

## Consumo y excreción de nutrientes en novillos de carne pastoreando en trópico de altura con y sin suplementación energética

### Intake and excretion of nutrients in beef steers grazing in the highland tropics with and without energy supplementation

Claudia P. Sossa Sánchez<sup>1</sup>, Guillermo A. Correa Londoño<sup>2</sup>, Rolando Barahona Rosales<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias. Departamento de Producción Animal. Medellín, Colombia. <sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias. Departamento de Ciencias Agronómicas. Medellín, Colombia. \*Correo electrónico: rbarahonar@unal.edu.co

#### RESUMEN

La adecuada estimación del consumo de nutrientes de animales en pastoreo permite identificar estrategias para aumentar la sustentabilidad productiva y ambiental de la producción ganadera. En este estudio, se estimó el consumo, digestibilidad y excreción de nutrientes de novillos de diversos cruces, pastoreando en praderas de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), en una finca de trópico de altura y distribuidos en dos grupos: el grupo SS (peso inicial: 380,0±19,97 kg) que se encontraba únicamente en pastoreo y el grupo CS (peso inicial: 374,7±20,81 kg), que además del pastoreo, recibió 0,55 kg/día de un suplemento de maíz, melaza y grasa animal (51, 12 y 37%, respectivamente). Los animales CS pastoreaban en 2,5 ha y los SS en 3,2 ha. El consumo de materia seca (CMS) y la producción de heces fueron determinados mediante la técnica de alcanos. El CMS fue de 7,97 y 7.19 kg de MS, 2,13±0,07 y 1,89±0,027 como porcentaje del peso vivo o 93,59 y 83,54 g por kilogramo de peso metabólico en los animales CS y SS, respectivamente. La excreción fecal fue de 3,40±0,25 y 3,29±0,51 kg/día, siendo la digestibilidad de 56,2 y 54,7% para el grupo CS y SS, respectivamente. Hubo un consumo alto de PC y un consumo intermedio de FDN, FDA y cenizas y el consumo de calcio y fósforo fue bajo. Se determina para mejorar los parámetros zootécnicos de la ceba de novillos en praderas de *P. clandestinum* es necesario identificar una fuente energética adecuada para mejorar la relación energía: proteína de la dieta.

**Palabras clave:** Consumo de piensos, digestibilidad, estiércol, *Pennisetum clandestinum*, suplementos

#### ABSTRACT

Adequate estimates of nutrient intake by grazing animals are necessary to increase production and environmental sustainability of livestock production. In this study, intake, digestibility and nutrient excretion by steers of various crosses grazing on Kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) on a tropical highland farm were estimated. Animals were distributed into two grazing groups: Animals in one group (NS: 380.0±19.97 kg initial weight) were only grazing, whereas those of the other group (S: 374.7±20.81 kg initial weight) also received 0.55 kg/ day of a corn, molasses and tallow (51, 12 and 37%, respectively) supplement. Supplemented animals grazed in 2.5 ha whereas NS animals grazed in 3.2 ha. Both intake and fecal output were determined by the alkane technique. Daily dry matter intake in the S animals, was 2.13±0.07 of liveweight, 93.59 g per kg of metabolic weight (MW) and 7.97 kg of DM, while that of NS animals was 1.89±0.027 of liveweight, 83.54 g per kg of PM and 7.19 kg of DM. Fecal excretion was 3.40±0.25 and 3.29±0.51 % kg/ day, thus digestibility was 56.2 and 54.7 % for S and NS groups, respectively. High crude protein intake, intermediate intakes of NDF, ADF and ash and low intakes of calcium and phosphorus were observed. It was determined that to improve zootechnical parameters when fattening steers on kikuyu pastures, it is necessary to identify a suitable energy source to improve the energy: protein ratio of the diet.

**Key words:** digestibility, farmyard manure, feed consumption, *Pennisetum clandestinum*, supplements.

Recibido: 17/11/14 Aprobado: 01/10/15

## INTRODUCCIÓN

La estimación del consumo voluntario es fundamental para determinar la rentabilidad y la productividad de los sistemas de ganadería bovina (Yearsley *et al.*, 2001). Para cuantificar el consumo de materia seca y de nutrientes se requiere conocer la ingestión de pasto y suplementos ofertados a los animales y la composición botánica de la pradera. En condiciones de pastoreo, resulta difícil estimar el consumo de forraje debido a las deficiencias en los métodos actuales de estimación, tales como, la baja precisión de los métodos, y la dificultad para la recuperación de marcadores (Dove y Mayes, 2005). Una de las técnicas que se ha venido empleando con mayor frecuencia es la de *n-alcanos* (Dove y Mayes, 1991), la cual permite evaluar la composición de la dieta y determinar el consumo voluntario de forraje y su digestibilidad en sistemas productivos (Mayes *et al.*, 1986; Dove y Mayes, 1991, 2005 y 2006). Los *n-alcanos* se encuentran en forma natural en las ceras cuticulares de las plantas y contienen un número variable de átomos de carbonos (entre C25-C35). Son indigestibles, no tóxicos y recuperables en un 80 a 99%, por lo cual son usados para estimar el consumo de materia seca (CMS) y la digestibilidad a través de la excreción fecal de MS. El principio de esta técnica es la relación de las concentraciones fecales de un *n-alcano* presente naturalmente en la dieta, marcador interno, y otro *n-alcano* administrado vía oral, marcador externo, (Rojas *et al.*, 2008).

