

Nota Técnica

Valor energético del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) para la producción de leche en el trópico de altura

Energy value of kikuyu grass (Cenchrus clandestinus) for milk production in the highland tropics

SANDRA LUCÍA POSADA OCHOA, SEBASTIÁN BEDOYA MAZO, JOAQUÍN ANGULO ARIZALA, RICARDO ROSERO NOGUERA Y DANIELA JIMÉNEZ MONTOYA

Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias (GRICA), Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. udea.edu.co

Resumen

En las zonas altas del trópico de Colombia, el pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) es la opción forrajera predominante. Conocer su valor energético *in vivo* es fundamental para la formulación de raciones. Los objetivos de este trabajo fueron: (i) Determinar la densidad energética del pasto kikuyo en términos de energía digestible (ED), metabolizable (EM) y neta (EN) a partir de pruebas de balance en vacas lecheras de la raza Holstein; (ii) Evaluar el potencial del pasto kikuyo para sostener la producción de leche en animales alimentados mayoritariamente con pasto; (iii) Estimar la tasa de sustitución (TS) del pasto kikuyo, entendida como la reducción en el consumo de pasto cuando se incorpora un suplemento concentrado en la dieta. Se utilizó un diseño transeccional de naturaleza descriptiva, en el cual se emplearon cuatro vacas lactantes con 196 días en lactancia, que diariamente consumieron pasto kikuyo *ad libitum* (98.4% del consumo total) más 0.3 kg de suplemento/animal/día. Para realizar la partición energética, se cuantificaron las pérdidas energéticas a través de las heces, orina, emisión entérica de metano y producción de calor; además, se determinó la producción de leche con la dieta, basada mayoritariamente en pasto. Al restringir el suplemento concentrado, todos los animales perdieron peso (-2.4%), aumentaron el consumo de materia seca (MS) de pasto (+24.6%), disminuyeron el consumo de MS total (-17.2%) y la producción de leche corregida al 4% de grasa (LCG4, -18.3%). La densidad energética de la dieta en términos de ED y EM fue de 2.78 ± 0.13 y 2.37 ± 0.08 Mcal/kg MS, respectivamente, mientras su contenido de EN fue estimado en 1.39 ± 0.26 Mcal/kg MS. La producción de leche con base en el consumo de pasto, estimada a partir del balance energético, fue 13.20 ± 3.84 , fluctuando entre 8.8 y 15.9 kg LCG4/animal/día. La TS fue 0.56 ± 0.10 kg MS de pasto/kg MS de concentrado.

Palabras clave: Consumo de materia seca, densidad energética, desempeño productivo, tasa de sustitución, vacas lactantes.

Abstract

Kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*) is the predominant forage option in the highland tropics of Colombia; hence, it is quite relevant for ration formulation to know its *in vivo* energy value. The objectives of this study were: (i) To determine the energy density of kikuyu grass in terms of digestible energy (DE), metabolizable energy (ME), and net energy (NE) through balance trials with Holstein cows; (ii) To evaluate the potential of kikuyu grass to sustain milk production in animals primarily fed on pasture; (iii) To estimate the substitution rate (SR) of kikuyu grass, defined as the reduction in pasture intake when a concentrate is incorporated into the diet as a supplement. A cross-sectional design of descriptive nature was used, in which four lactating cows with 196 days in lactation were employed, consuming kikuyu grass *ad libitum* (98.4% of total intake) plus 0.3 kg of supplement/animal/day. Energy losses through feces, urine, enteric methane emissions, and heat production were quantified to perform energy partitioning; also, milk production, primarily from a

grass-based diet, was determined. After restricting concentrate intake, all animals lost weight (-2.4%), increased grass dry matter (DM) intake (+24.6%) and reduced total DM intake (-17.2%) and fat-corrected milk yield (4% FCM, -18.3%). The energy density of the diet in terms of DE and ME was 2.78 ± 0.13 and 2.37 ± 0.08 Mcal/kg DM, respectively, while its estimated NE content was 1.39 ± 0.26 Mcal/kg DM. Milk production based on pasture, as estimated through the energy balance, was 13.20 ± 3.84 , ranging between 8.8 and 15.9 kg 4% FCM/animal/day. The SR was 0.56 ± 0.10 kg DM of grass/kg DM of concentrate.

Keywords: Dry matter intake, energy density, lactating cows, productive performance, substitution rate.

Introducción

Las zonas del trópico de altura en Colombia se han especializado en la producción de leche, con el pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) como componente forrajero predominante (Portillo et al. 2019). El pasto kikuyo es una gramínea tropical perenne de vía fotosintética C4 (García et al. 2014), cuya producción anual oscila entre 9 y 30 toneladas de materia seca (MS)/ha/año (Royani et al. 2021).

Una vez el alimento es ingerido por el animal, parte de su contenido energético se pierde en heces, orina, gases y calor disipado, quedando finalmente la energía neta (EN), que estará disponible para el mantenimiento y la retención de energía en forma de producción de leche, tejido corporal y otras funciones anabólicas (Church et al. 2002). Realizar estimaciones precisas del contenido de energía disponible de los alimentos es necesario para formular dietas y evaluar el valor nutricional y económico de las diferentes raciones.

El contenido de energía de los alimentos se puede estimar a través de ecuaciones de regresión que se basan en su composición química. En el caso de los forrajes, frecuentemente se utilizan ecuaciones basadas en el contenido de fibra detergente ácido (FDA), las cuales son insensibles a los cambios en las concentraciones de otros nutrientes, no consideran fuentes adicionales de variación sobre la digestibilidad, y no permiten descuentos variables basados en el consumo y los efectos asociativos. Además, dichas ecuaciones están basadas en alimentos usados en la zona templada (Weiss 1998).

Varios trabajos han reportado valores de EN de lactancia (EN_L) para el pasto kikuyo (Mcal/kg MS): entre 1.01–1.13 a los 60 y 30 días de rebrote, respectivamente (Soto et al. 2005); 1.18 a los 29 días (Correa et al. 2012) y entre 1.27–1.45 a los 35 días, en períodos de baja y alta precipitación, respectivamente (Portillo et al. 2019), pero los mismos son producto de estimaciones usando ecuaciones de predicción, y no de mediciones directas en ensayos *in vivo*, donde se mide primero la energía

digestible (ED), luego la energía metabolizable (EM), y posteriormente la energía neta (EN) (Weiss y Tebbe 2019). Por otro lado, hay reportes del contenido de EM en pasto kikuyo medida *in vivo* (Marais 2001; Erasmus 2009), pero no de EN.

Con base en lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivos: 1. Determinar el valor energético del pasto kikuyo en términos de ED, EM y EN a partir de pruebas de balance con vacas lactantes de la raza Holstein; 2. Evaluar el potencial del pasto kikuyo para sostener la producción de leche en animales alimentados mayoritariamente con pasto; y 3. Estimar la tasa de sustitución (TS) del pasto kikuyo, entendida como la reducción en el consumo de pasto cuando se incorpora un suplemento concentrado en la dieta.

