

Análisis de sensibilidad del modelo NRC 1996 para bovinos de carne en pastoreo con suplemento

G.C. Ortega¹, O. Hernández^{1A}, L. Vargas¹, G. D. Mendoza², P.A. Martínez³ y L. Avendaño⁴

¹Programa de Ganadería. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Carr. México-Texcoco. 56230. Montecillo, Estado de México. México.

^ACorreo electrónico: ohmendo@colpos.mx, ohmendo@yahoo.co.uk

²Departamento de Producción Agrícola y Animal, UAM-Xochimilco. Calzada del Hueso 1100. Col. Villa Quietud Coyoacán. 04960. Ciudad de México. México.

³ Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Estado de México. México.

⁴ Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, Baja California. México.

El Consejo Nacional de Investigación (NRC) publicó en 1996 la séptima edición de los Requerimientos Nutricionales de Bovinos para Carne (NRC 1996), el que incluye un software para evaluar dietas. Sin embargo, se desconoce la sensibilidad de las salidas del programa al cambio de valor de sus entradas. Lo anterior es importante durante la evaluación del comportamiento del programa ante nuevos escenarios. Para evaluar lo anterior, se realizó un análisis de sensibilidad mediante el procedimiento Uno a la vez y Multi-pasos. Los resultados mostraron inconsistencias entre los valores de sensibilidad de los niveles uno y dos del programa. Las entradas que tuvieron mayor respuesta al cambio en la predicción de la ganancia diaria de peso en el nivel uno, comparado con el nivel dos, fueron: consumo de pasto, consumo de caña enriquecida, consumo de suplemento, peso vivo inicial, peso maduro y raza animal. Las entradas que no presentaron cambios para ambos niveles fueron: edad del animal, estrés calórico, velocidad del viento, tipo de noche, grosor del cuero, largo de pelo, tamaño de unidad de pastoreo, días en pastoreo y número de animales en pastoreo. Es necesario realizar evaluaciones con datos reales para conocer el comportamiento del programa ante situaciones que se presentan frecuentemente en la producción comercial.

Palabras clave: programa computacional NRC, sensibilidad de entradas, *Bos taurus*, condiciones tropicales mexicanas.

El desarrollo de modelos de simulación implica la construcción de un sistema de ecuaciones matemáticas que representa un sistema real y del que pueden obtenerse resultados, con la finalidad de la predicción. Por lo tanto, es necesario su evaluación, que consiste en medir y analizar su comportamiento en cuanto a la linealidad, sensibilidad, precisión y exactitud (Bendicho *et al.* 2001).

El modelo NRC 1996 es uno de los diferentes programas usados para calcular los requerimientos nutricionales del animal y evaluar una dieta. El programa está constituido por dos niveles (N): N1, basado en ecuaciones de predicción de consumo de materia seca (CMS), partición de la energía neta de mantenimiento y de ganancia de peso; y N2, que adopta ecuaciones del Sistema de Carbohidratos y Proteína de Cornell (CNCPS) (NRC 2000). El CNCPS es un modelo matemático que estima la adición de nutrientes y los requerimientos para ganado de carne, basado en factores como el ambiente, composición del alimento, características del animal y otros (Fox *et al.* 2004). Sin embargo, se desconoce si dicho modelo es el más adecuado para obtener predicciones pertinentes para las condiciones del trópico mexicano. Por lo tanto, se requiere una evaluación detallada que integre aspectos básicos y de aplicación, como es el análisis de sensibilidad.

La utilidad del análisis de sensibilidad en el modelo es de suma importancia ya que indica el cómo las entradas (información introducida al programa de NRC para obtener resultados) afectan los resultados del modelo

(Hamby 1994, Chan *et al.* 1997 y Verdoodt *et al.* 2004). El análisis de sensibilidad se usa para obtener coeficientes que describen los cambios en el sistema de salidas debido a variaciones en los parámetros que afectan la dinámica del sistema. Un valor grande de sensibilidad sugiere que el comportamiento del sistema puede cambiar drásticamente con pequeñas variaciones en el parámetro y viceversa (Gunawan *et al.* 2005). El procedimiento para el diseño de un modelo comprende el desarrollo, su calibración y corroboración (Saltelli *et al.* 2000). El objetivo de este estudio fue conocer el comportamiento del modelo NRC (1996) a través del análisis de sensibilidad para cada uno de los dos niveles del programa y evaluar la magnitud del efecto del cambio de valor de las entradas en la predicción de ganancia diaria de peso (GDP) y consumo de materia seca (CMS).

