

Consumo y digestibilidad en novillos cebuínos en un sistema silvopastoril intensivo

Gaviria-Uribe, X.¹; Naranjo-Ramírez, J.F.²; Bolívar-Vergara, D.M.¹ y Barahona-Rosales, R.¹

¹Departamento de Producción Animal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Colombia.

²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Grupo INCA-CES. Universidad CES. Medellín. Colombia.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Ganadería tropical.
Leucaena leucocephala.
Nutrientes en heces.

ADDITIONAL KEYWORDS

Tropical beef production.
Leucaena leucocephala.
Fecal nutrients.

INFORMACIÓN

Cronología del artículo.
Recibido/Received: 16.1.2014
Aceptado/Accepted: 12.1.2015
On-line: 16.3.2015
Correspondencia a los autores/Contact e-mail:
xgaviriO@unal.edu.co

INTRODUCCIÓN

La producción ganadera es considerada una actividad de alto impacto sobre el medio ambiente. Por ejemplo, la mayor parte del nitrógeno consumido por los animales es excretado en heces y orina y muy poco de este elemento es retenido en productos animales como carne y leche (Herrero *et al.*, 2013). Bajo condiciones adecuadas de manejo, las heces y orina se convierten en una vía importante en el reciclaje de nutrientes como nitrógeno y fósforo al suelo y se ha demostrado que la cantidad de nutrientes que retornan por esta

RESUMEN

La determinación del consumo voluntario de materia seca (CMS) por los animales, es indispensable para determinar su capacidad productiva y su estado nutricional. Existen muchas técnicas para la estimación del CMS, siendo una de ellas la técnica de n-alcenos la cual permite además estimar la selectividad de los forrajes consumidos. El presente trabajo tuvo como objetivo estimar el consumo voluntario y la excreción fecal de nutrientes por novillos cebuínos alimentados en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi). El estudio se realizó en el Centro Experimental Cotové, propiedad de la Universidad Nacional de Colombia. Se evaluaron seis novillos castrados con un peso promedio de 381 ± 12 kg y se utilizó la técnica de alcanos para determinar CMS. El CMS promedio de forraje fue de 9,54 kg día⁻¹, del cual, el 75,24 % correspondió a consumo de gramíneas y el 24,76 % a consumo de leguminosa. En promedio, el consumo de nutrientes (kg) fue de 1,33; 5,8; 4,02; 1,13; 0,058 y 0,021 para PC, FDN, FDA, Cenizas, Ca y P respectivamente. Estos consumos fueron adecuados para el tipo de animales del estudio aportando una dieta de buena calidad nutricional. La digestibilidad fue del 53 % para el tratamiento sin inclusión del suplemento y del 58 % para el tratamiento con suplemento, lo que junto con el CMS, permite afirmar que los animales satisficieron sus requerimientos de los principales nutrientes. Las cantidades excretadas (kg) fueron 4,15; 0,44; 2,56; 1,78; 0,8; 0,054 y 0,02 para MS, PC, FDN, FDA, Cenizas, Ca y P, respectivamente. La excreción fecal de N por animal al año se calculó en 29,9 kg, contribuyendo a la producción de biomasa de las gramíneas acompañantes en el SSPi.

Intake and digestibility of nutrients in Zebu steers grazing in intensive silvopastoral system

SUMMARY

The determination of the dry matter intake (DMI) of animals is essential to determine the productive ability and nutritional status of domestic animals. Many techniques exist for estimating DMI and that of n-alkanes has shown special appeal, since it also allows the determination of the selectivity of the fodder consumed. The present study aimed to estimate voluntary feed intake and fecal nutrient excretion in Zebu steers fed in an intensive silvopastoral system (ISS). The study was conducted at the Cotové Research Center of the National University of Colombia in Santa Fe, Antioquia. Six steers with an average weight of 381.16 ± 12.1 kg were evaluated and the n-alkane technique was used to determine DMI. The average forage DMI intake was 9.54 kg day⁻¹ of which, 75.24 % corresponded to intake of grasses and 24.76 % to legume intake. Nutrient intake (kg) was 1.33, 5.8, 4.02, 1.13, 0.058 and 0.021 for CP, NDF, ADF, ashes, Ca and P, respectively. These intakes were adequate for the type of animals evaluated and provided a diet of good nutritional quality. The digestibility was 53 % for the diet without supplementation and 58 % for the diet with supplementation, which together with the DMI data, suggests that animals met their requirements of key nutrients. In turn, nutrient excretion (kg) was 4.15, 0.44, 2.56, 1.78, 0.8, 0.054 y 0.02 for DN, CP, NDF, ADF, ashes, Ca and P, respectively. Faecal N excretion was calculated at 29.9 kg per animal per year, and this contributes to the biomass production of the ISS grasses.

vía cambia en función del tipo de animal, su estado fisiológico y la concentración de nutrientes en la dieta consumida (Crespo *et al.*, 2000).

No solo porque está asociado con la excreción de nutrientes, sino porque da una idea de la capacidad productiva y del estado nutricional de los animales (Dove *et al.*, 2000), una de las características importantes a evaluar en los sistemas de producción es el consumo. Sin embargo, este es un parámetro de difícil medición, especialmente bajo condiciones de pastoreo. Una técnica de gran utilidad para estimar el consumo

de forrajes por animales en pastoreo es la utilización de alcanos como marcadores internos (Dove y Mayes, 1991; Gedir y Hudson, 2000; Giráldez *et al.*, 2006; Ferreira *et al.*, 2007). Los alcanos son cadenas de hidrocarburos saturados de 21 a 37 átomos de carbono presentes en la cera de la mayoría de las plantas, siendo el C_{29} , C_{31} y C_{33} , los más predominantes en la mayoría de las especies de pastos. Además de ser útiles para estimar el consumo de materia seca de animales en diferentes condiciones de pastoreo, los alcanos también permiten estimar la composición de la dieta consumida (Dove y Mayes, 1991).