Materiales y Métodos

Localización

El trabajo se realizó en el Laboratorio de Calorimetría Animal del Centro de Prácticas y Desarrollo Agrario “La Montaña”, propiedad de la Universidad de Antioquia, ubicado en el municipio de San Pedro de los Milagros (Antioquia, Colombia) (coordenadas: $6^{\circ} 26' 59.606$ N y $75^{\circ} 32' 37.088$ W) a una altitud de 2468 msnm, y con promedios de temperatura y humedad relativa de 14.5°C y 79%, respectivamente.

Animales experimentales

Se utilizó un diseño transeccional de naturaleza descriptiva, en el cual se seleccionaron cuatro vacas adultas de la raza Holstein, con 196.3 ± 25.3 días en lactancia, 571.5 ± 17.7 kg de peso vivo (PV) y una producción de leche corregida al 4% de grasa (LCG4) de 19.9 ± 2.0 kg/día. Los animales permanecieron estabulados en un galpón abierto, dotado con comedero y bebedero individual. Antes de iniciar las mediciones, fueron adaptados a las instalaciones, la alimentación

y el manejo durante 15 días, lapso durante el cual se inició el suministro de óxido de cromo (Cr_2O_3) para la determinación de la digestibilidad y se realizó la reducción gradual de la suplementación de concentrado desde 7.7 ± 0.2 hasta un mínimo de 0.3 kg/animal/día, cantidad que se mantuvo hasta finalizar el trabajo, correspondiendo al período con restricción de suplemento.

Alimentación

Los animales tuvieron libre acceso al agua y a pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) fresco de 32 días de rebrote, fertilizado con 370 kg de N/ha/año, de los cuales 310 kg fueron aportados por fertilizante sintético y 60 kg N por gallinaza compostada. El pasto fue cosechado diariamente en horas de la mañana y suministrado tres veces al día (08:00, 12:00, 16:00 h) para estimular el consumo y evitar el desperdicio. La cantidad ofertada a cada animal se calculó con base en el consumo del día anterior más un 20% adicional. El consumo de pasto se determinó diariamente por diferencia de peso entre la oferta y el rechazo.

Al momento del ordeño (06:00 y 15:00 h) se ofreció el suplemento concentrado, garantizando el consumo total. La suplementación inicial, que en promedio fue de 7.7 ± 0.2 kg/animal/día, se restringió progresivamente, los días 10, 12 y 14 después de iniciado el experimento, a razón de 2.5 ± 0.1 kg/animal/día (50% en cada ordeño), de tal forma que antes de iniciar la prueba de digestibilidad, en el día 16, los animales sólo recibieron 0.3 kg de suplemento/animal/día, y esa cantidad se mantuvo hasta finalizar la fase de evaluación. La composición química del pasto kikuyo y del suplemento concentrado se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición nutricional del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) y del suplemento concentrado.

Composición química	<i>Cenchrus clandestinus</i>	Suplemento
Materia seca, %	13.6	83.6
Proteína bruta, %	21.2	14.8
Extracto etéreo, %	3.1	3.9
Fibra detergente neutro, %	53.9	18.4
Fibra detergente ácido, %	24.8	7.1
Cenizas, %	12.8	11.6
Materia orgánica, %	87.2	88.4
Carbohidratos no fibrosos, %	9.0	51.3
Energía bruta, Mcal/kg MS	4.4	4.2

Prueba de digestibilidad y metabolismo

Una vez finalizada la etapa de adaptación de 15 días de duración, se inició la prueba de digestibilidad y metabolismo. La producción fecal se estimó empleando Cr_2O_3 como marcador externo (Correa et al. 2009) y la excreción urinaria a partir de la concentración de creatinina en orina como marcador interno (Escobar et al. 2010). Igualmente, se cuantificó la producción de metano (CH_4) y de calor mediante calorimetría indirecta de circuito abierto (Li Jiangong et al. 2019).

Digestibilidad. A partir del día 9 de iniciado el experimento y durante 12 días consecutivos, cada animal recibió diariamente 10 g de Cr_2O_3 (p.a. 98%) (Fisher Scientific, FairLawn, NJ, USA), 5 g en cada ordeño. Durante los últimos cinco días de suministro, entre los días 16 y 20 de iniciado el experimento, se colectaron muestras individuales de heces directamente del recto, dos veces por día (mañana y tarde), obteniendo al final una muestra compuesta por animal, en la que se determinó la concentración de MS, cromo y energía bruta (EB).

Volumen urinario. Simultáneamente con la colecta fecal, diariamente se obtuvo muestras de orina de cada animal. Completados los cinco días de colecta, se obtuvo una muestra compuesta por animal, en la que se determinó la concentración de creatinina y EB.

Emisión de metano y producción de calor. Finalizada la colecta de heces y orina, los animales ingresaron a las cámaras de respiración de circuito abierto por tres días consecutivos para la cuantificación del consumo de oxígeno y de la emisión de CH_4 y dióxido de carbono. El sistema respirométrico usado fue descrito por Rosero y Posada (2017). El intercambio respiratorio (L/día) permitió calcular la producción de calor (kcal/día) a partir de la ecuación descrita por Brouwer (1965).

Producción y composición de la leche

Las vacas fueron ordeñadas dos veces por día (06:00 y 15:00 h), usando un sistema de ordeño mecánico Alfa Laval, de cuatro puestos en tándem. La producción de leche se cuantificó diariamente de forma individual utilizando medidores automáticos (WB Ezi-Test; Tru-Test, New Zealand), mientras que su calidad composicional se analizó antes (días 6 y 7) y después de la restricción del suplemento concentrado (días 19 y 20 de iniciado el experimento), obteniendo una muestra por ordeño, en la cual se determinó el contenido de proteína,

grasa, lactosa y sólidos totales (valores expresados en %) empleando equipo MilkoScan FT+ (Foss, Hillerød, Dinamarca). La composición fue ponderada de acuerdo con la cantidad de leche registrada en cada ordeño. La producción de leche fue corregida al 4% de grasa (LCG4) conforme la ecuación descrita por Hall (2023). El contenido energético de la leche se calculó de acuerdo con los lineamientos del NRC (2001).

Peso corporal.

Los animales se pesaron a los 7 y 21 días de iniciado el experimento, esto es, antes de iniciar la restricción de concentrado y al finalizar la prueba de digestibilidad y metabolismo. El pesaje se realizó a la misma hora, sin previo ayuno, justo antes de ofrecer el alimento.

Análisis químicos.

El análisis químico de las muestras (pasto, suplemento, rechazos) incluyó MS, PB, cenizas, fibra detergente neutro (FDN), FDA y EB (Balthrop et al. 2011). La concentración de extracto etéreo (EE) sólo se analizó en los alimentos, con el fin de hallar la concentración de carbohidratos no fibrosos (CNF): $MS - (PB + \text{cenizas} + EE + FDN)$. En las heces y la orina se determinó la EB para realizar el balance energético. La concentración de cromo en las heces y en el Cr_2O_3 ofrecido se determinó por espectrometría de absorción atómica (Williams et al. 1962). La concentración de creatinina en la orina se determinó por colorimetría (Escobar et al. 2010).

