

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Calidad nutricional y fraccionamiento de carbohidratos y proteína en los componentes forrajeros de un sistema silvopastoril intensivo

Nutritional quality and fractionation of carbohydrates and protein in the forage components of an intensive silvopastoral system

Xiomara Gaviria^{1,2}, J. Rivera¹ y R. Barahona^{2*}

¹Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria-CIPAV
Carrera 25 # 6-62, Cali, Valle Del Cauca, Colombia

²Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín
*Autor para correspondencia: rbarahonar@unal.edu.co

RESUMEN: El objetivo de esta investigación fue evaluar nutricionalmente los componentes forrajeros de un SSPi basado en *Leucaena leucocephala* asociada a pasturas mejoradas, así como su producción de biomasa. La producción de forraje se determinó en varios momentos del año y la calidad nutricional se evaluó mediante el esquema Cornell. La proporción de proteína soluble (fracción A) fue similar entre las gramíneas y *L. leucocephala*, y representó como mínimo el 34 % de la proteína total. La proporción de proteína B₂ (degradación intermedia) de la leguminosa fue más alta que la de las gramíneas (53,7 vs. 30,2 %, respectivamente). La proteína B₃ (degradación lenta) de la dieta fue de alrededor de 22 % de la proteína total, y más del 71 % de esta se puede considerar como degradable en el rumen. *L. leucocephala* presentó una concentración más alta de carbohidratos solubles (16,7 %) y menor cantidad de la fracción B₂ (14,94 %) que las gramíneas. En lo referente a disponibilidad de biomasa, se alcanzó una producción de 19,26 t de MS ha año⁻¹. Se concluye que en los SSPi se produce una alta cantidad de forraje de calidad durante el año, y que esta oferta es suficiente para cubrir los requerimientos de los rumiantes.

Palabras clave: *Cynodon plectostachyus*, *Leucaena leucocephala*, *Megathyrus maximus*, sistemas silvopascícolas

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the nutritional quality of the forage components of a SPSi based on *Leucaena leucocephala* associated to improved pastures, as well as its biomass production. The forage production was determined at several moments of the year and the nutritional quality was evaluated through the Cornell model. The soluble protein proportion (fraction A) was similar between the grasses and *L. leucocephala*, and represented as minimum 34 % of the total protein. The proportion of protein B₂ (intermediate degradation) of the legume was higher than that of the grasses (53,7 vs. 30,2 %, respectively). Protein B₃ of the diet (slow degradation) was around 22 % of the total protein, and more than 71 % of it can be considered degradable in rumen. *L. leucocephala* showed a higher concentration of soluble carbohydrates (16,7 %) and lower quantity of fraction B₂ (14,94 %) than the grasses. Concerning the biomass availability, a production of 19,26 t DM/ha year⁻¹ was reached. It is concluded that in SPSis a high quantity of quality forage is produced throughout the year, and that this offer is sufficient to cover the requirements of ruminants.

Key words: *Cynodon plectostachyus*, *Leucaena leucocephala*, *Megathyrus maximus*, silvopastoral systems

INTRODUCCIÓN

La ganadería tropical enfrenta grandes desafíos, especialmente en la época de sequía, durante la que disminuyen de manera drástica la disponi-

bilidad y la calidad de los forrajes (Cuartas *et al.*, 2014). La incorporación de leguminosas (por ejemplo, *Leucaena leucocephala*) en las praderas ha reportado grandes beneficios, tanto ambientales como

productivos, y constituye una opción para evitar la estacionalidad en la producción, al aumentar la disponibilidad de forraje de alta calidad durante el año (Cuartas *et al.*, 2014).

Las leguminosas contribuyen al reciclaje de nutrientes en la pradera, así como a la protección de las fuentes de agua, el aumento y conservación de la biodiversidad y el mejoramiento de la dieta de los rumiantes (Tarazona *et al.*, 2013). Su inclusión en los sistemas también favorece la ocurrencia de cambios en los indicadores nutricionales, con un mejor aprovechamiento de las gramíneas acompañantes, debido al incremento del contenido de proteína y la digestibilidad de la dieta, y a la reducción de los niveles de fibra en detergente neutro –FDN– (Cuartas *et al.*, 2013; Rivera *et al.*, 2013).