En los últimos años ha aumentado el interés por convertir los sistemas ganaderos en sistemas cada vez más intensivos, que permitan alcanzar mayor productividad, junto con mayor competitividad y sostenibilidad. Sistemas de producción como los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) han mostrado ser una buena opción para lograr una ganadería sostenible. Estos sistemas se caracterizan por tener altas densidades (más de 10 000 por hectárea) de arbustos forrajeros como la acacia forrajera (*Leucaena leucocephala*) asociados a pastos mejorados de alta producción de biomasa y árboles introducidos bajo modelos de pastoreo rotacional intensivos (Murgueitio *et al.*, 2011; Cuartas *et al.*, 2014).

A pesar de su promesa (Cuartas *et al.*, 2014), existen pocos estudios en los que se haya determinado el consumo de materia seca y de nutrientes y la selectividad forrajera en SSPi por novillos cebuinos, los cuales conforman la gran mayoría de los animales para producción de carne en América tropical. Este conocimiento es de vital importancia para determinar cuáles son las limitaciones nutricionales de estos sistemas y proponer posibles estrategias de suplementación a fin de incrementar la productividad de estos sistemas, la cual es baja. El objetivo de este estudio fue evaluar la selectividad, el consumo y la digestibilidad de forrajes de bovinos de carne pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos con diferentes forrajes.

MATERIAL Y MÉTODOS

LOCALIZACIÓN

El estudio tuvo lugar en el Centro Experimental Cotové, propiedad de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, ubicado en el municipio de Santafé de Antioquia a 74 kilómetros de distancia de Medellín. Su zona de vida según la clasificación ecológica de Holdridge es bosque seco tropical (bs-T) y está a una altura de 540 msnm, con una temperatura promedio de 27 °C y una precipitación de 1100 mm año⁻¹.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN

El SSPi utilizado tenía un área total de 5,6 ha y estaba compuesto por arbustos de leucaena (*Leucaena leucocephala*) sembrados en una densidad de 10 000 arbustos ha⁻¹ asociados a pasto guinea (*Megathyrus maximus* Jacq) variedad tanzania y pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*). El pasto estrella constituía menos de 3 % de la biomasa total disponible a partir de las praderas. El pastoreo en dicho sistema se realizó mediante rotación en franjas de 1200 m², con un día de

ocupación y 44 días de descanso para un periodo de rotación total de 45 días.

MANEJO ALIMENTICIO DE LOS ANIMALES

En el SSPi pastorearon 20 animales de raza cebú comercial, castrados y con una edad promedio de 3 años. Estos animales consumieron a voluntad los forrajes del SSPi: leucaena, pasto guinea variedad tanzania y pasto estrella, siendo el consumo de estrella muy limitado debido a su poca presencia en el potrero. Además, tuvieron acceso permanente a sal y agua a voluntad. Un grupo de diez animales recibieron 500 gr día⁻¹ de un suplemento a base de harina de arroz y melaza (70 y 30 %, respectivamente).

COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICA DE FORRAJES Y SUPLEMENTO CONSUMIDO

Se recolectaron muestras representativas de los forrajes consumidos por los animales en los días 1, 6 y 10 de evaluación. Dichas muestras se trasladaron al Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Universidad Nacional, sede Medellín donde se secaron en una estufa de aire forzado a 60 °C durante 48 h aproximadamente y fueron molidas a través de una malla de 1 mm para su posterior análisis. En una muestra del suplemento ofrecido a los animales durante todos los días de evaluación se realizaron los mismos análisis que se realizaron en los forrajes.

En las muestras de forrajes y suplemento se determinaron los 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 insoluble en detergente neutro y ácido (FDN y FDA, respectivamente) según técnica secuencial descrita por Van Soest *et al.* (1991); lignina (Van Soest *et al.*, 1963) y grasa bruta (EE), por extracción Soxhlet por inmersión por el método NTC 668 (ICONTEC, 1973). El contenido de cenizas se determinó por incineración directa en una mufla a 500 °C, según AOAC 942.05 (AOAC, 2005). El contenido de calcio y fósforo se determinó por espectrofotometría AA y U.V-VIS basado en NTC 5151 (ICONTEC, 2003) y 4981 (ICONTEC, 2001), respectivamente. Finalmente, se determinó el contenido de energía bruta por calorimetría, basado en el método ISO 9831 (ISO, 1998). Los contenidos de nutrientes estimados se muestran en la **tabla I**.

EVALUACIÓN DEL CONSUMO Y EXCRECIÓN DE NUTRIENTES

Las evaluaciones de consumo de forraje se realizaron en un periodo de diez días, utilizando la técnica de alcanos (Mayes *et al.*, 1986). Las evaluaciones se realizaron con 6 animales escogidos al azar del grupo de 20 animales; tres de los cuales pertenecían al grupo de animales suplementados. Al momento de las mediciones, los animales tenían un peso promedio de 381±12 kg.