Tradicionalmente, la producción de carne bovina en Colombia se realiza bajo condiciones de trópico bajo, mientras que en el trópico de altura predominan los sistemas de producción de leche (Sossa *et al.*, 2011 y 2012). A menudo, los animales en trópico bajo reciben una alimentación inadecuada, debido a que los pastos suelen ser de bajo aporte energético-proteico (Barahona y Sánchez, 2005; Mármol, 2006) y de limitada disponibilidad durante la época seca (Barahona *et al.*, 2003), afectando así la eficiencia de producción por parte de los animales. En trópico de altura, las gramíneas en su mayoría presentan mayor valor nutricional, proteína y digestibilidad, (Sossa *et al.*, 2011 y 2012, Sossa y Barahona, 2015), con lo que

cabría esperar mayor consumo de materia seca y de nutrientes.

El objetivo de este estudio es estimar, mediante la técnica de *n-alcanos*, el CMS, consumo de nutrientes, digestibilidad de la dieta y excreción de nutrientes en un grupo de novillos de carne cebados en un sistema de pastoreo intensivo en el trópico de altura colombiano con y sin suplementación energética.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

El experimento se realizó en una finca ubicada en Santa Rosa de Osos, Antioquia a 2587 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 13°C y en una zona de vida de bmh-MB (bosque muy húmedo montano bajo) de acuerdo a la clasificación de Holdridge (Espinal, 1991). La extracción de *n-alcanos* se realizó en el Laboratorio de Ciencias Básicas Animales y en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

### Grupos de animales y manejo

Para evaluar el comportamiento productivo de novillos (respuesta zootécnica: ganancia de peso) pastoreando en praderas de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en condiciones de trópico de altura, con o sin suplementación energética se usaron 18 novillos castrados con cruces de las razas Angus, Holstein, Limousin y Brahman, en su mayoría (Sossa y Barahona, 2015). Usando peso y composición racial como criterios, los animales fueron asignados a uno de dos grupos experimentales.

Los animales del primer grupo (con suplemento, CS), además de pastorear en praderas de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), recibieron durante todo el período experimental 0,55 kg/animal/día de un suplemento energético compuesto por 51% maíz, 12% melaza y 37% sebo, elaborado en la planta de concentrados de FRIGOCOLANTA y cuyo contenido nutricional se muestra en el Cuadro 1. Este suplemento se ofreció en comederos móviles individuales en el lugar de pastoreo de los animales, siempre a la misma hora del día (mañana). Esta labor la realizaron tres personas, con el fin asegurar que

Cuadro 1. Contenido de nutrientes en el suplemento y en el pasto *P. clandestinum* consumido por cada grupo de animales, al momento de la estimación de consumo con *n- alcanos* (valores expresados en base seca).

	Pasto CS	*Suplemento	Pasto SS
Proteína Cruda – PC (%)	18,60	6,35	17,83
Fibra en detergente neutro - FDN (%)	61,63	14,78	64,87
Fibra en detergente ácido- FDA (%)	30,80	3,07	31,47
Lignina (%)	3,73	1,3	3,63
Grasa bruta (%)	2,56	26,06	2,30
Cenizas (%)	8,17	3,46	9,48
Proteína insoluble en detergente ácido - PIDA (%)	1,03	-	0,87
Proteína insoluble en detergente neutro - PIDN (%)	6,23	-	6,10
Valor calorífico Bruto (cal/g)	4.504	4.968	4.417
DIVMS (%)	60,50	71,93	57,13
Calcio (%)	0,43	0,27	0,34
Fósforo (%)	0,41	0,24	0,42

Análisis bromatológicos realizados en Julio del 2011. Abreviatura: CS=animales pastoreando *P. clandestinum* y suplementados con concentrado energético (0,55 kg/día); SS=animales sólo en pastoreando *P. clandestinum*. Se indica la calidad nutricional del *P. clandestinum*, consumido por cada grupo, al momento de la evaluación con *n-alcános*. \*Suplemento diseñado a partir del CNCPS (Cornell Net Carbohydrate and Protein System).

el consumo se realizara de manera individual, sin interferencia entre animales. Los animales del segundo grupo (sin suplemento, SS), durante la evaluación solamente tuvieron acceso a praderas de *P. clandestinum*.

En el período experimental (122 días), ambos grupos se encontraban pastoreando en un sistema rotacional por franjas de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en trópico de altura. Entre estos 18 novillos, se escogieron al azar 6 novillos (3 de cada grupo). La evaluación con *n-alcános* se realizó cuando los animales llevaban 108 días en evaluación. Los animales del primer grupo (CS), al momento de la evaluación con *n-alcános* tenían un peso de 374,7±20,81 kg y pastoreaban en 2,5 ha. Los animales del segundo grupo (SS) presentaron un peso de 380,0±19,97 kg y pastoreaban en 3,2 ha. Esta diferencia en área de pastoreo entre los dos grupos obedeció a que aforos previos mostraron mayor productividad forrajera en el lote aleatoriamente asignado a los animales CS.

