



El valor nutricional de recursos
forrajeros de Colombia

• S I S T E M A D E I N F O R M A C I Ó N •



El valor nutricional de recursos **forrajeros de Colombia**

• S I S T E M A D E I N F O R M A C I Ó N •

Colección Transformación del Agro

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria





AUTORES

Claudia Ariza Nieto

Investigadora PhD Sénior
Red de Ganadería y Especies Menores
Centro de Investigación Tibaitatá
cariza@agrosavia.co

Olga Lucía Mayorga Mogollón

Investigadora PhD Asociada
Red de Ganadería y Especies Menores
Centro de Investigación Tibaitatá
lmayorga@agrosavia.co

Laura Guadrón Duarte

Investigadora PhD
Red de Ganadería y Especies Menores
Centro de Investigación Turipaná
lauragualdronduarte@gmail.com

Diana Marcela Valencia Echavarría

Investigadora Máster
Red de Ganadería y Especies Menores
Centro de Investigación El Nus
dmvalencia@agrosavia.co

Lorena Inés Mestra Vargas

Investigadora Máster
Red de Ganadería y Especies Menores
Centro de Investigación Turipaná
lmestra@agrosavia.co

Martha Oliva Santana Rodríguez

Investigadora Máster
Red de Ganadería y Especies Menores
Centro de Investigación Turipaná
msantana@agrosavia.co

Ronnal Esneyder Ortiz Cuadros

Investigador Máster
Red de Ganadería y Especies Menores
Centro de Investigación Tibaitatá
rortiz@agrosavia.co

Nélson Pérez Almarío

Investigador Máster
Red de Ganadería y Especies Menores
Centro de Investigación Nataima
nperez@agrosavia.co

Deisy Bibiana Camargo Hernández

Profesional de Apoyo a la Investigación
Red de Ganadería y Especies Menores
Centro de investigación Tibaitatá
dcamargo@agrosavia.co

Christian Thomas Carvajal Bazurto

Profesional de Apoyo a la Investigación
Red de Ganadería y Especies Menores
Centro de Investigación Nataima
ccarvajal@agrosavia.co

Diana Marcela Parra Forero

Profesional de Apoyo a la Investigación
Red de Ganadería y Especies Menores
Centro de investigación Tibaitatá
dparra@agrosavia.co

Andrea Milena Sierra Alarcón

Profesional de Apoyo a la Investigación
Red de Ganadería y Especies Menores
Centro de investigación Tibaitatá
asierraa@agrosavia.co

Alimento: el valor nutricional de recursos forrajeros de Colombia. Sistema de información / Claudia Ariza Nieto [y otros once] -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2020.

48 páginas (Colección Transformación del Agro)

Incluye referencias bibliográficas, tablas, fotos

ISBN obra impresa: 978-958-740-381-7

ISBN PDF descargable : 978-958-740-382-4

1. Producción animal 2. Ganado bovino 3. Nutrición animal 4. Pastoreo 5. Plantas forrajeras
6. Rendimiento del forraje 7. Mejoramiento nutricional.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc
Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA

Centro de Investigación Tibaitatá. Km 14 vía Mosquera-Bogotá, Cundinamarca. Código postal 250047, Colombia.

Esta publicación es resultado del proyecto “Fortalecimiento de las capacidades de los actores de las cadenas de carne y leche bovina para la toma de decisiones en los sistemas de alimentación a través de la vinculación y uso de tecnologías de información y comunicación TIC desarrolladas por AGROSAVIA”.

Colección Transformación del Agro

Primera edición: 1.000 ejemplares

Publicado en Mosquera (Cundinamarca), Colombia, en noviembre de 2020

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Editor: Jorge Enrique Beltrán

Corrección de estilo:

Deixa Moreno Castro

Diseño y diagramación:

Mónica Cabiativa Daza

Citación sugerida: Ariza Nieto, C., Mayorga Mogollón, O. L., Guadrón Duarte, L., Valencia Echavarría, D. M., Mestra Vargas, L. I., Santana Rodríguez, M. O., Ortiz Cuadros, R. E., Pérez Almario, N., Camargo Hernández, D. B., Carvajal Bazurto, C. T., Parra Forero, D. M., & Sierra Alarcón, A. M. (2020). *Alimento: el valor nutricional de recursos forrajeros de Colombia. Sistema de información*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria -AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403824>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Contenido

Introducción	7
1. AlimenTro: innovación tecnológica para el desarrollo y crecimiento sostenible de los sistemas de producción bovina en Colombia	11
1.1 Fundamento metodológico del sistema de información AlimenTro	13
1.2 Usuarios de AlimenTro	13
1.3 Estructura del sistema de información	14
2. Factores que afectan el valor nutricional de los forrajes	17
2.1 Factores inherentes al forraje	17
2.1.1 Genética de la planta	18
2.1.2 Morfología de la planta	20
2.2 Factores relacionados con el ambiente	22
2.2.1 Ubicación geográfica	22
2.2.2 Estacionalidad en la época de pastoreo	26
2.3 Factores relacionados con el manejo de los recursos forrajeros	29
2.3.1 Edad de rebrote de la planta al corte o pastoreo	29
2.3.2 Altura de corte o pastoreo	33
3. Efecto de la composición de los forrajes sobre la emisión de metano entérico de rumiantes	35
4. Conclusiones	41
Referencias	42



Introducción

Para desarrollar sistemas de alimentación que realmente funcionen con las particularidades del trópico colombiano, es necesario relacionar la información nutricional de los recursos forrajeros con los requerimientos de nutrientes, según el propósito y el nivel de productividad de los animales presentes en cada sistema productivo. Desde hace alrededor de una década, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, diseñó y desarrolló el sistema de información del valor nutricional para recursos forrajeros en Colombia. El siguiente folleto no tratará sobre cómo acceder al sistema y navegar por él, sino sobre cómo utilizar de manera más integral la información que este ofrece.

Cuenta, en primer lugar, con un resumen sobre la metodología utilizada para la construcción de la base de datos, y hace especial énfasis en la técnica de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS, por sus siglas en inglés). Dicha metodología, que es ágil, económica y ambientalmente amigable, permitió reemplazar los métodos tradicionales químicos, los cuales son costosos y demorados, gracias al desarrollo de ecuaciones basadas en miles de análisis químicos realizados a diferentes materiales forrajeros del país.