Asimismo, los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) han contribuido positivamente en el propósito de lograr una ganadería sostenible (Murgueitio *et al.*, 2014). Estos sistemas son una modalidad intensiva de producción amigable con el medioambiente, y se caracterizan por presentar una alta densidad (más de 10 000 por hectárea) de arbustos forrajeros –como *L. leucocephala* (leucaena)–, asociados a pastos mejorados que tienen una alta producción de biomasa y a árboles introducidos en modelos de pastoreo rotacional intensivo (Tarazona *et al.*, 2013).

Una prioridad en la investigación sobre los SSPi debe ser su caracterización en diferentes áreas, con el fin de mejorar el aprovechamiento de estos. El uso del *Cornell Net Carbohydrate and Protein System* (CNCPS) –desarrollado por la Universidad de Cornell– ha resultado de gran utilidad para este fin; ya que, al tener en cuenta las diferentes fracciones proteicas y energéticas de los forrajes, permite conocer el desempeño ruminal de los alimentos e identificar alternativas para maximizar su uso y aprovechamiento (Fox *et al.*, 2004).

El objetivo de la investigación fue evaluar el valor nutricional y el fraccionamiento de los carbohidratos y la proteína en los componentes forrajeros de un SSPi.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El estudio se realizó en la Estación Agraria Cotové (propiedad de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín), la cual está ubicada en el municipio Santafé de Antioquia, a 74 km de distancia de Medellín, en los 6° 33' 32" de latitud Norte y 77° 04' 51" de longitud Oeste y a una altura de 540 msnm. La temperatura media anual en este

lugar es de 27 °C y la precipitación, de 1 100 mm por año; y se localiza bajo la zona de vida de bosque seco tropical –bs-T– (Holdridge, 1978).

Sistema silvopastoril. El sistema silvopastoril contaba con 5,6 ha y estaba compuesto por arbustos de *L. leucocephala* (Lam.) de Wit, sembrados a una densidad mayor de 10 000 arbustos ha⁻¹ y asociados a los pastos *Megathyrus maximus* (Jacq.) B. K. Simon & S. W. L. Jacobs y *Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilger. Los forrajes se recolectaron en la época de verano (junio), y se tomaron cinco submuestras de cada especie.

El área se pastoreó con 20 animales de la raza Cebú comercial, que tuvieron un peso inicial de 300 kg y un peso final de 420 kg. Se realizó un manejo rotacional, en franjas de 1 200 m² divididas mediante cerca eléctrica, con un día de ocupación y periodos de descanso de 45 días.

Evaluación de la producción de forraje. La producción de forraje se midió en cuatro momentos (cada dos meses, aproximadamente), durante un periodo experimental de ocho meses (un verano y un invierno). La cuantificación de la oferta de gramíneas se realizó según el método de doble muestreo, descrito por Haydock y Shaw (1975); mientras que para cuantificar la biomasa de la leucaena se modificó dicho método. Para ello se definieron cinco estratos en un metro lineal, que representaban los diferentes niveles de crecimiento de la arbustiva, de los cuales se cosechó y pesó el material que podrían consumir los animales (hojas y tallos finos). Teniendo en cuenta esta escala se usaron 50 marcos, del mismo modo que para las gramíneas, y se estimó la disponibilidad de forraje total de cada franja.

Forrajes evaluados. Se evaluaron los forrajes más representativos del SSPi: *C. plectostachyus*, *M. maximus* y *L. leucocephala*, que tenían una edad promedio de 45 días de rebrote. Para facilitar la evaluación y discusión de los resultados, se agrupó la oferta de nutrientes provenientes de las gramíneas y ello permitió contrastarla con el aporte de la leguminosa.

Composición química de los forrajes.

Los análisis relacionados con la calidad de los forrajes se realizaron en el laboratorio de análisis químico y bromatológico de la Universidad Nacional, Sede Medellín. En las muestras se analizaron: la materia seca (MS), mediante el método ISO 6496, en estufa de aire forzado a 105 °C hasta alcanzar un peso constante (ISO, 1999); la proteína cruda (PC), por el método de Kjeldahl, según NTC 4657

(ICONTEC, 1999); la FDN y la fibra insoluble en detergente ácido (FDA), de acuerdo con la técnica secuencial descrita por Van Soest *et al.* (1991); la lignina (Van Soest, 1963) y el extracto etéreo (EE), mediante extracción Soxhlet, por inmersión, con el método NTC 668 (ICONTEC, 1973). El contenido de ceniza se determinó mediante incineración directa en mufla a 500 °C, según AOAC 942.05 (AOAC, 2005); mientras que el calcio y el fósforo, por espectrofotometría AA y UV-VIS, basado en NTC 5151 (ICONTEC, 2003) y 4981 (ICONTEC, 2001), respectivamente. Finalmente, la energía bruta se determinó por calorimetría, según el método ISO 9831 (ISO, 1998).