Los alcanos se ofrecieron en cápsulas de gelatina con un contenido exacto de 250 mg de una mezcla de cantidades conocidas de n-dotriacontano (C_{32}) y n-hexatriacontano (C_{36}) (MCM Alcanos-CAPTEC). Para esto, los animales fueron primero acostumbrados a la

Tabla I. Composición química de los forrajes ofertados en el sistema silvopastoril intensivo del Centro de Investigación Cotové (Chemical composition of forages offered in the intensive silvopastoral system at Cotové Research Center).

Composición química	Gramínea ofertada		Leguminosa ofertada
	Estrella	Guinea	Leucaena
Proteína (%)	10,1±2,33	8,70±3,68	26,1±4,74
FDN (%)	69,7±2,12	70,1±5,02	33,6±9,62
FDA (%)	45,0±5,16	47,9±6,86	29,3±10,2
Grasa bruta (%)	1,16±0,34	1,43±0,50	2,92±0,25
Valor calorífico kcal/kg	4 091±151	4 004±36,1	4 640±51,6
Cenizas (%)	12,3±2,28	13,5±0,46	8,59±1,07
Calcio (%)	0,37±0,05	0,37±0,15	1,34±0,20
Fósforo (%)	0,24±0,01	0,20±0,02	0,23±0,04

FDN= Fibra en detergente neutro; FDA= Fibra en detergente ácido; ±= Desviación típica.

presencia de las personas encargadas de suministrar las cápsulas, realizando acercamientos graduales para ofrecer cápsulas vacías a los animales hasta que las consumieron sin ninguna dificultad.

Las cápsulas se administraron durante un periodo total de 12 días, con una frecuencia de dos cápsulas por día (mañana y tarde). Los primeros siete días, correspondieron al período de adaptación al marcador para lograr que la concentración de alcano liberado alcanzara un estado de equilibrio. A partir del día ocho de la administración de las cápsulas, se recolectaron muestras de heces durante cinco días consecutivos en las horas de la mañana y de la tarde. Adicionalmente, se recolectaron muestras de los forrajes consumidos en los días 1, 8 y 12 del experimento.

El contenido de alcanos se determinó tanto en los forrajes consumidos como en las heces que fueron recolectadas a partir del día 6 hasta el día 10. Para esto se generaron tres mezclas por animal, dos de ellos reuniendo las muestras de la mañana y tarde en los días 6-7 y 8-9. La tercera mezcla fue generada con muestras mañana y tarde del día 10. En el suplemento ofrecido se determinó también el contenido de alcanos. Este análisis se realizó en una sola muestra, ya que el suplemento ofrecido durante todo el periodo experimental pertenecía al mismo lote.

La extracción de los alcanos se realizó en el laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, siguiendo el protocolo de Dove y Mayes (2006). Se adicionaron 0,11 g de una solución de n-docosano C₂₂ y n-tetraatriacontano C₃₄ en n-decano (0,3 mg g⁻¹ de n-decano) como estándar interno. Posteriormente se adicionaron 1,5 y 2 ml de una solución de KOH etanólico (1M) a las muestras de forraje y heces, respectivamente. Las muestras fueron calentadas durante 16 horas en un horno con una temperatura de 90 °C. El extracto obtenido se disolvió utilizando heptano y agua, llevando la solución resultante de nuevo al horno hasta la evaporación total del líquido. El sólido resultante se disolvió con heptano y la solución obtenida fue filtrada a través de una columna de 5 cm de sílica gel. El líquido obtenido se llevó

nuevamente a evaporación para finalmente disolver el extracto obtenido con 0,25 ml de n-dodecano.

La cuantificación de los alcanos se realizó en el Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín mediante 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. Se utilizó helio como gas de arrastre a un flujo constante de 15 ml/minuto. Para el detector se usaron gradientes de temperatura (80 °C por 0,2 min, 200 K/min hasta 380 °C) así como para la columna (200 °C por 1 min, 6 K/min hasta 300 °C). La calibración del procedimiento cromatográfico se hizo con una solución que contenía una mezcla de n-alcanos C_{23'}, C_{25'}, C_{27'}, C_{29'}, C_{31'}, C_{32'}, C_{33'}, C_{34'}, C₃₅ y C₃₆ (Sigma Aldrich Corp) con concentraciones similares a las encontradas en los extractos. Los factores de respuesta se calcularon basándose en las áreas de los picos y las concentraciones conocidas de dichos estándares.

A partir de los valores de excreción diaria de N-alcanos de los seis novillos se calculó el consumo de materia seca (CMS) usando la ecuación de Dove y Mayes (2006):

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

Dónde:

F_i= concentración (mg kg⁻¹ de MS) del n-alcano de cadena impar en las heces;

F_j= concentración (mg kg⁻¹ de MS) del n-alcano sintético de cadena par (C₃₂ o C₃₆) en las heces;

D_j= cantidad del n-alcano sintético de cadena par (C₃₂ o C₃₆) ofrecido (mg día⁻¹);

H_i= concentración (mg kg⁻¹ de MS) del n-alcano de cadena impar natural del forraje;

H_j= concentración (mg kg⁻¹ de MS) del n-alcano sintético de cadena par (C₃₂ o C₃₆) en el forraje.

Las concentraciones de H_i y H_j 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:C_{31'}, C₃₂:C₃₃ y C₃₆:C_{35'}.

