

Análisis de sensibilidad y evaluación de un modelo de simulación para estimar el balance calórico en bovinos en trópico húmedo

Berenice Sánchez¹, G.D. Mendoza¹, F.X. Plata¹, L. Vargas², J.A. Martínez¹ y J.L. Arcos-García³

¹Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana -Xochimilco. Calzada del Hueso 1100. Col. Villa Quietud. Coyoacán. 04960. Ciudad de México. México

²Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados. Carretera Cárdenas-Villahermosa. Tabasco. México

³Universidad del Mar, Campus Puerto Escondido, Oaxaca. México

Correo electrónico: gmendoza@correo.xoc.uam.mx

Se realizó análisis de sensibilidad del modelo de balance calórico para bovinos. Los factores relacionados con la radiación (horas de exposición a la radiación solar) fueron de mayor influencia en la carga calórica estimada. El consumo de energía, peso vivo y temperatura del bulbo húmedo tuvieron menor efecto. El resto de las variables influyeron poco en el resultado del modelo. La estimación del modelo original resultó en una carga calórica excesiva (de 9.8 a 16.9 Mcal/d), lo que es poco viable biológicamente, por lo que se modificó el modelo en términos de radiación solar de acuerdo con la hora del día. Una vez modificado, las estimaciones estuvieron en el rango de 1.3 a 4.8 Mcal/d, lo que es más probable desde el punto de vista biológico.

Palabras clave: *estrés calórico, efecto ambiental, estrategias de manejo, carga calórica.*

Para predecir la respuesta del comportamiento animal se ha utilizado el análisis de sistemas y modelos de simulación (Sauvant *et al.* 1996). Ambos permiten estudiar el comportamiento de los sistemas productivos y de los animales individualmente, en función de las prácticas de manejo, el uso de nuevas tecnologías y las variaciones climáticas (Hirooka 2010). Los modelos de simulación son herramientas que facilitan la toma de decisiones y permiten analizar las actividades agropecuarias y las nuevas alternativas tecnológicas, con el objetivo de determinar su viabilidad y definir las condiciones necesarias para su aplicación (Holmann 2002).

Mediante el análisis de sensibilidad de los modelos se verifica si las estimaciones son adecuadas (Sauvant *et al.* 1996) y se conoce la influencia de los diferentes componentes del modelo (Ortega *et al.* 2010). Para saber el efecto ambiental y establecer estrategias de manejo nutricional en bovinos en condiciones de estrés calórico, Mendoza *et al.* (2003) elaboraron un modelo determinístico, con el objetivo de estimar el balance calórico en animales en pastoreo en trópico húmedo. Este modelo no ha sido evaluado, aunque podría tener algunas reconsideraciones. Por ello, el objetivo de este estudio fue realizar un análisis de sensibilidad del modelo de balance calórico, con información de bovinos en pastoreo. Se proponen además, las transformaciones necesarias para realizar una estimación biológica adecuada de la carga calórica.

Materiales y Métodos

Se utilizó el modelo de balance calórico para bovinos (Mendoza *et al.* 2003), que incluye la ganancia y pérdida de calor (calor metabólico, metabolismo del nitrógeno, radiación, conducción, convección y evaporación). Se integraron las ecuaciones en una hoja de cálculo Excel

(Microsoft Office 2007), disponible en la plataforma de la Red Bioeficiencia.

Evaluación del modelo original. El modelo se evaluó a partir de la información proveniente de experimentos realizados en el trópico húmedo (Tabasco y Veracruz, México) (tablas 1 y 2) con bovinos en pastoreo sin suplemento (Ramos 1994, Alarcón 1995, Cabrera 1996, Córdova 1996, Reyes 1996, Ramos *et al.* 1998, Cabrera *et al.* 2000, Aranda *et al.* 2001 y Gómez *et al.* 2003). Se estimó el balance calórico de cada experimento para evitar confusiones por tipo de alimento, condiciones climáticas y características de cada animal.