Asimismo, se hace un recuento sobre cómo están estructurados los recursos forrajeros en la plataforma y el efecto de la localización geográfica, el ecosistema y régimen de lluvia sobre las características nutricionales. También se relacionan los aspectos que modifican el comportamiento ingestivo del animal, lo cual finalmente determina el consumo de ese recurso forrajero ofrecido en la pradera, influenciado

principalmente por la especie vegetal, las relaciones entre las partes de la planta, la edad de rebrote o tiempos de descanso en la pradera, y la altura a la cual se permite el acceso de los animales al recurso. Por último, se hace mención sobre la importancia relacionar los diferentes aspectos de manejo del forraje en los sistemas productivos con la producción del gas metano y cuánta pérdida energética significa para el animal, más allá del componente ambiental. También permite explorar alternativas de combinación forrajeras para disminuir la producción de este gas ya sea por unidad de producto (carne o leche) generado por unidad de área (hectárea o fanegada).

AGROSAVIA ha buscado, durante la última década, focalizar sus actividades de vinculación mediante procesos de desarrollo tecnológico e innovación, con el objetivo de atender las demandas del sector agropecuario de Colombia y, de esta manera, contribuir de manera integral a la generación de valor agregado a sus productos, lo que es fundamental para el desarrollo rural del país. Sin embargo, una de las limitantes de esta vinculación está asociada con el insuficiente registro de datos sobre las actividades que se desarrollan en las unidades de producción agropecuarias. Por esta razón, dentro de la política de vinculación con los diferentes actores y roles del sector agropecuario, AGROSAVIA ha desarrollado un sistema de información en línea sobre recursos alimenticios para animales, denominado AlimenTro (<https://alimento.agrosavia.co>). Su objetivo institucional es apoyar el diseño y formulación de protocolos para la alimentación de animales, especialmente de rumiantes en condiciones de pastoreo, con una información robusta, precisa y exacta sobre la composición nutricional de los recursos alimenticios disponibles a nivel local y regional.

La producción de carne y leche en Colombia se realiza fundamentalmente en pastoreo. Este es un factor determinante, debido a que los forrajes representan, desde la alimentación, la oferta de materia seca más económica. En la cadena láctea colombiana, se estima que la alimentación tiene una participación del 42 % en los costos directos de producción, en comparación con EE. UU., donde se estiman en un 63 % (Unidad de Planeación Rural Agropecuaria [UPRA], 2020). En los sistemas de producción de carne, la alimentación puede llegar a te-

ner una participación de hasta el 50 % del costo total de producción (Mestra-Vargas et al., 2020).

Colombia, por ser un país agrodiverso, tiene sistemas de producción bovina en los diferentes pisos térmicos y paisajes, que permiten recrear importantes microcuencas de producción de leche y carne bovina. Por lo anterior, se puede inferir que esta diversidad es uno de los factores que más influye en la clasificación y zonificación de los sistemas de producción ganaderos y, a su vez, proporciona variedad de oportunidades nutricionales, de acuerdo con los recursos alimenticios disponibles a nivel de finca. En este orden de ideas, el sistema de información en línea sobre recursos forrajeros AlimenTro genera un vínculo hacia el aprendizaje dinámico de los ganaderos, asistentes técnicos y la academia, en lo relativo a la composición nutricional de recursos alimenticios ofrecidos a los bovinos, estructurado en el contexto regional y local.





AlimenTro: innovación tecnológica para el desarrollo y crecimiento sostenible de los sistemas de producción bovina en Colombia

La respuesta a la demanda creciente de carne y leche bovina a nivel global es uno de los principales desafíos que enfrenta el sector agropecuario nacional para su inserción en los mercados internacionales. Este se caracteriza por la volatilidad de los precios en el marco de una economía regional sectorial, que ha sido afectada por la globalización; ciertamente, en el corto plazo se producirían efectos no predecibles en los precios de la carne y la leche a nivel local. En este contexto, es necesario que los productores cambien los esquemas tradicionales de manejo de sus ganaderías por sistemas alternativos donde la educación, investigación, innovación y transferencia de tecnología sean los pilares para que el productor en su finca aproveche las ventajas comparativas de disponibilidad de recursos alimenticios locales y regionales. Para esto, se requiere pasar de una cultura tradicional, en la que la fuente de información y conocimiento proviene de la intuición fundamentada en experiencias personales, a un esquema en el que la toma de decisiones se fundamente en el uso de la información, aprendizaje y construcción dinámica de conocimiento.

La plataforma AlimenTro, disponible en la web, está orientada a cumplir los siguientes objetivos de impacto en las cadenas de producción bovina: 1) promover un manejo eficiente de los ciclos fenológicos de los cultivos forrajeros disponibles en nichos específicos de producción; 2) caracterizar y mapear los sistemas de alimentación en condiciones específicas de producción bovina; 3) establecer la dinámica del inventario nacional de recursos forrajeros; 4) integrar la estacionalidad y tipologías de producción nacional de acuerdo con la disponibilidad de recursos alimenticios forrajeros a nivel local; 5) promover el uso de recursos forrajeros disponibles a nivel local, con orientación al mejoramiento continuo de las áreas de pastoreo en las unidades de producción; 6) optimizar la suplementación estratégica alimenticia mediante el uso eficiente de los recursos forrajeros disponibles en las unidades de producción de bovinos, y 7) expandir el conocimiento local del valor nutricional de recursos forrajeros utilizados en sistemas de producción de carne y leche bovina en el Estado, la academia y sector productivo.

Para lograr estos objetivos, AlimenTro identifica la dinámica de la variación espacial y temporal del valor nutricional de los recursos alimenticios que se utilizan en diferentes tipologías de producción de carne y leche bovina. El sistema de información es dinámico, y retroalimenta y mantiene actualizada constantemente la información nutricional de recursos forrajeros locales.

La plataforma es una alternativa de innovación tecnológica orientada a usuarios del servicio con acceso limitado a laboratorios de análisis de alimentos, y constituye un elemento fundamental para tomar decisiones con respecto a los sistemas de alimentación y el valor económico que representa la alimentación en los costos de producción. El sistema de información aplica un lema importante de la gestión en la unidad de producción: “Si usted no puede medirlo, no puede manejarlo”. En consecuencia, un prerrequisito para hacer un mejor uso de los recursos forrajeros de la finca es la valoración objetiva de la disponibilidad del recurso alimenticio durante todo el año, en conjunto con su aporte nutricional.

