



EVALUACIÓN DE LA SUPLEMENTACIÓN ENERGÉTICA DURANTE EL CRECIMIENTO DE NOVILLAS LECHERAS DE REEMPLAZO UTILIZANDO EL MODELO CNCPS

[ENERGETIC SUPPLEMENTATION EVALUATION DURING THE GROWTH OF DAIRY REPLACEMENT HEIFERS USING THE CNCPS MODEL]

M. Vélez-Terranova, H. Sánchez-Guerrero
and C. V. Duran Castro

*Grupo de Investigación "Conservación, mejoramiento y utilización del ganado criollo Hartón del Valle y otros recursos genéticos animales en el suroccidente colombiano". Departamento de Ciencia Animal. Universidad Nacional de Colombia. Carrera 32 No 12 - 00 Chapinero, Vía Candelaria, Palmira - Valle del Cauca – Colombia. E-mails: omvelez@unal.edu.co; hsanchezgu@unal.edu.co; cvduranc@unal.edu.co
Corresponding author

RESUMEN

Se utilizó el modelo Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) para evaluar el uso de suplementos energéticos sobre el crecimiento desde el destete hasta la concepción, en novillas de reemplazo de diferentes componentes multirraciales (Holstein (50%) x Gyr (50%) (H x G), Holstein (50%) x Jersey (50%) (H x J) y Jersey (50%) x Holstein (25%) x Gyr (25%) (J x H x G)) en un sistema lechero en pastoreo bajo condiciones tropicales. Se usó el modelo logístico para estimar las curvas de crecimiento ($R^2=96\%$ en promedio). Se estudiaron las condiciones climatológicas de la zona y composición química de los forrajes durante el año. Con la información obtenida se realizaron simulaciones que identificaron deficiencias energéticas entre los 9 - 13 meses de edad, en los cruzamientos estudiados. Para corregir las deficiencias se evaluaron alternativas de suplementación, siendo la melaza de caña de azúcar y la harina de yuca las opciones posibles para mejorar la tasa de crecimiento y reducir las edades al primer servicio (20 - 22 meses) y al primer parto, lo que reduce los costos de la crianza y la emisión de metano total durante el crecimiento.

Palabras claves: Crecimiento; Economía; Metano; Suplementación; CNCPS.

INTRODUCCIÓN

En explotaciones lecheras, la crianza de hembras de reemplazo es fundamental para garantizar la capacidad y la vida productiva de los animales. Estas novillas son esenciales para reponer los animales que

SUMMARY

To evaluate the use of energy supplements from weaning to conception on multibreed heifers (Holstein (50%) x Gyr (50%) (H x G), Holstein (50%) x Jersey (50%) (H x J) y Jersey (50%) x Holstein (25%) x Gyr (25%) (J x H x G)) in a grazing dairy system under tropical conditions, the Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) was used. Growth curves were estimated using the logistic model ($R^2 = 96\%$ on average). The climatological conditions in the area and chemical composition of forages during the year were evaluated. With the information obtained simulations were performed and the results showed energy deficiencies between 9 and 13 months of age in the crosses studied. To correct deficiencies, supplementation alternatives were evaluated. The results indicated that sugar cane molasses and cassava flour would be feasible options to improve growth rate and reduce the age at first service (20-22 months) and first calving, reducing nutritional costs of raising heifers and total methane emission during growth.

Key words: Growth; Economy; Methane; Supplementation; CNCPS.

son descartados de los sistemas productivos en busca de mejorar la genética con el fin de optimizar los niveles de producción y garantizar la continuidad y mejoramiento de los sistemas (Wall-Schilling, 2000). Durante la etapa de crianza, las terneras sufren cambios anatómicos, morfológicos y fisiológicos que

exigen una nutrición balanceada para alcanzar una edad y un peso adecuados al primer parto, garantizando, de esta forma, un proceso de crecimiento económicamente rentable, esto es importante, ya que durante la fase de crecimiento de los animales no generan ingresos económicos, pero sí gastos que varían entre 15 y 20% con relación a la producción de leche (Wall-Schilling, 2000; Carballo, 2009; Vélez, 2011).

El mejoramiento del crecimiento de las novillas de reemplazo, acompañado de programas de sanidad, contribuyen en la reducción de los niveles de metano del hato hacia la atmósfera. Un adecuado crecimiento y bajos índices de mortalidad reducen la necesidad de reemplazos en los sistemas lecheros, lo que contribuye a disminuir las emisiones de metano (Knapp *et al.*, 2011)

En el Valle del Cauca, Osorio (2010) encontró que la edad promedio de novillas a primer parto es de 34.7 meses, edad superior a la recomendada para este tipo de animales en condiciones tropicales (28 – 30 meses), lo que indica que para mejorar este parámetro el primer servicio debe ocurrir entre 19 y 21 meses de edad, lo cual es posible lograr utilizando prácticas de alimentación que permitan mejorar las ganancias diarias de peso vivo animal desde el nacimiento hasta la edad a primer servicio, teniendo como objetivo el mejoramiento de la estabilidad económica y ambiental del sistema de producción, y la eficiencia fisiológica de las hembras de reemplazo en busca de mantener o mejorar el desempeño de las hembras en las lactancias futuras (Zanton y Heinrichs, 2009).

El modelo de nutrición CNCPS (Cornell Net Carbohydrate and Protein System) considera los manejos específicos de las explotaciones, sus características ambientales y de alimentación para estimar con un alto grado de precisión el crecimiento de los animales en el hato (Tylutki *et al.*, 2003).