Modificaciones del modelo. El modelo de Mendoza *et al.* (2003) se modificó para incorporar la producción del calor metabólico asociada al metabolismo de proteína. Para ello se estimó la ganancia potencial de peso sobre

Tabla 1. Información para estimar el balance calórico

Temperatura del bulbo seco (TBS), °C
Temperatura del bulbo húmedo (TBH), °C
Temperatura del bulbo seco en la noche (TBSN), °C
Humedad relativa (HR), %
Velocidad del aire (vv), m/s
Exposición al sol, h/24 h
Tiempo sin sol, h/24 h, a causa de nubes
Peso vivo (w), kg
Superficie del animal, m ²
Degradabilidad de la proteína, %
Energía metabolizable de la dieta, Mcal/kg
Consumo de materia seca, CMS (kg/d)
Proteína cruda (PC) %
Total de nutrientes digestibles (TND)%
Transmitancia atmosférica (AT)
Absortividad (Asr)

Tabla 2. Información proveniente de experimentos realizados en trópico húmedo para estimar el balance calórico

Referencia	Peso inicial	CMS kg	Clima	Latitud	Longitud	Altitud msnm
Ramos (1994)	211	8.10	HR 80 % T 26° Am (f) w (i) g	19° 15'	93° 00'	10
Alarcón (1995)	319	8.20	HR 80 % T 26° Am (f) w (i) g	19° 23'	98° 39'	10
Cabrera (1996)	185	8.54	HR 80 % T 26° Am (f) w (i) g	19° 23'	98° 39'	10
Córdova (1996)	295	6.01	HR 80 % T 25.9° Am (f) w (i) g	19° 15'	93° 00'	10
Reyes (1996)	250	8.62	HR 80 % T 25.9° Am (f) w (i) g	19° 23'	98° 39'	10
Ramos (1998)	211	7.66	HR 80 % T 26.25° Am (f) w (i) g	19° 15'	91° 59'	30
Cabrera (2000)	190	8.20	R 80 % T 25.9° Am (f) w (i) g	18° 00'	93° 30'	9
Aranda <i>et al.</i> (2001)	242	9.13	HR 80 % T 25.9° Am (f) w (i) g	18° 00'	93° 30'	12
Gómez <i>et al.</i> (2003)	270	8.80	HR 80 % T 26.2° Am (f) w (i) g	17° 15'	99° 24'	20

CMS: consumo de materia seca

HR: humedad relativa

T: temperatura °C

m.s.n.m. sobre el nivel del mar

la base del consumo de proteína y energía. En la segunda modificación se ajustó la carga calórica por radiación.

Ganancia de peso por proteína. Para calcular la ganancia de peso por proteína, se obtuvo primero la síntesis de proteína microbiana potencial (g/kg MS) basada en la energía (MPSe) y posteriormente, la proteína (MPSp) mediante las ecuaciones de NRC (2000):

$$\text{MPSe} = 1.044 * \text{TND} * 0.92 \quad (1)$$

$$\text{MPSp} = \text{DEG} * \text{PC} * 0.1 \quad (2)$$

Donde:

DEG = degradabilidad ruminal de la proteína, como porcentaje de la proteína cruda

PC = proteína cruda, %

TND = total de nutrientes digestibles, %

La proteína metabolizable (PM, g/kg MS) y su consumo total (PMc, kg/d) se calcularon mediante el consumo de materia seca (CMS kg/d):

$$\text{PM} = [\text{PC} * 0.1 (100 - \text{DEG}) * 0.9] + [(\text{MPSp} - 15) * 0.8] \quad (3)$$

$$\text{PMc} = \text{PM} * \text{CMS} \quad (4)$$

El requerimiento de proteína metabolizable para la mantención (PMm) se estimó sobre la base del peso vivo (w) y la proteína metabolizable para ganancia (PMg). La estimación se hizo por diferencia. Se calculó entonces, la ganancia diaria de peso por consumo de proteína (GPp) (Fernández-Rivera *et al.* 1989):

$$\text{PMm} = [0.0125 * (70.4 * w^{0.734})] / 0.47 \quad (5)$$

$$\text{PMg} = \text{PMc} - \text{PMm} \quad (6)$$

$$\text{GPp} = 0.00137 * \text{PMg} \quad (7)$$

Ganancia de peso por energía. Si la ganancia estimada por consumo de proteína (GPp) es mayor que la calculada por consumo de energía (GPe), no se deposita

la proteína. Se excreta o se desamina, lo que generaría costo energético. Por el contrario, el animal obtiene ganancias en función del consumo de energía.