Determinación de las fracciones de la proteína y los carbohidratos. Para analizar el fraccionamiento de la proteína se utilizó el esquema propuesto por el sistema CNCPS (Sniffen *et al.*, 1992), modificado por Licitra *et al.* (1996). El nitrógeno total (NT) se determinó mediante el método Kjeldahl (NTC-4567; ICONTEC, 1999). El nitrógeno no proteico (NNP), el nitrógeno proteico fácilmente soluble (NPFS), el nitrógeno proteico difícilmente soluble (NPDS) y el nitrógeno proteico insoluble (NPIN) se analizaron a partir del método modificado de Pichard y Van Soest (1977). Para ello se pesaron 0,5 g de muestra en un *beaker* de 100 mL, y se adicionaron 5 mL de *terbutil alcohol* al 10% (como agente humedecedor) y 5 mL de *buffer*. La muestra resultante se mantuvo a temperatura ambiente durante una hora, con agitación cada 10 minutos, para después

filtrarla en papel Whatman no. 54. El residuo se filtró con 50 mL de *buffer* y 250 mL de agua destilada, y se determinó el N residual –que se corresponde con el N insoluble– mediante el método Kjeldahl. En este proceso se utilizó como *buffer* una solución boro-fosfato, compuesta por 12,2 g de $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O/L}$ y 8,91 g de $\text{NaB}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O/L}$, y se verificó que el pH de la solución fuera de 6,8.

Para el fraccionamiento de los carbohidratos se utilizó el procedimiento propuesto por el CNCPS, que clasifica las fracciones de estos a partir de su tasa de degradación. La fracción A está constituida por carbohidratos rápidamente degradables y solubles (incluye a los azúcares); B₁ son carbohidratos de degradación intermedia (incluye a las pectinas y los almidones); los carbohidratos B₂ tienen degradación lenta, y la fracción C representa la parte no degradable (lignina y fracciones ligadas a la pared celular). El total de carbohidratos (CT) se calculó a partir de la fórmula: $100 - (\text{PC} + \text{EE} + \text{cenizas})$. Los carbohidratos estructurales (CE) se estimaron por la diferencia de la FDN y la proteína insoluble en FDN; mientras que los carbohidratos no fibrosos o no estructurales (CNE), por la diferencia entre el total de carbohidratos y los carbohidratos estructurales (Sniffen *et al.*, 1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las gramíneas presentaron un mayor porcentaje de proteína (tabla 1) que los descritos para las gramíneas tropicales, debido posiblemente a su aso-

Tabla 1. Composición química de los forrajes.

| Indicador | Gramínea | Leucaena |
|--------------------------|----------|----------|
| Proteína (%) | 11,4 | 29,4 |
| FDN (%) | 66,8 | 36,8 |
| FDA (%) | 42,7 | 22,0 |
| Grasa bruta (%) | 1,72 | 2,74 |
| Valor calorífico (cal/g) | 4 054 | 4 676 |
| Cenizas (%) | 13,3 | 7,83 |
| Calcio (%) | 0,46 | 1,20 |
| Fósforo (%) | 0,22 | 0,25 |
| Humedad (%) | 80,1 | 74,8 |
| Lignina (%) | 6,71 | 7,60 |
| PIDA (%) | 0,14 | 0,19 |
| PIDN (%) | 0,64 | 0,58 |

FDN: fibra en detergente neutro, FDA: fibra en detergente ácido, PIDA: proteína indigerible en detergente ácido, PIDN: proteína indigerible en detergente neutro.

ciación con arbustos de leucaena. Según señalaron Barahona y Sánchez (2005), este tipo de interacción permite mejorar la calidad de los pastos, con lo que aumenta su contenido de proteína y también la oferta total de forraje, en comparación con lo obtenido en sistemas de monocultivo. Esto permite ofrecer una dieta más ajustada a los requerimientos nutricionales de los animales y aumentar la eficiencia ganadera (Cuartas *et al.*, 2013).

La composición química que mostró la leucaena (altos contenidos de proteína y bajos contenidos de fibra) es típica de esta leguminosa, lo cual coincide con lo reportado por García *et al.* (2009) y Gaviria *et al.* (2012) para el forraje de esta especie: valores de PC entre 19 y 28 % y de FDN, entre 35 y 51 %; ello confirma sus propiedades favorables para que sea incluida como fuente proteica en la alimentación de los bovinos en pastoreo. Los resultados también concuerdan con los de Sandoval *et al.* (2005), quienes obtuvieron 26,7 % de PC; 23,4 % de FDA y 39,5 % de FDN para *L. leucocephala*.