1.1 Fundamento metodológico del sistema de información AlimenTro

AlimenTro se basa en la tecnología NIRS, un método analítico exacto, preciso y fácil de implementar. La lectura espectral en la región NIR de una muestra tarda alrededor de tres minutos sin el uso de reactivos químicos, lo que reduce tiempo y costo de análisis, y lo hace ambientalmente amigable. La técnica NIRS se fundamenta en la aplicación de métodos matemáticos sobre datos químicos; es decir, en combinación con las ondas electromagnéticas de la región NIR (780 a 2500 nm), se relaciona la composición química de una sustancia con los cambios de energía, para generar ecuaciones por cada compuesto químico. Por lo tanto, la lectura espectral de una muestra es suficiente para obtener información de múltiples valores químicos relacionados con la calidad de los recursos forrajeros de Colombia (Ariza-Nieto et al., 2017).

1.2 Usuarios de AlimenTro

Por ser un sistema de información dinámico, el portal establece una conectividad directa para cada uno de los actores de las cadenas de producción de carne y leche, desde el analista de laboratorio hasta el ganadero, e incluye el contexto productivo, geográfico y agroecológico, donde el factor humano, con su capacitación, cultura y mentalidad, es la pieza clave para el éxito del proceso. En este orden de ideas, AlimenTro está orientado a proveer información sobre la identidad, características y propiedades de los recursos alimenticios forrajeros a un público multidisciplinar de sistemas de producción animal en Colombia, conformado por profesionales vinculados a procesos de transferencia de tecnología, planificadores locales, regionales y nacionales de la producción bovina; formuladores de proyectos de investigación y transferencia de tecnología; productores e industriales vinculados a diferentes sistemas de producción de carne y leche; académicos relacionados con procesos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación, y tomadores de decisión sobre políticas públicas.

1.3 Estructura del sistema de información

En AlimenTro se estructura la información de origen de los recursos forrajeros de acuerdo con tres criterios: 1) ubicación geográfica: latitud, longitud y altitud, los cuales, a su vez, se agrupan en las 54 microrregiones naturales del país; 2) condiciones agroecológicas: época del año en la que fue recolectada la muestra, topografía y textura del suelo, y 3) características propias del recurso forrajero: nombre común y científico, parte de la planta, edad y altura total de la planta al momento de corte, y disponibilidad de masa forrajera por metro cuadrado. Las diferentes familias de recursos forrajeros y grandes grupos de recursos alimenticios usados como suplementos en los sistemas de alimentación se encuentran agrupadas en 11 categorías; las categorías 1 a 4 son propias de recursos forrajeros y las categorías 5 a 11 son propias de otros recursos de alimentación, tal como se presenta en la figura 1.



Figura 1. Categoría de los recursos alimenticios presentes en AlimenTro.
Fuente: Elaboración propia

En AlimenTro está disponible la información del valor nutricional de 109 especies de gramíneas forrajeras, 76 especies de leguminosas, 78 especies de árboles y arbustos forrajeros no leguminosos, y 38 especies de otros forrajes. Adicionalmente, se presenta la incidencia de cada categoría en los trópicos alto (>1900 m s. n. m.), medio (801-1899 m s. n. m.) y bajo (<800 m s. n. m.), para un total de 301 especies vinculadas al sistema (tabla 1). Se aclara que una misma especie por su adaptabilidad puede estar presente en más de un trópico.

Tabla 1. Número de especies incorporadas a AlimenTro por categoría de forraje y clasificadas según la subdivisión altitudinal del trópico

Categoría	Trópico alto (>1900 m s. n. m.)	Trópico medio (801-1899 m s. n. m.)	Trópico bajo (< 800 m s. n. m.)
<i>Gramíneas forrajeras (n = 109)</i>			
Rastrero	6	9	12
Semierecto	9	10	19
Erecto porte bajo	10	12	24
Erecto porte alto	11	18	26
Erecto para grano	6	4	3
<i>Leguminosas forrajeras (n = 73)</i>			
Herbácea	7	11	23
Leñosa	8	14	34
<i>Árboles y arbustos forrajeros no leguminosos (n = 78)</i>			
Árbol	10	9	18
Arbusto	19	20	16
<i>Otros forrajes (n = 38)</i>			
Herbáceo	15	12	16
Cactáceo	0	0	2
Acuático	1	0	1

Fuente: AlimenTro <https://alimentro.agrosavia.co>



2

Factores que afectan el valor nutricional de los forrajes

Existen diversos factores que afectan la calidad nutricional de los recursos forrajeros, entre los cuales se encuentran aquellos inherentes al forraje, como la genética (familia, especie) y la morfología de la planta; el ambiente, que incluye la ubicación geográfica (altitud, latitud y longitud); la condición agroclimática (presión atmosférica, concentraciones de CO₂ y O₂, radiación uv, radiación térmica y temperatura) (Cui et al., 2018; Escobar et al., 2020; Wassie et al., 2018), y los factores asociados con el manejo de la pradera, como la edad del rebrote y altura de la planta al pastoreo (León et al., 2018). La calidad nutricional de un forraje se puede definir como el potencial que tiene este para producir la respuesta animal deseada.

2.1 Factores inherentes al forraje

El valor nutricional de los recursos forrajeros está determinado por las características morfológicas, fisiológicas y químicas de las familia y especie, las cuales son una expresión de la genética de la planta (Molano, 2012).

2.1.1 Genética de la planta

Los principales recursos forrajeros utilizados en la alimentación de rumiantes se encuentran agrupados en dos familias de plantas: las gramíneas y las leguminosas. En los últimos años, se ha dado importancia al uso de árboles y arbustos para la alimentación de rumiantes que hacen parte de diversas familias (Beer et al., 2003). Los forrajes del trópico tienen una mayor proporción de pared celular, lo cual influye negativamente sobre la digestibilidad y consumo de materia seca (MS). Por esta razón, la investigación asociada a la nutrición y alimentación de rumiantes se ha enfocado en identificar especies forrajeras que se adapten a las condiciones ambientales y sean más digestibles con menores contenidos de fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA) y lignina, para obtener mayor contenido de energía y así satisfacer los requerimientos de mantenimiento y producción del animal (Rodríguez-Zamora & Elizondo-Salazar, 2012).