Variables de respuesta

Consumo de materia seca y de nutrientes. Diariamente se tomaron muestras del alimento ofrecido y del rechazo, obteniendo una muestra compuesta por animal en dos momentos: entre los días 5 y 9 (sin restricción de suplemento concentrado) y, durante la prueba de digestibilidad, entre los días 16 y 20 (con restricción de suplemento concentrado) de iniciado el experimento. A partir del análisis químico de las muestras se calculó el consumo de MS (CMS), materia orgánica (MO), PB, FDN, FDA y EB.

Eficiencia alimenticia. La eficiencia alimenticia (EA), expresada en kg de leche y de LCG4 por kg de MS consumida, se determinó con base en el desempeño productivo y el CMS total entre los días 5–9 (sin restricción de suplemento concentrado) y 16–20 (con restricción de suplemento concentrado) después de iniciado el experimento.

Balance energético. El balance de energía (kcal/día) se determinó por diferencia entre el consumo de EB y las pérdidas a través de las heces (energía fecal, EF), la orina (energía urinaria, EU), el CH_4 emitido (EG) y el calor generado. La pérdida de energía en forma de CH_4 se estimó como el producto entre la emisión de CH_4 (L) y su densidad energética (9.45 kcal/L; Nkrumah et al. 2006). La ED correspondió a la diferencia EB-EF, la EM a la diferencia ED-EU-EG y la energía neta retenida (EN_r) fue el resultado de la diferencia entre EM y la producción de calor. El balance energético (BE) correspondió a la diferencia entre la EN_r y la energía presente en la leche. La energía neta requerida para el mantenimiento (EN_m) se estimó a partir del peso corporal vacío metabólico ($PCV^{0.75}$), que según el NASEM (2021) corresponde a 0.1 Mcal/kg $PCV^{0.75}$. La EN total correspondió a la suma de la EN_m y la EN_r , en tanto que el incremento térmico se estimó por diferencia entre la EM y la EN. La densidad energética de la dieta (kcal/kg MS) se obtuvo al dividir los resultados del balance energético (kcal/día) por el CMS (kg/día). Para la estimación del peso corporal vacío (PCV) a partir del peso vivo (PV) se utilizó la ecuación (NRC 2001):

$$PCV = PV \times 0.817.$$

Producción de leche a partir del consumo de pasto (Base forrajera). Este parámetro expresado en kg de LCG4/animal/día se estimó usando dos metodologías: i) A partir del producto entre la pérdida de PCV (kg/día) ($PCV \text{ día } 21 - PCV \text{ día } 7$) y su densidad energética (Mcal/kg), estimada previa determinación de la condición corporal de los animales, que en promedio fue 3.0 ± 0.1 ; y ii) A partir del balance energético negativo (BEN) cuantificado por calorimetría (Mcal/día). Las premisas contempladas fueron las siguientes: a) la pérdida de 1 kg de PCV aporta 4.68 Mcal EN_r , cada kg de LCG4 requiere 0.749 Mcal para su síntesis y, b) la eficiencia con la cual se emplea la energía movilizada desde las reservas corporales para la producción de leche es del 82%. La producción de LCG4 calculada a partir de la pérdida de peso y el balance energético negativo fue sustraída de la producción de LCG4 observada, permitiendo estimar la producción de leche a partir del consumo de pasto.

Tasa de sustitución (TS). La TS fue estimada mediante la fórmula propuesta por Bargo et al. (2003):

$$TS = (\text{CMSp sin suplementación} - \text{CMSp con suplementación}) / \text{CMSs};$$

Donde: CMSp y CMSs hacen referencia al CMS de pasto y suplemento concentrado, respectivamente. El CMSp con y sin suplementación correspondió al promedio de consumo registrado entre los días 5–9 y 16–20 del período experimental, respectivamente.

Resultados

En el Cuadro 2 se muestra el PV, el CMS y de nutrientes, antes y después de la restricción de suplemento concentrado en cada una de las unidades experimentales. El consumo de PB, FDN, FDA, MO y EB antes de la restricción de suplemento fue de 19 ± 0.2 , 41.6 ± 1.3 , 18.7 ± 0.7 , 87.7 ± 0.1 (% MS) y 4313 ± 8.7 kcal/kg MS,

respectivamente. Los valores correspondientes de consumo de los mismos nutrientes después de la restricción de suplemento fueron: 21.1 ± 0.0 , 53.3 ± 0.1 , 24.5 ± 0.1 , 87.2 ± 0.0 (% MS) y 4386 ± 9.1 kcal/kg MS.

En el Cuadro 3 se muestra la producción de leche, su composición y la eficiencia alimenticia antes y después de la restricción de suplemento concentrado para cada una de las vacas utilizadas en el estudio.

En el Cuadro 4 se muestra la variación porcentual en el PV, el CMS de pasto y total, y de los nutrientes analizados, así como el desempeño productivo entre el período previo y posterior a la restricción de suplemento concentrado. En todos los casos, el 100% corresponde al valor obtenido durante el período de suplementación.

Cuadro 2. Peso vivo, consumo de materia seca y de nutrientes antes y después de la restricción de suplemento concentrado.

Variable	Antes de la restricción de suplemento				Después de la restricción de suplemento			
	Animal 1	Animal 2	Animal 3	Animal 4	Animal 1	Animal 2	Animal 3	Animal 4
PV inicial	556	586	544	580	-	-	-	-
PV final	-	-	-	-	550	574	524	565
Consumo de materia seca								
Pasto (kg/día)	14.0	13.5	10.3	11.1	18.1	14.6	13.6	14.2
Suplemento (kg/día)	6.3	6.3	6.3	6.7	0.3	0.3	0.3	0.3
Total (kg/día)	20.3	19.8	16.6	17.8	18.4	14.9	13.9	14.5
Total (% PV)	3.6	3.4	3.1	3.1	3.3	2.6	2.7	2.6
Pasto (%)	69.0	68.2	62.0	62.2	98.6	98.3	98.2	98.3
Tasa de sustitución	-	-	-	-	0.66	0.17	0.54	0.47
Consumo de nutrientes								
PB (kg/día)	3.9	3.8	3.1	3.3	3.9	3.1	2.9	3.1
FDN (kg/día)	8.7	8.5	6.7	7.2	9.8	7.9	7.4	7.7
FDA (kg/día)	3.9	3.8	3.0	3.2	4.5	3.7	3.4	3.5
MO (kg/día)	17.7	17.4	14.5	15.6	16.0	13.0	12.2	12.6
EB (kcal/día)	87567	85648	71416	76541	80650	65397	61126	63451

Cuadro 3. Producción y composición de la leche, y eficiencia alimenticia antes y después de la restricción de suplemento concentrado.