El consumo de energía se estimó a partir de las ecuaciones del NRC (1996). Se calculó la energía neta para mantenimiento (ENm, Mcal/d), la energía neta para ganancia (ENg, Mcal/d), el consumo de materia seca para ganancia de peso (CMSg, kg/d) y la energía retenida (RE, Mcal/d) en función de la energía metabolizable (EM).

$$\text{ENm} = 1.37 \text{EM} - 0.138 \text{EM}^2 + 0.0105 \text{EM}^3 - 1.12 \quad (8)$$

$$\text{ENg} = 1.42 \text{EM} - 0.174 \text{EM}^2 + 0.0122 \text{EM}^3 - 1.65 \quad (9)$$

El consumo de materia seca para mantenimiento (CMSm) se obtuvo al dividir el requerimiento de ENm del animal entre la concentración dietaria de la ración (ENm). Entonces, el alimento para ganancia (CMSg) se calculó por diferencia entre el alimento consumido al día (CMS) y el CMSm:

$$\text{CMSm kg/d} = (\text{ENm Mcal/d}) / (\text{ENm ración}) \quad (10)$$

$$\text{CMSg} = \text{CMS} - \text{CMSm} \quad (11) \text{ Fernández-Rivera } et al. (1989)$$

$$\text{RE} = \text{CMSg} * \text{ENg} \quad (12) \text{ Fernández-Rivera } et al. (1989)$$

La ganancia estimada por consumo de energía se calculó en función del peso en kg (w) y de la energía retenida (RE):

$$\text{GPe} = 13.91 * w^{-0.6837} * \text{RE}^{0.9116} \quad (13)$$

Sobre la base de los cálculos de ganancia de peso por consumo de proteína y de energía, se estimó el equivalente de proteína metabolizable del tejido (PMd, kg/d). Con este, se obtuvo la energía neta

requerida para la síntesis de proteína (ENd Mcal/d) utilizada en el modelo de balance calórico para calcular el calor metabólico:

$$PMd = ((GPe-GPp)/0.00137)/1000 \quad (14)$$

$$ENd = 0.72*0.454*PMd \quad (15)$$

Ajuste de radiación. El modelo original se aplicó para calcular la superficie de los animales. El exponente 0.75 se respetó. Se asumió que cuando el animal está parado, tiene 50 % de su superficie expuesta a la radiación (A). Sin embargo, no sucede lo mismo cuando está echado, debido a que la superficie expuesta se reduce. Por tanto, la ganancia de calor radiante (Sr) cambia y se puede estimar con la ecuación siguiente:

$$Sr = (RS*0.5A*Asr*Gt) + (RS*(0.5A*0.5)*Asr*TD*0.26) \quad (16)$$

Donde:

RS = radiación solar

Asr = absortividad animal para la radiación infrarroja solar (0.5, 0.8 o 0.9 para blanco, rojo y negro)

Gt = tiempo en pastoreo, h

TD = tiempo en descanso, h

El factor de 0.26 corresponde a un ajuste de 26 % de radiación reducida por efecto de la sombra.

El modelo también establece una constante de 1200 kcal/h de radiación solar. Sin embargo, este dato es variable por los cambios climatológicos que se presentan durante el día. Si se considera el ángulo solar de acuerdo con la hora, el acimut se presenta a las 12:00 p.m., cuando este ángulo es equivalente a cero (Jaramillo 1998) y los rayos del sol son directos. En este momento, la radiación es de 1200 kcal/h y se modifica a 15° por hora, siendo positivos hacia el Oeste y negativos hacia el Este (Jaramillo 1998). Se agregó al cálculo la fórmula para la radiación solar, de acuerdo con la hora del día (Rsh):

$$Rsh = 1200 - (H^\circ(1200/A^\circ)) \quad (17)$$

Donde:

H° = ángulo horario.

A° = grados necesarios para obtener un valor de cambio, desde 1200 hasta cero de radiación, que corresponde al acimut solar cuando el ángulo solar es 0,

y es la base de datos del modelo que en conjunto ajusta la radiación.

El cálculo de radiación solar se estima como:

$$RS = Rsh \cdot AT \quad (18)$$

Donde:

AT = transmitancia atmosférica (0.7 a 0.35 para condiciones despejadas o nubladas del cielo respectivamente). El modelo modificado se encuentra disponible en la plataforma de la Red Bioeficiencia.