En la figura 1 se muestran la relación gramínea-leguminosa y la producción de forraje (kg ha⁻¹ cada 45 días) en diferentes momentos del periodo experimental; esta última no fue constante y su variación se debió, en gran parte, a los cambios en el régimen de lluvias. La mayor oferta de biomasa se presentó en abril (2,9 t) y la menor, en junio (1,9 t), lo cual significa que la disponibilidad de biomasa fue aceptable; pero, a la vez, indica que para man-

tener una adecuada productividad del sistema, se debe ajustar la carga animal según la disponibilidad de forraje durante el tiempo de pastoreo.

Al hacer una proyección para un año, se puede alcanzar una producción total de 19,26 t de MS ha⁻¹ año⁻¹, con predominio de la gramínea en el sistema. En cada ciclo de pastoreo (cada 45 días), la producción promedio de las gramíneas fue de 2 100 kg MS de ha⁻¹ y la de leguminosa, de 308 kg de MS ha⁻¹, para un total de 2 408 kg de MS ha⁻¹. Esto resulta altamente contrastante respecto a la producción de biomasa en los sistemas tradicionales en Colombia, donde las pasturas degradadas producen como promedio 7,0 t de MS ha⁻¹ año⁻¹ (Cajas *et al.*, 2011a), y las pasturas mejoradas pueden variar desde 7,6 t de MS ha⁻¹ año⁻¹ en condiciones de manejo inadecuado (Córdoba *et al.*, 2010), hasta 19,2 t de MS ha⁻¹ año⁻¹ con un uso intensivo de recursos (fertilizantes y maquinaria) para renovar praderas degradadas (Cajas *et al.*, 2011b; Naranjo *et al.*, 2012). En este sentido, se debe resaltar que en un SSPi no es necesario utilizar fertilizantes químicos. La producción de forraje en el SSPi de la presente investigación fue superior a la reportada para un SSPi en el departamento del Cesar: 15,62 t de MS ha⁻¹ año⁻¹ (Gaviria *et al.*, 2012).

En la tabla 2 se muestra el contenido y la oferta de las fracciones de proteína de los forrajes. La proteína soluble es rápidamente degradable en el rumen (Krishnamoorthy *et al.*, 1982) y comprende la fracción A (nitrógeno no proteico), que en el rumen se convierte en amoníaco, y la B₁ (proteína

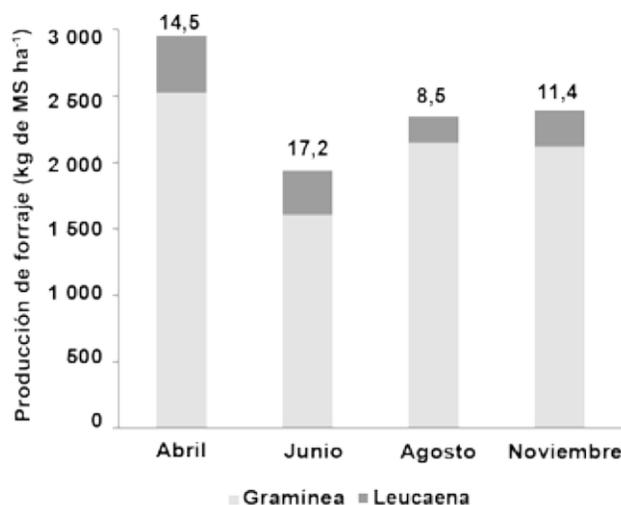


Figura 1. Producción de biomasa y proporción de leguminosa (valores sobre la columna de leucaena indican su porcentaje de la biomasa total) en el SSPi.