Materiales y Métodos

Para realizar el análisis de sensibilidad se utilizó el Programa de NRC (1996) de requerimientos nutricionales para ganado bovino, con la técnica Uno a la vez (Hamby 1994). Se crearon rangos de valores para cada una de las entradas del Programa con datos biológicamente factibles, a los cuales, a su vez, se les asignó un valor específico. Este valor representa un dato que es común de las zonas tropicales, con la finalidad de trabajar con características de la región cálida de México (tablas 1, 2 y 3). Estos últimos fueron aquellos considerados bajo condición, espacio y tiempo específico.

Tabla 1. Rangos y valores asignados a las entradas de consumo y descripción animal del programa NRC (1996)

Entrada	Rango	Valor asignado
Consumo de pasto	3-14 kg/d	7.0
Consumo de suplemento	0-6 kg/d	1.0
Consumo de caña de azúcar enriquecida	0-6 kg/d	3.5
Edad	12-22 meses	16.0
Peso vivo inicial	180 a 500 kg	270.0
Condición corporal	1-9 1=extremadamente flaco, 9=muy gordo	5.0
Peso maduro	500-1200 kg	530.0
Sistema de cruzamiento	1-3 tipos de cruzamientos	2.0
Raza del animal	28 opciones de razas	Brahman

Tabla 2. Rangos y valores asignados a las entradas de manejo animal del programa NRC (1996)

Entrada	Rango	Valor asignado
Uso de aditivos	1) Sin aditivo 2) Con ionóforo 3) Con implante 4) Implante + ionóforo	1.0
Tamaño de unidad de pastoreo	1-10 animales/ha	1.0
Masa inicial de forraje	1800-3000 kg MS/ha	2000.0
Días en pastoreo	1-21 d	5.0
Número de animales	1-41 animales	20.0
Topografía	1-2; considerando 1= terrenos planos y 2= terrenos con pendiente	1.5

Tabla 3. Rangos y valores asignados a las entradas de ambiente del programa NRC (1996)

Entrada	Rango	Valor asignado
Velocidad del viento	0-50 km/h	10.0
Temperatura	13-43 C	25.0
Noche fría	1) No 2) Si	1.0
Largo de pelo	0.2-1.2 cm	0.2
Grosor de piel	1) Delgada 2) Medio 3) Gruesa	1.0
Cobertura de piel	a) Seca y limpia b) Poco lodo en parte baja c) Mojada	2.0
Estrés calórico	a) Sin agitarse b) Agitado c) Agitado con boca abierta	3.0

Una vez seleccionados los valores asignados a cada una de las entradas, éstos se utilizaron para correr el programa NRC con la finalidad de obtener la predicción respectiva de los asignados a cada una de las entradas. Se tomó individualmente cada entrada y se introdujo cada valor del rango descrito, y se corrió el programa para

obtener la predicción respectiva. El procedimiento fue como sigue:

Al valor más alto (a) del rango de entrada se le restó el valor más bajo (b) de la misma entrada, y el resultado se dividió entre el número de salida (c). Se obtuvo un valor (d), el que se sumó al valor inferior del rango, y se

obtuvo así el segundo valor de entrada del rango en análisis. Ejemplo: $14''a \gg -3''b \gg 11/10''c \gg 1.1''d \gg, 3''b \gg +1.1''c \gg 4.1''e1''$ (4.1 en este caso, tabla 4). Este procedimiento se repitió para cada valor del rango hasta llegar al valor superior del mismo, lo que constituyó el rango de entrada (e). Posteriormente, con cada valor de este rango, se obtuvo una salida del programa NRC (f), y una diferencia (g) entre las salidas. Dicha diferencia se obtuvo al sustraer el valor de la hilera 2 menos el valor de la hilera 1 (tabla 4), el valor de la hilera 3 menos el valor de la hilera 2, y así sucesivamente. Finalmente, el valor de sensibilidad de cada entrada (h) se obtuvo al multiplicar el valor de (g) por 10; mientras que el valor de sensibilidad final promedio de las entradas (i) se obtuvo al promediar los valores de sensibilidad individuales de los rangos de entrada. En el ejemplo (tabla 4), se presenta la entrada Consumo de Forraje para la predicción de GDP con el N1 del modelo NRC como ejemplo.