### Caracterización nutricional del *P. clandestinum*, del suplemento y las heces

Las muestras de alimentos, al igual que las de heces fueron secadas en una estufa de aire forzado a 60°C por 48 horas y luego molidas en un molino Romer con criba de 1 mm. Dichas muestras fueron evaluadas en el Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín por contenidos de materia seca (MS) por el método ISO 6496, en estufa de aire forzado a 105°C hasta alcanzar peso constante (ISO, 1999); proteína cruda (PC) por el método de Kjeldahl, según NTC 4657 (ICONTEC, 1999); fibra en detergente neutro (FDN) (método 2002.04, AOAC 2005a; Van Soest y Wine, 1967), fibra en detergente ácido(FDA) (método 973.18, AOAC 2005b; Van Soest 1963; Van Soest y Wine 1968), lignina (KMnO<sub>4</sub>; Van Soest, 1963), grasa bruta (extracción Soxhlet, basado en NTC 668, ICONTEC 1973), cenizas (incineración directa, método 942.05, AOAC 2005c), proteína insoluble en detergente ácido (PIDA) y proteína insoluble

en detergente neutro (PIDN) (métodos de FDN, FDA y Kjeldahl), fósforo (espectrofotometría UV-VIS basado en NTC 4981, ICONTEC 2001), calcio (espectrofotometría de absorción atómica, basado en NTC 5151, ICONTEC 2003), valor calorífico bruto (calorimetría, basado en el método 9831, ISO 1998) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca-DIVMS (celulosa).

### Determinación de consumo

La determinación de consumo se realizó 12 días antes de culminar la evaluación productiva (Sossa y Barahona, 2015). Para esto, la excreción diaria de heces y la digestibilidad de la dieta consumida fueron medidas mediante la dosificación diaria con dos marcadores externos: C<sub>32</sub> (dotriacontano) y C<sub>36</sub> (hexatriacontano) (MCM Alcanos-CAPTEC). Los alcanos se dosificaron en cápsulas de gelatina de 250 mg, ofrecidas dos veces al día (am-pm), por un período de 12 días. Los primeros seis días, correspondieron al período de adaptación al marcador para lograr que la concentración de alcano liberado alcanzara un estado de equilibrio.

En los días 1, 6 y 12, se obtuvieron muestras de los forrajes y del suplemento. En los mismos días se realizaron aforos de entrada y de salida para comparar con el consumo estimado por el método de *n*-alcanos. Durante los últimos seis días del experimento, se tomaron muestras de heces dos veces por día (am-pm), para un total de 12 muestras por animal. Dichas muestras se secaron y molieron y de cada animal se mezclaron las heces (am-pm) de los días 1-2, 3-4 y 5-6 generando tres muestras por animal, que equivalen a tres tiempos de evaluación (tiempo 1: mezcla 1-2; tiempo 2: mezcla 3-4; tiempo 3: mezcla 5-6), que fueron sometidas a análisis posteriores.

### Extracción de *n*-alcanos

El contenido de *n*-alcanos se determinó en las muestras de forraje, suplemento y heces (Dove y Mayes, 2006). Para la extracción se usaron tubos de ensayo con tapa para evitar la evaporación de las soluciones. Se adicionó 0,11g del estándar interno, preparado al mezclar *n*-docosano C<sub>22</sub> y *n*-tetraatriacontano C<sub>34</sub> en 0,3 mg g<sup>-1</sup> de *n*-décano. Luego se adicionó KOH (hidróxido de potasio) etanólico (1M) a razón

de 1,5 ml a las muestras de heces y 2 ml a las de forraje o concentrado. Se utilizó una estufa para generar las temperaturas indicadas en el protocolo, pero no se utilizaron calentadores de bloque seco convencionales, ni sopladores concentradores de aire.

Se utilizó un baño maría para calentar los tubos y cuando fue necesario redissolver las muestras en heptano. En la extracción final, se utilizaron columnas de aproximadamente 1 ml de sílica gel en jeringas de 3 cm, una por cada muestra. Los extractos fueron pasados a través de la columna mediante la adición de 2.5 ml de heptano. El líquido obtenido fue secado en estufa a 60°C (máximo 80°C). Previo análisis mediante cromatografía de gases, el extracto seco fue disuelto en 0.25 ml de *n*-dodecano.

La cuantificación de los alcanos se realizó en el Laboratorio de Análisis Instrumental de la Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, utilizando un cromatógrafo de gases equipado con un detector de ionización de llama (FID) y una columna capilar Agilent (DB-1MS) con 250 µm de diámetro interno de 30 m.

### Estimación del consumo de forraje:

El consumo individual de la dieta se estimó a partir de los datos de producción de heces y la digestibilidad de la dieta, utilizando la siguiente ecuación (Dove y Mayes, 2006):

$$\text{Consumo de materia seca (CMS, kg día}^{-1}\text{)} = \frac{D_j}{\left(\frac{F_j}{F_i}\right) (H_i - H_j)}$$

**Dónde:** **F<sub>i</sub>**= concentración (mg kg<sup>-1</sup> de MS) del *n*-alcano de cadena impar en las heces. **F<sub>j</sub>**= concentración (mg kg<sup>-1</sup> de MS) del *n*-alcano sintético de cadena par (C32 o C36) en las heces. **D<sub>j</sub>**= cantidad del *n*-alcano sintético de cadena par (C32 o C36) ofrecido (mg día<sup>-1</sup>). **H<sub>i</sub>**= concentración (mg kg<sup>-1</sup> de MS) del *n*-alcano de cadena impar natural del forraje. **H<sub>j</sub>**= concentración (mg kg<sup>-1</sup> de MS) del *n*-alcano sintético de cadena par (C32 o C36) en el forraje.

Las concentraciones de H<sub>i</sub> y H<sub>j</sub> se calcularon en base a las estimaciones de composición de la dieta. Los estimados de consumos mostrados son el promedio de los estimados obtenidos al usar los ratios C32:C31, C32:C33 y C36:C35.