Para determinar la digestibilidad de la materia seca se usó la proporción entre la tasa de liberación de C₃₆ y la concentración de dicho marcador en las heces (H₃₆), usando la siguiente ecuación de Dove y Mayes (2006):

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

PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LAS HECES

Las muestras de heces recolectadas a partir del día 8 hasta el día 12, en la mañana y en la tarde, fueron congeladas y posteriormente se trasladaron al Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Universidad Nacional, sede Medellín donde se secaron en una estufa de ventilación forzada a 60 °C y luego fueron molidas a través de una malla de 1 mm para su

posterior análisis. Para estas muestras se determinaron los contenidos de: proteína cruda, fibra en detergente neutro, fibra en detergente ácido, cenizas, calcio y fósforo; utilizando las mismas metodologías referenciadas en el análisis de los forrajes.

Para la determinación de la producción total de heces se utilizó la siguiente ecuación:

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

SELECTIVIDAD DE LA DIETA

La composición de la dieta consumida se estimó comparando el patrón de los alcanos impares (C_{27} a C_{35}) de los forrajes consumidos con las concentraciones de N-alcanos, corregidas por su recuperación en las heces de animales cebú (Córdoba *et al.*, 2008). La mejor solución entre el patrón de n-alcanos en el forraje y en las heces fue establecida por el algoritmo no negativo de mínimos cuadrados descrito por Dove y Moore (1995) que minimiza las discrepancias entre las concentraciones de cada n-alcano de cadena impar. Las muestras de heces y de forraje fueron las mismas que las descritas anteriormente. Estos métodos implican la siguiente función:

$$\text{Minimizar: } \sum (\text{alcano calculado}_i - \text{alcano actual}_i)^2_{\text{alcano } 1-n}$$

Donde:

$(\text{alcano calculado}_i - \text{alcano actual}_i)^2$ son concentraciones fecales corregidas o proporciones del total de alcanos corregidos- recuperados en heces.

La principal diferencia entre los algoritmos es el método para derivar el valor calculado de alcano fecal. A continuación se describe el enfoque utilizando dos componentes de una dieta:

$$\text{Alcano}_i \text{ fecal calculado} = \alpha A_i + \beta B_i$$

Los valores de α y β son respectivamente cantidades de componentes de la dieta A y B evaluadas como desconocidas. Las constantes A_i y B_i son concentraciones corregidas de alcano fecal.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos en este trabajo fueron analizados mediante un diseño completamente al azar con un arreglo de medidas repetidas en el tiempo (3 mediciones realizadas durante el período experimental), del mismo individuo (efecto aleatorio). El modelo estadístico consideró como efecto fijo el tratamiento (con y sin suplemento). Se utilizó el procedimiento MIXED del programa SAS 8.0.2, el cual tiene en cuenta efectos aleatorios y permite modelar la estructura de covarianza de los datos. Se analizaron las estructuras Simetría compuesta, Sin estructura y la Combinación de estructura autoregresiva de primer orden dentro de individuos y efecto aleatorio entre individuos (Littell *et al.*, 1998; Littell *et al.*, 2000).

Las estructuras de covarianza fueron comparadas utilizando el criterio de información de Akaike (AIC; Akaike, 1974) y el criterio de información bayesiano (BIC; Schwarz, 1978); valores más bajos de AIC y BIC,

significan mejor ajuste del modelo. La mejor estructura de covarianza de acuerdo a los criterios de AIC y BIC fue la no estructurada.

$$AIC = -2\log L + 2p$$

$$BIC = -2\log L + p\log(N-r(X))$$

Donde:

p = número de parámetros del modelo,

N = número de observaciones,

$\log L$ = valor del logaritmo natural de la función de máxima verosimilitud y

$r(X)$ = rango de la matriz X (matriz de incidencia para los efectos fijos).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química de los forrajes ofertados (**tabla I**) presentó grandes contrastes en contenido de proteína y fibra entre las gramíneas y la leguminosa. En condiciones de trópico bajo es común encontrar bajos tenores de PC y altos contenidos de FDN (Barahona y Sánchez, 2005). En el presente estudio, los contenidos de FDN de la dieta total fueron disminuidos por el aporte de la leucaena, que contiene en promedio solo 33,6 % de FDN. Esto constituye una mejora para los animales, puesto que un exceso de FDN es un limitante para aumentar el consumo y la productividad animal en el trópico.

En la **tabla II** se presentan los consumos de MS, especies vegetales y nutrientes, no observándose efecto de la inclusión del suplemento dada la baja cantidad ofrecida (0,5 kg/animal), representando el CMS total 2,46 y 2,59 % del peso vivo de los animales sin y con suplemento, respectivamente. Mediante el modelo Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) se estimaron consumos de MS de 8,9 kg día⁻¹ es decir un 2,34 % del PV, siendo estos consumos 8 % menores a los estimados mediante el uso de alcanos. Por su parte, en un SSPi compuesto por leucaena y pasto guinea, Cuartas *et al.* (2014) reportaron consumos promedios

Tabla II. Consumo de materia seca, especies vegetales, y nutrientes por novillos cebuinos de 380 kg de peso pastoreando en un SSPi basado en *Leucaena leucocephala* con o sin suplementación energética (Dry matter intake, plant species, and nutrients by Zebu steers 380 kg grazing on *Leucaena leucocephala* SSPi with or without energy supplementation).