Los cálculos de la sensibilidad se hicieron en una hoja de cálculo Excel versión 2003 de Windows. Se utilizó el procedimiento Multi-pasos (Walker y Fox-Rushby 2001),

mediante el uso de la técnica dos-pasos, que consistió en la construcción de una matriz 10 x 10, donde la hilera constituyó la entrada consumo de forraje y la columna, la entrada peso maduro. Las entradas se asignaron al modelo y cada entrada de la hilera se combinó con cada entrada de la columna. Se obtuvieron las predicciones de las GDP, y se graficaron, con eje X como entrada peso maduro, eje Y como la predicción GDP, y eje Z como entrada consumo de pasto.

Resultados y Discusión

Sensibilidad de las entradas. Los valores de sensibilidad de las entradas evaluadas se presentan en los tablas 5, 6 y 7, donde se muestra que dichos valores no presentaron consistencia en el nivel uno (N1), con respecto al nivel dos (N2). Por ejemplo, las entradas consumo de forraje, consumo de caña de azúcar enriquecida y consumo de suplemento, peso vivo inicial, peso maduro y raza del animal tuvieron mayor respuesta de cambio en la predicción de la GDP en el N1, con un valor de sensibilidad mayor que 1.0. Estas mismas en-

Tabla 4. Procedimiento para obtener el valor de sensibilidad para ganancia diaria de peso.

	Valor de entrada (e)	Predicción GDP del modelo NRC (f)	Diferencia GDP (g)	Sensibilidad (h)
1	3.0 (b)	0.600		
2	4.1 (e1)	0.820	0.22	2.2
3	5.2 (e2)	1.030	0.21	2.1
4	6.3	1.240	0.21	2.1
5	7.4	1.440	0.20	2.0
6	8.5	1.640	0.20	2.0
7	9.6	1.840	0.20	2.0
8	10.7	2.040	0.20	2.0
9	11.8	2.230	0.19	1.9
10	12.9	2.430	0.20	2.0
11	14.0 (a)	2.620	0.19	1.9
				2.02 (i)

a) Valor más alto; b) valor más bajo; e1) y e2) rango de la entrada; f) salidas para el NRC; g) diferencia entre salidas; h) valor de sensibilidad; i) valor final de sensibilidad.

Tabla 5. Sensibilidad de las entradas consumo y descripción animal

Entrada	Valor de sensibilidad				Incremento [‡]	
	GDP [§] N1 ^Δ	GDP [§] N2 ^Δ	CMS [◊] N1 ^Δ	CMS [◊] N2 ^Δ	N2 ^Δ N1 ^Δ en GDP [§]	N2 ^Δ -N1 ^Δ en CMS [◊]
Consumo de pasto (kg/d)	2.02	0.30	0.00	0.30	6.73	0.00
Consumo de suplemento (kg/d)	1.68	0.14	0.05	0.00	12.00	0.00
Consumo de caña azúcar (kg/d)	1.00	0.72	0.03	0.00	1.38	0.00
Edad (meses)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso vivo inicial (kg)	1.74	0.66	4.98	4.83	2.63	1.03
Condición corporal (escala 1 - 10)	0.31	0.24	0.00	0.00	1.29	0.00
Peso maduro (kg)	1.07	0.44	0.00	0.00	2.43	0.00
Cruzamientos (número)	0.02	0.01	0.00	0.00	2.00	0.00
Raza del animal	1.40	1.02	0.08	1.94	1.37	0.04

[§]GDP=ganancia diaria de peso; [◊]CMS=consumo de materia seca; ^ΔN1 y N2=niveles 1 y 2; [‡] incremento de N1 en relación a N2

tradas tuvieron un valor menor que 1.0 en el N2, excepto para raza del animal que tuvo un valor mayor que 1.0.

Para las entradas condición corporal, masa de forraje inicial, cobertura de piel del animal, cruza, topografía, uso de aditivos y temperatura para la predicción de GDP en N1 y N2, el valor de sensibilidad varió de 0.0 a 1.0 (tabla 5).