Análisis de sensibilidad. El análisis de sensibilidad se realizó de acuerdo con los procedimientos descritos por Ortega *et al.* (2010) a partir de un conjunto de simulaciones. Se modificaron las variables ambientales (temperatura del bulbo seco y húmedo, humedad relativa, velocidad del viento, exposición al sol y sin sol) y animales (peso vivo, consumo de materia seca, proteína y total de nutrientes digestibles). Los rangos usados fueron de cinco en cinco, para la temperatura del bulbo húmedo (TBH), seco (TBS) y humedad relativa (HR). Para la exposición al sol fueron 0.3 en 0.3; 1 en 1 tiempo sin sol; 50 en 50 para peso vivo (PV). Para consumo de materia seca (CMS) y proteína, de 1 en 1, y de 5 en 5 para TND. Para cada variable, se realizaron entre siete y diez simulaciones que permitieron evaluar el rango de valores biológicos adecuado. Se utilizaron intervalos constantes, de menor a mayor valor. Para cada incremento en el valor de entrada, se obtuvo un cambio en el valor de salida de las variables respuesta mediante la división entre el valor constante. El cambio puede ser negativo, cero o positivo (ΔBC).

Resultados

Evaluación del modelo original. Las estimaciones de balance calórico (tabla 3) evidenciaron que los animales presentaron estrés calórico en todos los experimentos. Esto se reflejó en la carga calórica estimada durante la duración de los mismos. El valor más alto fue de 19.06 Mcal/d, afectado principalmente por la radiación, 17.75 Mcal/d para la ganancia de calor, y -3.03 Mcal/d para las pérdidas.

Tabla 3. Balance calórico promedio diario, calculado con el modelo original, proveniente de experimentos realizados en trópico húmedo

	Ganancias de calor Mcal/d			Pérdidas de calor Mcal/d			EV	BC Mcal/d
	CM	MN	Radiación	Radiación	Conducción	Convección		
Ramos (1994)	5.42	0.26	13.02	-2.22	-0.17	-0.02	-5.2	11.09
Alarcón (1995)	9.7	0.06	17.75	-3.03	-0.22	-0.01	-5.2	19.06
Cabrera (1996)	5.34	0.05	11.80	-2.01	-0.15	-0.02	-5.2	9.80
Córdova (1996)	9.23	0.24	16.74	-2.86	-0.21	-0.01	-5.2	17.93
Reyes (1996)	7.53	0.06	14.78	-2.52	-0.18	-0.01	-5.2	14.44
Ramos (1998)	7.63	0.56	13.02	-2.22	-0.17	-0.02	-5.2	13.59
Cabrera (2000)	6.05	0.24	16.74	-2.86	-0.15	-0.02	-5.2	10.99
Aranda <i>et al.</i> (2001)	8.24	0.02	12.03	-2.46	-0.18	-0.01	-5.2	14.83
Gómez <i>et al.</i> (2003)	8.61	0.06	15.66	-2.67	-0.19	-0.01	-5.2	16.95

CM: calor metabólico. MN: metabolismo del nitrógeno. EV: evaporización. BC: balance calórico

Tabla 4. Balance calórico mediante el modelo original con respecto al modificado.

	Modelo original			Modelo modificado		
	Alarcón 1995	Cabrera 1996	Córdoba 1996	Alarcón 1995	Cabrera 1996	Córdoba 1996
	Mcal/d	Mcal/d	Mcal/d	Mcal/d	Mcal/d	Mcal/d
Ganancias por calor						
CM	9.70	5.34	9.23	5.82	3.73	5.75
MN	0.06	0.05	0.24	0.06	0.05	0.24
Radiación +	17.75	11.80	16.74	7.02	4.67	6.62
Pérdidas de calor						
Radiación -	-3.03	-2.01	-2.86	-2.71	-1.80	-2.56
Conducción	-0.22	-0.15	-0.21	-0.38	-0.27	-0.36
Convección	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01
EV	-5.20	-5.20	-5.20	-5.01	-5.01	-5.01
BC	19.06	9.80	17.93	4.80	1.36	4.68

CM: calor metabólico

MN: metabolismo del nitrógeno

EV: evaporización

BC: balance calórico

Tabla 5. Análisis de sensibilidad de las variables que modifican en balance calórico.