Consumo	Sin suplemento	Con suplemento	Valor p
MS, kg día ⁻¹	9,42±0,94	10,1±0,58	0,68
MS, % del PV	2,46±0,23	2,59±0,13	0,36
Gramínea, kg MS día ⁻¹	7,29±0,6	7,07±0,61	0,65
Leguminosa, kg MS día ⁻¹	2,13±0,55	2,59±0,13	0,26
Proteína cruda, kg día ⁻¹	1,24±0,17	1,43±0,05	0,15
FDN, kg día ⁻¹	5,81±0,52	5,82±0,39	0,98
FDA, kg día ⁻¹	4,01±0,37	4,04±0,26	0,88
Grasa bruta, kg día ⁻¹	0,16±0,02	0,17±0,02	0,30
Cenizas, kg día ⁻¹	1,12±0,10	1,14±0,07	0,81
Calcio, kg día ⁻¹	0,06±0,008	0,06±0,001	0,30
Fósforo, kg día ⁻¹	0,02±0,002	0,02±0,002	0,41

MS= materia seca; FDN= fibra en detergente neutro; FDA= fibra en detergente ácido; ±= desviación típica.

Tabla III. Composición de heces de novillos cebuínos de 380 kg de peso pastoreando en un SSPi basado en *Leucaena leucocephala* con o sin suplementación energética (Composition of feces Zebu steers grazing 380 kg in *Leucaena leucocephala* SSPi with or without energy supplementation).

Descripción	Sin suplemento	Con suplemento
Proteína (%)	11,1±0,99	10,9±0,31
FDN (%)	61,2±2,43	61,3±1,86
FDA (%)	41,9±0,88	42,7±1,90
Cenizas (%)	19,0±0,97	19,3±0,99
Calcio (%)	1,28±0,26	1,27±0,09
Fósforo (%)	0,43±0,03	0,55±0,03

FDN= Fibra en detergente neutro; FDA= Fibra en detergente ácido; ±= Desviación típica.

de MS que equivalen al 2,63 % del peso vivo. Estos consumos son altos para los normalmente reportados en el trópico (Barahona y Sánchez, 2005) y demuestran porqué con SSPi se alcanzan mayores productividades que en sistemas tradicionales (Cuartas *et al.*, 2014a).

La inclusión de la leucaena en mezclas de pastos mejorados modifica los patrones fermentación *in vitro*, aumentando la degradabilidad ruminal de la MS (Molina *et al.*, 2013). El incremento en degradabilidad ruminal de la dieta, puede explicar el aumento de consumo de MS en bovinos que pastorean SSPi. La ingestión máxima de MS se produce cuando la digestibilidad de la dieta se encuentra entre el 66 y el 68 % (Faria y Mattos 1995), aunque es posible mejorar el CMS en los animales, incrementando la digestibilidad de las fracciones potencialmente digestibles o la velocidad de paso de las fracciones no digeribles en rumen (Poppi y Norton 1995).

En este estudio, el consumo de leguminosas representó un 25,9 % del consumo total de forrajes, con lo que el consumo de gramíneas fue 74,1 % (tabla II). Por su parte, Cuartas *et al.* (2014) reportaron una proporción de casi 30 % de leguminosa y 70 % de gramínea en la dieta de novillos de 250 kg sin suplementación pastoreando en un SSPi compuesto por leucaena y pasto guinea. Por su parte, Mahecha (2000), al determinar el consumo de leucaena y pasto estrella por medio de aforos antes y después del pastoreo, reportó consumos totales de 9,5 kg día⁻¹, de los que la estrella representó el 81 % y la leucaena el 19 % del consumo total de forraje. En el presente estudio, la presencia de leucaena en la dieta condujo a consumos altos de proteína (tabla II), que aunque adecuados, fueron un poco más bajos que los reportados por Cuartas *et al.* (2014).

En la tabla III se muestra el contenido de nutrientes en las heces de los animales pastoreando en el SSPi. Elementos como el calcio se encontraron en alta concentración en las heces, siendo la excreción fecal de este elemento fue mayor a su desaparición (figura 1). Cabe resaltar que en animales en crecimiento, el 90 % de calcio es utilizado en el hueso y la matriz cartilaginosa orgánica. Sin embargo, los animales evaluados en este estudio ya no tienen grandes procesos activos de crecimiento óseo (Perry, 1995), pudiendo tener excreciones de calcio mayores.

En promedio, la excreción fecal de N fue de 26,9 kg animal⁻¹ año⁻¹, correspondiendo a 0,074 kg de N día⁻¹. Mediante el CNCPS se estimó una excreción urinaria de 0,090 kg de N día⁻¹. Esto quiere decir que los 20 animales incluidos en este estudio excretarían 2,6 t de urea año⁻¹ en las 5,6 ha del SSPi en las que pastoreaban, lo que podría generar una producción de forraje de 5,4 t de MS por ha año⁻¹ a partir de las gramíneas.

La excreción fecal de N encontrada en este estudio es diferente a la reportada por otros autores. Por ejemplo, para animales en sistemas intensivos de producción de carne en Europa se reportaron excreciones fecales de 40 kg de N año⁻¹ (Van der Hoek, 2001), valores superiores a los encontrados en este estudio. En Colombia, Castro *et al.* (2009) reportaron que vacas Holstein pastoreando en praderas de gramíneas asociadas con leguminosas tuvieron una excreción de nitrógeno (g día⁻¹) de 216,6 y 191,16 en heces y orina, respectivamente, que equivale a excreciones fecales alrededor de 79 kg de N año⁻¹. Estas diferencias obedecen a diferencias en CMS y en el contenido de N en la dieta de los animales.