Tabla 2. Contenido y oferta de las fracciones de proteína cruda en los forrajes del SSPi.

| | Componente | | | |
|--|--------------------|----------------|----------------|-------|
| | A + B ₁ | B ₂ | B ₃ | C |
| Contenido de las diferentes fracciones (% en relación con la proteína total) | | | | |
| Gramínea | 34,7 | 30,2 | 27,7 | 7,4 |
| Leguminosa | 34,0 | 53,7 | 8,2 | 4,1 |
| Forraje total | 34,5 | 36,6 | 22,3 | 6,5 |
| Contenido de las diferentes fracciones (% de MS) | | | | |
| Gramínea | 3,96 | 3,44 | 3,16 | 0,84 |
| Leguminosa | 10,00 | 15,79 | 2,41 | 1,21 |
| Forraje total | 4,73 | 5,02 | 3,06 | 0,89 |
| Oferta de las diferentes fracciones (kg ha ⁻¹ por cada pastoreo) | | | | |
| Gramínea | 83,1 | 72,3 | 66,3 | 17,7 |
| Leguminosa | 30,8 | 48,6 | 7,4 | 3,7 |
| Forraje total | 113,9 | 120,9 | 73,7 | 21,4 |
| Oferta de las diferentes fracciones (kg ha ⁻¹ año ⁻¹) | | | | |
| Gramínea | 664,4 | 578,3 | 530,4 | 141,7 |
| Leguminosa | 246,3 | 388,9 | 59,4 | 29,7 |
| Forraje total | 910,7 | 967,2 | 589,8 | 171,4 |

A + B₁: fracción nitrogenada soluble de total degradación, B₂: fracción nitrogenada de mediana degradación, B₃: fracción nitrogenada de lenta degradación, C: fracción no degradable.

verdadera de rápida degradabilidad). La fracción B también incluye otras dos fracciones de proteína verdadera, que poseen diferentes velocidades de degradación: la B₂, de degradabilidad intermedia, y la B₃, de lenta degradabilidad, también denominada proteína de escape. La fracción C se refiere a la proteína no degradable, por estar ligada a la FDA.

En este estudio, la concentración de proteína soluble fue similar entre las gramíneas y la leguminosa, y representó como mínimo el 34 % de la proteína total. Por su parte, la de proteína B₂ fue más alta en la leguminosa que en las gramíneas; mientras que la concentración de las fracciones B₃ y C fue más alta en las gramíneas. La fracción C de la proteína está asociada a los contenidos de lignina, los que aumentan con la madurez del forraje. Esta fracción incluye proteínas asociadas a la lignina, complejos taninos-proteína, así como productos Maillard que son altamente resistentes a la hidrólisis por enzimas microbianas (Krishnamoorthy *et al.*, 1982), lo cual provoca que no pueda ser digerida en el rumen.

La fracción B₃ se degrada en el rumen solo en un 10-25 %, por lo que gran parte de esta proteína pasa al intestino, donde es digerida debido a la

acción enzimática y se convierte en la fracción de mayor eficiencia en los rumiantes (Sniffen *et al.*, 1992). El contenido de proteína B₃ en la dieta representó alrededor del 22 % de la proteína total; más del 71 % de la proteína total es degradable en el rumen, por lo que, en las condiciones de los SSPi, existe un buen aporte de proteína para cubrir los requerimientos de los animales (Chamorro *et al.*, 2002).

Las fracciones proteicas de *L. leucocephala* son similares a las reportadas por Rey *et al.* (2005), quienes obtuvieron un 42,99 % de la fracción B₂ y 10,96 % de la fracción B₃. Sin embargo, difieren de las informadas por Chamorro *et al.* (2002).

El esquema de fraccionamiento de los carbohidratos estructurales y no estructurales o solubles del CNCPS se basa en el propuesto por Goering y Van Soest (1970). En general, las gramíneas tropicales, a diferencia de las leguminosas, se caracterizan por presentar un alto contenido de carbohidratos estructurales y bajos contenidos de carbohidratos solubles (Juárez *et al.*, 1999). En la tabla 3 se muestra el contenido y la oferta de las fracciones de carbohidratos de ambos forrajes evaluados.

Tabla 3. Contenido y oferta de las fracciones de carbohidratos en los forrajes del SSPi.

| | Componente | | | |
|--|-------------|----------------|---------|-----------|
| | CHO soluble | B ₂ | C | CHO total |
| Contenido de las diferentes fracciones (% de MS) | | | | |
| Gramínea | 10,80 | 46,70 | 16,10 | 73,60 |
| Leguminosa | 16,70 | 14,94 | 18,24 | 49,88 |
| Forraje total | 11,55 | 42,64 | 16,37 | 70,57 |
| Oferta de las diferentes fracciones (kg ha ⁻¹ por cada pastoreo) | | | | |
| Gramínea | 226,8 | 980,7 | 338,1 | 1 545,6 |
| Leguminosa | 51,4 | 46,0 | 56,2 | 153,6 |
| Forraje total | 278,2 | 1026,7 | 394,3 | 1 699,2 |
| Oferta de las diferentes fracciones (kg ha ⁻¹ año ⁻¹) | | | | |
| Gramínea | 1 814,0 | 7 844,0 | 2 704,2 | 12 362,2 |
| Leguminosa | 411,4 | 367,9 | 449,3 | 1 228,7 |
| Forraje total | 2 225,4 | 8 211,9 | 3 153,6 | 13 590,9 |

CHO: carbohidratos, B₂: carbohidratos disponibles para la flora ruminal, C: fibra no degradable.