En la versión 6.1 de este modelo se han actualizado e implementado nuevos conceptos en aspectos de nutrición como la predicción de la tasa de pasaje, la composición química de los alimentos y sobre todo el aporte de proteína metabolizable al animal a partir de la proteína consumida en la dieta. Estos cambios proporcionan información útil para la formulación de dietas con bajos niveles de proteína cruda suficientes para satisfacer los requerimientos de los animales manteniendo o mejorando la producción y la rentabilidad, a la vez que se reduce el impacto ambiental (Van Amburgh *et al.*, 2012; Chase *et al.*, 2012). También se adoptaron 2 ecuaciones de predicción de metano en busca de una mayor precisión de los resultados: 1) (Mills *et al.*, 2003 -

ecuación no lineal 3, Mitschelich 3), que es usada para ganado lechero (vacas secas y lactantes). Esta ecuación incluye una función exponencial la cual describe el efecto creciente del consumo de energía metabólica sobre la producción de metano, con una proporción adicional para la relación almidón / FDA. 2) (Ellis *et al.*, 2007 ecuación 14b), la cual es utilizada en ganado de carne. Esta es una ecuación compleja en la que se requiere conocer el consumo de energía metabólica, FDA, y lignina. (Van Amburgh *et al.*, 2010).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar mediante el modelo CNCPS, Versión 6.1, la factibilidad económica y ambiental de la suplementación con diferentes fuentes de energía en el mejoramiento del crecimiento de novillas de reemplazo con diferentes componentes raciales en un sistema de producción de leche en pastoreo en el Valle del Cauca, Colombia.

MATERIALES Y METODOS

Localización y grupos raciales

Se evaluó el crecimiento de novillas utilizadas para reemplazo en un sistema de producción de leche intensivo multirracial ubicado en el municipio de Zarzal, corregimiento de La Paila, Valle del Cauca (Colombia), a 926 m.s.n.m, con una precipitación anual, promedio, de 1200 mm/año distribuida en forma bimodal, una temperatura promedio de 25 °C y humedad relativa de 70 %.

Los grupos raciales en el estudio fueron: Holstein-50% x Gyr-50% (H x G, n = 92), Holstein-50% x Jersey-50% (H x J, n = 50) y Jersey-50% x Holstein-25% x Gyr-25% (J x H x G, n = 35). De cada uno de estos grupos se tomaron los registros de peso vivo para estimar la curva de crecimiento desde el nacimiento hasta la concepción, que en promedio fue de 27 meses. Para el cálculo se utilizó el modelo logístico por la gran capacidad de ajuste que ofrece para datos de crecimiento en bovinos, y por la fácil comprensión del significado biológico de los parámetros que la componen (Malhado *et al.*, 2008; Ribeiro de Freitas, 2007).

$$Y = \frac{a}{1 + be^{-kt}}$$

Dónde:

a= peso a la madurez.

b=parámetro útil para modelar la curva sigmoidea

e=constante de Euler

k= tasa de crecimiento

t = tiempo

Para las simulaciones del crecimiento animal utilizando el modelo CNCPS Versión 6.1 fue necesario identificar los siguientes componentes en el sistema.

Condiciones de clima

Incluyeron la precipitación (mm), las temperaturas promedio y mínima (°C), la humedad relativa (%) y la velocidad del viento (km/h) durante los últimos 11 años que fueron consultadas en la Red Meteorológica Automatizada del Sector Azucarero (Cenicaña, 2011) de la estación La Paila.

Manejo y la nutrición

A partir del día 15 después del nacimiento y hasta 3 meses de edad, las terneras fueron alimentadas con 2 lt de leche entera tanto en la mañana como en la tarde más concentrado iniciador tratando de asegurar un consumo aproximado de 2 kg/día al final de esta etapa. Durante este tiempo los animales se mantuvieron en pasturas de estrella (*Cynodon plectostachyus*) con el fin de iniciar el acostumbramiento al pastoreo. El destete ocurrió a los 3 meses y de esta edad hasta los 8 meses de edad, los animales pasaron a potreros en rotación de pangola (*Digitaria decumbens*), guinea (*Panicum maximum cv. Tanzania*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*). Durante este tiempo los animales fueron suplementados con un concentrado iniciador a razón de 1 – 1.5 kg/día, dependiendo de la condición corporal. Entre 8 y 13 meses de edad, las novillas permanecieron en pastoreo extensivo en potreros mayores que 7 ha que no recibían fertilización riego suplementario y donde predominaban pangola, guinea cv. Tanzania y leguminosas nativas. Durante este tiempo los animales fueron suplementados con un concentrado para crecimiento a razón de 0.5 - 1 dg/día, dependiendo de la condición corporal. Después de los 13 meses y hasta el primer servicio, los animales continuaron con el manejo extensivo en estos potreros, pero sin suplementación.

Composición de las pasturas y los suplementos

Para el análisis de la composición química y proximal de las pasturas, durante cada etapa de crecimiento de las novillas en cada tipo de pastura se tomaron al azar tanto en época seca como de lluvias varias muestras simulando el pastoreo por los animales y a partir de éstas se tomaron submuestras de 150 g de peso seco. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de

Calidad de Forrajes del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) para determinar el contenido de materia seca (MS), fracciones nitrogenadas (proteína cruda (PC) y soluble, nitrógeno no proteico (NNP), proteína insoluble en detergente neutro y proteína insoluble en detergente ácido), fracciones fibrosas (fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA)), extracto etéreo (EE), cenizas, y lignina. La composición química de los suplementos concentrados se estimó a partir de la información suministrada por las empresas comerciales y fue complementada con información disponible en la literatura (Valadares Filho et al., s.f.; Vélez, 2011).

Alternativas de suplementación

Como opciones para la suplementación de los animales se evaluaron caña de azúcar, ensilado de maíz, melaza de caña y harina de yuca, subproductos de fácil consecución en la región.

La composición química y los precios de estos suplementos fueron tomadas de la biblioteca de pasturas tropicales del CNCPS, la biblioteca del CQBAL y de encuestas realizada en campo (Vélez, 2011).

Estimación de curvas de crecimiento por grupo racial

Estas curvas se calcularon para cuatro épocas de nacimiento según la precipitación (Figura 1). Debido a la falta de consistencia de los registros de nacimientos en cada época, se estimó la curva de crecimiento desde el nacimiento hasta la concepción de un animal representativo de cada grupo. La selección de estos se hizo según la capacidad de ajuste del modelo logístico ($R^2 = 96\%$ en promedio) utilizando datos reales. Para estimar las curvas de crecimiento individual y los parámetros de la curva se usó el procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS, 9.1.