La composición química y digestibilidad de las gramíneas del trópico presentan diferencias interespecíficas con las leguminosas; unas de las principales es el menor contenido de pared celular y el mayor contenido de proteína y minerales en las leguminosas (Molano, 2012; Pirela, 2005); consecuentemente, estas últimas aumentan el consumo voluntario de los animales (Carmona, 2007). De otra parte, las leguminosas poseen una amplia gama de aminoácidos esenciales que las hacen superiores a las gramíneas del trópico; sin embargo, presentan su pared celular más lignificada y mayores contenidos de metabolitos secundarios, lo cual disminuye su valor nutricional y aceptabilidad por parte del animal (Calsamiglia, 1997; García, 2004).

Las concentraciones de proteína de los árboles utilizados tradicionalmente en la alimentación de rumiantes presentan niveles entre 12 % y 30 %. Estos valores son altos en comparación con los que presentan los pastos maduros, que oscilan entre 3 % y 10 % (Delgado et al., 2007; Flores et al., 1998). En la tabla 2, se presentan los valores promedios de macronutrientes, minerales, metabolitos secundarios y la digestibilidad de la MS de tres diferentes categorías de recursos forrajeros: raspayuco (*Chloroleucon bogotense*), especie leñosa leguminosa; moringa (*Moringa oleifera*), especie leñosa no leguminosa, y dalia mexicana (*Dahlia pinnata*), especie herbácea.

Tabla 2. Composición química de forrajes de tres categorías de recursos forrajeros con edades entre 28 y 63 días

Categoría	Leguminosas forrajeras (leñosa)	Árboles y arbustos no leguminosos	Otros forrajes
	Raspayuco (<i>Chloroleucon bogotense</i>)	Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	Dahlia mexicana (<i>Dahlia pinnata</i>)
N	13	45	4
Proteína (%)	22,1 ± 1,15	16,8 ± 0,48	18,5 ± 1,27
EE (%)	3,1 ± 0,45	2,5 ± 0,14	2,0 ± 0,45
Ceniza (%)	10,1 ± 0,50	9,9 ± 0,18	12,8 ± 0,50
FDN (%)	46,1 ± 1,72	46,6 ± 0,70	42,0 ± 1,72
CNE (%)	9,2 ± 0,71	9,8 ± 0,35	15,1 ± 0,71
Calcio (%)	1,1 ± 0,10	1,2 ± 0,04	1,4 ± 0,10
Fósforo (%)	0,2 ± 0,01	0,4 ± 0,01	0,3 ± 0,01
Magnesio (%)	0,3 ± 0,02	0,3 ± 0,01	0,6 ± 0,02
Potasio (%)	1,7 ± 0,15	2,1 ± 0,05	2,8 ± 0,15
Fenoles totales (g/kg MS)	19,4 ± 2,16	16,4 ± 0,74	20,3 ± 2,16
Taninos totales (g/kg MS)*	16,6 ± 2,05	12,1 ± 0,53	8,3 ± 2,05
Taninos condensados (g/kg MS)**	1,5 ± 0,24	2,9 ± 0,12	2,2 ± 0,24
Alcaloides totales (g/kg MS)	6,7 ± 0,52	4,5 ± 0,17	3,0 ± 0,52
Saponinas (g/kg MS)	8,7 ± 1,08	4,3 ± 0,44	13,7 ± 1,08
Esteroles (g/kg MS)	6,3 ± 0,55	2,5 ± 0,16	4,9 ± 0,55
NDT (%)	63,3 ± 0,90	59,0 ± 0,53	61,3 ± 0,90
DMS (%)	69,2 ± 0,97	64,6 ± 0,58	67,1 ± 0,97

MS: materia seca; EE: extracto etéreo; FDN: fibra en detergente neutro; CNE: carbohidratos no estructurales; NDT: nutrientes digestibles totales; DMS: digestibilidad de la materia seca; * equivalente ácido tánico; ** equivalente catequina

Fuente: AlimenTro <https://alimentro.agrosavia.co>

El raspayuco, por ser una leguminosa, presenta un alto contenido de proteína en comparación con la moringa y dalia mexicana (+5,39 % y +3,66 %, respectivamente). Esta última, por ser una herbácea, presenta el menor contenido de FDN, en comparación con el raspayuco y la moringa. Además, presenta mayor contenido de ceniza, con valores altos de calcio, magnesio y potasio. Respecto a los metabolitos secundarios, se observa que la moringa presenta el menor valor de fenoles totales. El raspayuco presenta el contenido más alto de taninos totales, con aproximadamente dos veces más contenido al compararlo con la dalia mexicana; sin embargo, esta presenta mayor concentración de taninos condensados (+0,7 %) y saponinas (+5,0 %), en comparación con el raspayuco. La mayor concentración de alcaloides y esteroides fue encontrada en el raspayuco. La moringa presen-

tó la menor digestibilidad de la MS, tal vez debido a su alto contenido de taninos condensados (64,6 % y 2,9 g/kg MS equivalente catequina, respectivamente), a diferencia del raspayuco, que presenta la mayor digestibilidad de la MS y menor concentración de taninos condensados (69,2 % y 1,5 g/kg MS equivalente catequina, respectivamente).

2.1.2 Morfología de la planta

La estructura morfológica de la planta tiene una influencia directa sobre el valor nutricional y el consumo voluntario de los animales: cuanto mayor sea el porcentaje de hojas, tendrá mayor digestibilidad de la MS, debido al menor contenido de fibra y mayor porcentaje de proteína. En las especies forrajeras que presentan menor relación hoja-tallo, el valor nutritivo es menor por su mayor contenido de carbohidratos estructurales (Lamb et al., 2007).

De otra parte, las hojas tiernas poseen mayor valor nutritivo que las maduras por su alto porcentaje de proteína y baja lignificación; sin embargo, su contenido de humedad es alto. Las partes que acumulan las sustancias de reserva, como los rizomas, base de los tallos, tubérculos, semillas, etc., son más nutritivas. Al comparar la composición nutricional de hojas y tallos de dos familias de forrajes, como la gramínea pasto angleton (*Dichanthium aristatum*) y la leguminosa leñosa guacamayo (*Albizia niopoides*), a una misma edad fenológica de 42 a 63 días de edad (tabla 3), se observa que en las dos familias la calidad nutricional de la hoja es mejor si se compara con el tallo, lo cual se refleja en mayor contenido de proteína (+4,6 % en la gramínea y +11,2 % en la leguminosa leñosa) y extracto etéreo (+0,9 % y +1,7 %, respectivamente), con menor contenido de FDN (-7,9 % y -14,7 %, respectivamente). En las gramíneas, el tallo presenta mayor contenido de CNE (+3,2 %) debido a que es el lugar donde se acumulan los carbohidratos de reserva, mientras que, en las leguminosas, el contenido de CNE es más alto en las hojas (+3,1 %) por su mayor contenido de carbohidratos solubles.