En este estudio, la digestibilidad fue del 53,5 % para el tratamiento sin inclusión del suplemento y del 60,0 % para el tratamiento con suplemento, lo que junto con el CMS, permite afirmar que los animales satisficieron sus requerimientos de los principales nutrientes. Mediante el CNCPS se estimaron consumos de 873 g día⁻¹ de proteína metabolizable y de 17,8 Mcal día⁻¹ de energía metabolizable, indicando que el factor limitante para alcanzar mayores ganancias diarias sería el consumo de energía. Como lo reportan diferentes estudios, el contenido de taninos de la leucaena no reduce en gran medida la degradabilidad ruminal de la proteína (Barahona *et al.*, 2003, 2006), pero es posible esperar que una parte de ésta se proteja de forma natural al ataque por las proteasas microbianas, favoreciendo el sobrepaso de proteína al duodeno (Rodríguez *et al.*, 2010).

Al conocer el consumo (tabla II) y la excreción fecal (tabla IV) fue posible determinar la desaparición de cada nutriente como la diferencia entre consumo y excreción fecal. Esta fracción fue denominada desapa-

Tabla IV. Excreción fecal de nutrientes de novillos cebuínos de 380 kg de peso pastoreando en un SSPi basado en *Leucaena leucocephala* con o sin suplementación energética (Fecal excretion of nutrients from 380 kg Zebu steers grazing in *Leucaena leucocephala* SSPi with or without energy supplementation).

Excreción	Sin suplemento	Con suplemento	Valor p
MS kg día ⁻¹	4,38±0,11	3,99±0,17	0,15
Proteína Cruda, kg día ⁻¹	0,49±0,04	0,44±0,01	0,08
FDN, kg día ⁻¹	2,68±0,14	2,45±0,07	0,10
FDA, kg día ⁻¹	1,84±0,07	1,72±0,06	0,19
Cenizas, kg día ⁻¹	0,83±0,04	0,77±0,07	0,20
Calcio, kg día ⁻¹	0,06±0,006	0,05±0,004	0,21
Fosforo, kg día ⁻¹	0,02±0,002	0,02±0,002	0,03

MS= materia seca; FDN= fibra en detergente neutro; FDA= fibra en detergente ácido; ±= desviación típica.

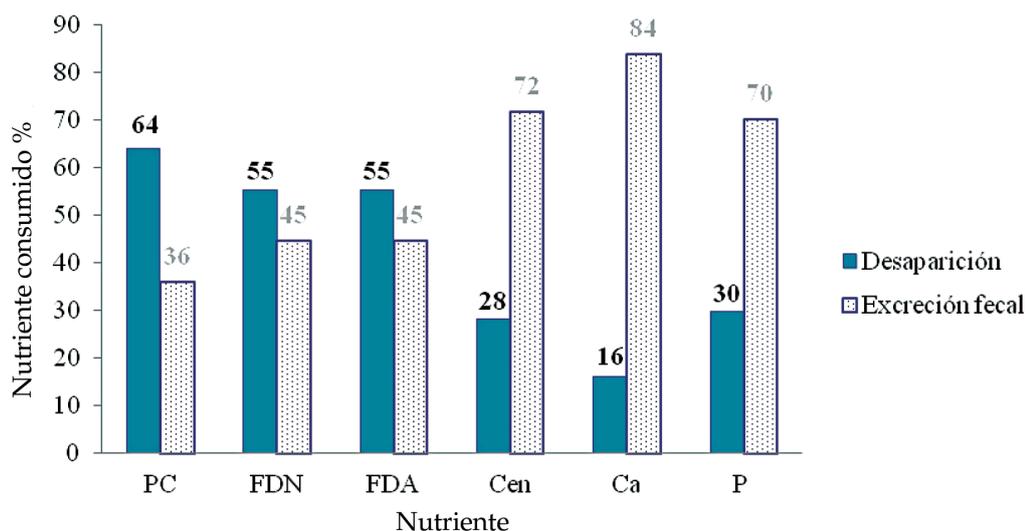


Figura 1. Desaparición y excreción fecal como porcentaje del consumo de nutrientes en novillos cebuínos de 380 kg de peso pastoreando en un SSPi basado en *Leucaena leucocephala* con o sin suplementación energética (Disappearance and fecal excretion as a percentage of consumption of nutrients in 380 kg Zebu steers grazing in *Leucaena leucocephala* SSPi with or without energy supplementation).

rición porque no se sabe cuál es su destino metabólico. En el caso de la proteína, la desaparición fue de 870 g día⁻¹, lo que equivale al 65 % de lo consumido (figura 1). Esta proteína desaparecida pudo ser aprovechada en la generación de productos o ser excretada en orina. Un comportamiento similar, en el que la desaparición fue mayor a la excreción se presentó en las fracciones de FDN y FDA. Fracciones como cenizas, Ca y P presentaron patrones de excreciones mayores a su desaparición.

Asumiendo los máximos valores posibles de retención de N en carne, en este estudio se estimaría una eficiencia de utilización de nitrógeno de alrededor de 7 % (Gaviria *et al.*, 2012). Estos valores son similares a los reportados para ganado de carne, los que se encuentran en promedio en 7,7 %, lo cual representa la eficiencia promedio para convertir el nitrógeno consumido en bovinos de carne. En contraste, la eficiencia en uso de N reportada para cerdos es de 20,5 %, de 33,8 % para aves de engorde y de 18,6 % para bovinos de leche (Van der Hoek, 2001).