Variable	Antes de la restricción de suplemento				Después de la restricción de suplemento			
	Animal 1	Animal 2	Animal 3	Animal 4	Animal 1	Animal 2	Animal 3	Animal 4
Producción de leche								
kg/día	19.0	18.6	20.5	22.0	15.7	15.9	17.5	18.6
kg LCG4/día	19.6	17.5	22.6	21.7	15.6	14.6	19.4	16.9
Calidad de leche								
Grasa (%)	4.2	3.6	4.7	3.9	3.9	3.5	4.7	3.4
Proteína (%)	3.1	3.1	3.4	3.0	3.2	3.2	3.4	3.0
Relación Grasa/Proteína	1.4/1	1.2/1	1.4/1	1.3/1	1.2/1	1.1/1	1.4/1	1.1/1
Sólidos totales (%)	12.4	11.1	13.6	12.0	12.3	11.5	13.7	11.5
Lactosa (%)	4.6	3.9	4.9	4.5	4.4	4.2	4.9	4.4
Energía (kcal/kg)	736.4	659.9	814.7	700.8	716.0	660.3	813.8	655.1
Eficiencia alimenticia								
kg leche/kg MS	0.94	0.94	1.24	1.24	0.86	1.07	1.27	1.29
kg LCG4/kg MS	0.97	0.88	1.37	1.22	0.85	0.99	1.40	1.17

Cuadro 4. Diferencia porcentual entre el período previo y posterior a la restricción de suplemento concentrado para el peso vivo, el consumo de materia seca y de nutrientes y el desempeño productivo.

Variable	Animal 1	Animal 2	Animal 3	Animal 4
PV	-1.1	-2.0	-3.7	-2.6
Consumo de materia seca y de nutrientes				
Pasto	+29.5	+8.1	+32.6	+28.2
Total	-9.3	-24.8	-16.0	-18.7
PB	-0.4	-17.4	-5.8	-8.7
FDN	+12.9	-6.1	+10.5	+6.9
FDA	+15.3	-4.1	+13.6	+9.8
MO	-9.7	-25.2	-16.4	-19.1
EB	-7.9	-23.6	-14.4	-17.1
Desempeño productivo				
Leche total	-17.4	-14.4	-14.3	-15.6
Leche corregida, LCG4	-20.3	-16.4	-14.2	-22.2
Grasa (%)	-5.8	-4.0	+0.3	-13.1
Proteína (%)	+5.9	+2.3	-1.6	+1.4
Relación Grasa/Proteína	-11.1	-6.1	+1.8	-14.3
Sólidos totales (%)	-0.6	+3.9	+0.2	-4.0
Lactosa (%)	-4.2	+6.5	+0.5	-0.4
Energía (kcal/kg)	-19.7	-14.4	-14.4	-21.1
EA (kg leche/kg MS)	-8.6	+14.3	+2.3	+3.5
EA (kg LCG4/kg MS)	-11.9	+11.7	+2.5	-4.5

En el Cuadro 5 se muestra el balance energético y la eficiencia de utilización de la energía durante el período de restricción de suplemento concentrado. La EM representó el $54 \pm 1.8\%$ de la EB (metabolicidad) y el $85.1 \pm 2.3\%$ de la ED. La relación EN/EM fue de $58.5 \pm 10.6\%$.

En el Cuadro 6 se muestran las estimaciones de la base forrajera a partir de la pérdida de peso y del balance energético, el cual fue negativo para los animales 2, 3 y 4. No se presenta información del animal 1 porque fue el único que presentó balance energético positivo (+9.3 Mcal/día), como se observa en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Consumo, balance y eficiencia de utilización de la energía durante la restricción de suplemento concentrado.

Variable	Balance energético (kcal/día)				Eficiencia de utilización de la energía (% de EB)			
	Animal 1	Animal 2	Animal 3	Animal 4	Animal 1	Animal 2	Animal 3	Animal 4
Energía bruta (EB)	80,651	65,398	61,126	63,452	100	100	100	100
Heces	28,255	21,937	23,063	25,286	35.0	33.5	37.7	39.9
Energía digestible (ED)	52,396	43,461	38,063	38,166	65.0	66.5	62.3	60.1
Metano	4,758	5,101	3,179	2,538	5.9	7.8	5.2	4.0
Orina	2,420	2,878	2,078	2,792	3.0	4.4	3.4	4.4
Energía metabolizable (EM)	45,248	35,508	32,800	32,850	56.1	54.3	53.7	51.8
Calor	24,747	30,303	21,737	22,489	30.7	46.3	35.6	35.4
Energía neta mantenimiento (EN _m) ¹	9,759	10,077	9,411	9,958	12.1	15.4	15.4	15.7
Incremento térmico	14,988	20,226	12,326	12,531	18.6	30.9	20.2	19.7
Energía neta retenida (EN _r) ²	20,501	5,205	11,063	10,361	25.4	8.0	18.1	16.3
Energía en leche	11,232	10,493	14,278	12,169	13.9	16.0	23.4	19.2
Balance energético (BE) ³	9,269	-5,288	-3,215	-1,808	11.5	-	-	-
Energía neta (EN) ⁴	30,260	15,282	20,474	20,319	37.5	23.4	33.5	32.0
Densidad energética (Mcal/kg MS)								
EB	4.38	4.39	4.40	4.38				
ED	2.85	2.92	2.74	2.63				
EM	2.46	2.38	2.36	2.27				
EN	1.65	1.03	1.47	1.40				
Relación EN/EM	66.9	43.0	62.4	61.9				

¹EN_m=100 kcal/kg PCV^{0.75} × PCV; ²EN_r=EM-Calor; ³BE=EN_r- Energía presente en la leche; ⁴EN=EN_m+ EN_r

Cuadro 6. Estimación de la base forrajera a partir del cambio en peso corporal y del balance energético.

Variable	Animal 2	Animal 3	Animal 4
Base forrajera estimada a partir de la pérdida de peso corporal			
Pérdida de peso corporal vacío (PCV) (kg/día)	-0.70	-1.17	-0.88
Energía obtenida a partir de la pérdida de PCV (Mcal/día) ¹	3.3	5.5	4.1
LCG4 estimada a partir de la pérdida de PCV (kg/día) ^{2,3}	3.6	6.0	4.5
Base forrajera (kg LCG4/animal/día)	11.0	13.4	12.4
Base forrajera estimada a partir del balance energético			
Balance energético negativo (BEN) (Mcal/día) ⁴	5.3	3.2	1.8
LCG4 estimada a partir del BEN (kg/día)	5.8	3.5	2.0
Base forrajera (kg LCG4/animal/día)	8.8	15.9	14.9

¹La pérdida de 1 kg de PCV aporta 4.68 Mcal EN_r; ²0.749 Mcal/kg de leche conteniendo 4% de grasa; ³La reserva energética se emplea con una eficiencia del 82% para soportar la producción de leche; ⁴Datos obtenidos del balance energético determinado calorimétricamente

Discusión

Las mediciones del metabolismo energético, como las realizadas en este estudio, requieren del uso de sistemas calorimétricos que son costosos y cuya operación y control son laboriosos (Reynolds 2000). Esta situación limita el número de animales que pueden ser evaluados simultáneamente. Pese a ello, la información generada con esta metodología es de gran relevancia, si se compara con el valor energético de los alimentos estimado a partir de modelos matemáticos, basados en datos de composición química. Si bien varios de esos modelos tienen valor para forrajes usados en países de zona templada, su aplicabilidad es limitada en el caso de forrajes tropicales (Detmann et al. 2008), al menos hasta que se desarrollen ecuaciones para ese tipo de forrajes. Además, las ecuaciones de predicción del valor energético de los alimentos a partir de datos de composición química tienen limitaciones, ya que simplifican el complejo metabolismo animal a la composición de los alimentos, ignorando variables como el metabolismo del animal, la digestibilidad y el consumo, que son determinantes en la eficiencia del uso de la energía del alimento (Weiss 1998).