El valor de sensibilidad de la entrada temperatura de 0.34 y 0.28 para los N1 y N2, respectivamente, en la salida de GDP, pudo contribuir a la inexactitud de la predicción del modelo NRC (1996). Block *et al.* (2006) reportaron que el modelo NRC (1996) es inexacto en el N1, debido a que la relación entre valores predichos y observados de la GDP fue diferente ($P < 0.001$). El intercepto fue diferente de cero y la pendiente diferente de 1. Los valores de sensibilidad en la predicción de GDP y CMS en ambos niveles, que no presentaron ningún cambio, fueron las entradas: edad del animal, estrés calórico, velocidad del viento, tipo de noche (con o sin frío), grosor del cuero, largo de pelo, tamaño de unidad pastoreo, días en pastoreo y número de animales en pastoreo. Matemáticamente, un valor de cambio de cero significa que dichas entradas no afectan la predicción de GDP ni el CMS del animal; sin embargo, biológicamente esta aseveración puede resultar incorrecta, ya que tales entradas influyen en el comportamiento animal, en este caso, en la GDP y CMS. Por ejemplo, Lardy *et al.* (2004) reportaron que en el modelo de NRC

(1996) la entrada velocidad de viento debe ser limitado a 8 km h^{-1} o menos, ya que valores mayores impactan el balance de energía en los animales (tablas 6 y 7).

Las entradas peso vivo inicial, cobertura de piel del animal y temperatura en la predicción de CMS en N1 y N2 presentaron los mayores cambios en los valores de sensibilidad, con un valor mayor que 1.0.

El N1 del NRC (1996) presentó mayor sensibilidad al cambio de las entradas que en el N2. Sin embargo, no hubo consistencia en la proporción de incremento de dichos valores al pasar del N1 al N2. Por ejemplo, el valor de sensibilidad en la predicción de la GDP para el consumo de suplemento y consumo de pasto fue 12.00 y 6.73 veces mayor en N1 que en N2, respectivamente; mientras que para la entrada consumo de caña de azúcar enriquecida, sólo se incrementó 1.38 veces. En otras entradas el grado de sensibilidad fue similar para ambos niveles, como en la condición corporal, masa de forraje, cobertura de piel del animal, topografía, raza del animal, uso de aditivos y temperatura. Los incrementos en el valor de sensibilidad para la predicción del CMS del N1 y N2 se mantuvieron similares para las entradas peso vivo, cobertura de piel del animal, uso de aditivos y temperatura.

La inconsistencia en los resultados del análisis de sensibilidad de los N1 y N2 pudo deberse a que el N1 se basa en ecuaciones de predicción del CMS, a la partición de la energía neta de mantenimiento (ENm) y la energía neta de ganancia (ENg); mientras que el N2 se basa en el Sistema de Carbohidratos y Proteína de

Tabla 6. Sensibilidad de las entradas de manejo

Entrada	Valor de sensibilidad				Incremento [†]	
	GDP [§] N1 ^Δ	GDP [§] N2 ^Δ	CMS [◊] N1 ^Δ	CMS [◊] N2 ^Δ	N2 ^Δ N1 ^Δ en GDP [§]	N2 ^Δ -N1 ^Δ en CMS [◊]
Uso de aditivos	0.29	0.25	0.45	0.56	1.16	0.80
Tamaño de unidad de pastoreo (ha)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Masa de forraje inicial (kg MS/ha)	0.03	0.02	0.00	0.00	1.50	0.00
Tiempo en pastoreo (d)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Animales en pastoreo (animales/ha)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Topografía	0.10	0.08	0.00	0.00	1.25	0.00

[§]GDP=ganancia diaria de peso; [◊]CMS=consumo de materia seca; ^ΔN1 y N2=niveles 1 y 2; [†]incremento de N1 en relación a N2

Tabla 7. Sensibilidad de las entradas de ambiente

Entrada	Valor de sensibilidad				Incremento [†]	
	GDP [§] N1 ^Δ	GDP [§] N2 ^Δ	CMS [◊] N1 ^Δ	CMS [◊] N2 ^Δ	N2 ^Δ N1 ^Δ en GDP [§]	N2 ^Δ -N1 ^Δ en CMS [◊]
Cobertura de piel del animal	0.04	0.04	1.96	1.82	1.00	1.07
Estrés calórico	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Velocidad del viento (km h^{-1})	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tipo de noche	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Grosor de piel (cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Largo de pelo (cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Temperatura (°C)	0.34	0.28	2.75	2.56	1.21	1.07

[§]GDP=ganancia diaria de peso; [◊]CMS=consumo de materia seca; ^ΔN1 y N2=niveles 1 y 2; [†]incremento de N1 en relación a N2

Cornell (CNCPS), lo que provoca que las ecuaciones para procesar las entradas cambien en cada nivel.