Estimación de la producción de heces (H):

La fórmula utilizada para estimar la producción de heces estuvo basada en la concentración de los marcadores externos C32 y C36 (Dove y Mayes, 2006):

$$\text{Producción de heces (kg de MS día}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Tasa de dosis del marcador, C32 ó C36 (mg día}^{-1}\text{)}}{\text{Concentración fecal del marcador, C32 ó C36 (mg kg}^{-1}\text{ día}^{-1}\text{)}}$$

### Determinación de la digestibilidad:

La digestibilidad se midió comparando la concentración del marcador en dieta y en heces, usando la proporción entre la tasa de liberación de C36 y la concentración de dicho marcador en las heces (H36), para lo que usó la fórmula de Dove y Mayes (2006):

$$\text{Digestibilidad} = \left[ \frac{\text{Consumo (kg día}^{-1}\text{)} - \text{Excreción fecal (kg día}^{-1}\text{)}}{\text{Consumo (kg día}^{-1}\text{)}} \right]$$

### Análisis de resultados

Para los efectos del análisis, el peso vivo (PV, kg) se obtuvo como el peso promedio de los animales y el peso metabólico (kg) fue el equivalente al  $PV^{0.75}$ .

El análisis estadístico para los datos de consumo (CMS, kg= Consumo de materia seca en Kg; CPV, %= Consumo de peso vivo en porcentaje), digestibilidad de la materia seca, excreción y digestibilidad de nutrientes, se realizó mediante el procedimiento PROC MIXED de SAS (2001), usando el modelo correspondiente a un esquema de aleatorización completamente al azar con medidas repetidas en el tiempo (1, 2 y 3), del mismo individuo (efecto aleatorio); el modelo estadístico consideró como efecto fijo el tratamiento (con y sin suplemento).

El modelo resultante equivale a:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

**Dónde:**  $Y_{ijk}$ = K-ésima repetición del ij-ésimo tratamiento;  $\mu$ =Media general de la población;  $\alpha_i$ =Efecto del tratamiento (suplemento);  $\epsilon_{ik}$ =Error del suplemento;  $\beta_j$ =Efecto del tiempo;  $(\alpha\beta)_{ij}$ = Interacción entre sistema con el tiempo;  $\epsilon_{ijk}$ = Error entre el tiempo e interacción.

Se emplearon las siguientes opciones para modelar la estructura de covarianzas (Littell *et al.*, 1996): 1) simétrica compuesta, 2) sin estructura y 3) autorregresiva de primer orden. El ajuste del modelo elegido fue determinado mediante el criterio de información bayesiano de Schwarz

(BIC), que penaliza el logaritmo de la función de verosimilitud por el número de parámetros, eligiendo el modelo que minimice el número de los mismos (Vallejo *et al.*, 2010), escogiendo el modelo con el menor valor de BIC (Calegario *et al.*, 2005; Carrero *et al.*, 2008).

$$BIC = G - GI \ln(N) \quad (\text{Gómez } et al., 2012)$$

Dónde: G: Cociente de verosimilitud

GI: Grados de libertad del error

N: Tamaño de la muestra

La comparación de medias se realizó por medio de la instrucción LSMEANS, con una significancia de 0,05. En primera instancia se evaluó el resultado global del ANAVA, en el evento de interacción entre ambos, se evaluaron los efectos simples de tratamientos vs. tiempo, de lo contrario los efectos principales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1, se muestra la composición nutricional del pasto consumido en cada grupo (CS y SS) y del suplemento utilizado durante la evaluación de consumo. El *P. clandestinum* tuvo un alto contenido de PC (18,6 % y 17,8% en los grupos CS y SS, respectivamente) y de FDN (61,63 % y 64,87% en los grupos CS y SS, respectivamente) y un bajo contenido de azúcares solubles. Esto corrobora lo reportado por Correa *et al.* (2008 a, b), en cuanto a que el limitante nutricional más grande del *P. clandestinum* es la deficiencia de energía en relación a su alto contenido de proteína. Por su parte, el suplemento utilizado durante la evaluación se caracterizó por presentar un alto contenido de energía y bajo contenido de proteína.

No se encontraron diferencias estadísticas al evaluar los efectos simples del tratamiento vs. el tiempo, para las variables CMS en kg (P= 0,77); CMS como % del PV (P= 0,78) y la digestibilidad (P= 0,56). No se observó efecto de la inclusión del suplemento y tampoco del tiempo, lo cual puede deberse a la baja inclusión de este en la dieta (0,55 kg/animal/día), representando un CMS total de 2,13 y de 1,89 como porcentaje del peso vivo y de 93,59 y de 83,54 g/kg de peso metabólico para los animales CS y SS, respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Consumos de materia seca (CMS, kg/día) para cada tratamiento, estimados mediante la técnica de *n-alcanos* en novillos pastoreando en praderas de *Pennisetum clandestinum* con o sin suplementación energética.

	Peso vivo, kg	PM, kg	CMS, kg	CMS, % del PV	CMS, g/kg de PM	Digestibilidad %
CS	374,7	85,16	7,97	2,13	93,59	56,22
SS	380,0	86,07	7,19	1,89	83,54	54,70
ESM	-	-	0,35	0,09	-	1,17
Valor P						
Tratamiento	-	-	0,19	0,13	-	0,41
Tiempo	-	-	0,94	0,95	-	0,79
Interacción	-	-	0,77	0,78	-	0,56

*a, b: medias en una columna con diferente letra no difieren estadísticamente (P<0.05).* Abreviaturas: CS=animales pastoreando *P. clandestinum* y suplementados con concentrado energético (0,55 kg/día); SS=animales sólo en pastoreando *P. clandestinum*. ESM: Error estándar de la media. PM, kg=Peso metabólico (PV/0.75); CMS, kg=Consumo de materia seca en kg; CMS, % del PV=Consumo de materia seca como porcentaje del peso vivo; CMS, g/kg de PM=Consumo de materia seca en gramos por kilogramo de peso metabólico.