Composición química de la dieta y consumo de materia seca

La concentración de PB y FDN del pasto kikuyo (Cuadro 1) se aproxima a los valores reportados por Caro y Correa et al. (2006) para esta especie forrajera a una edad de cosecha de 32 días y bajo condiciones de manejo similares a las del presente estudio (2300 msnm, temperatura media de 16 °C y fertilización química y orgánica). Los restantes valores de composición se aproximan a los reportados por los mismos autores para 58 días de rebrote.

El CMS total de los animales antes de la restricción de suplemento (18.6 kg y 3.3% del PV) (Cuadro 2) fue ligeramente inferior al reportado por Angulo et al. (2022) (19.2 kg/día y 3.5% del PV) en vacas Holstein con 160 días de lactancia recibiendo ensilaje, pasto Ryegrass sp. (30 días), maíz extruido y suplemento concentrado; pero similar al encontrado por Correa et al. (2009) (18.3 kg/día y 3.1% del PV) en vacas Holstein con 170 días de lactancia consumiendo pasto kikuyo (20% PB y 61% FDN) y suplemento comercial. Solamente el animal 1 fue el que conservó niveles elevados de CMS luego de la restricción de suplemento

(Cuadro 2). En este animal, el aumento porcentual en el CMS_p fue 29.5%, similar al observado en los animales 3 y 4, a saber, 32.6 y 28.2%, respectivamente (Cuadro 4). Ese aumento se explica por la desaparición del efecto de sustitución que el suplemento genera sobre el consumo de pasto (García et al. 2014). De otra parte, el mayor CMS del animal 1 representó un consumo de 18 g FDN/kg PV/día, mientras que en los animales restantes fue de 14 g FDN/kg PV/día (Cuadro 2). En otro estudio, Mertens (1994) observó que el CMS en vacas lecheras fue máximo cuando el consumo de FDN fue 12.5±1.0 g/kg PV/día; mientras que Fulkerson et al. (2006), reportaron consumos de FDN que fluctuaron entre 16 y 22 g/kg PV.

Producción de leche y su composición

El mayor CMS del animal 1 después de la restricción de suplemento no se reflejó en la producción de leche, la cual mostró una reducción del 17.4%, comparado con el 15.0% obtenido como promedio para los animales 3 y 4 (Cuadro 4). Lo anterior resultó en una reducción de la EA en el animal 1 (-8.6%) vs. el incremento observado en los animales 3 y 4 (+2.9% en promedio). La mayor EA en los animales 3 y 4 (1.28 kg leche/kg MS), respecto el animal 1 (0.86 kg leche/kg MS), puede estar sustentada en el menor nivel de consumo de los primeros, que los hizo más eficientes en el aprovechamiento de los nutrientes consumidos (Mendoza-Martínez et al. 2008).

Las concentraciones promedio de proteína y grasa en leche, 3.2 y 4.1%, respectivamente (Cuadro 3), fueron ligeramente superiores a las descritas por Carulla y Pabón (2006) bajo condiciones de la sabana de Bogotá y en San Pedro de los Milagros (Antioquia) (proteína: 3.0–3.1%; grasa: 3.5–3.6%).

Luego de la restricción en la oferta de suplemento concentrado, la producción de leche y la LCG4 presentaron valores medios de 16.9±1.4 y 16.6±2.1 kg/animal/día, respectivamente (Cuadro 3). De acuerdo con la literatura, la capacidad máxima de producción de leche del pasto kikuyo está limitada por el CMS y su contenido de energía (Marais 2001; Correa et al. 2008).

Para todos los animales, la diferencia en producción de leche/animal/día entre el período de suplementación y de restricción fue, en promedio, 3.1±0.3 kg de leche y 3.7±0.9 kg LCG4. El balance energético negativo experimentado por los animales 2, 3 y 4 (Cuadro 5), que registraron menor CMS (Cuadro 2), apoyó la producción

de leche en 3.8 ± 1.9 kg (LCG4) (Cuadro 6) durante el período de restricción. En el animal 1, la producción de leche fue soportada por el mayor CMS respecto los demás animales (Cuadro 2), lo cual resultó en un balance energético positivo (Cuadro 5).

La media para la base forrajera (Cuadro 6) estimada a partir del cambio en peso corporal es menor (12.3 ± 1.2 kg) y más estable que la estimada con base en el balance energético (13.2 ± 3.8 kg). Henning et al. (1995) reportaron valores entre 9.1 y 14.6 kg/animal/día en vacas Holstein consumiendo pasto kikuyo de 30 días de edad de rebrote durante seis meses continuos, con reducción en la producción de leche conforme avanzó la lactancia. De otra parte, Reeves (1997) reportaron valores de 17.3, 14.2 y 12.5 kg/animal/día a los 3–4, 5–6 y 7 meses de lactancia, respectivamente, en vacas que consumían pasto kikuyo de 18 a 24 días de edad de rebrote.

Tomando en consideración la fase de la curva de lactancia en la cual se encuentran los animales como un factor determinante de la producción de leche, se deduce que la base forrajera del presente estudio, con independencia del método de estimación empleado, superó la informada por Henning et al. (1995) al sexto mes (9.1 kg/animal/día) y fue comparable a la obtenida por Reeves (1997) entre el quinto y séptimo mes de lactancia. La base forrajera media obtenida a partir del balance energético (13.2 ± 3.8 kg), si bien se reduce por el valor predicho para el animal 2, aumenta a 15.4 kg cuando sólo se incluyen los animales 3 y 4, muy similar a los 15.6 kg observados en el animal 1. Esto concuerda con la conclusión de Reeves (1997) quien determinó que la producción de leche con base en pasto kikuyo bien manejado puede mantenerse en 15 kg/animal/día.

Los niveles de producción de leche con pasto Ryegrass son mayores que los obtenidos con pasto kikuyo, conforme los trabajos descritos por Mahanta et al. (2020). Con una pastura de Ryegrass se obtuvieron 20–22 kg/vaca/día, lo que supuso un mérito genético normal, ningún cambio en el PV y un nivel aceptable de utilización de la pastura. En cambio, con pasto kikuyo el cual se acepta es de menor calidad que el Ryegrass, se obtuvo un rendimiento de 15 kg/vaca/día, lo cual concuerda con los hallazgos del presente estudio.

Si bien los valores de base forrajera obtenidos a partir del balance energético pueden resultar menos conservadores, están soportados por una metodología (calorimetría indirecta de circuito abierto) mundialmente reconocida para la cuantificación de metano y de calor y, en una cuantificación directa del consumo y la excreción de heces

y orina, lo que le confiere un mayor nivel de certidumbre en relación con una única variable (PV), cuyo resultado puede resultar enmascarado por el contenido digestivo.

