow-calf systems of beef production; Journal of Animal Science 77:1-11 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/77/1/1.pdf>
- Nadarajah K, Marlowe T J and Notter D R 1984** Growth patterns of Angus, Charolais x Angus and Hosltein x Angus cows from birth to maturity; Journal of Animal Science 59:957-966 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/59/4/957.pdf>
- Palisade Corporation 2002** Advanced risk analysis for spreadsheets @RISK. Version 4.5. Palisade Corporation. Newfield, NY, USA.
- Plazier J C B, King G J, Dekkers J C M and Lissemore K 1997** Estimation of economic values of indices for reproductive performance in dairy herds using computer simulation. Journal of Dairy Science 80:2775:2783 <http://jds.fass.org/cgi/reprint/80/11/2775>
- Pereda-Solis M, González S, Arjona E, Bueno G y Mendoza G 2005** Ajuste de modelos de crecimiento y cálculo de requerimientos nutricionales para novillos Brahman en Tamaulipas, México; Agrociencia 39(1):19-27 <http://www.colpos.mx/agrociencia/Bimestral/2005/ene-feb/art-3.pdf>
- Quiroz R, Arce B, Cañas R and Aguilar C 1994** Development and use of simulation models in animal production systems research. *In*: Animal production system research; methodological and analytical guidelines. IDRC/IICA-RISPAL; San José, C.R. pp.103-149
- Rewe T O, Indetie D, Ojango J M K and Kahi A K 2006** Economic values for production and functional traits and assessment of their influence on genetic improvement in the Boran cattle in Kenya; Journal of Animal Breeding and Genetics 123:23-36
- Richards F J 1959** A flexible growth function for empirical use. Journal of Experimental Botany 10:290-300
- SAS (SAS Institute Inc. US) 1990** SAS International guide for personal computers. Version 6.0. p
- Solano C y Vargas B 1997** Crecimiento corporal de novillas de reemplazo en fincas lecheras de Costa Rica. 1. Tipificación de curvas de crecimiento en novillas Holstein y Jersey; Archivos Latinoamericanos de Producción Animal 5(1):21-36
- Tess M W and Kolstad B W 2000a** Simulation of cow-calf production systems in a range environment: I. Model development; Journal of Animal Science 78:1159-1169 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/78/5/1159>
- Tess M W and Kolstad B W 2000b** Simulation of cow-calf production systems in a range environment: II. Model evaluation; Journal of Animal Science 78:1170-1180 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/78/5/1170.pdf>
- Van Arendonk J A M 1985** A model to estimate the performance, revenues and costs of dairy cows under different production and price situations; Agricultural Systems 16:157-189
- Vargas B, Groen A F, Herrero M and Van Arendonk J A M 2002** Economic values for production and functional traits in Holstein cattle of Costa Rica. Livestock Production Science 75:101-116
- Vargas B, Koops W J, Herrero M and Van Arendonk J A M 1999** Modeling extended lactations of dairy cows. Journal of Dairy Science 83:1371-1380 <http://jds.fass.org/cgi/reprint/83/6/1371.pdf>
- Velásquez J C y Alvarez L A 2004** Relación de medidas bovinométricas y de composición corporal *in vivo* con el peso de la canal en novillos Brahman en el valle del Sinú. Acta Agronómica 53(3) http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/viewFile/100/216
- Werth L A, Azzam S M, Nielsen M K and Kinder J E 1991** Use of a simulation model to evaluate the influence of reproductive performance and management decisions on net income in beef production; Journal of Animal Science 69:4710-4721 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/69/12/4710>

Received 6 December 2008; Accepted 22 January 2009; Published 1 May 2009

[Go to top](#)