Sossa y Barahona (2015), utilizando el Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) estimaron un CMS de 8,1 y de 6,8 kg/animal/día para los animales del grupo CS y SS, respectivamente, luego de iniciar la evaluación. Estos estimados de CMS son similares a los encontrados con la técnica de *n-alcanos* (7,97 y 7,19 kg de MS/día) para los animales del grupo CS y SS, respectivamente (Cuadro 2). Es importante resaltar que los aforos realizados durante este experimento, mostraron que la disponibilidad de MS (kg/animal/día) fue de 29,44 para los animales del grupo CS, mientras que la de los animales del grupo SS fue de 24,60, con lo que la oferta de MS no fue limitante para ninguno de los dos grupos de animales.

También utilizando la técnica de *n-alcanos*, Gviria *et al.* (2013, 2015), evaluaron novillos cebuínos de 380 kg de peso vivo, los cuales estuvieron pastoreando en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi) basado en *Leucaena leucocephala* y en los pastos estrella y guinea, en este trabajo se presentó un CMS y una producción promedio de heces (kg de MS/animal/día) de 9,76 y 4,19, respectivamente, lo que significó una digestibilidad de la MS del 57%. Estos valores son más altos que los observados

en este estudio para novillos de peso similar, pero con un componente racial diferente, estos resultados sugieren que es necesario identificar los factores responsables de dichos consumos, teniendo presente que la digestibilidad depende de las características nutricionales del forraje que se evalúe, el componente racial de los animales, entre otros.

Tanto Leng (1990) como Allen (1996), hacen la observación que forrajes con bajas digestibilidades limitan el consumo voluntario debido a su lento tránsito por el rumen y su paso por el tracto digestivo. Esto obedece a que las partículas de gramíneas son inherentemente más largas, con una baja gravedad funcional específica y en consecuencia son de pasaje más lento que las partículas de leguminosas, que por ser cortas y de más alta gravedad, tienden a escapar más fácilmente del rumen (Barahona y Sánchez, 2005).

En el Cuadro 3, se indica que sólo hubo un efecto del suplemento en el consumo de calcio, presentando diferencias estadísticas (P=0,006) entre los dos tratamientos evaluados. Para los animales del grupo CS, se incluyó el consumo

Cuadro 3. Consumo de nutrientes, estimado por la técnica de *n-alcanos* (g/animal/día) para novillos pastoreando en praderas de *Pennisetum clandestinum* con o sin suplementación energética.

	PC	FDN	FDA	Calcio	Fósforo	Cenizas
CS	1.432	4.719	2.340	33,35 <sub>a</sub>	34,91	632,0
SS	1.283	4.666	2.263	24,46 <sub>b</sub>	29,97	681,9
ESM	62,45	226,19	109,87	1,20	1,45	32,93
Valor P						
Tratamiento	0,16	0,87	0,65	0,006	0,074	0,34
Tiempo	0,94	0,93	0,93	0,96	0,94	0,94
Interacción	0,77	0,77	0,77	0,75	0,78	0,79

*a, b*: medias en una columna con diferente letra no difieren estadísticamente ( $P < 0.05$ )

Abreviaturas: CS=animales pastoreando *P. clandestinum* y suplementados con concentrado energético (0,55 kg/día); SS=animales sólo en pastoreando *P. clandestinum*. ESM=Error estándar de la media; PC=Proteína cruda; FDN=Fibra en detergente neutro; FDA=Fibra en detergente ácido.

de nutrientes a partir del suplemento cuya composición se reporta en el Cuadro 1.

A modo de comparación, el requerimiento promedio estimado mediante CNCPS (Fox *et al.*, 2000) de proteína metabolizable de estos animales sería de 520, el de calcio de 27 y el de fósforo de 16 g/día. Por su parte, el requerimiento de energía metabolizable sería de unos 17,9 Mcal/día, siendo este el nutriente limitante a la ganancia de peso de estos animales. Gaviria *et al.* (2013, 2015) reportaron que novillos del mismo peso pastoreando en SSPi presentaron consumos de proteína, FDN, FDA, cenizas, calcio y de fósforo (estimados también por la técnica de *n-alcanos*) 1,25, 5,81, 4,09, 1,16, 0,058 y 0,020 kg/día, respectivamente. Así, los novillos en el presente estudio, consumieron cantidades similares de PC a aquellos pastoreando en el SSPi, pero consumieron menos FDN, FDA y cenizas.

El menor consumo de FDN sugeriría una posible ventaja para los novillos pastoreando en trópico de altura, pero una posible desventaja sería la alta solubilidad de la proteína del kikuyo (Correa *et al.*, 2008a). Al evaluar estos animales durante 122 días, Sossa y Barahona (2015) reportaron una ganancia total de 78,8 y 73,3 kg de peso/novillo durante todo el período, equivalentes a

ganar 646 y 601 gr/animal/día en los animales CS y SS, respectivamente. Estas ganancias son similares a las encontradas por Gaviria *et al.* (2013, 2015) para novillos pastoreando en SSPi.