En cuanto a la base forrajera estimada a partir del balance energético, también se puede concluir que ésta puede mostrar variaciones entre animales, bajo similares condiciones de alimentación. El valor inferior obtenido en el animal 2 (8.8 kg LCG4), puede ser el resultado de un menor incremento en el CMS de pasto ($+1.1$ kg/día) una vez restringido el suplemento concentrado, cuando se le compara a lo obtenido con los otros tres animales (en promedio, $+3.5$ kg/día). Igualmente, el animal 2 fue el que registró una mayor producción de calor (30,303 kcal/día) respecto los demás animales ($22,991 \pm 1,566$ kcal/día), lo cual afectó la EN_r (5,205 vs. $10,712 \pm 496$ kcal/día) en promedio para los animales 3 y 4) y generó el mayor balance energético negativo (Cuadro 5).

Balance energético y valor energético del pasto kikuyo medidos

Agnew y Yan (2000) argumentaron que el aumento en el CMS de dietas altas en fibra incrementa la tasa metabólica de mantenimiento, reduce la metabolicidad y la eficiencia de uso de la energía metabolizable para el mantenimiento (k_m), lo cual resulta en mayores requerimientos de EM para el mantenimiento. En su revisión, la mayor tasa metabólica de mantenimiento obedece al incremento de la masa del tracto gastrointestinal y de la actividad metabólica de los órganos, en tanto que la menor metabolicidad es atribuida a la reducción en la digestibilidad de la energía y al incremento en la pérdida energética en forma de CH_4 como proporción del consumo de ED. Esa situación no se evidenció en este trabajo cuando se comparó la eficiencia de utilización de la energía en el animal 1, que presentó mayor CMS de kikuyo y de FDN después de la restricción de suplemento (Cuadro 2), con el promedio de eficiencia de los animales restantes (Cuadro 5). En el animal 1, el promedio de digestibilidad (ED/EB) y metabolicidad (EM/EB) fue 2.0 y 2.8% superior, respectivamente, mientras que la producción de calor, que es el resultado del incremento térmico y las funciones de mantenimiento, fue 8.4% menor.

La mayor producción de calor del animal 2 (46.3% del consumo de EB), superando el valor medio exhibido por los animales restantes ($33.9 \pm 2.8\%$) y representada principalmente por el incremento térmico (30.9% del consumo de EB y 66.7% de la producción de calor), resultó en menor EN_r y, por tanto, en menor EN (Cuadro 5).

Tomando en consideración todos los animales, la densidad energética estimada del pasto kikuyo fue 1.39 ± 0.26 Mcal EN/kg MS. Cuando se excluyó la información del animal 2 (1.03 Mcal EN/kg MS), la densidad energética registró un valor medio de 1.51 ± 0.13 Mcal/kg MS.

La EN correspondió a la suma $EN_m + EN_r$, y no a la suma $EN_m + \text{Energía presente en la leche}$, toda vez que el balance energético evidenció que los animales 2, 3 y 4 produjeron leche a partir de las reservas corporales (BEN), por lo que la energía presente en la leche no reflejó exclusivamente el contenido energético del alimento.

El alimento tiene un único valor de EN que el animal puede emplear para el mantenimiento (EN_m) o la retención de energía (EN_r). La EN_r comprende la energía de la leche, de los tejidos (retenida principalmente como proteína y grasa y, en menor grado, como glucógeno) y de los productos de la preñez (Church et al. 2002). En este trabajo, cuando se multiplica la LCG4 (observada en el animal 1 y la base forrajera estimada de los animales 2, 3 y 4) por su respectiva densidad energética (0.72 ± 0.008 Mcal/kg) se observa que la energía retenida en la leche fue 0.65 ± 0.18 Mcal/kg MS, correspondiente al $47.1 \pm 9.4\%$ del valor de EN estimado (1.39 ± 0.26 Mcal/kg MS) (Cuadro 5). A su vez, la EN representó el $58.5 \pm 10.6\%$ de la EM (Cuadro 5), próxima a la eficiencia con la cual se emplea la EM para el mantenimiento (0.62) y la producción de leche (0.64) conforme el NRC (2001). Debido a la similitud en las eficiencias, este sistema expresa los requerimientos para mantenimiento y producción de leche en términos de EN de lactancia (EN_l), al igual que el valor energético de los alimentos.

Valor energético del pasto kikuyo estimado a través de ecuaciones de la literatura

Para propósitos comparativos, se utilizó varios modelos matemáticos disponibles en la literatura para estimar la densidad energética a partir del total de nutrientes digestibles, el contenido de FDN y FDA, la ED y EM y la metabolibilidad (Cuadro 7), y con ellos se obtuvo valores que fluctuaron entre 1.37 y 1.71 Mcal/kg MS. El 58.3% de esos estimados fue superior al valor 1.51 Mcal/kg MS obtenido en este estudio, luego de excluir los datos del animal 2 que mostró una respuesta atípica. Estas discrepancias pueden explicarse porque dichos modelos se construyeron con información derivada de pastos de zonas templadas (C3) que utilizan vías metabólicas diferentes a la mayoría de gramíneas tropicales (C4) que, a menudo, conduce a una mayor tasa y grado de deposición de lignina en los tejidos de gramíneas tropicales, un factor que puede alterar el consumo voluntario y la digestión (Archimède et al. 2011), reduciendo consecuentemente la concentración de EN.

Tasa de sustitución

La tasa de sustitución (TS) para los animales 1, 3 y 4 fue en promedio de 0.56 ± 0.10 (reducción de 560 g MS de pasto consumido/kg de concentrado), próxima al valor 0.55 observado por Bargo et al. (2003). En el caso del animal 2, la menor tasa de sustitución fue resultado del menor incremento en el CMS de pasto después de la restricción de suplemento (Cuadro 2), lo cual resultó en el mayor valor de balance energético negativo (Cuadro 5). Estos resultados sugieren que la TS debe relacionarse con la respuesta en producción y el balance

Cuadro 7. Predicción de la energía neta (Mcal/kg MS) del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) a partir de modelos matemáticos.