Con las curvas de crecimiento obtenidas se calcularon el peso vivo animal (kg) y la tasa mensual de crecimiento (kg/día), la edad y el peso a la pubertad (punto de inflexión) desde el destete hasta la concepción (Tabla 1) para generar la información necesaria para las simulaciones utilizando el modelo CNCPS.

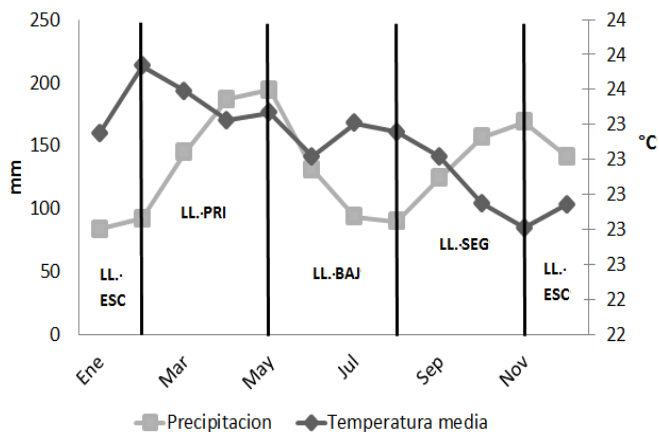


Figura 1. Precipitación y temperatura promedio (1999 – 2011) de la zona de estudio. Estación de La Paila, Valle del Cauca. LL. ESC: lluvias escasas (diciembre 1- febrero 28). LL. PRI: primeras lluvias (marzo 1- mayo 31). LL. BAJ: lluvias bajas (junio 1 - agosto 31). LL. SEG: segundas lluvia (septiembre 1- noviembre 30).

Uso del modelo CNCPS Versión 6.1

Con este modelo se calcularon las tasas de crecimiento (kg/día), requerimientos de energía (Mcal/día), y proteína metabolizable (kg/día), consumo estimado de alimento (MS, kg/día), requerimientos de nutrientes para mantenimiento y ganancia de peso vivo, balance de nutrientes en la dieta y producción de metano (kg).

Evaluación económica

Se realizó una estimación de los costos de producción de una novilla en relación solo con el componente nutricional utilizando el modelo CNCPS. Este procedimiento se hizo para conocer los costos nutricionales según el manejo actual y posteriormente se realizó con las fuentes energéticas de suplementación que se usaron para mejorar el desempeño productivo y desarrollo de las novillas en crecimiento. Para conocer los resultados del modelo, fue necesario estimar el costo de producción por tonelada (\$ (dólares)/ton – tasa de cambio \$1 USD= \$1.920 pesos Colombianos), de los alimentos que consumían los animales durante el crecimiento y de las fuentes de suplementación.

Estimación emisión de metano

Para estimar la emisión de metano desde el nacimiento hasta la edad de servicio de una novilla se utilizó el modelo CNCPS teniendo en cuenta tanto el sistema de manejo en la finca como el suministro de

las fuentes energéticas de suplementación antes mencionadas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados mostraron que con el manejo actual de la crianza de las hembras de reemplazo, el nutriente más limitante durante la mayor parte del crecimiento es la energía metabolizable.

Durante las primeras etapas de vida (3 a 12 meses de edad) se obtuvieron tasas de Entre 3 y 12 meses de edad de las novillas las ganancias de peso vivo fueron de 0.58, 0.45, 0.47 kg/día para los grupos (H x G), (H x J), y (J x H x G) respectivamente, las cuales se consideran aceptables para estos grupos raciales. Esto fue debido al tipo de pasturas en oferta compuesto por pasturas jóvenes de buena calidad asociadas con leguminosas forrajeras.

Después de 13 meses de edad las deficiencias energéticas fueron evidentes, lo que se reflejó en bajas ganancias de peso las cuales variaron con la época de lluvias. Esto fue debido a que la energía disponible en la dieta sólo permitía cubrir los requerimientos de mantenimiento, pero no era suficiente para cubrir los requerimientos para crecimiento animal (Figura 2). Durante las épocas de lluvias se encontraron ganancias de peso promedio para las cuatro épocas de 0.14, 0.037, 0.064 kg/d y durante las épocas secas de 0.43, 0.26, 0.29 Kg/d para los grupos (H x G), (H x J), y (J x H x G) respectivamente. Las bajas ganancias de peso durante las fases finales del crecimiento (>13 meses de edad) fueron debidas a la baja calidad de las pasturas con alto contenido de FDN (67%) y fallas en el manejo agronómico (falta de fertilización, rotación, etc.).

De manera general el crecimiento se afectó principalmente durante las fases finales, en especial en las épocas lluviosas, generando bajas tasas de ganancia de peso/día y retrasando el adecuado desarrollo de las novillas de reemplazo.

Alternativas de nutrición

Debido a que la energía metabolizable (EM) fue limitante para el crecimiento de las novillas especialmente entre 9 y 13 meses de edad, se decidió evaluar fuentes alternativas durante esta fase para evitar pérdidas de peso y garantizar tasas de crecimiento aceptables, en especial en las épocas donde la calidad y digestibilidad de los forrajes son bajas.

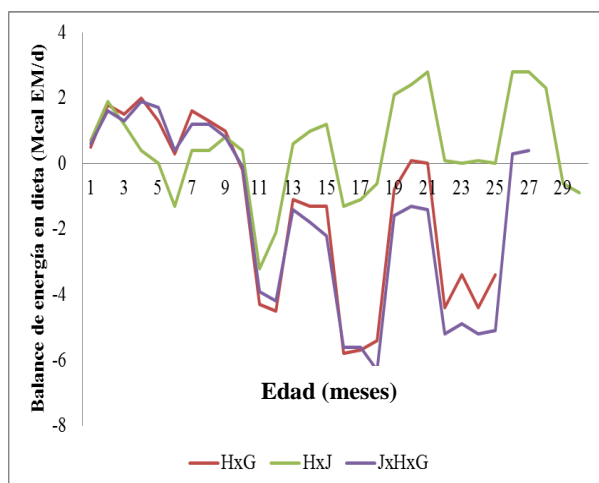


Figura 2. Balance de energía en la dieta estimada por el modelo CNCPS desde el destete hasta la concepción, para los animales seleccionados en la época de segundas lluvias