La producción de heces promedio (kg de MS/animal/día) de  $3,48 \pm 0,25$  y  $3,29 \pm 0,51$  para los animales en el grupo CS y SS, respectivamente. Esto significa una digestibilidad promedio de la MS de 56,2 y 54,7%, para los animales del grupo CS y SS, respectivamente. Dado que los animales CS pastoreaban en 2,5 ha y los SS en 3,2 ha y habían nueve animales en cada grupo, asumiendo que la relación de consumo y excreción de nutrientes estimada en este estudio (Cuadro 4) se mantiene para animales entre 250 y 450 kg de peso vivo, es posible calcular la excreción fecal de nutrientes por ha/año. Estos estimados (kg/ha/año), fueron de 128,8 y 91,5 para nitrógeno, 38,9 y 29,3 de calcio y 40,1 y 29,7 de fósforo para los animales CS y SS, respectivamente. Es importante anotar que estas excreciones fecales corresponden a unos 280 y 200 kg de urea/ha/año en el caso del nitrógeno y a unos 152 y 112 kg de superfosfato triple/ha/año en el caso del fósforo.

El cálculo de la digestibilidad, permitió comparar la eficiencia de utilización de nutrientes por los animales, al estimar la proporción de nutrientes

Cuadro 4. Excreción de nutrientes, estimado por la técnica de *n-alcanos* (g/animal/ día) para novillos pastoreando en praderas de *Pennisetum clandestinum* con o sin suplementación energética.

	PC	FDN	FDA	Calcio	Fósforo	Cenizas
CS	661,9	1.732	1.061	31,56	35,87	553,1
SS	605,9	1673	1.088	30,99	31,18	544,5
ESM	46,42	92,19	63,65	3,13	2,89	16,78
Valor P						
Tratamiento	0,14	0,68	0,78	0,90	0,32	0,73
Tiempo	0,46	0,69	0,40	0,02	0,24	0,39
Interacción	0,46	0,75	0,72	0,26	0,96	0,60

*a, b: medias en una columna con diferente letra no difieren estadísticamente (P<0.05). Abreviaturas: CS= animales pastoreando *P. clandestinum* y suplementados con concentrado energético (0,55 kg/día); SS= animales sólo en pastoreando *P. clandestinum*; ESM= Error estándar de la media; PC= Proteína cruda; FDN= Fibra en detergente neutro; FDA= Fibra en detergente ácido.*

excretados en las heces por los animales en los dos grupos evaluados. Solamente hubo diferencia en la digestibilidad de calcio entre los dos tratamientos evaluados ( $P = 0,016$ ), como se muestra en el Cuadro 5.

Al conocer el consumo y la excreción fecal de los diferentes nutrientes, es posible determinar la *desaparición* de cada nutriente como la diferencia entre consumo y excreción fecal. Al igual que Gaviria *et al.* (2015), llamamos está fracción *desaparición*, pues no podemos asegurar el destino metabólico de cada nutriente. Para el caso de la proteína la desaparición fue de 770,27 y 735,67 g día<sup>-1</sup>, lo que equivale al 53,79 y 57,34% de lo consumido, para el grupo CS y SS respectivamente. Un comportamiento similar, en el que la desaparición fue mayor a la excreción se presentó en las fracciones de FDN y FDA. Fracciones como el Ca y P presentaron patrones de excreciones mayores a su desaparición. La proteína, al igual que la FDN y FDA desaparecidas, pudieron ser aprovechadas en la generación de productos, en este caso carne o ser excretados en orina.

En la estimación de la digestibilidad del calcio (Ca) y el fósforo (P) hubo digestibilidades negativas, que podrían derivarse de errores al realizar la evaluación, puesto que los datos del consumo de minerales a partir de la sal no fue

incluido en estas evaluaciones, pero aun así podemos contar con unos datos aproximados de consumo, digestibilidad y excreción de nutrientes.

La absorción de P y Ca ocurre principalmente en el intestino delgado a través de la mucosa intestinal (Suttle, 2010), acción facilitada por la vitamina D. El P absorbido puede ser retenido para funciones productivas (por ejemplo, la producción de leche o el desarrollo del esqueleto) o secretado en el lumen del intestino para reabsorción o para ser excretados en las heces (NRC, 2001).

La mayor ruta de excreción de todos los minerales son las heces, donde aparecen los minerales no absorbidos (fracción alimentaria), junto con la fracción endógena. Debe recordarse que la homeóstasis P se mantiene por reciclaje en la saliva y excreción fecal endógena y aunque las pérdidas fecales sean altas, la digestibilidad verdadera de P es del orden del 60-70%. Así, estimar la digestibilidad de P como la diferencia entre lo consumido y lo excretado en heces tiene valor limitado (Weiss y Wyatt, 2004; Maynard y Loosli, 1979).

El Ca y el P también se eliminan por la orina, pero la excreción por vía fecal es la más importante (Suttle, 2010). Es importante aclarar que la falta de Ca en el ganado en pastoreo podría ser un

Cuadro 5. Digestibilidad aparente de nutrientes, estimada mediante la técnica de *n*-alcanos (g/animal/ día) para novillos pastoreando en praderas de *Pennisetum clandestinum* con o sin suplementación energética.

	PC	FDN	FDA	Calcio	Fósforo	Cenizas
CS	53,79	63,30	54,69	5,59 <sub>a</sub>	-2,68	12,64
SS	57,34	64,09	52,01	-25,83 <sub>b</sub>	-3,40	18,91
ESM	3,73	1,64	2,14	5,54	5,18	3,94
Valor P						
Tratamiento	0,54	0,75	0,43	0,016	0,93	0,324
Tiempo	0,41	0,45	0,15	0,38	0,352	0,1093
Interacción	0,27	0,73	0,70	0,064	0,78	0,56

a, b: medias en una columna con diferente letra no difieren estadísticamente ( $P < 0.05$ ). Abreviaturas: ESM=Error estándar de la media; CS=animales pastoreando *P. clandestinum* y suplementados con concentrado energético (0,55 kg/día); SS= animales sólo en pastoreando *P. clandestinum*; PC=Proteína cruda; FDN=Fibra en detergente neutro; FDA=Fibra en detergente ácido.

problema mucho menor que la deficiencia de P. McDonald (1968) no encontró evidencia de una deficiencia primaria de calcio en ganado vacuno y ovino en pastoreo.