En términos de porcentaje de MS, la leucaena presentó concentraciones más altas de carbohidratos solubles y menores de la fracción B₂ (que corresponde a la fibra disponible) respecto a las gramíneas. La fracción C fue similar en ambos forrajes, debido a que tienen igual contenido de lignina. Las fracciones B₂ y C representan los carbohidratos estructurales, aunque los contenidos de B₂ son carbohidratos disponibles para la flora ruminal (Chamorro *et al.*, 2002).

Singh *et al.* (2012) reportaron 272 g kg⁻¹ de MS para la fracción soluble, valor superior al hallado en la presente investigación, pero la fracción C fue similar (181 g kg⁻¹ de MS). En cuanto a las gramíneas, los valores se aproximaron a los informados por estos autores.

Por otra parte, resulta importante conocer la cantidad de proteína y de carbohidratos que son rápidamente degradados en el rumen, ya que la fermentación de estos nutrientes cubre los principales requerimientos para el crecimiento de los microorganismos ruminales, al proporcionar nitrógeno amoniacal, aminoácidos, esqueletos carbonados y energía en forma de ATP para la síntesis de proteína microbiana (Sniffen *et al.*, 1992).

Aldrich *et al.* (1993), al emplear dietas que contenían 36 % de carbohidratos no estructurales (80 % fermentables en rumen) y 17,5 % de proteína bruta (66 % degradable en el rumen), informaron que se produjo un aporte máximo de nitrógeno microbiano al duodeno y, además, que una disminución en los

carbohidratos no estructurales o en la proteína fermentable reducía la proteína microbiana sintetizada en el rumen.

En cada ciclo de pastoreo (i.e. cada 45 días) la oferta de PC fue de 329 kg ha⁻¹ –como promedio– con una carga de 3,57 animales ha⁻¹, lo que significa 2,0 kg de PC disponible por animal por día (tabla 4). Algunos experimentos *in vivo* realizados en este sistema mostraron que los consumos promedio de MS equivalían al 2,46 % del peso vivo de los animales, con proporciones de 75,3 % para la gramínea y 24,7 % para la leucaena (Gaviria *et al.*, 2015). De esta forma, un animal de 400 kg consumiría 1,26 kg día⁻¹ de PC, lo que es adecuado para cubrir sus necesidades de mantenimiento y permitir una ganancia de peso de 1 kg día⁻¹. En Colombia, la ganancia de peso de los animales que pastorean en un SSPi varía entre 650 y 800 g día⁻¹ (Cuartas *et al.*, 2014). Por otra parte, Barahona y Sánchez (2005) señalan que el contenido de FDN de la dieta puede limitar la productividad. En este estudio dicho contenido fue de 59,4 %, valor que puede considerarse bajo si se compara con el de las gramíneas tropicales, pero aún resulta limitante para la productividad animal.

Se concluye que los SSPi ofrecen una mayor cantidad de forraje de mejor calidad respecto a los sistemas tradicionales, y que a pesar de que existen variaciones en la disponibilidad de biomasa durante el año, la oferta de forraje es suficiente para cubrir los requerimientos de los rumiantes.

Tabla 4. Oferta de proteína y carbohidratos en el SSPi.

| Indicador | Abril | Junio | Agosto | Noviembre |
|---|-------|-------|--------|-----------|
| Proteína cruda (kg ha ⁻¹) | 413 | 280 | 302 | 321 |
| Proteína cruda disponible para cada animal (kg día ⁻¹)* | 2,26 | 1,53 | 1,66 | 1,76 |
| Carbohidratos (kg ha ⁻¹) | 4 144 | 2 694 | 3 359 | 3 392 |
| Carbohidratos disponibles para cada animal (kg día ⁻¹)* | 22,7 | 14,7 | 18,4 | 18,6 |