Variable	Unidad	Unidades de incremento ¹	Δ BC
TBS	°C	5.0	-0.2679
TBH	°C	5.0	0.1769
TBSN	°C	5.0	0.0169
HR	%	5.0	0.0118
Vv	m/s	0.3	-0.0489
ES	h/24 h	1.0	1.4913
TSS	h/24 h	1.0	-1.4913
PV	kg	50.0	0.1169
CMS	kg	1.0	0.0454
PC	%	1.0	0.0874
TND	%	5.0	0.1581

TBS: temperatura del bulbo seco

TBH: temperatura del bulbo húmedo

TBSN: temperatura del bulbo seco de noche

HR: humedad relativa

Vv: velocidad del viento

ES: exposición al sol

TSS: tiempo sin sol

PV: peso vivo

CMS: consumo de materia seca

 Δ BC: cambio del balance calórico.

¹El criterio utilizado en el rango de incremento se estableció hasta obtener un número de simulaciones suficientes para evaluar el rango de valores biológicos adecuados

Modificaciones del modelo. El balance calórico estimado con el modelo de Mendoza *et al.* (2003) mostró valores que mantienen a los bovinos en estrés calórico severo, lo que comprometería la homeostasis. Al considerar el análisis de sensibilidad y al revisar las ecuaciones del modelo, se modificó para obtener estimaciones más cercanas desde el punto de vista

biológico, lo que puede ocurrir realmente. La mayor limitación del modelo fue con respecto a la estimación de la carga calórica por radiación.

En la tabla 4 se muestra la estimación del balance calórico del modelo modificado y sin modificar. Hubo cambio en la estimación de valores como la radiación (17.75 a 7.02 Mcal/d) y el calor metabólico (9.70 a 5.82

Mcal/d). El punto máximo de radiación se alcanzó a las 12:00 p.m. Se presentaron días más largos, con mayor radiación durante la primavera y el verano.

Análisis de sensibilidad. En el tabla 5 se presentan los resultados del análisis de sensibilidad, las unidades en que se expresó cada variable, así como el valor común, que es el de cambio de la variable. Los valores de cero, o cercanos a este, indican que las variables tienen efecto nulo o bajo para las estimaciones. Los positivos o negativos señalan que las variables responden de manera directa o inversamente proporcional, en función del aumento en su valor, respectivamente. Los factores relacionados con la radiación (exposición al sol o tiempo sin exponerse a la radiación) tuvieron mayor efecto en la sensibilidad del modelo y generan modificaciones en el balance calórico, pero con la misma intensidad.

Si el animal recibe la radiación solar desde cierto ángulo, la cantidad que puede o no recibir es la misma. Las variables peso vivo del animal y el total de nutrientes digestibles tienen mayor efecto en el modelo con respecto al consumo de materia seca y proteína cruda. Esto se debe, posiblemente, a que a mayor tamaño de los animales, el consumo de materia seca por kilogramo de peso metabólico es menor. En la generación de calor fue importante la digestibilidad de los nutrientes.

Discusión

El uso del modelo demuestra que el calor metabólico es el segundo factor más importante que produce ganancias calóricas. Esto se debe a los procesos de alimentación, donde el factor nutricional suele ser el de mayor importancia para la productividad, por lo que se requiere de una adecuada y estratégica utilización de nutrientes (Mills *et al.* 2001 y Williams y Jenkins 2003). Esta respuesta se manifiesta en cambios en los requerimientos de agua y energía que modifican el consumo del alimento (Beatty *et al.* 2006) porque se relacionan con el balance térmico del animal (Foster *et al.* 2009). Si se logra un equilibrio entre estos factores, se puede reducir el estrés calórico asociado a los procesos digestivos.

En las pérdidas de calor, los valores de conducción y convección son más bajos que los de radiación y evaporización para todos los experimentos, debido a que la termorregulación está determinada por factores como la absorción (radiación solar o calor metabólico) y pérdida de calor (Brosh 2007). Estos factores requieren la existencia de gradientes térmicos que no siempre se presentan, y que modifican la conducta animal con el propósito de reducir la captación de calor. Por tanto, cuando la temperatura del animal se eleva, este evita la absorción de calor por efecto de la radiación solar (Mader *et al.* 2002). Se evade así la exposición al sol, es decir, se reduce la superficie expuesta y se modifica su orientación con respecto al viento. A su vez, se activan mecanismos de disipación del calor, como el aumento de la frecuencia respiratoria para expeler mayor cantidad

de aire caliente (Brosh *et al.* 1998).