A partir de este trabajo se generan nuevos acercamientos a la dinámica de nutrientes de animales en pastoreo a través de la técnica de *n*-alcanos como método de estimación de CMS, excreción de nutrientes estimados mediante la producción de heces y la digestibilidad de nutrientes. En este trabajo podemos destacar la baja eficiencia de uso de los nutrientes en un sistema de producción de bovinos pastoreando en trópico de altura, por lo cual se hace necesario seguir trabajando en el balance de dietas acorde a los requerimientos de los animales y de la zona en que estos se encuentren.

## CONCLUSIONES

Las estimaciones de consumo en el presente experimento mostraron valores modestos de CMS, con consumos excesivos de nitrógeno y con el consumo de energía siendo la mayor limitante nutricional de los animales pastoreando en praderas de pasto kikuyo. La suplementación utilizada no resultó en incrementos en CMS o en consumo y digestibilidad de nutrientes. Resulta entonces necesario identificar la suplementación

adecuada para incrementar la productividad de novillos en pastoreo en praderas de pasto kikuyo.

## LITERATURA CITADA

- Allen, M. S. 1996. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *J Anim Sci* 1996; 74:3063-3075.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. 2005a. Official Method 2002-04. Amylase-Treated Neutral Detergent Fiber in Feeds. In Official Methods of Analysis of AOAC International. AOAC International Gaithersburg, MD.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. 2005b. Official Method 973.18. Fiber (Acid Detergent) and Lignin (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) in animal feed. In Official Methods of Analysis of AOAC International. AOAC International Gaithersburg, MD.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. 2005c. Official Method 942.05. Determination of Ash in Animal Feed. In Official Methods of Analysis of AOAC International. AOAC International Gaithersburg, MD.
- Barahona, R., M. Theodorou, C. E. Lascano, E. Owen, y N. Narvaez. 2003. *In vitro*

- degradability of mature and immature leaves of tropical forage legumes differing in condensed tannin and non-starch polysaccharide content and composition. *J. Sci. Food Agric*, v.83, No 12, pp. 1256 – 1266.
- Barahona, R. y M. Sánchez. 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *CORPOICA Cienc. Tecnol. Agropecu.* 6 (1), 69–82.
- Calegario, N., R. Maestri, C. Leal e R. Daniels. 2005. Estimativa do crescimento de povoamentos de *Eucalyptus baseada* na teoria dos modelos não lineares em multiníveis de efeito misto. *Ciência Florestal* 15:285.
- Carrero, O., M. Jerez, R. Macchiavelli, G. Orlandoni y J. Stock. 2008. Ajuste de curvas de índice de sitio mediante modelos mixtos para plantaciones de *Eucalyptus urophylla* en Venezuela. *Interciencia* 33:4.
- Correa, H. J., M. L. Pabón, y J. E. Carulla. 2008a. Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I - Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. *Lives Res Rural Develop.* Volume 20 (4), Article # 59 ISSN: 0121-3784.
- Correa, H. J., M. L. Pabón, y J. E. Carulla. 2008b. 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. *Lives Res Rural Develop.* 20 (4), Article # 61 ISSN: 0121-3784.
- Dove, H., and R.W. Mayes. 1991. The use of plant wax alkanes as marker substances in studies of the nutrition of herbivores: a review. *Aust. J. Agric. Res.* 42, 913-52.
- Dove, H., and R. W. Mayes. 2005. Using n-alkanes and other plant wax components to estimate intake, digestibility and diet composition of grazing/browsing sheep and goats. *Small Ruminant Research* 59(2-3): 123-139.
- Dove, H. and R. W. Mayes. 2006. Protocol for the analysis of n-alkanes and other plant-wax compounds and for their use as markers for quantifying the nutrient supply of large mammalian herbivores. Nature publishing group. *Nature protocol.* Vol.1, N°4. 18 p.
- Espinal, L. S. 1991. Geografía ecológica de Antioquia. Zonas de vida. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 146 p.
- Fox, D. G., T. P. Tylutki, L. O. Tedeschi, M. E. Van Amburgh, L. E. Chase, A. N. Pell, T. R. Overton and J. B. Russell. 2000. The Net Carbohydrate and Protein System for Evaluating Herd Nutrition and Nutrient Excretion: Model Documentation. Mimeo No. 213, Animal Science Department, Cornell University, Ithaca, NY.
- Gaviria, X., D. M. Bolívar, y R. Barahona. 2013. Uso de la técnica de n-alcenos para estimar el consume y selectividad de novillos pastoreando en un sistema Silvopastoril intensivo (SSPi). *Rev Colomb Cienc Pecu,* Universidad De Antioquia, 459 p., v.26<, suplemento.
- Gaviria, X., J. F. Naranjo. D. M. Bolívar, y R. Barahona. 2015. Consumo y digestibilidad en novillos cebuínos en un sistema silvopastoril intensivo. *Arch. Zootec.* 64 (245): 21-27. 2015. Disponible en línea: [http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/17\\_09\\_57\\_03\\_12\\_3311\\_4.pdf](http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/17_09_57_03_12_3311_4.pdf) . [May. 03, 2015].
- Gómez, S., V. Torres, Y. García y J. A. Navarro. 2012. Procedimientos estadísticos más utilizados en el análisis de medidas repetidas en el tiempo en el sector agropecuario. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 46, Número 1, 2012.
- ICONTEC. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, NTC 668. 1973. Alimentos y materias primas. Determinación de los contenidos de grasa y fibra cruda. Bogotá, D. C.