Según NRC (2000), hay una gran variación en el peso maduro animal, GDP, proporción de grasa corporal y composición proteica. La sensibilidad de los cambios en un sistema se pueden analizar mediante modelos de simulación, los que no causan ningún daño a los organismos vivos, comparados con la conducción de experimentos (Johnson et al. 2008).

De acuerdo con el análisis de sensibilidad realizado, hay entradas del modelo NRC (1996) que no afectan la respuesta animal. Sin embargo, biológicamente, la respuesta existe y en algunos casos es altamente significativa, como se discute a continuación.

Efecto animal. Para entender la importancia de las entradas que involucran al animal es necesario conocer la tasa de crecimiento de los bovinos, la que se define, matemáticamente, en términos de peso maduro, sexo, raza, condición corporal, y otros aspectos, como CMS, factores fisiológicos y ambientales (NRC 2000).

La entrada raza animal tuvo un valor de sensibilidad de 1.4 y 1.02 para las predicciones de la GDP en N1 y N2, respectivamente. Similares resultados han reportado diversos estudios, que indican que los requerimientos de energía para mantenimiento de cruzamientos *Bos indicus* x *Bos taurus*, pueden ser menos que para aquellos de razas puras *Bos taurus* (Chizzotti et al. 2007).

La entrada peso maduro tuvo un valor de sensibilidad de 1.07 y 0.44 para las predicciones de la GDP en N1 y N2, respectivamente. Se observó que a medida que se incrementa el peso maduro de los animales, se incrementa la predicción de GDP, por lo que se recomienda utilizar un peso fijo.

Efecto ambiental. La entrada estrés calórico tuvo un valor de sensibilidad de 0.0 para las predicciones de la GDP en ambos niveles, y, según el análisis de sensibilidad, no tuvo efecto en el desarrollo animal. Este resul-

tado fue contrario al observado por Gaughan et al. (2008), quienes reportaron que el ganado sufre de estrés calórico a medida que el índice de calor se aleja de un estado termoneutral a un estado de mucho calor. El ganado puede acumular calor durante el día (la temperatura corporal incrementa) y disiparlo durante la noche. Si la noche es insuficientemente fría, el ganado puede iniciar el siguiente día con calor acumulado y, entonces, reduce el CMS (Gaughan et al. 2008).

Dado el efecto negativo del estrés calórico en los animales en climas cálidos, se han desarrollado estrategias para reducir este efecto. Holt et al. (2004) encontraron que la restricción alimentaria altera los patrones de temperatura corporal diurna y reduce el calor del animal durante los períodos de calor.

Efecto del uso de aditivos. La entrada uso de aditivos tuvo un valor de sensibilidad de 0.29 y 0.25 para predicción GDP en N1 y N2, respectivamente. Este resultado concordó con Guioy et al. (2002), quienes reportaron que el incremento de peso vivo en bovinos a los que se les suministró anabólicos estuvo relacionado con mayor deposición de proteína y reducción de grasa corporal.

Efecto nutricional. Los valores para la predicción de GDP fueron 2.02 y 0.30 en consumo de pasto, 1.68 y 0.14 en consumo de suplemento, y 1.0 y 0.72 en consumo de caña de azúcar enriquecida, para N1 y N2, respectivamente. Un suplemento de proteína para bovinos en pastoreo con forraje de baja calidad (10.3 % PC) causa un mayor aumento en la tasa de GDP que en los animales no suplementados, el que depende básicamente de un adecuado balance de la proteína degradable consumida y los nutrientes digeribles totales (Bodine et al. 2001).