Con las fuentes de suplementación seleccionadas se realizaron simulaciones con el objetivo de identificar aquellas que promueven mejores ganancias de peso vivo por costo de inversión, para alcanzar un peso al primer servicio óptimo de acuerdo con el grupo racial evaluado. Para determinar el peso adecuado al primer servicio fue necesario conocer el peso a edad adulta

de novillas en cada cruzamiento. De acuerdo con Wattiaux (2009) las hembras lecheras de reemplazo deben tener el primer servicio con el 60% de peso a edad adulta. De esta manera, en este estudio se consideró que los tres grupos raciales mostraron pesos vivos a edad madura de 540, 480 y 470 kg, respectivamente, según los registros del hato en la Finca. Lo anterior indica que el peso recomendado para el primer servicio de novillas en el grupo H x G era de 330 - 350 kg, para los animales H x J entre 290 y 310 kg y para el grupo J x H x G entre 280 y 300 kg que corresponden al 60% del peso a edad madura de las novillas.

Con el uso del modelo CNCPS se encontró que con la inclusión de suplementos como ensilado de maíz, melaza de caña y harina de yuca (Figura 3) era posible reducir la edad al primer servicio entre los 20 y 24 meses de edad, garantizando un peso ideal de acuerdo con el grupo racial evaluado, lo que permite obtener animales bien desarrollados y aptos para el inicio de la vida reproductiva (Wattiaux, 2009). La suplementación con caña de azúcar no presentó un efecto positivo significativo ya que según las simulaciones varios de los animales alcanzarían el peso y edad al primer servicio tardíamente.

Tabla 1. Parámetros descriptivos del crecimiento de los animales seleccionados, estimados con el modelo logístico CNCPS.

Grupo racial ¹	Época ²	a	b	k (x10 ⁻³)	t	R ²	Edad pubertad (meses)	Peso pubertad (kg)	Concepción (meses)	Peso concepción (kg)
H x G	Escasas	503	9.1	511	432	97.3	14	251.7	22	384
	Primeras	458	8.9	611	357	97.2	12	228.9	22	396
	Bajas	400	8.6	478	451	98.7	15	200.1	29	352
	Segundas	487	9	473	465	97.5	16	243.6	27	407
H x J	Escasas	311	5.4	512909	330	95.3	11	155.6	30	295
	Primeras	332	6.1	711	253	95.1	8	166	25	323
	Bajas	317.3	7.70	669211	305	94.3	10	158.6	32	313
	Segundas	254.6	5.00	7307	220	94.6	7	127.9	32	253
J x H x G	Escasas	461	7.4	422	476	93.3	16	230.6	24	340
	Primeras	367	8.4	634	335	97.6	11	183.2	22	325
	Bajas	296	5.2	559096	295	91.6	10	148.1	29	285
	Segundas	416	11	471	499	98.1	17	208	29	354

1 H x G= Holstein-50% x Gyr-50%; H x J= Holstein-50% x Jersey-50%; J x H x G =Jersey-50% x Holstein-25% x Gyr-25%.

2 Datos promedio de precipitación por época: Escasa = 106 mm, primeras =175 mm, Bajas =105mm, Segundas=150mm.

a= peso a la madurez;

b=parámetro útil para modelar la curva sigmoidea;

k= tasa de crecimiento;

t = tiempo

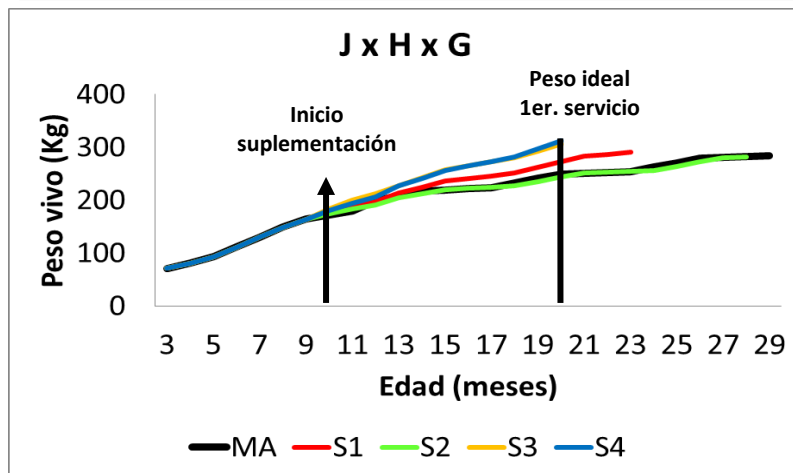
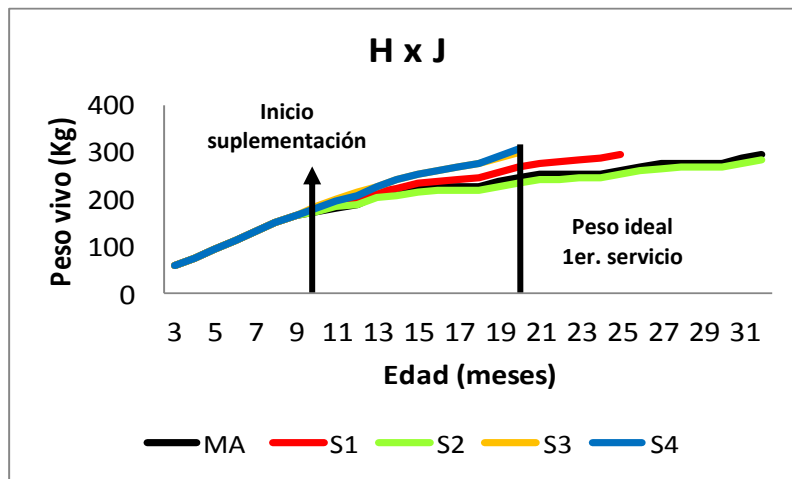
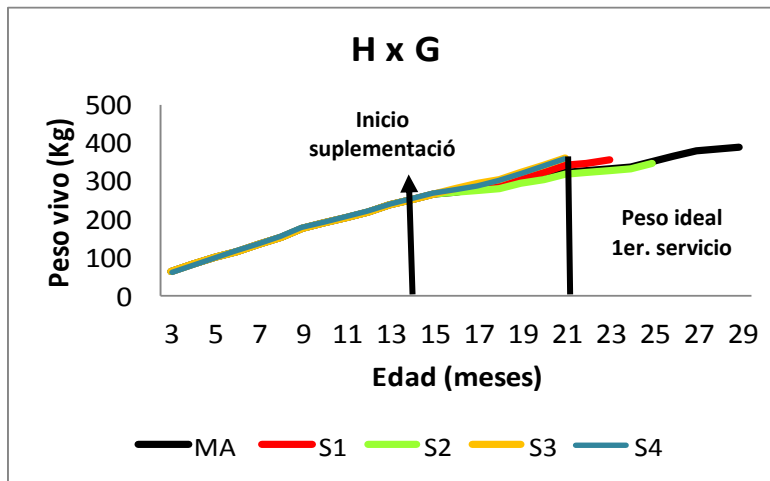