La evaporación fue el factor más alto en las pérdidas de calor, lo que concuerda con lo informado por De Dios (2001), quién refirió que esta representa 84 % de las pérdidas totales de calor. Sin embargo, no hubo diferencias de evaporación entre los experimentos. Esto se puede deber, posiblemente, a la combinación de las condiciones climáticas y dietarias a que estuvieron expuestos los animales y a sus características, lo que provocó una respuesta de evaporación similar. En este

La radiación tiende a aumentar la carga calórica en gran proporción, como consecuencia de la sobreestimación de este factor. Maquivar *et al.* (2006) refieren que al usar cualquier modelo de simulación, la falta de precisión en la predicción se puede asociar con la información que se ingresa, las ecuaciones incorporadas al modelo y al diseño para el clima adecuado.

Los ajustes realizados resultaron en menor carga calórica estimada, sea de calor metabólico como del proveniente de la radiación. Brosh *et al.* (1998) demostraron que el metabólico puede ser más importante que el que provoca la radiación, por lo que el ajuste del modelo representa mejor las condiciones que pueden ocurrir naturalmente. En las condiciones tropicales, para que un organismo mantenga su homeostasis al final de un período de 24 h, tiene que terminar con una carga calórica baja para poder sobrevivir. Por tanto, se considera que los ajustes de Mendoza *et al.* (2003) permitieron mejorar el modelo, pues el que no se modificó obtuvo valores biológicamente incorrectos. El análisis de sensibilidad mostró sobreestimación en el calor absorbido por exposición al sol, lo que se evidenció en la aplicación del modelo. Sin embargo, al realizar las modificaciones anteriores, la estimación de la radiación se redujo, lo que proporcionó mejor estimación del balance calórico del animal.

Con respecto al análisis de sensibilidad (tabla 5), para los valores negativos como temperatura del bulbo seco (TBS), velocidad del viento (vv) y tiempo sin sol (TSS), se produjo disminución del valor, lo que indica que existe reducción de la producción de calor. Por ejemplo, al aumentar el TSS, la radiación solar que llega a los animales es menor. West *et al.* (2003) mencionan que factores como la temperatura ambiental, energía radiante, humedad relativa y velocidad del viento contribuyen a la disminución o al aumento del estrés calórico.

El modelo modificado evidenció que la ES, TSS, TBS y TND son los factores que más inciden en el balance calórico de bovinos en condiciones tropicales. Permiten una estimación más exacta y precisa desde el punto de vista biológico con respecto al modelo original que sobreestima el impacto de los valores climáticos.

Referencias

- Alarcón, Z.B. 1995. Cambio de peso de toretes en pastoreo en estrella africana y banco de proteína de kudzu en condiciones tropicales. Tesis de Maestría en Ciencias.