*: veinte novillos en pastoreo, en una franja de SSPi de 5,60 ha.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al equipo de trabajo del CIPAV y la UNAL y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y COLCIENCIAS, por el financiamiento de los proyectos «Análisis comparativo de producción de carne en novillos producidos en un Sistema Silvopastoril Intensivo y Confinamiento» e «Investigaciones para el incremento de la productividad silvopastoril y los servicios ambientales en el proyecto ganadería colombiana sostenible», respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldrich, J. M.; Muller, L. D.; Varga, G. A. & Griel, L. C. Nonstructural carbohydrate and protein effects on rumen fermentation, nutrient flow and performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76:1091-1105, 1993.
- AOAC. Official method 942.05. Determination of ash in animal feed. In: *Official Methods of Analysis*. 18th ed. Gaithersburg, MD, USA: AOAC International, 2005.
- Barahona, R. & Sánchez, Solange. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Revista CORPOICA*. 6 (1):69-82, 2005.
- Cajas, Yasmín S.; Cuesta, P. A.; Arreaza, L. C.; Martínez, Judith & Barahona, R. Desarrollo y validación de tecnologías para mejorar la competitividad de los sistemas de ceba bovinos en el Valle del Sinú, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Pecuaria*. 24 (3):470, 2011a.
- Cajas, Yasmín S.; Cuesta, P. A.; Martínez, Judith; Arreaza, L. C. & Barahona, R. Implementación de estrategias tecnológicas para mejorar la productividad y sostenibilidad de sistemas de doble propósito en las sabanas de la Región Caribe colombiana. *Revista Colombiana de Ciencia Pecuaria*. 24 (3):495, 2011b.
- Chamorro, D.; Roncallo, B.; Cipaguata, Matilde; Sánchez, M.; Barros, J.; Arcos, J. *et al.* Los sistemas silvopastoriles y su impacto en la ganadería del trópico bajo colombiano. *Manual técnico. Plan de modernización tecnológica de la ganadería Colombiana*. Colombia: CORPOICA, 2002.
- Córdoba, C.; Murgueitio, E.; Uribe, F.; Naranjo, J. & Cuartas, C. Productividad vegetal y animal bajo sistemas de pastoreo tradicional y sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) en el Caribe seco colombiano. En: *Memorias VI Congreso Internacional de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible*. Panamá: CATIE, CIPAV. p. 160, 2010.
- Cuartas, C. A.; Naranjo, J. F.; Tarazona, A. M. & Barahona, R. Uso de la energía en bovinos pastoreando sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* y su relación con el desempeño animal. *CES Med. Vet. Zootec.* 8 (1):70-81, 2013.
- Cuartas, C.; Naranjo, J.; Tarazona, A.; Murgueitio, E.; Chará, J.; Ku Vera, J. *et al.* Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Revista Colombiana de Ciencia Pecuaria*. 27 (2):76-94, 2014.
- Fox, D. G.; Tedeschi, L. O.; Tylutki, T. P.; Russell, J. B.; Van Amburgh, M. E.; Chase, L. E. *et al.* The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Anim. Feed Sci. Tech.* 112 (1-4):29-78, 2004.
- García, D. E.; Wencomo, Hilda B.; Medina, María G.; Moratinos, P. & Cova, L. J. Caracterización de la calidad nutritiva de 53 accesiones del género *Leucaena* en condiciones tropicales. *Pastos y Forrajes*. 32 (1):65-80, 2009.
- Gaviria, Xiomara; Sossa, C. P.; Chará, J.; Barahona, R.; Lopera, J. J.; Córdoba, C. P. *et al.* Producción de carne bovina en sistemas silvopastoriles intensivos en el trópico bajo colombiano. En: *Memorias VII Congreso Latinoamericano de sistemas agroforestales para la producción animal sostenible*. Belém do Pará, Brasil, 2012.
- Gaviria, Xiomara; Naranjo, G. F.; Bolívar, D. M. & Barahona, R. Consumo y digestibilidad en novillos cebuínos en un sistema silvopastoril intensivo. *Arch. Zootec.* 64 (245):21-27, 2015.
- Goering, H. K. & Van Soest, P. J. *Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications)*. Washington: USDA. Agricultural Handbook. No. 379, 1970.
- Haydock, K. P. & N. H. Shaw, N. H. The comparative yield method for estimating dry matter yield of