Tabla 3. Composición química de la hoja y el tallo de dos familias de forrajes con la misma edad fenológica

Familia	Gramínea forrajera Erecto porte bajo		Leguminosa forrajera Leñosa	
	Angleton (<i>Dichanthium aristatum</i>)		Guacamayo (<i>Albizia niopoides</i>)	
	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo
Parte de la planta	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo
N	4	4	8	7
Proteína (%)	9,2 ± 0,44	4,8 ± 0,97	27,0 ± 1,20	15,8 ± 0,76
EE (%)	2,2 ± 0,14	1,4 ± 0,30	3,4 ± 0,17	1,8 ± 0,07
Ceniza (%)	8,2 ± 0,10	10,0 ± 0,77	9,9 ± 0,69	6,9 ± 0,31
FDN (%)	59,7 ± 1,13	67,6 ± 1,55	46,4 ± 0,95	61,1 ± 2,35
CNE (%)	6,2 ± 0,56	9,4 ± 1,72	11,4 ± 0,93	8,3 ± 0,45
Calcio (%)	0,4 ± 0,02	0,4 ± 0,02	1,1 ± 0,08	0,6 ± 0,05
Fósforo (%)	0,2 ± 0,02	0,2 ± 0,02	0,3 ± 0,01	0,3 ± 0,01
Magnesio (%)	0,2 ± 0,02	0,2 ± 0,02	0,3 ± 0,03	0,1 ± 0,01
Potasio (%)	1,1 ± 0,04	1,3 ± 0,14	1,6 ± 0,10	1,7 ± 0,10
Fenoles totales (g/kg MS)	9,2 ± 1,27	3,8 ± 0,68	14,4 ± 1,28	14,7 ± 0,53
Taninos totales (g/kg MS)*	5,5 ± 1,41	2,4 ± 0,42	11,7 ± 1,19	12,6 ± 0,86
Taninos condensados (g/kg MS)**	3,2 ± 0,14	1,7 ± 0,23	1,2 ± 0,20	1,2 ± 0,18
Alcaloides totales (g/kg MS)	3,0 ± 0,17	3,8 ± 0,16	10,3 ± 0,23	8,0 ± 0,18
Saponinas (g/kg MS)	5,2 ± 0,43	3,4 ± 0,67	8,0 ± 0,64	8,3 ± 0,83
Esteroles (g/kg MS)	1,1 ± 0,07	1,5 ± 0,23	7,4 ± 0,42	3,2 ± 0,37
NDT (%)	51,2 ± 0,51	47,3 ± 0,92	66,7 ± 1,02	57,7 ± 0,51
DMS (%)	56,1 ± 0,56	51,9 ± 1,00	72,9 ± 1,10	63,2 ± 0,55

MS: materia seca; **EE:** extracto etéreo; **FDN:** fibra en detergente neutro; **CNE:** carbohidratos no estructurales; **NDT:** nutrientes digestibles totales; **DMS:** digestibilidad de la materia seca; * equivalente ácido tánico; ** equivalente catequina

Fuente: AlimenTro <https://alimentro.agrosavia.co>

En cuanto a la ceniza, la gramínea presenta mayores contenidos en los tallos (+2,36 %), con una concentración de macroelementos similar a las hojas, a diferencia de la leguminosa leñosa, donde el mayor contenido de ceniza y concentración de macroelementos se presenta en las hojas. Al comparar el perfil de metabolitos secundarios entre gramíneas y leguminosas, se observa que en las hojas y tallos de las segundas hay mayor concentración de metabolitos que en las primeras, excepto en los taninos condensados (-2,0 %, -0,5 %, respectivamente). El pasto angleton presentó mayor contenido de fenoles y taninos en las hojas

en comparación con los tallos, mientras que, en el guacamayo, el contenido de estos metabolitos fue similar en hojas y tallos.

2.2 Factores relacionados con el ambiente

Debido a la gran diversidad agroecológica de Colombia, el territorio se ha clasificado en seis grandes regiones naturales: Insular, Caribe, Pacífica, Andina, Orinoquía y Amazonía, y estas a su vez se clasifican en 54 microrregiones naturales. Esta clasificación se basa en la homogeneidad de características como relieve, clima, condiciones del suelo, especies y recursos acuíferos, entre otras (Romero et al., 2009). Los rangos de temperatura ambiental y tipologías de suelo son elementos del ambiente que influyen sobre la calidad nutricional de un forraje. A medida que aumenta la luminosidad, la radiación uv y la temperatura, se acelera el crecimiento de las plantas y, con ello, la lignificación de la pared celular, lo cual afecta su digestibilidad. En contraste, las plantas que crecen en gradientes de altitud elevada (trópico alto) experimentan un crecimiento lento (Cui et al., 2018).

2.2.1 Ubicación geográfica

La ubicación geográfica permite identificar características del entorno (ambiente) que influyen en el desarrollo de las plantas utilizadas para la alimentación animal. Teniendo en cuenta esto, en el sector agropecuario se ha propuesto que los sistemas productivos se categoricen en tres rangos de altitud ya mencionados. En el trópico alto colombiano, en general, los forrajes presentan un mayor contenido de proteína, menor contenido de fibra y, por lo tanto, mayor valor energético, al compararlos con forrajes de los trópicos medio y bajo. De otra parte, los árboles y arbustos forrajeros no leguminosos del trópico bajo presentan mejor calidad nutricional, si se compara con los forrajes del trópico medio (tabla 4).