Figura 3. Respuesta a la suplementación con diferentes fuentes energéticas para los tres cruzamientos (EJ: época de lluvias bajas). MA= manejo actual; suplementación: S1= E. maíz, S2=Caña. A, S3= Melaza, S4= H. yucca H x G= Holstein-50% x Gyr-50%; H x J= Holstein-50% x Jersey-50%; J x H x G =Jersey-50% x Holstein-25% x Gyr-25%.

En la tabla 2 se incluyen las edades y los pesos que se alcanzarían con la oferta de las suplementaciones alternativas y las que se obtienen con la nutrición y el manejo actual de los animales. Se observa que la suplementación con ensilado de maíz, melaza y harina de yuca garantizan buenas tasas de crecimiento para que los animales puedan ser servidos entre 20 y 22 meses de edad con un desarrollo corporal adecuado, lo que significa que las novillas presentarían el primer parto entre 29 y 31 meses de edad, valores muy cercanos a lo propuesto por Osorio (2010) y Moran, 2009) para novillas en lecherías especializadas en diferentes zonas tropicales de Colombia.

Por el contrario, la suplementación con caña de azúcar no mejoró significativamente el crecimiento de las novillas, en comparación con las demás fuentes energéticas evaluadas, lo que puede ser debido al alto contenido de FDN (>50%) presente en este subproducto.

Los resultados de este estudio mostraron que la suplementación energética permite superar las limitaciones encontradas en las fases finales de las curvas de crecimiento de los animales, con lo que se alcanzan en la mayoría de los casos mejores pesos y edades tanto al primer servicio como al primer parto.

Tabla 2. Edad y peso vivo a primer servicio de novillas de diferentes grupos raciales estimados por el modelo CNCPS, con las diferentes fuentes de suplementación energética por época de lluvias^a.

Grupo racial ^b	Dieta	Escasa		Primera		Baja		Segunda	
		edad ⁶	kg/PV	Edad	kg/PV	Edad	kg/PV	Edad	kg/PV
H x G	1	20	348	22	349	23	357	22	355
	2	22	316	22	315	25	346	25	347
	3	20	364	21	345	21	359	21	355
	4	20	376	20	350	21	360	21	351
	Estimado ⁵	22	336	22	325	29	387	27	370
H x J	1	24	291	24	293	25	296	24	300
	2	30	286	25	261	32	284	30	295
	3	20	293	22	293	20	300	22	303
	4	20	294	20	292	20	306	21	299
	Estimado ⁵	30	288	25	262	32	294	32	300
J x H x G	1	21	292	22	280	23	291	23	293
	2	24	261	22	235	29	282	29	287
	3	20	304	20	280	20	306	20	289
	4	20	297	20	290	20	312	22	291
	Estimado ⁵	24	272	22	250	29	284	29	300

1: forraje suplementado con ensilado de maíz.

2: forraje suplementado con caña de azúcar.

3: forraje suplementado con melaza de caña.

4: forraje suplementado con harina de yuca.

5: datos estimados del crecimiento de los animales bajo el manejo actual.

6: Edad a primer servicio.

a. Datos promedio de precipitación por época: Escasa = 106 mm, primeras =175 mm, Bajas =105mm, Segundas=150mm.

b. H x G= Holstein-50% x Gyr-50%; H x J= Holstein-50% x Jersey-50%; J x H x G =Jersey-50% x Holstein-25% x Gyr-25%.

Análisis económico

Para la época del estudio, en la zona el precio estimado de una novilla de primer parto a 28 meses de edad era de US\$1150 (US\$1 = \$col.1920) (Gobernación Valle del Cauca, 2011). Según el Conpes (2010) aproximadamente 60% de estos costos corresponden a la compra de insumos para satisfacer los requerimientos nutricionales, es decir, para este caso estos costos serían de US\$690.

Lo anterior significa que los costos de alimentación para producir una novilla en el sistema productivo evaluado son elevados. En la simulación utilizando el modelo CNCPS se encontró que el promedio del costo/kg de ganancia de peso vivo animal obtenidos en las cuatro épocas (lluvias escasa, primeras, bajas, segundas) para los cruzamientos H x G, H x J, y J x H x G fueron, respectivamente, de US\$ 4, 11.3 y 5.2, lo que se equivale a costos totales, promedio, de US\$1125, 1324 y 1104, respectivamente. Es necesario señalar que estos costos fueron mayores durante las épocas de lluvias bajas (105 mm) y segundas (150 mm) para todos los grupos raciales evaluados, como resultado de las edades tardías en que los animales alcanzaron la concepción (> 27 meses de edad), lo cual indica que la época de nacimiento y la frecuencia de épocas lluviosas y secas durante el crecimiento de los animales influye en la ganancia de peso vivo por día y por tanto en el comienzo de la vida reproductiva y productiva.