CONCLUSIONES

El consumo de forrajes en el SSPi estudiado estuvo entre 2,46 y 2,59 % del PV y representó cerca de 10 Kg de MS por día en animales cebuínos de 380 kg de peso vivo. Estos consumos fueron adecuados para el tipo de animales del estudio, aportando una dieta de buena calidad nutricional. La excreción fecal de N se calculó en 29,9 kg animal⁻¹ año⁻¹, lo que probablemente contribuye de manera importante a la producción de biomasa de las gramíneas acompañantes en el SSPi, especialmente si se considera que el número de animales por ha fue de 3,57, correspondiendo a una excreción de N ha⁻¹ año⁻¹ superior a los 105 kg.

En futuras investigaciones es necesario analizar las excreciones en orina, además de las fecales para precisar adecuadamente las proporciones de nutrientes que

se metabolizan y se retienen en el animal y las que son devueltas a la pradera.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por la financiación del proyecto de investigación *Análisis comparativo de producción de carne en novillos producidos en un Sistema Silvopastoril Intensivo y Confinamiento* dentro del cual se realizó el presente estudio. Se agradece además a Agroindustrias Santana S.A.S por proporcionar los animales con los cuales se desarrolló este estudio. Se agradece la contribución recibida por parte del equipo de trabajo en CIPAV, Udea y UNAL.

BIBLIOGRAFÍA

- Akaike, H. 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE T Automat Contr*, 19: 716-723.
- AOAC Association of Official Analytical Chemists. 2005. Official Method 942.05. Determination of ash in animal feed. In official methods of analysis of AOAC international. 18th edition (Chapter 4). AOAC International. Gaithersburg, MD. USA. p. 8.
- AOAC Association of Official Analytical Chemists. 2005. Official method 973.18. Fiber (Acid detergent) and lignin (H₂SO₄) in animal feed. In official methods of analysis of AOAC international. AOAC International. Gaithersburg, MD. USA.
- AOAC Association of Official Analytical Chemists. 2005. Official Method 2002-04. Amylase-treated neutral Detergent fiber in feeds. In official methods of analysis of AOAC international. AOAC International. Gaithersburg, MD. USA.
- Barahona, R. y Sánchez M. 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Rev Corpoica Cienc Tecnol Agropecu*, 6: 69-82.
- Barahona, R.; Lascano, C.; Narvaez, N.; Owen, E.; Morris, P. and Theodorou, M.K. 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*, 83: 1256-1266.
- Barahona, R.; Theodorou, M.; Morris, P.; Owen, E.; Lascano, C.E. and Sánchez Pinzón, M.S. 2006. Effect of condensed tannins from tropical