Tabla 4. Composición química y valor energético de tres categorías de forrajes con edades entre 28 y 42 días según su ubicación geográfica

Categoría	Gramíneas forrajeras			Leguminosas forrajeras			Árboles y arbustos forrajeros no leguminosos		
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
N	8744	1092	4830	616	33	471	115	28	185
Proteína (%)	18,2 ± 0,04	10,5 ± 0,11	9,2 ± 0,04	24,9 ± 0,13	22,4 ± 0,94	20,0 ± 0,21	24,6 ± 0,42	19,9 ± 0,75	23,0 ± 0,53
EE (%)	2,5 ± 0,00	1,50 ± 0,01	1,9 ± 0,01	2,0 ± 0,01	2,3 ± 0,13	2,5 ± 0,03	2,5 ± 0,07	2,2 ± 0,21	2,2 ± 0,06
Ceniza (%)	11,1 ± 0,02	9,7 ± 0,05	10,4 ± 0,03	11,0 ± 0,05	8,5 ± 0,30	8,4 ± 0,08	12,5 ± 0,23	12,9 ± 0,77	12,6 ± 0,27
FDN (%)	48,4 ± 0,07	63,0 ± 0,14	64,9 ± 0,06	38,1 ± 0,25	40,2 ± 1,41	42,8 ± 0,37	39,7 ± 0,63	40,2 ± 1,49	44,4 ± 0,42
CNE (%)	10,5 ± 0,03	11,2 ± 0,08	8,5 ± 0,05	9,5 ± 0,08	11,3 ± 0,49	9,7 ± 0,11	12,2 ± 0,29	12,6 ± 0,62	9,6 ± 0,25
NDT (%)	59,9 ± 0,03	51,9 ± 0,10	50,7 ± 0,04	66,1 ± 0,11	64,5 ± 0,75	62,3 ± 0,21	66,5 ± 0,36	63,4 ± 0,71	64,5 ± 0,40
DMS (%)	65,5 ± 0,04	56,9 ± 0,11	55,5 ± 0,04	72,2 ± 0,11	70,5 ± 0,81	68,1 ± 0,22	72,6 ± 0,39	69,3 ± 0,77	70,5 ± 0,43
ED (Mcal/kg MS)	2,7 ± 0,00	2,3 ± 0,01	2,3 ± 0,00	3,0 ± 0,01	3,0 ± 0,04	2,9 ± 0,01	3,1 ± 0,02	2,8 ± 0,03	3,0 ± 0,02
EM (Mcal/kg MS)	2,2 ± 0,00	1,8 ± 0,00	1,8 ± 0,00	2,5 ± 0,00	2,4 ± 0,03	2,3 ± 0,01	2,5 ± 0,02	2,4 ± 0,03	2,4 ± 0,02
ENL (Mcal/kg MS)	1,4 ± 0,00	1,2 ± 0,00	1,1 ± 0,00	1,5 ± 0,00	1,5 ± 0,02	1,4 ± 0,01	1,5 ± 0,01	1,4 ± 0,02	1,5 ± 0,01

MS: materia seca; **EE:** extracto etéreo; **FDN:** fibra en detergente neutro; **CNE:** carbohidratos no estructurales; **NDT:** nutrientes digestibles totales; **DMS:** digestibilidad de la materia seca; **ED:** energía digestible; **EM:** energía metabolizable; **ENL:** energía neta de la lactancia. Trópico alto (>1900 m s. n. m.); trópico medio (801-1899 m s. n. m.); trópico bajo (<800 m s. n. m.)

Fuente: AlimenTro <https://alimentro.agrosavia.co>

La calidad nutricional de las gramíneas, además de variar por la ubicación geográfica, también se ve afectada por el tipo de crecimiento del pasto (tabla 5). En el trópico alto, las gramíneas de crecimiento erecto de porte alto presentan menor calidad nutricional en comparación con las que crecen en otros trópicos. Por su parte, los forrajes de crecimiento erecto de porte bajo, semierecto y rastreros del trópico bajo presentan menor valor de proteína y mayor valor de FDN, que se refleja en un bajo valor energético. Un perfil nutricional bajo limita la expresión de los animales en términos de eficiencia y reproducción con resultados económicos limitados en el corto y mediano plazo.

En cada trópico hay diversas microrregiones con características ambientales diferenciadas; por lo tanto, el desarrollo de las praderas y su composición nutricional también se ve afectada. En la tabla 6, se presenta la composición química y valor energético del pasto kiku-yo (*Cenchrus clandestinus*) sembrado en cuatro microrregiones naturales. Los valores de proteína cruda y FDN varían según la ubicación geográfica (~6,6 %), lo cual se refleja en una diferencia de aporte de energía en un rango de 0,24 EM Mcal a 0,13 ENL Mcal por kg/MS.

Tabla 5. Composición química y valor energético de las gramíneas con edades entre 28 y 42 días, según su tipo de crecimiento y ubicación geográfica

Tipo de crecimiento/ trópico	N	Proteína	EE	Ceniza	FDN	CNE	NDT	DMS	ED	EM	ENL
		Mcal/kg MS									
%											
Erecto de porte alto											
Alto	14	12,0±0,62	1,6±0,06	10,2±0,40	59,9±0,94	10,2±0,96	53,9±0,54	59,0±0,59	2,4±0,03	1,9±0,02	1,2±0,01
Medio	134	10,8±0,20	1,5±0,02	9,3±0,16	63,4±0,28	10,3±0,21	52,2±0,18	57,2±0,19	2,3±0,01	1,9±0,01	1,2±0,00
Bajo	1011	10,6±0,11	1,9±0,01	9,7±0,06	63,0±0,14	8,9±0,09	52,2±0,10	57,2±0,11	2,3±0,01	1,9±0,00	1,2±0,00
Erecto de porte bajo											
Alto	214	17,8±0,26	2,6±0,03	10,0±0,09	52,4±0,29	9,2±0,16	59,2±0,22	64,8±0,24	2,7±0,01	2,2±0,01	1,3±0,01
Medio	11	12,9±0,71	1,6±0,05	9,9±0,35	61,5±0,87	9,5±0,53	54,2±0,58	59,4±0,63	2,4±0,03	1,9±0,03	1,2±0,01
Bajo	1809	8,4±0,06	2,0±0,01	11,4±0,05	65,9±0,08	7,3±0,07	49,6±0,06	54,5±0,06	2,2±0,00	1,7±0,00	1,1±0,00
Semierecto											
Alto	2819	16,9±0,07	2,6±0,01	10,3±0,03	48,2±0,10	12,4±0,04	59,3±0,05	64,9±0,06	2,7±0,00	2,2±0,00	1,3±0,00
Medio	109	10,4±0,24	1,5±0,04	9,4±0,17	62,9±0,45	11,2±0,22	51,9±0,25	56,9±0,27	2,3±0,01	1,8±0,01	1,2±0,01
Bajo	551	9,9±0,10	1,6±0,02	9,1±0,09	63,6±0,15	10,7±0,11	51,7±0,09	56,7±0,10	2,3±0,00	1,8±0,00	1,2±0,00
Rastrero											
Alto	1566	18,1±0,10	2,0±0,01	11,1±0,04	56,0±0,11	8,0±0,05	58,3±0,08	63,8±0,09	2,7±0,00	2,1±0,00	1,3±0,00
Medio	202	13,0±0,25	1,7±0,02	8,9±0,11	62,3±0,27	9,7±0,14	53,8±0,21	58,9±0,23	2,4±0,01	1,9±0,01	1,2±0,01
Bajo	470	8,9±0,14	1,6±0,02	8,1±0,09	65,8±0,17	10,9±0,13	50,4±0,13	55,3±0,14	2,3±0,01	1,8±0,01	1,1±0,00