La figura 1 muestra los resultados de la combinación teórica de dos entradas (peso maduro y consumo de forraje), las que se seleccionaron para mostrar el efecto del análisis de sensibilidad. Se observó que los valores

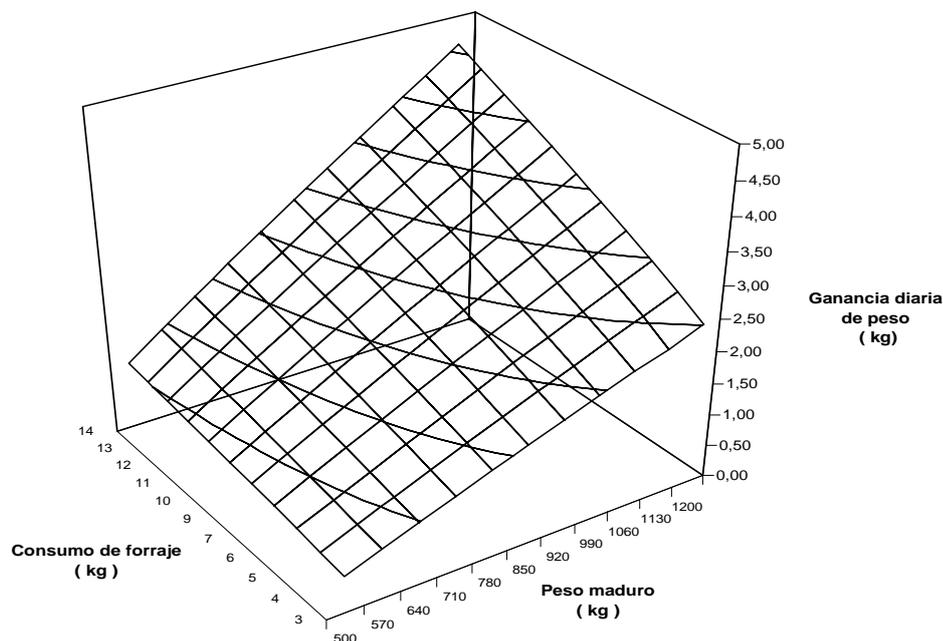


Figura 1. Efecto del análisis de sensibilidad de la combinación de las entradas peso maduro y consumo de forraje en la ganancia diaria de peso.

de los resultados de predicción en la GDP presentaron un desarrollo lineal ascendente, lo que debe tener un límite biológico por lo que se consideró necesaria una zona de predicción no posible y otra factible. Esto se pudo ejemplificar ya que al utilizar un valor de consumo de pasto bajo y un peso maduro bajo, la predicción de GDP fue baja. Pero si se introducen al programa altos valores de entradas, las predicciones de GDP tendrán una respuesta alta. El comportamiento de dichas predicciones se debió a la sensibilidad de las entradas. Se debe considerar que dichas predicciones son salidas teóricas del programa de NRC (1996), y no significa que dicha predicción sea factible. Sin embargo, esta interacción de las entradas es útil ya que indica la tendencia de las predicciones de acuerdo con la combinación de entradas utilizadas.

Las figuras 2 y 3 muestran los resultados de las predicciones de las GDP, según los incrementos de algunas entradas del análisis de sensibilidad que se incluyen en el programa NRC (1996). El aumento de cada una de

las entradas está en función de los valores biológicamente reales. En este análisis, se utilizaron los siguientes datos: consumo de forraje, 3–14 kg; peso vivo inicial, 180–500 kg; edad del animal, 12–22 meses; y temperatura, 13–43°C. Independientemente del incremento de cada entrada, el N1 (figura 2) tuvo una mayor predicción de la GDP, comparado con el N2 (figura 3). Respecto a la comparación de algunas entradas como edad y temperatura (figura 2 y 3), la predicción de GDP mantuvo un patrón descendente a medida que aumentó la entrada peso vivo en ambos niveles (valor de sensibilidad de 1.7 y 0.66 para N1 y N2). Esto sugiere que al aumentar el peso vivo, un animal tiene menor capacidad de GDP y la GDP predicha es menor. La entrada edad en ambos niveles tuvo un valor de sensibilidad de 0.0, lo que significa que sin importar el incremento de la edad la predicción de GDP es la misma en cada nivel. La entrada temperatura tuvo un valor de sensibilidad de 0.34 y 0.28 en N1 y N2, respectivamente. Ambos niveles