Ecuación	Predicción	Fuente
$EN \text{ (Mcal/kg)} = (1.393 \times \%TNDa - 34.63) \times 0.02205$	1.37	Donker y Naik (1979)
$EN_l \text{ (Mcal/kg)} = (\%TDNa \times 0.0245) - 0.12$	1.58	Weiss (1993)
$EN_l \text{ (Mcal/kg)} = [(\%TDNa \times 0.01114) - 0.054] \times 2.2$	1.59	Kodeš et al. (2015)
$EN = 2.863 - (0.0262 \times \%FDN)$	1.45	Mertens (1987)
$EN_l \text{ (Mcal/kg)} = [12.9085 - 0.1276 \times \%FDN] / 4.184$	1.44	Kodeš et al. (2015)
$EN_l \text{ (Mcal/kg)} = [1.0876 - (0.0127 \times \%FDA)] \times 2.2$	1.70	Kodeš et al. (2015)
$EN_l \text{ (Mcal/kg)} = 1.98 - 1.73 \times FDA \text{ (coeficiente)}$	1.55	Conrad et al. (1984)
$EN_l \text{ (Mcal/kg)} = 2.208 - 0.0275 \times \%FDA$	1.53	Harlan et al. (1991)
$EN_l \text{ (Mcal/kg)} = 2.387 - 0.0273 \times \%FDA$	1.71	Weiss (1993)
$EN_l \text{ (Mcal/kg)} = 1.89 - 0.0184 \times \%FDA$	1.43	Weiss (1998)
$EN_l \text{ (Mcal/kg)} = 0.68 \times ED \text{ (Mcal/kg)} - 0.36$	1.53	Moe et al. (1972)
$EN_l \text{ (Mcal/kg)} = [EM \text{ (Mj/kg)} \times (0.463 + 0.24 \times (EM/EB))] / 4.184$	1.40	Homolka et al. (2012)

energético. Bajas TS son deseables en animales con mayor mérito genético para producción de leche y CMS; en cambio, bajas tasas de sustitución asociadas a un menor CMS y balance energético negativo, resultan en menor eficiencia de uso de la energía del suplemento para la producción de leche. En el caso particular de este estudio, las vacas tenían un potencial de producción de leche por encima del que podía sostener el pasto kikuyo solo (Cuadro 3), por lo que en esas condiciones debe usarse suplementos, aún reconociendo que va a ocurrir algún grado de sustitución (García et al. 2014).

Conclusiones

Con base en los resultados de este estudio se puede concluir: 1. Los valores de ED, EM y EN para vacas lactantes (2.78 ± 0.13 ; 2.37 ± 0.08 y 1.39 ± 0.26 Mcal EN/kg MS) obtenidos para pasto kikuyo fertilizado y cosechado cada 32 días, usando cámaras de respiración de circuito abierto, aparentemente son los primeros reportados en la literatura; 2. Cuando se ofrece ese pasto sin suplementación se consigue niveles de producción de leche de 13.20 ± 3.84 kg LCG4/animal/día, por lo que en vacas con un potencial genético mayor es necesario suplementar, aún cuando haya sustitución parcial del consumo de pasto; 3. La tasa de sustitución pasto:concentrado obtenida (0.56 ± 0.10 kg MS de pasto/kg MS de concentrado) no difiere de los valores obtenidos en otros estudios con pastos tropicales de características similares.

Aspectos éticos

Este trabajo fue aprobado por el Comité de Ética para la Experimentación con Animales de la Universidad de Antioquia (Acta 142 del 05 de octubre de 2021).

Referencias

(Nota de los editores: Enlaces verificados el 5 de septiembre de 2024).

- Agnew RE; Yan T. 2000. Impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle. *Livestock Production Science* 66(3):197–215. doi: [10.1016/S0301-6226\(00\)00161-5](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00161-5)
- Angulo J; Nemocón AM; Posada SL; Mahecha L. 2022. Producción, calidad de leche y análisis económico de vacas Holstein suplementadas con ensilaje de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) o ensilaje de maíz. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 20(1):27–40. doi: [10.18684/rbsaa.v20.n1.2022.1535](https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n1.2022.1535)
- Archimède H; Eugène M; Magdeleine CM; Boval M; Martin C; Morgavi DP; Lecomte P; Doreau M. 2011. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Animal Feed Science and Technology* 166–167:59–64. doi: [10.1016/j.anifeedsci.2011.04.003](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.003)
- Balthrop J; Brand B; Cowie RA; Danier J; De Boever J; Jonge L de; Jackson F; Makkar HPS; Piotrowski C. 2011. Quality assurance for animal feed analysis laboratories, 1a ed., Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. fao.org/4/i2441e/i2441e00.htm
- Bargo F; Varga GA; Muller LD; Kolver ES. 2003. Pasture intake and substitution rate effects on nutrient digestion and nitrogen metabolism during continuous culture fermentation. *Journal of Dairy Science* 86(4):1330–1340. doi: [10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73718-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73718-7)
- Brouwer E. 1965. Report of Sub-Committee on Constants and Factors. In Blaxter KL (ed). *Proceedings of the 3rd Symposium on Energy Metabolism*. Academic Press, London, UK, p. 441–443.
- Carulla JE; Pabón ML. 2006. Como aumentar la proteína y la grasa láctea desde las fincas: estrategias de manejo del pastoreo y de la suplementación para mejorar la calidad composicional de la leche. En: *Memorias del V Seminario Internacional Competitividad en Carne y Leche*, Medellín, Colombia, 19–20 de octubre de 2006. p. 139–155. bit.ly/47k0N6i
- Caro F; Correa HJ. 2006. Digestibilidad posruminal aparente de la materia seca, la proteína cruda y cuatro macrominerales en el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) cosechado a dos edades de rebrote. *Livestock Research for Rural Development* 18(10):143. bit.ly/4ej9Qq7
- Church DC; Pond WG; Pond KR. 2002. *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*. 2 ed., Limusa S.A., México. ISBN 968-18-5299-0
- Conrad HR; Weiss WP; Odwongo WO; Shockey WL. 1984. Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. *Journal of Dairy Science* 67(2):427–436. doi: [10.3168/jds.S0022-0302\(84\)81320-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(84)81320-X)
- Correa HJ; Pabón ML; Carulla JE. 2008. Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): II. Contenido de energía, consumo, producción y eficiencia nutricional. *Livestock Research for Rural Development* 20(4):61. bit.ly/47iRcfM
- Correa HJ; Pabón ML; Carulla JE. 2009. Estimación del consumo de materia seca en vacas Holstein bajo pastoreo en el trópico alto de Antioquia. *Livestock Research for Rural Development* 21(4):59. bit.ly/4e7F2c2
- Correa HJ; Rodríguez YG; Pabón ML; Carulla JE. 2012. Efecto de la oferta de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) sobre la producción, la calidad de la leche y el balance de nitrógeno en vacas Holstein. *Livestock Research for Rural Development* 24(11):204. bit.ly/4dTSe4F