Los resultados de la simulación mostraron que los costos son notoriamente más altos que los conocidos para la región, debido, básicamente, a que en la medida que los animales son servidos a edades tardías, aumenta directamente la edad en que son productivos. La tasa de ganancia de peso durante el crecimiento no fue adecuada, por tanto aumentan los costos/kg de peso vivo producido. Por el contrario, con mayores tasas de ganancia de peso vivo se hace un uso más eficiente de los recursos financieros.

Según el modelo, los costos de nutricionales para producir una novilla utilizando melaza de caña o harina de yuca, varían de acuerdo con la época y el grupo racial. De esta manera, el costo de producción de una novilla H x G suplementada con estas fuentes energéticas durante la época de lluvias escasas, primeras, bajas y segundas sería, en promedio, de US\$935, 1000, 816 y 861, respectivamente, logrando una reducción en costos de 7, 5.2, 32.3, y 30.2%, respectivamente en relación con el manejo sin suplementación. En el caso de los animales H x J el costo promedio fue aproximadamente de US\$830, 1027, 871 y 943, lo cual significa reducciones de 34.5, 15, 40 y 32% respectivamente. Con las novillas J x H x G estos costos fueron de US\$852, 886, 831 y

802, equivalentes a reducciones de 16.5, 7.6, 32 y 33.7%, respectivamente.

Estos resultados indican que la suplementación de las novillas con melaza de caña o harina de yuca permiten reducir los costos en la nutrición durante la crianza de novillas y obtener animales con condiciones ideales y a edades menores para servicio por primera vez, alcanzando la concepción entre los 19 y 21 meses de edad, lo que se traduce en un primer parto entre 28 y 30 meses, y en un mejor desempeño de los animales bajo condiciones tropicales típicas de la zona de estudio.

Producción de metano

Los resultados de las simulaciones (Tabla 3) muestran que con el uso de los suplementos energéticos evaluados (ensilado de maíz, caña de azúcar, melaza de caña y harina de yuca) es posible reducir las emisiones de metano desde el destete hasta el primer servicio. Las simulación indican que bajo el manejo tradicional en la finca, los grupos raciales H x G, H x J, y J x H x G animales generan en promedio durante las cuatro épocas de estudio 0.129, 0.130 y 0.124 kg/día de metano, equivalentes a una producción total de 85.8, 103.8 y 86 kg desde el destete hasta el primer servicio, respectivamente. Por otra parte, la producción de metano se relacionó estrechamente con la edad al primer servicio de las novillas.

En general la suplementación con las diferentes fuentes energéticas permitieron reducir considerablemente las emisiones de metano. Con el ensilado de maíz estas reducciones fueron de 25.4, 30.8, 27.6% y con caña de azúcar de 17.2, 11.4, 12.4% para los grupos raciales H x G H x J, y J x H x G, respectivamente, comparado con el manejo sin suplementación. Con los mismos grupos, las reducciones en las emisiones de metano fueron más notorias cuando se suplementó con melaza de caña o harina de yuca: 26.6, 38.6, 33.5%; y 28, 41.9 y 30.9%, respectivamente.

Estos resultados muestran que las emisiones de metano estimadas por el modelo CNCPS se encuentran entre 0.105 y 0.134 kg/día y son similares a las encontradas por (DeRamus *et al.*, 2003) (0.089 y 0.180 kg/día) y (Tomkins *et al.*, 2011) (0.136 ± 0.021 kg/día por dispersión y 0.114 ± 0.005 kg/día por el método de cámaras de respiración de circuito abierto) en novillas en pastoreo en condiciones tropicales.

La producción de metano por peso vivo (PV) fue variable entre los cruzamientos y las épocas de evaluación, siendo más alta en los animales que presentaron edades tardías al primer servicio. La suplementación energética mejoró las ganancias de

peso vivo y consecuentemente se redujo la producción de metano/kg de peso vivo. Cuando no se suministró suplementación se encontraron valores entre 0.24 - 0.36 kg/PV; mientras que con suplementación energética los valores encontrados variaron entre 0.18 y 0.33 kg/kg PV. Resultados similares encontraron Lovett et al. (2003) trabajando con cruces de novillas Charolais en las cuales la producción de metano por unidad de producto animal se redujo cuando se incrementó la proporción de alimento concentrado en la dieta y suplementado con aceite de coco (0.299 vs. 0.236 kg/kg de PV). Esta reducción se debe a la formación de ácidos grasos de cadena media que contribuyen a la disminución de la población de bacterias metanógenas.

La cantidad de emisiones generadas por los cruzamientos dependió del manejo de la nutrición. En la Figura 4 se observa que el grupo racial H x G

fue el más eficiente en la reducción de la emisión de metano. Cuando no se suplementó, las emisiones calculadas fueron de 0.24 kg/kg de PV; mientras que con la suplementación energética este valor fue de 0.17 kg/kg de PV.

Domingos (2010) considera que la reducción de la edad al primer parto con animales en condiciones ideales para iniciar su vida reproductiva es una de las estrategias posibles para mitigar las emisiones de metano; con esto se logra, además, disminuir el número de reemplazos y asegurar mayor longevidad de la vida reproductiva de los animales (Knapp et al., 2011). Lo anterior es básicamente lo que ocurrió en el presente trabajo, donde la suplementación energética permitió mejorar la tasa de crecimiento de las novillas y consecuentemente la edad a primer servicio y a primer parto.

Tabla 3. Edad a primer servicio y producción de metano total estimados por el modelo CNCPS, con las diferentes fuentes de suplementación energética por época de lluvias.