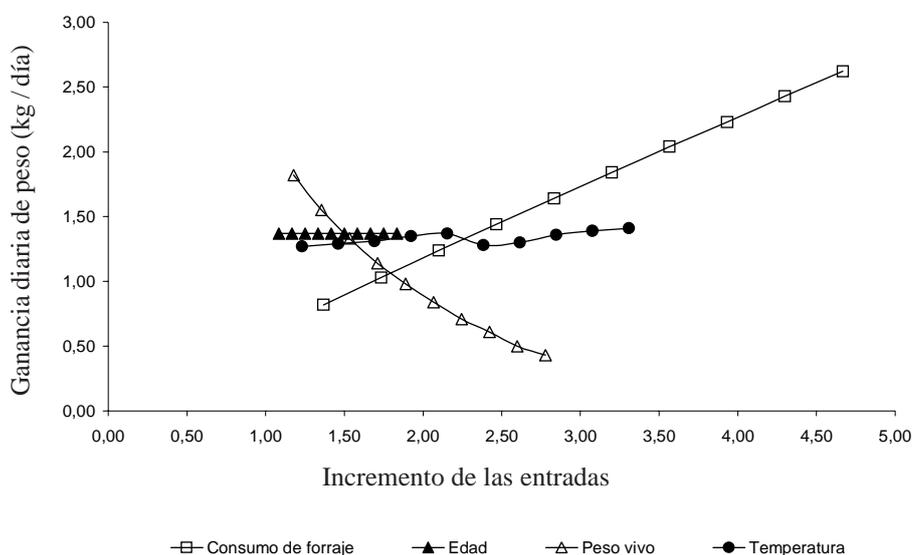


Figura 2. Predicción de la ganancia diaria de peso de acuerdo con los incrementos de las entradas del análisis de sensibilidad en nivel 1

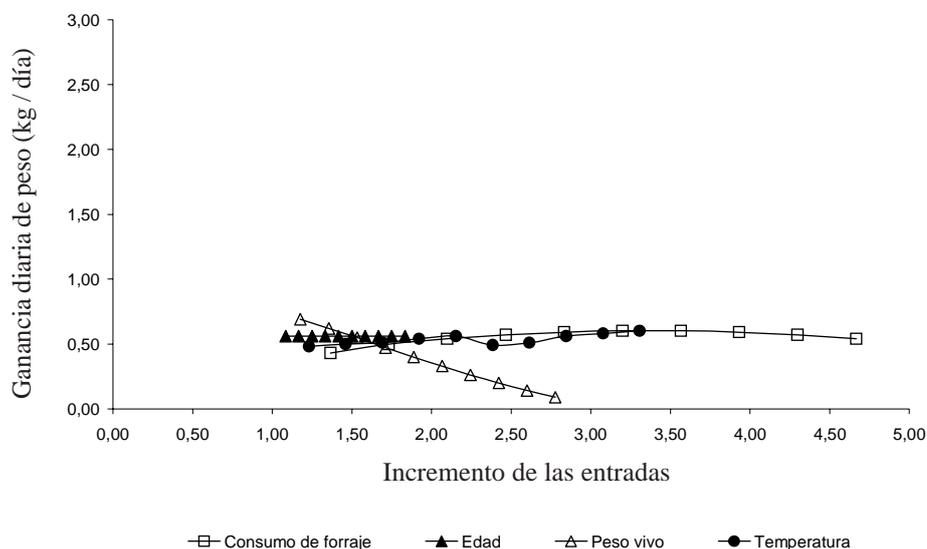


Figura 3. Predicción de la ganancia diaria de peso de acuerdo con los incrementos de las entradas del análisis de sensibilidad en nivel 2

mostraron una tendencia similar, aunque la predicción de GDP fue mayor para N1, en tanto que la entrada consumo de forraje tuvo un comportamiento distinto en cada nivel. Se encontró que en N1 al incrementar el consumo de forraje aumenta la predicción de la GDP, con un valor de sensibilidad de 2.0 (uno de los más altos registrados). Para N2, el valor de sensibilidad fue 0.30, con baja predicción de GDP.

Hay variación en los valores de sensibilidad de las entradas en los programas que desarrollan predicciones. Así, Silberbush y Barber (1983) reportaron diferentes valores de cambio en las salidas de acuerdo con las entradas usadas en el modelo matemático, lo que se debería aplicar en las relaciones y ecuaciones del modelo. Verdoodt *et al.* (2004) reportaron valores de sensibilidad mayores en las entradas de los cultivos, mientras que los valores de las entradas para factores climáticos fueron menores. Lo anterior concordó con los resultados del presente estudio, en el sentido de que la sensibilidad difirió para cada entrada del modelo.