MS: materia seca; **EE:** extracto etéreo; **FDN:** fibra en detergente neutro; **CNE:** carbohidratos no estructurales; **NDT:** nutrientes digestibles totales; **ED:** energía digestible; **EM:** energía metabolizable; **ENL:** energía neta de la lactancia. Trópico alto (>1900 m s. n. m.); trópico medio (801-1899 m s. n. m.); trópico bajo (<800 m s. n. m.)

Fuente: AlimenTro <https://alimentro.agrosavia.co>

Tabla 6. Composición química y valor energético del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) con edades entre 35 y 49 días de 6 municipios del trópico alto de Colombia

Microrregión	Montaña antioqueña	Montaña santandereana	Altiplano cundiboyacense			Macizo colombiano
Departamento	Antioquia	Santander	Boyacá	Cundinamarca		Nariño
Municipio	Don Matías	Guaca	Chiquinquirá	Chocontá	Cucunubá	Pasto
N	5	38	16	49	16	34
Proteína (%)	15,1 ± 0,56	17,5 ± 0,23	16,7 ± 0,70	15,8 ± 0,35	18,3 ± 0,94	19,7 ± 0,60
EE (%)	1,9 ± 0,07	1,9 ± 0,03	1,7 ± 0,07	1,9 ± 0,02	1,8 ± 0,08	2,2 ± 0,04
Ceniza (%)	9,2 ± 0,55	10,7 ± 0,12	11,5 ± 0,48	9,6 ± 0,11	9,6 ± 0,17	11,6 ± 0,30
FDN (%)	57,1 ± 0,96	56,0 ± 0,24	56,1 ± 0,67	56,1 ± 0,65	55,2 ± 1,16	53,8 ± 0,59
CNE (%)	9,2 ± 0,69	7,0 ± 0,13	5,8 ± 0,37	11,2 ± 0,14	6,9 ± 0,55	7,9 ± 0,36
Calcio (%)	0,4 ± 0,01	0,3 ± 0,01	0,6 ± 0,04	0,2 ± 0,02	0,3 ± 0,01	0,3 ± 0,02
Fósforo (%)	0,3 ± 0,02	0,4 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,3 ± 0,00	0,4 ± 0,01	0,3 ± 0,01
Magnesio (%)	0,3 ± 0,01	0,3 ± 0,00	0,4 ± 0,01	0,2 ± 0,00	0,3 ± 0,00	0,3 ± 0,01
Potasio (%)	2,4 ± 0,15	3,5 ± 0,05	2,2 ± 0,12	2,4 ± 0,04	3,0 ± 0,07	3,0 ± 0,09
Proteína soluble (%PC)	41,8 ± 0,83	38,2 ± 0,36	40,9 ± 0,74	34,0 ± 0,29	37,2 ± 0,58	33,9 ± 0,57
Proteína B (%PC)	49,4 ± 0,84	54,8 ± 0,29	49,6 ± 0,71	58,1 ± 0,22	55,7 ± 0,55	57,0 ± 0,41
Proteína C (%PC)	8,5 ± 0,51	6,9 ± 0,14	9,8 ± 0,20	7,9 ± 0,10	7,2 ± 0,15	9,3 ± 0,39
DMS (%)	62,4 ± 0,40	64 ± 0,23	62,5 ± 0,66	62,6 ± 0,36	64,4 ± 0,97	65,7 ± 0,48
ED (Mcal/kg MS)	2,6 ± 0,01	2,7 ± 0,01	2,6 ± 0,03	2,6 ± 0,02	2,7 ± 0,05	2,7 ± 0,03
EM (Mcal/kg MS)	2,1 ± 0,02	2,1 ± 0,01	2,1 ± 0,03	2,1 ± 0,01	2,2 ± 0,04	2,2 ± 0,02
ENL (Mcal/kg MS)	1,3 ± 0,01	1,3 ± 0,01	1,3 ± 0,01	1,3 ± 0,01	1,3 ± 0,02	1,4 ± 0,01

MS: materia seca; **EE:** extracto etéreo; **FDN:** fibra en detergente neutro; **CNE:** carbohidratos no estructurales; **PC:** proteína cruda; **NDT:** nutrientes digestibles totales; **DMS:** digestibilidad de la materia seca; **ED:** energía digestible; **EM:** energía metabolizable; **ENL:** energía neta de la lactancia.

Fuente: AlimenTro <https://alimentro.agrosavia.co>

Según los valores del fraccionamiento de la proteína, especialmente en la fracción B del kikuyo, se observan diferencias entre microrregiones. La microrregión del macizo colombiano presenta un valor alto (58,8 %PC), frente a la microrregión de la montaña antioqueña (48,7 %PC), la cual está asociada de forma positiva a la digestibilidad de la MS del kikuyo (65,5 % y 62,0 %, respectivamente).

2.2.2 Estacionalidad en la época de pastoreo

El volumen de agua caída por las precipitaciones (mm) y su distribución durante el año es un factor que afecta el crecimiento y la calidad nutricional de los forrajes por su estrecha relación con los factores bioquímicos y fisiológicos que regulan los procesos biológicos de la planta. Así, tanto el exceso como la escasez de precipitaciones pueden desencadenar estrés en los cultivos forrajeros. En este sentido, un

exceso de lluvia en suelos mal drenados causa anoxia en las raíces y afecta su respiración aeróbica, absorción de minerales y agua.