- ICONTEC. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, NTC 4657. 1999. Alimentos para animales. Determinación del contenido de nitrógeno y cálculo del contenido de proteína cruda. Método Kjeldahl. Bogotá, D. C.
- ICONTEC. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, NTC 4981. 2001. Alimentos para animales. Determinación del contenido de fósforo. Método espectrofotométrico. Bogotá, D. C.
- ICONTEC. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, NTC 5151. 2003. Alimento para animales. Determinación de los contenidos de calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sodio y zinc. Método usando espectrometría de absorción atómica. Bogotá, D. C.
- ISO. International Organization for Standardization. 1998. Animal feeding stuffs, animal products, and faeces or urine - ISO 9831: Determination of gross calorific value - Bomb calorimeter method. Geneva, Switzerland.
- ISO. International Organization for Standardization. 1999. Animal feeding stuffs. ISO 6496: Determination of moisture and other volatile matter content. Geneva, Switzerland.
- Leng, R. A. 1990. Factors affecting the utilization of "poor-quality" forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutr Res Rev* 1990; 3:277-303.
- Littell R. C. 1996. Milliken GA, Stroup WW, Wolfinger RD. SAS® System for Mixed Models. SAS Institute. Cary (North Carolina, USA). 633 p.
- Mármol, J. 2006. Manejo de pastos y forrajes en la ganadería de doble propósito. Facultad de Agronomía, Universidad de Zulia-Maracaibo; X Seminario de pastos y forrajes. Disponible en línea: [http://www.avpa.ula.ve/congresos/seminario\\_pasto\\_X/Conferencias/A1-Jesus%20Faria%20Marmol.pdf](http://www.avpa.ula.ve/congresos/seminario_pasto_X/Conferencias/A1-Jesus%20Faria%20Marmol.pdf) [Feb. 06, 2015].
- Mayes, R. W., C. S. Lamb and P. M. Colgrove. 1986. The use of dosed and herbage n-alkanes as markers for determination of herbage intake. *Journal of Agricultural Science*, v.107, pp.161-170, 1986.
- Maynard, L. and J. Loosli. 1979. *Animal nutrition*. 7th ed. McGraw-Hill, Inc. New York, U.S.A. 602 p.
- McDonald, I. W. 1968. The nutrition of grazing ruminant. *Nutrition abstracts and Reviews* 38,381-395
- NRC. National Research Council. 2001. Nutrient requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC. 360 p.
- Rojas, M. A., J. G. Estrada, A. Espinoza, V. Ambriz, A. R. Martínez, y O. A. Castelán. 2008. Estandarización de la técnica de n-alcenos para la estimación de consumo voluntario de ganado lechero de sistemas campesinos de México. III Congreso CLANA Colégio Latinoamericano de Nutrición Animal. Cancún, México. pp. 531-534. Memoria en Extenso.
- SAS. Systems Software. 2001. Version 8 for Windows. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sossa, C. P., C. Velilla, S. Berrío, y R. Barahona. 2011. Comparación del consumo y digestibilidad de nutrientes y de la producción de carne de novillos en pastoreo en trópico de altura con o sin suplementación energética. *Revista Colombiana De Ciencias Pecuarias, Universidad De Antioquia*, pp. 468 - 468, v.24 <, fasc.3.
- Sossa, C. P., D. M. Bolívar, S. Berrío, y R. Barahona. 2012. Evaluación *in vitro* de la cinética fermentativa y digestibilidad de nutrientes y su relación con la producción de carne *in vivo* de novillos en pastoreo en trópico de altura con o sin suplementación energética. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, Universidad Nacional De Colombia Sede Medellín*, pp. 1 - 2 , v.65 <, fasc.sup 1
- Sossa, C. P. y R. Barahona. 2015. Comportamiento productivo de novillos pastoreando en trópico de altura con o sin suplementación energética. *Rev Fac Med Vet Zoot.* 62(1), enero – junio 2015: 67-80.

- Suttle, N. F. 2010. Mineral nutrition of livestock. 4<sup>th</sup> edition. Publisher: CABI, 544 p.
- Vallejo, G., J. Arnau, R. Bono, P. Fernández, y E. Tuero. 2010. Selección de modelos anidados para datos longitudinales usando criterios de información y la estrategia de ajuste condicional. *Psicothema* 22:323.
- Van Soest, P. J. 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feed. II a rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* 46 (5): 829.
- Van Soest, P. J. and R. H. Wine. 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feed. IV the determination of plant cell wall constituents. *J Assoc Official Anal Chem*; 50: 50
- Van Soest, P. J. and R. H. Wine. 1968. Determination of lignin and cellulose in acid detergent fibre with permanganate. *J Assoc Official Anal Chem*; 51: 780.
- Weiss, W. and D. Wyatt. 2004. Macromineral digestion by lactating dairy cows: estimating phosphorus excretion via manure. *Journal of Dairy Science* (87): 2158-2166.
- Yearsley, J., B. J. Tolkamp, and A. W. Illius. 2001. Theoretical development in the study and prediction of food intake. *Proc. Nutr. Soc.* 60:145–156.