Grupo racial	Dieta	Escasa		Primeras		Bajas		Segundas	
		Edad ⁶	CH ₄ (kg) ⁷	Edad	CH ₄ (kg)	Edad	CH ₄ (kg)	Edad	CH ₄ (kg)
H x G	1	20	57.2	22	69.2	23	65.3	22	64.4
	2	22	66.5	22	69.8	25	73.2	25	74.6
	3	20	62.2	21	69	21	61.1	21	59.7
	4	20	62.3	20	64.3	21	61	21	59.6
	Estimado ⁵	22	73.6	22	75.7	29	98.9	27	95.3
H x J	1	24	68.5	24	75.2	25	73.4	24	70.2
	2	30	91.5	25	80	32	103	30	93.2
	3	20	57.7	22	71.8	20	59	22	66.5
	4	20	57.3	20	62.8	20	59	21	62.2
	Estimado ⁵	30	101.6	25	88.1	32	115.6	32	110.1
J x H x G	1	21	58.3	22	63.4	23	63.9	23	63.4
	2	24	70.2	22	61	29	82.7	29	87.5
	3	20	57.4	20	59.6	20	57.1	20	54.5
	4	20	58.3	20	59	20	57.4	22	63
	Estimado ⁵	24	77.5	22	70.8	29	97.7	29	98

1: forraje suplementado con ensilado de maíz.

2: forraje suplementado con caña de azúcar.

3: forraje suplementado con melaza de caña.

4: forraje suplementado con harina de yuca.

5: datos estimados del crecimiento de los animales bajo el manejo actual.

6: Edad primer servicio.

7: Producción total de metano desde el destete (3 meses) hasta el primer servicio efectivo.

a. Datos promedio de precipitación por época: Escasa = 106 mm, primeras = 175 mm, Bajas = 105mm, Segundas = 150mm.

b. H x G = Holstein-50% x Gyr-50%; H x J = Holstein-50% x Jersey-50%; J x H x G = Jersey-50% x Holstein-25% x Gyr-25%.

La suplementación energética, por sus características físico-químicas, modifica el nivel y la frecuencia de alimentación de los animales y contribuye a reducir la tasa de emisión de metano por fermentación ruminal. Las bacterias anaerobias metanógenas presentes en el rumen son los principales productores de metano y la magnitud de sus efectos depende de los sustratos presentes en la dieta y de las interacciones con otras poblaciones en el rumen., por tanto la manipulación de la dieta ofrecida a los animales en busca de mejorar el proceso de fermentación ruminal va a permitir incrementar los parámetros productivos y reproductivos, debido, entre otros aspectos, a una mejor utilización de la energía (Carmona *et al.*, 2005).

La suplementación con fuentes energéticas de altos contenidos de azúcares de fácil fermentación favorece la producción de propionato, permitiendo una mayor

proporción de energía disponible para los animales y reduciendo la formación de acetato uno de los precursores para la formación de metano. Al mismo tiempo, el aumento en la producción de propionato promueve la reducción del pH ruminal afectando la población de bacterias formadoras de metano. Esto se produce porque la formación de metano se inhibe por la toxicidad de los ácidos provenientes de la fermentación a pH bajos (Carmona *et al.*, 2005).

La alta disponibilidad energética y la buena digestibilidad de los suplementos (bajo FDN) permiten corregir las deficiencias nutricionales en los animales del hato ganadero. Esto se reflejó en las buenas tasas de ganancia de peso vivo por día, indicando que se redujeron las pérdidas energéticas en el animal y por lo tanto se redujo la producción de metano.

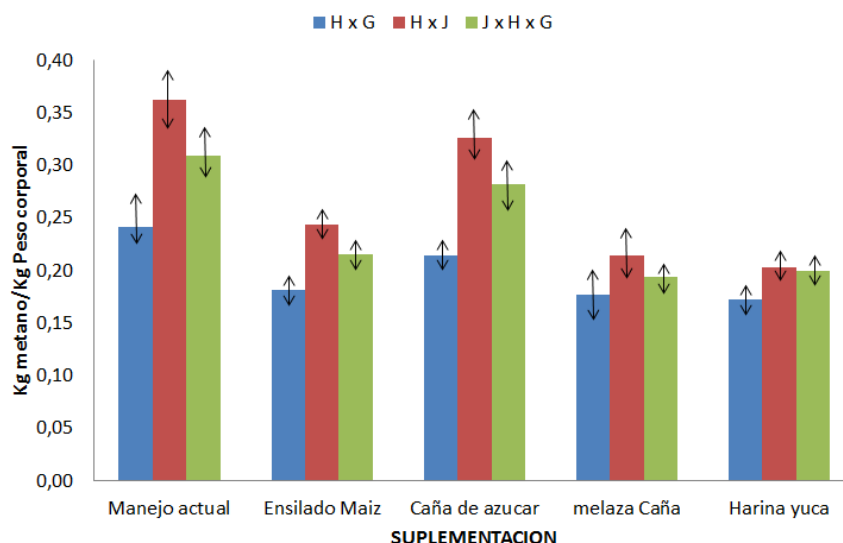


Figura 4. Efecto de la suplementación sobre la producción de metano (Kg)/Kg de peso vivo (promedio para las 4 épocas) obtenido durante el crecimiento de cada cruzamiento evaluado. Las flechas en cada barra indican desviación estándar. H x G= Holstein-50% x Gyr-50%; H x J= Holstein-50% x Jersey-50%; J x H x G= Jersey-50% x Holstein-25% x Gyr-25%.

CONCLUSIONES

Los resultados de las simulaciones revelaron importantes deficiencias debilidadas nutricionales durante el crecimiento de las novillas. En los cruzamientos evaluados en general se encontraron deficiencias energéticas importantes entre los 9 y 13 meses de edad de las novillas, las cuales retrasaban el crecimiento y el adecuado desarrollo de los animales. La suplementación con fuentes energéticas como melaza de caña y harina de yuca permitirían corregir

las deficiencias encontradas, mejorando la tasa de crecimiento y garantizando novillas aptas para iniciar su vida reproductiva entre los 20 y 22 meses de edad. Además, también se reducirían los costos nutricionales de la crianza y la emisión de metano durante esta fase, básicamente porque se lograría reducir la edad al primer parto (tiempo no productivo de las novillas) y las pérdidas energéticas en forma de metano, todo a través de la manipulación de la dieta. El modelo CNCPS permitió identificar las principales limitaciones nutricionales en la fase de crecimiento,

las alternativas de suplementación, la emisión de metano y la relación costo/beneficio de la reducción de la edad al primer parto en los grupos genéticos multirraciales estudiados, comunes en sistemas de producción de leche bajo condiciones tropicales.