- Detmann E; Valadares Filho SC; Pina DS; Henriques LT; Paulino MF; Magalhães KA; Silva PA; Chizzotti ML. 2008. Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. *Animal Feed Science and Technology* 143(1–4):127–47. doi: [10.1016/j.anifeedsci.2007.05.008](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.008)
- Donker JD; Naik DG. 1979. Predicting total digestible nutrients and estimated net energy of dairy cow rations from chemical components. *Journal of Dairy Science* 62(3):424–432. doi: [10.3168/jds.S0022-0302\(79\)83262-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(79)83262-2)
- Erasmus L. 2009. Milk production from cows grazing kikuyu-ryegrass pasture systems. MSc Thesis. University of Pretoria, South Africa. hdl.handle.net/2263/27295
- Escobar L; Bolívar DM; García D. 2010. Uso de la excreción de creatinina como método alternativo a la colecta total de orina en vacas Holstein. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 63(2):5567–5576. [handle/unal/37191](https://hdl.handle.net/unal/37191)
- Fulkerson WJ; Nandra KS; Clark CF; Barchia I. 2006. Effect of cereal-based concentrates on productivity of Holstein-Friesian cows grazing short-rotation ryegrass (*Lolium multiflorum*) or kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pastures. *Livestock Science* 103(1–2):85–94. doi: [10.1016/j.livsci.2006.01.005](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.01.005)
- García SC; Islam MR; Clark CEF; Martin PM. 2014. Kikuyu-based pasture for dairy production: a review. *Crop and Pasture Science* 65(8):787–797. doi: [10.1071/CP13414](https://doi.org/10.1071/CP13414)
- Hall MB. 2023. Corrected milk: Reconsideration of common equations and milk energy estimates. *Journal of Dairy Science* 106(4):2230–2246. doi: [10.3168/jds.2022-22219](https://doi.org/10.3168/jds.2022-22219)
- Harlan DW; Holter JB; Hayes HH. 1991. Detergent fiber traits to predict productive energy of forages fed free choice to nonlactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 74(4):1337–1353. doi: [10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78289-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78289-1)
- Henning WP; Barnard HH; Venter JJ. 1995. Effect of grazing cycle on milk production of cows on kikuyu pasture. *South African Journal of Animal Science* 25(1):7–12. bit.ly/3MEx6TV
- Homolka P; Koukolová V; Podsedníček M; Hlaváčková A. 2012. Nutritive value of red clover and lucerne forages for ruminants estimated by *in vitro* and *in vivo* digestibility methods. *Czech Journal of Animal Science* 57(10):454–468. doi: [10.17221/6346-CJAS](https://doi.org/10.17221/6346-CJAS)
- Kodeš A; Mudřík Z; Hučko B; Plachý V. 2015. Calculating the energy value meadow hay-NEL, based solely on the NDF and compared with commonly used calculations NEL. *Acta Fytotechnica et Zootechnica* 18(4):95–98. doi: [10.15414/afz.2015.18.04.95-98](https://doi.org/10.15414/afz.2015.18.04.95-98)
- Li Jiangong; Green-Miller AR; Shike DW. 2019. Integrity Assessment of Open-Circuit Respiration Chambers for Ruminant Animal Indirect Calorimetry. *Transactions of the ASABE* 62(5):1185–1193. doi: [10.13031/trans.13220](https://doi.org/10.13031/trans.13220)
- Mahanta SK; García SC; Islam MR. 2020. Forage based feeding systems of dairy animals: issues, limitations and strategies. *Range Management and Agroforestry* 41(2):188–199. bit.ly/3MYMVVP
- Marais JP. 2001. Factors affecting the nutritive value of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) - a review. *Tropical Grasslands* 35(2):65–84. bit.ly/4cSIgiE
- Mendoza-Martínez GD; Plata-Pérez FX; Espinosa-Cervantes R; Lara-Bueno A. 2008. Manejo nutricional para mejorar la eficiencia de utilización de la energía en bovinos. *Universidad y Ciencia* 24(1):75–87. bit.ly/3zoei8e
- Mertens DR. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *Journal of Animal Science* 64(5):1548–1558. doi: [10.2527/jas1987.6451548x](https://doi.org/10.2527/jas1987.6451548x)
- Mertens DR. 1994. Regulation of forage intake. In: Fahey Jr GC, ed. Forage quality, evaluation, and utilization. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Madison, WI. p. 450–493. doi: [10.2134/1994.foragequality.c11](https://doi.org/10.2134/1994.foragequality.c11)
- Moe PW; Flatt WP; Tyrell HF. 1972. Net energy value of feeds for lactation. *Journal of Dairy Science* 55(7):945–958. doi: [10.3168/jds.S0022-0302\(72\)85601-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(72)85601-7)
- NASEM (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine). 2021. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 8th ed, National Academies Press, Washington (DC), USA. doi: [10.17226/25806](https://doi.org/10.17226/25806)
- Nkrumah JD; Okine EK; Mathison GW; Schmid K; Li C; Basarad JA; Price MA; Wang Z; Moore SS. 2006. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *Journal of Animal Science* 84(1):145–153. doi: [10.2527/2006.841145x](https://doi.org/10.2527/2006.841145x)
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th ed, National Academies Press, Washington (DC), USA. doi: [10.17226/9825](https://doi.org/10.17226/9825)
- Portillo PA; Meneses DH; Morales SP; Cadena MM; Castro E. 2019. Evaluación y selección de especies forrajeras de gramíneas y leguminosas en Nariño, Colombia. *Pastos y Forrajes* 42(2):93–103. bit.ly/4ecn0VX
- Reeves M. 1997. Milk production from kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) grass pastures. Ph.D. Thesis. The University of Sydney, Sydney, New South Wells, Australia. hdl.handle.net/2123/14526

- Reynolds CK. 2000. Forage evaluation using measurements of energy metabolism. In: Givens DI; Owen E; Axford RFE; Omed HM, eds. Forage evaluation in ruminant nutrition. CAB International, Wallingford, England. p. 95–111. doi: [10.1079/9780851993447.0095](https://doi.org/10.1079/9780851993447.0095)
- Rosero RR; Posada SL. 2017. Factor de emisión de metano entérico para vacas Holstein lactantes en la zona norte de Antioquia – Colombia. *Livestock Research for Rural Development* 29(6):119. bit.ly/4cggbqz
- Royani JI; Utami RN; Maulana S; Agustina H; Herdis; Herry R; Sarmedi; Mansyur. 2021. Biodiversity of Kikuyu Grass (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov) in Indonesia as high protein forage based on morphology and nutrition compared. In: 1st International Conference on Livestock in Tropical Environment, Surakarta, Indonesia, 1–2 September 2021. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 902:012006. doi: [10.1088/1755-1315/902/1/012006](https://doi.org/10.1088/1755-1315/902/1/012006)
- Soto C; Valencia A; Galvis RD; Correa HJ. 2005. Efecto de la edad de corte y del nivel de fertilización nitrogenada sobre el valor energético y proteico del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 18(1):17–26. doi: [10.17533/udea.rccp.323991](https://doi.org/10.17533/udea.rccp.323991)
- Weiss WP. 1993. Predicting energy values of feeds. *Journal of Dairy Science* 76(6):1802–1811. doi: [10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77512-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77512-8)
- Weiss WP. 1998. Estimating the available energy content of feeds for dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 81(3):830–839. doi: [10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75641-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75641-3)
- Weiss WP; Tebbe AW. 2019. Estimating digestible energy values of feeds and diets and integrating those values into net energy systems. *Translational Animal Science* 3(3):953–961. doi: [10.1093/tas/txy119](https://doi.org/10.1093/tas/txy119)
- Williams CH; David DJ; Lismaa O. 1962. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. *The Journal of Agricultural Science* 59(3):381–385. doi: [10.1017/S002185960001546X](https://doi.org/10.1017/S002185960001546X)

(Recibido para publicación 26 febrero 2024; aceptado 26 agosto 2024; publicado 30 de septiembre 2024)

© 2024



Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales una revista de acceso abierto publicada por el *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*. Este trabajo está bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).