- legumes on the activity of fibrolytic enzymes from the rumen fungus *Neocallimastix hurleyensis*. *Enzyme Microb Tech*, 39: 281-288.
- Castro, E.; Mojica, J.E.; León, J.; Pabón, M.; Carulla, J.E. y Cárdenas, E. 2009. Balance de nitrógeno en pastura de gramíneas y pastura de gramínea más *Lotus uliginosus* en la sabana de Bogotá, Colombia. *Rev Corpoica Cienc Tecnol Agropec*, 10: 91-101.
- Córdoba, C.P.; Arango Palacio M.E.; Bolívar Vergara, DM y Barahona Rosales, R. 2008. Consumo y composición de la dieta de bovinos en pastoreo mediante el método de alcanos. *Rev Fac Nac Agron*, 62: 44-45.
- Crespo, G.; Rodríguez, I.; Torres, V.; Ortíz, J. y Cabrera, G. 2000. Contribución al conocimiento del reciclaje de los nutrientes en el sistema suelo-planta-animal en Cuba. Ed Instituto de Ciencia Animal (EDICA). La Habana. Cuba. 72 pp.
- Cuartas, C.A.; Naranjo, J.F.; Tarazona, A.M.; Murgueitio, E.; Chará, J.D.; Ku Vera, J.; Solorio, F.; Flores, M.; Solorio, B. and Barahona, R. 2014a. Contribution of intensive silvopastoral systems to the adaptation and mitigation of climate change. *Rev Colomb Cienc Pecu*, 27: 76-94.
- Dove, H.; Freer, M. and Foot, J.Z. 2000. The nutrition of grazing ewes during pregnancy and lactation: a comparison of alkane-based and chromium/*in vitro*-based estimates of herbage intake. *Aust J Agr Res*, 51: 765-777.
- Dove, H. and Mayes, R.W. 1991. The use of plant wax alkanes as markers substances in studies of the nutrition of herbivores: a review. *Aust J Agr Res*, 42: 913-952.
- Dove, H. and Mayes, R.W. 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. *Nat Prot*, 1: 1680-1697.
- Dove, H. and Moore, A.D. 1995. Using a least-squares optimization procedure to estimate diet composition based on the alkanes of plant cuticular wax. *Aust J Agr Res*, 46: 1535-1544.
- Faria, V.P. e Mattos, W.R. 1995. Nutrição de bovinos tendo em vista performances econômicas máximas. In: A. M. Peixoto, J. C. Moura & V. P. Faria (Eds.). Nutrição de bovinos: conceitos básicos e aplicados. FEALQ. Piracicaba. pp. 199-222.
- Ferreira, L.M.; Oliván, M.; Celaya, R.; García, U.; Rodrigues, M.A.M. and Osoro, K. 2007. The use of n-alkanes to estimate diet composition of ruminants grazing on species diverse plant communities - Effect of feeding selectivity on diet composition estimates. *Livest Sci*, 111: 114-123.
- Gaviria, X.; Sossa, C.P.; Montoya, C.; Chara, J.; Lopera, J.J.; Córdoba, C.P. y Barahona, R. 2012. Producción de carne bovina en sistemas silvopastoriles Intensivos en el trópico bajo colombiano: Memorias de: VII Congreso latinoamericano de sistemas agroforestales para la producción animal sostenible. Belém do Pará. Brasil.
- Gedir, J.V.; and Hudson, R.J. 2000. Estimating dry matter digestibility and intake in wapiti (*Cervus elaphus canadensis*) using the double n-alkane ratio technique. *Small Ruminant Res*, 36: 57-62.
- Giráldez, F.J.; López, S.; Lamb, C.S. and Mayes, R.W. 2006. The use of even-chain alkanes sprayed onto herbage as rate of passage markers in goats. *Livest Sci*, 100: 195-202.
- Herrero, M.; Grace, D.; Njuki, J.; Johnson, N.; Enahoro, D.; Silvestri, S. and Rufino, M.C. 2013. The roles of livestock in developing countries. *Animal*, 7: 3-18.
- ICONTEC. 1973. NTC 668. Alimentos y materias primas. Determinación de los contenidos de grasa y fibra cruda. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Bogotá, D.C.
- ICONTEC. 1999. NTC 4657. Alimentos para animales. Determinación del contenido de nitrógeno y cálculo del contenido de proteína cruda. Método Kjeldahl. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Bogotá, D.C.
- ICONTEC. 2001. NTC 4981. Alimentos para animales. Determinación del contenido de fósforo. Método espectrofotométrico. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Bogotá, D.C.
- ICONTEC. 2003. NTC 5151. Alimento para animales. Determinación de los contenidos de calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sodio y zinc. Método usando espectrometría de absorción atómica. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Bogotá, D.C.
- ISO. 1998. Animal feeding stuffs, animal products, and faeces or urine - ISO 9831: Determination of gross calorific value - Bomb calorimeter method. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- ISO. 1999. Animal feeding stuffs. ISO 6496: Determination of moisture and other volatile matter content. International Organization for Standardization. Geneva. Switzerland.
- Littell, R.C.; Henry, P.R. and Ammerman, C.B. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *J Anim Sci*, 76: 1216-1231.
- Littell, R.C.; Pendergast, J. and Natarajan, R. 2000. Modelling covariance structure in the analysis of repeated measures data. *Stat Med*, 19: 1793-1819.
- Mahecha, L.; Durán C.V.; Rosales M.; Molina C.H. y Molina E. 2000. Consumo de pasto estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*) en un sistema silvopastoril. Nota de investigación. *Pasturas Trop*, 22: 26-30.
- Mayes, R.W., Lamb, C.S. and Colgrove, P.M. 1986. The use of dosed and herbage n-alkanes as markers for the determination of herbage intake. *J Agric Sci*, 107: 161-170.
- Molina, I.C.; Cantet, J.M.; Montoya, S.; Correa, G.A. y Barahona, R. 2013. Producción de metano *in vitro* de dos gramíneas tropicales solas y mezcladas con *Leucaena leucocephala* o *Gliricidia sepium*. *Rev CES*, 8: 15-31.
- Murgueitio, E.; Calle, Z.; Uribe, F.; Calle, A. y Solorio, B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecol Manag*, 261: 1654-1663.
- Nolan J V and Dobos R.C. 2005. Nitrogen transactions in ruminants. In J. Dijkstra, J.M. Forbes and J. France (eds), Quantitative aspects of ruminal digestion and metabolism. 2nd ed. CABI Publishing. Wallingford. UK. pp. 177-206.
- Perry, T.W. and Cecava, M J. 1995. Beef cattle feeding and nutrition. Cap. 3. Mineral requirements of beef cattle 2nd ed. Academic Press, Inc. San Diego, California. pp. 36-51.
- Poppi, D.P. and Norton, B.W. 1995. Intake of tropical legumes. In: J. P. D'Mello & C. Devendra (Eds.). Tropical legumes in animal nutrition. CAB International. pp. 173-189.
- Rodríguez, R.M.; Mota, C. and Castrillo, M. 2010. *In vitro* rumen fermentation of the tropical grass *Pennisetum purpureum* and mixtures with browse legumes: effects of tannin contents. *J Anim Phys Anim Nutr*, 94: 696-705.
- Schwarz, G.E. 1978. Estimating the dimension of a model. *Ann Stat*, 6: 461-464.
- Van der Hoek, K.W. 2001. Nitrogen efficiency in agriculture in Europe and India. Optimizing nitrogen management in food and energy production and environmental protection: Proceedings of the 2nd International nitrogen conference on science and policy. *Scientific World*, 1: 148-154.
- Van der Hoek, K.W. 1998. Nitrogen efficiency in global animal production. In: K.W. Van der Hoek, J.W. Erisman, S. Smeulders, J.R. Wisniewski and J. Wisniewski (Edts.). Nitrogen, the Confer-N-s. Elsevier. Amsterdam. pp. 127-132.
- Van Soest, P.J.; Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci*, 74: 3583-3597.
- 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. *J Assoc Anal Chem*, 46: 829.