Agradecimientos

Al propietario y trabajadores de la finca donde se realizó la investigación por su apoyo en el suministro de la información necesaria para realizar las evaluaciones. Al personal del Laboratorio de Forrajes del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y del Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

REFERENCIAS

- Carballo, O. C. 2009. Management of heifer growth in dual-purpose cattle systems in the low huasteca region of Veracruz, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias. Cornell University. pp. 16-30.
- Carmona, J., Bolívar, D., y Giraldo, L. 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 18:1- 49.
- Chase, L. E., Higgs, R. J., y Van Amburgh, M. E. 2012. Feeding Low Crude Protein Rations to dairy cows – what have we learned? 23rd Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. University of Florida. Gainesville, Florida. pp 32 - 42.
- Conpes (Consejo Nacional de la Producción). 2010. Política Nacional para Mejorar la Competitividad del Sector Lácteo Colombiano. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR); Ministerio de Comercio, Industria y Turismo; Ministerio de la Protección Social; Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA); Colciencias; DNP – DDRS. Pp. 9 – 18.
- DeRamus, H. A.; Clement, T. C.; Giampola, D. D.; y Dickison, P. C. 2003. Methane emissions of beef cattle on forages: efficiency of grazing management systems. Journal of Environmental Quality. 32: 269-277.
- Domingos. A., 2010. Effects of nitrate and additional effect of probiotic on methane emissions and dry matter intake in Nellore bulls. Tesis de Maestría en Ingeniería Zootécnica. Universidade de Trás-os-Montes. http://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/566/1/MsC_amdascensao.pdf (junio 2011).
- Gobernación del Valle del Cauca., 2011. Guía de costos pecuarios, Novilla primer parto leche. <http://www.valledelcauca.gov.co/agricultura/publicaciones.php?id=967>
- Knapp, J. R., Firkins, J. L., Aldrich, J. M., Cady, R. A., Hristov, A. N., Weiss, W. P., Wright, A. D., y Welch, M. D., 2011. Cow of the future research priorities for mitigating enteric methane emissions from dairy. Working draft. Innovation Center for U.S. Dairy. pp. 20 - 25.
- Lovett, D., Lovell, S., Stack, L., Callan, J., Finlay, M., Conolly, J., y O'Mara, F. P., 2003. Effect of forage/concentrate ratio and dietary coconut oil level on methane output and performance of finishing beef heifers. Livestock Production Science. 84:135-146.
- Malhado, C. H., Ramos, A. A., Carneiro, P. L., Souza, J. C., Wechsler, F. S., Eler, J. P., Azevêdo, D. M., y Sereno, J. R., 2008. Modelos no lineales para describir el crecimiento de bufalinos de la raza Murrah. Archivos de Zootecnia. 57 (220): 497-503.
- Moran, J., 2009. Key Performance Indicators to diagnose poor farm performance and profitability of smallholder dairy farmers in Asia. Asian-Aust. Journal Animal Science. 22: 1709 – 1717.
- Osorio, F., 2011. Estamos usando adecuadamente el recurso genético en nuestro sistema de producción?. Memórias V Jornada Ganadera de Finca S.A. Medellín, Pereira, Palmira. www.finca.com (Febrero 2011).
- Ribeiro de Freitas, A., 2007. Estimativas de curvas de crescimento na producao animal. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria. Embrapa. Pecuaria Sudeste. Ministerio de Agricultura, Pecuaria e Abastecimento.. Brazil.
- Tomkins, N. W., McGinn, S. M., Turner, D. A., y Charmley, E., 2011. Comparison of open-circuit respiration chambers with a micrometeorological method for determining methane emissions from beef cattle grazing a tropical pasture. Animal Feed Science and Technology. 166– 167: 240– 247.

- Tylutki, T. P., Fox, D. G., Tedeschi, L. O., Van Amburgh, M. E., Chase, L. E., Pell, A. N., Overton, T. R., y Russell, J. B., 2003. The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. CNCPS version 5.0 . The Cornell University Nutrient Management Planning System. USA.
- Valadares Filho, S. C., Machado, P. A., Chizzotti, M. L., Amaral, H. F., Magalhães, K. A., Rocha Jr. V. R., Capelle, E. R., SF. CQBAL 3.0. Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Bovinos. Disponível en: <http://cqbal.agropecuaria.ws/webcqbal/index.php> (mayo 2011).
- Van Amburgh, M. E., Chase, L. E., Overton, T. R., Ross, D. A., Recktenwald, E. B., Higgs, R. J., y Tylutki, T. P., 2010. Updates to the Cornell Net Carbohydrate and Protein System v6.1 and implications for ration formulation. Proceedings 2010 Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers. Cornell University. Ithaca, Nueva York. p. 144-159.
- Van Amburgh, M. E., Ross, D. A., Higgs, R. J., Recktenwald, E. B., y Chase, L. E., 2012. Balancing for rumen degradable protein and post-ruminal requirements for lactating cattle using the CNCPS as a basis for evaluation. 23rd Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. University of Florida. Gainesville, Florida. p. 17 - 30.
- Vélez, O. M., 2011. Análisis de las limitaciones nutricionales y de manejo en un sistema de producción lechera en el valle del Cauca. Tesis de Maestría en Ciencias Agraria con énfasis en Producción Animal. Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/6045/> (Diciembre 2011).
- Wall Schilling, L. W., 2000. Descripción del crecimiento corporal de hembras de reemplazo Frisón negro chileno en predios lecheros de la Décima Región. Tesis de grado para optar al título de: Licenciado en Medicina Veterinaria. Universidad Austral de Chile. p 3-9.
- Wattiaux, M., 2009. Heifer Postweaning Nutrition. <http://dairynutrient.wisc.edu/414/page.php?id=813> (Octubre 2011).
- Zanton, G. I. y Heinrichs, A. J., 2009. Review: Limit feeding with altered forage to concentrate levels in dairy heifer diets. Department of Dairy and Animal Science, the Pennsylvania State University. The Professional Animal Scientist. 25:393 - 403.

Submitted August 05, 2013 – Accepted February 19, 2014
Revised received February 19, 2014