- pasture. *Aust. J. Exp. Agr. Anim. Husb.* 15:663-670, 1975.
- Holdridge, L. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). Libros y materiales educativos No. 34, 1978.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). *Alimentos y materias primas. Determinación de los contenidos de grasa y fibra cruda*. NTC 668. Bogotá: ICONTEC Internacional, 1973.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). *Alimentos para animales. Determinación del contenido de nitrógeno y cálculo del contenido de proteína cruda. Método Kjeldahl*. NTC 4657. Bogotá: ICONTEC Internacional, 1999.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). *Alimentos para animales. Determinación del contenido de fósforo. Método espectrofotométrico*. NTC 4981. Bogotá: ICONTEC Internacional, 2001.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). *Alimento para animales. Determinación de los contenidos de calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sodio y zinc. Método usando espectrometría de absorción atómica*. NTC 5151. Bogotá: ICONTEC Internacional, 2003.
- International Organization for Standardization (ISO). *Animal feeding stuffs, animal products, and faeces or urine - ISO 9831: Determination of gross calorific value - Bomb calorimeter method*. Geneva, Switzerland, 1998.
- International Organization for Standardization (ISO). *Animal feeding stuffs - Determination of moisture and other volatile matter content*. ISO 6496. Geneva, Switzerland: ISO, 1999.
- Juárez, F. I.; Fox, D. G.; Blake, R. W. & Pell, A. N. Evaluation of tropical grasses for milk production by dual-purpose cows in tropical Mexico. *J Dairy Sci.* 82 (10):2136-2145, 1999.
- Krishnamoorthy, U.; Muscato, T. V.; Sniffen, C. J. & Van Soest P. J. Nitrogen fractions in selected feedstuffs. *J. Dairy Sci.* 65 (2):217-225, 1982.
- Licitra, G.; Hernandez, T. M. & Van Soest, P. J. Standardizations of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Tech.* 57:347-358, 1996.
- Murgueitio, E.; Calle, Z.; Uribe, F.; Calle, A. & Solorio, B. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecol. Manag.* 261 (10):1654-1663, 2011.
- Naranjo, J. F.; Cuartas, C. A.; Murgueitio, E.; Chará, J. & Barahona, R. Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* en Colombia. *Livestock Research for Rural Development*. 24 (150), 2012. <http://www.lrrd.org/lrrd24/8/nara24150.htm>
- Pichard, G. & Van Soest, P. J. *Protein solubility of ruminant feeds*. In: *Proceedings of the Cornell Nutrition Conference*. Ithaca, USA: Department of Animal Science, Cornell University. p. 91-98, 1977.
- Rey, Ana M.; Chamorro, D. & Ramírez, Margarita. Efecto de la doble inoculación de rizobios y micorrizas sobre la producción y calidad del forraje de *Leucaena leucocephala*. *Revista CORPOICA*. 6 (2):52-79, 2005.
- Rivera, J. E.; Naranjo, J. F.; Cuartas, C. A. & Arenas, F. A. Fermentación *in vitro* y composición química de algunos forrajes y dietas ofrecidas bajo un sistema silvopastoril en el trópico de altura. *Livestock Research for Rural Development*. 25 (174), 2013. <http://www.lrrd.org/lrrd25/10/rive25174.htm>.
- Sandoval, C. A.; Lizarraga, H. L. & Solorio, F. J. Assessment of tree fodder preference by cattle using chemical composition, *in vitro* gas production and *in situ* degradability. *Anim. Feed Sci. Tech.* 123-124 (1):277-289, 2005.
- Singh, S.; Kushwaha, B. P.; Nag, S. K.; Mishra, A. K.; Singh, A. & Anele, U. Y. *In vitro* ruminal fermentation, protein and carbohydrate fractionation, methane production and prediction of twelve commonly used Indian green forages. *Anim. Feed Sci. Tech.* 178:2-11, 2012.
- Sniffen, C. J.; O'Connor, J. D.; Van Soest, P. J. & Russell, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70:3562-3577, 1992.
- Tarazona, A. M.; Ceballos, M. C.; Cuartas, C. A.; Naranjo, J. F.; Murgueitio, E. & Barahona, R. The relationship between nutritional status and bovine welfare associated to adoption of intensive silvopastoral systems in tropical conditions. In: H. P. S. Makkar, ed. *Enhancing animal welfare and farmer income through strategic animal feeding: some case studies*. Rome: FAO. Animal Production and Health Paper No. 175, 2013.
- Van Soest, P. J. Use of detergents in the analysis of fibrous feed. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *J. Ass. Offic. Agr. Chem.* 46 (5): 829-835, 1963.
- Van Soest, P. J.; Robertson, J. B. & Lewis, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597, 1991.