- Colegio de Postgraduados, Montecillo. México
- Aranda, I.E., Mendoza, G.D., García, C. & Castrejon, F. 2001. Growth of heifers grazing stargrass complemented with sugar cane, urea and a protein supplement. *Lives. Prod. Sci.* 71:201
- Beatty, D. T., Barnes, A., Taylor, E., Pethick, D., McCarthy M. & Maloney S. K. 2006. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *J. Anim. Sci.* 84:972
- Brosh, A. 2007. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: A review. *J. Anim. Sci.* 85:1213
- Brosh, A., Ahoroni, Y., Degen, A.A., Wringth, D. & Young, B.A. 1998. Effects of solar radiation, dietary energy and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle in a hot environment. *J. Anim. Sci.* 76:2671
- Cabrera, E.I. 1996. Efecto de la suplementación nitrogenada y la adición de cultivo microbiano de *Saccharomyces cerevisiae* en el comportamiento de toretes en praderas tropicales. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo. México
- Cabrera, E.I., Mendoza, G.D., Aranda, E., García, C., Barcena, R. & Ramos, J.A. 2000. *Saccharomyces cerevisiae* and nitrogenous supplementation in growing steers grazing tropical pastures. *Anim. Feed Sci. Tech.* 83:49
- Córdova, D.F. 1996. Efecto de la suplementación nitrogenada y un cultivo de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en la digestibilidad y consumo de pasto insurgente (*Brachiaria brizanta*) en toretes. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo. México
- De Dios, O.V. 2001. Ecofisiología de los bovinos en sistemas de producción del trópico húmedo. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México. p. 62
- Fernández-Rivera, S., Lewis, M., Klopfenstein, T.J. & Thompson, T.L. 1989. A simulation model of forage yield, quality and intake of growing cattle grazing cornstalks. *J. Anim. Sci.* 67: 581
- Foster, L.A., Fourie, P.J. & Neser, F.W.C. 2009. Effect of heat stress on six beef breeds in the Zastron district: The significance of breed, coat colour and coat type. *South African J. Anim Sci.* 39:224
- Gómez, V.A., Pérez, J., Mendoza, G.D., Aranda, E. & Hernandez, A. 2003. Fibrolytic enzymes improve performance in steers fed sugar cane and stargrass. *Lives. Prod. Sci.* 82: 249
- Hirooka, H. 2010. Systems approaches to beef cattle production systems using modeling and simulation. *Anim. Sci. J.* 81:411
- Holmann, F. 2002. El uso de modelos de simulación como herramienta para la toma de decisiones en la promoción de nuevas alternativas forrajeras: el caso de Costa Rica y Perú. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 10: 35
- Jaramillo, S.O.A. 1998. Transporte de energía solar concentrada a través de fibras ópticas: acoplamiento fibra-concentrador y estudio térmico. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Morelos. Estado de Morelos. México
- Mader, T.L., Holt, S.M., Hahn, G.L., Davis, M.S. & Spiers, D.E. 2002. Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 80: 2373
- Maquivar, L.M.G., Galina C.S., Mendoza M.G.D., Verduzco G.A.R., Galindo B.J.R., Molina S.R. & Estrada, S.K. 2006. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 46, Número 1, 2012. Predicción de la ganancia diaria de peso mediante el uso del modelo NRC en novillas suplementadas en el trópico húmedo de Costa Rica. *Rev. Cient. FCV-LUZ* 16:634
- Mendoza, M.G.D., Pinos, J.M., Ricalde, R., Aranda, E. & Rojo, R. 2003. Modelo de simulación para estimar el balance calórico de bovinos en pastoreo. *Interciencia* 28: 202
- Mills, J.A.N., Dijkstra, J., Bannink, A., Cammell, S.B., Kebreab, E. & France, J. 2001. A mechanistic model of whole-tract digestion and methanogenesis in the lactating dairy cow: Model development, evaluation, and application. *J. Anim. Sci.* 79: 1584
- NRC. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7 Revised Ed. Ed. National Academy Press. Washington D.C. USA. p. 248
- Ortega, G.C., Hernández, O., Vargas, L., Mendoza, G.D., Martínez, P.A. & Avendaño, L. 2010. Análisis de sensibilidad del modelo NRC 1996 para bovinos de carne en pastoreo con suplemento. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 44:1
- Ramos, J.A. 1994. Efecto de la suplementación nitrogenada en toretes cruzados pastoreando en estrella africana (*Cynodon plectostachyus*). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo. México
- Ramos, J.A., Mendoza, G.D., Aranda, E., García, C., Barcena, R. & Alanis, J. 1998. Escape protein supplementation of growing steers grazing stargrass. *Anim. Feed Sci. Technol.* 70:249
- Reyes, B.O. 1996. Efecto del nivel de urea y la adición de *Saccharomyces cerevisiae* en toretes pastoreando en trópico húmedo. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo. México
- Sauvant, D., Baumont, R. & Faverdin, P. 1996. Development of a Mechanistic Model of Intake and Chewing Activities of Sheep. *J. Anim. Sci.* 74: 2785
- West, J.W., Mullinix, B.G. & Bernard, J.K. 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:232
- Williams, C.B. & Jenkins, T.G. 2003. A dynamic model of metabolizable energy utilization in growing and mature cattle. I. Metabolizable energy utilization for maintenance and support metabolism. *J. Anim. Sci.* 81:1371

Recibido: 6 de diciembre de 2010