Las entradas del modelo NRC (1996) presentó diferentes valores de sensibilidad dentro y entre los niveles del modelo. De acuerdo con el análisis de sensibilidad, las entradas que más impactan las salidas GDP y consumo de materia seca en animales que consumen forrajes tropicales, son el consumo de forraje, el peso vivo inicial y la raza. Hubo algunas inconsistencias en los valores de sensibilidad, ya que algunos de ellos no pueden ser aceptados biológicamente. El análisis de sensibilidad puede ser útil para hacer cambios en algunas ecuaciones usadas por el programa, especialmente en las entradas con valores de sensibilidad de 0.0. Se hace necesaria más investigación, con particular énfasis en las entradas con valores de sensibilidad discordantes para hacer los ajustes necesarios al modelo NRC en condiciones específicas de los trópicos.

Referencias

Bendicho, S., Trigueros, M.C., Hernández, T. & Martín, O. 2001. Validation and comparison of analytical methods based on the release of p-nitrophenol to determine lipase activity in milk. *J. Dairy Sci.* 84:1590

Block, H.C., Klopfenstein, T.J. & Erickson, G.E. 2006. Evaluation of average daily gain prediction by level one of the 1996 National Research Council beef model and development of net energy adjusters. *J. Anim. Sci.* 84:866

Bodine, T.N., Purvis II, H.T., & Lalman, D.L. 2001. Effects of supplement type on animal performance, forage intake, digestion, and ruminal measurements of growing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 79:1041

Chan, K., Saltelli, A. & Tarantola, S. 1997. Sensitivity analysis of model output: variance – based methods make the difference. *Proc. of the 1997 Winter Simulation Conf. Environ. S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers & B.L. Nelson (Eds). Inst. Eur. Commission Joint Research Center, Ispra, Italy. p. 261*

Chizzotti, M.L., Valadares Filho, S.C., Tedeschi, L.O., Chizzotti, F.H.M. & Carstens, G.E. 2007. Energy and protein requirement for growth and maintenance of F₁ Nellore x

Red Angus bulls, steers, and heifers. *J. Anim. Sci.* 85:1971

Gaughan, J.B., Mader, T.L., Holt, S.M. & Lisle, A. 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 86:226

Guiroy, P.J., Tedeschi, L.O., Fox, D.G. & Hutcheson, J.P. 2002. The effects of implants strategy on finished body weight of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 80:1791

Gunawan, R., Cao, Y., Petzold, L. & Doyle, F. 2005. Sensitivity analysis of discrete stochastic systems. *Biophysical J.* 88:2530

Fox, D.G., Tedeschi, L.O., Tylutki, T.P., Russell, J.B., Van Amurgh, M.E., Chase, L.E., Pell, A.N. & Overton, T.R. 2004. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Anim. Feed Sci. Technol.* 112:29

Hamby, D.M. 1994. A review of technique for parameter sensitivity analysis of environmental models. *Environ. Monitoring and Assessment* 32:135

Holt, S.M., Gaughan, J.B. & Mader, T.L. 2004. Feeding strategies for grain-fed cattle in hot environment. *Austr. J. Agric. Res.* 55:719

Johnson, H.A., Maas, J. A., Calvert, & Baldwin, R. L. 2008. Use of computer simulation to teach a systems approach to metabolism. *J. Anim. Sci.* 86:483

Lardy, G.P., Adams, D.C., Klopfenstein, T.J. & Patterson, H.H. 2004. Building beef cow nutritional programs with the 1996 NRC beef cattle requirements model. *J. Anim. Sci.* 82 (E. Suppl.):E83

NRC (National Research Council). 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7^a Revised Ed.* Ed. National Academy Press. Washington D.C. USA. p.242

NRC (National Research Council). 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle: Update 2000. 7^a Revised Ed.* Ed. National Academy Press. Washington D.C. USA. p. 232

Saltelli, A., Tarantola, S. & Campolongo, F. 2000. Sensitivity analysis as an ingredient of modeling. *Stat. Sci.* 15:377

Silberbush, M. & Barber, S.A. 1983. Sensitivity analysis of parameters used in simulating K uptake with a mechanistic mathematical model. *Agron. J.* 75:851

Verdoodt, A., Ranst, E.V. & Ye, L. 2004. Daily simulation of potential dry matter production of annual field crops in tropical environments. *Agron. J.* 96:1739

Walker, D. & Fox-Rushby, J.A. 2001. Allowing for uncertainty in economic evaluations: qualitative sensitivity analysis. *Health Policy and Planning.* 16:4

Recibido: 6 de noviembre de 2008