Ahora bien, el estrés por sequía afecta el comportamiento fisiológico y morfológico de las plantas, por ejemplo, se reduce el crecimiento de los tallos y se aumenta la proporción de hojas, que son características propias del retraso en la madurez de las plantas (Del Pozo, 2002). En sequías cortas, se disminuye la concentración de la pared celular en las hojas y tallos de los forrajes, aunque sucede de forma variable en sus componentes estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina), por la necesidad que tiene la planta de mantener altos valores de carbohidratos en formas solubles durante los ajustes osmóticos (Adesogan et al., 2009). En sequías de larga duración se presentan dos fenómenos que influyen negativamente sobre el contenido de proteína cruda en los forrajes: el primero es causado por la baja absorción del N del suelo debido a su mineralización; el segundo fenómeno está asociado a que reduce la movilización de N, capturado en la parte aérea de la planta en el proceso de marchitez y su baja fijación simbiótica en el suelo. En los forrajes, un contenido de proteína inferior a 7 % puede mantener un balance de N en el animal igual a cero. Esto resulta insuficiente para cubrir los requerimientos de los microorganismos ruminales, lo cual provoca una reducción de la digestibilidad de la MS y, con ello, una deficiencia de energía (Morillo, 1994).

El efecto de la estacionalidad del clima y textura del suelo sobre la calidad nutricional del pasto *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, con edad de rebrote entre 28 a 49 días, se observa en la tabla 7. En general, los valores de MS son más altos en época de sequía (+5 %) al compararlos con la época de lluvia. El mejor perfil nutricional del pasto se presenta en suelos arcillosos durante épocas de sequía; esto se debe a que estos tipos de suelo tienden a tener una alta disponibilidad de nutrientes (Díaz & Estrada, 2015). Sin embargo, en épocas de lluvia, la calidad se ve afectada debido a que este pasto no tolera el mal drenaje. El menor perfil nutricional se presentó en suelos arenosos tanto en época de lluvia como de sequía, debido tal vez a que el *Brachiaria decumbens* tiene un bajo vigor en este tipo de suelos (Arce et al., 2013). De otra parte, tanto en suelos franco-arenosos como franco-arcillosos, los perfiles de calidad fueron similares en las dos épocas de rebrote o descanso de la pradera.

Tabla 7. Composición química y valor energético en diferentes épocas de pastoreo y texturas del suelo del pasto <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk entre 28 a 49 días de edad											
Textura suelo		Arcilloso		Arenoso		Franco-arcilloso		Franco-arenoso			
Época		Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía
N		12	33	18	40	22	16	62	33		
MS (g/100 g MH)		24,3 ± 1,45	28,8 ± 0,77	25,2 ± 1,11	27,9 ± 0,81	22,3 ± 1,02	27,2 ± 1,98	23,8 ± 0,46	29,1 ± 0,72		
Proteína (%)		9,1 ± 0,70	10,9 ± 0,32	8,5 ± 0,49	9,0 ± 0,25	10,5 ± 0,44	10,2 ± 0,59	10,0 ± 0,19	7,0 ± 0,56		
EE (%)		1,5 ± 0,07	1,7 ± 0,03	1,5 ± 0,06	1,6 ± 0,03	1,5 ± 0,04	1,5 ± 0,04	1,6 ± 0,03	1,6 ± 0,05		
Ceniza (%)		8,1 ± 0,57	10,0 ± 0,17	7,7 ± 0,26	8,3 ± 0,17	9,0 ± 0,30	9,9 ± 0,53	8,8 ± 0,17	10,5 ± 0,32		
FDN (%)		63,0 ± 1,13	62,2 ± 0,28	65,2 ± 0,67	65,1 ± 0,41	62,0 ± 0,58	61,0 ± 1,22	64,1 ± 0,38	64,6 ± 0,76		
CNE (%)		11,1 ± 0,98	9,9 ± 0,18	12,3 ± 0,36	11,2 ± 0,20	11,9 ± 0,30	10,0 ± 0,52	11,3 ± 0,33	10,4 ± 0,35		
Calcio (%)		0,4 ± 0,04	0,3 ± 0,01	0,3 ± 0,02	0,3 ± 0,01	0,3 ± 0,01	0,3 ± 0,02	0,3 ± 0,01	0,4 ± 0,01		
Fósforo (%)		0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,00	0,2 ± 0,01		
Magnesio (%)		0,3 ± 0,01	0,3 ± 0,00	0,2 ± 0,01	0,3 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,3 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,3 ± 0,00		
Potasio (%)		2,0 ± 0,12	2,0 ± 0,08	1,8 ± 0,08	2,0 ± 0,06	2,0 ± 0,08	2,0 ± 0,06	2,0 ± 0,05	1,4 ± 0,12		
NDT (%)		51,2 ± 0,71	52,1 ± 0,31	50,8 ± 0,47	51,1 ± 0,24	52,8 ± 0,43	52,2 ± 0,61	51,6 ± 0,20	48,5 ± 0,59		
DMS (%)		56,2 ± 0,77	57,1 ± 0,33	55,7 ± 0,51	56,1 ± 0,26	57,9 ± 0,46	57,3 ± 0,66	56,5 ± 0,22	53,2 ± 0,64		
EM (Mcal/kg MS)		1,8 ± 0,03	1,9 ± 0,01	1,8 ± 0,02	1,8 ± 0,01	1,9 ± 0,02	1,9 ± 0,03	1,8 ± 0,01	1,7 ± 0,03		
ENL (Mcal/kg MS)		1,1 ± 0,02	1,2 ± 0,01	1,1 ± 0,01	1,1 ± 0,01	1,2 ± 0,01	1,2 ± 0,01	1,2 ± 0,00	1,1 ± 0,01		

MH: materia húmeda; MS: materia seca; EE: extracto etéreo; FDN: fibra en detergente neutro; CNE: carbohidratos no estructurales; NDT: nutrientes digestibles totales; DMS: digestibilidad de la materia seca; EM: energía metabolizable; ENL: energía neta de la lactancia

Fuente: AlimenTro <https://alimentro.agrosavia.co>

2.3 Factores relacionados con el manejo de los recursos forrajeros

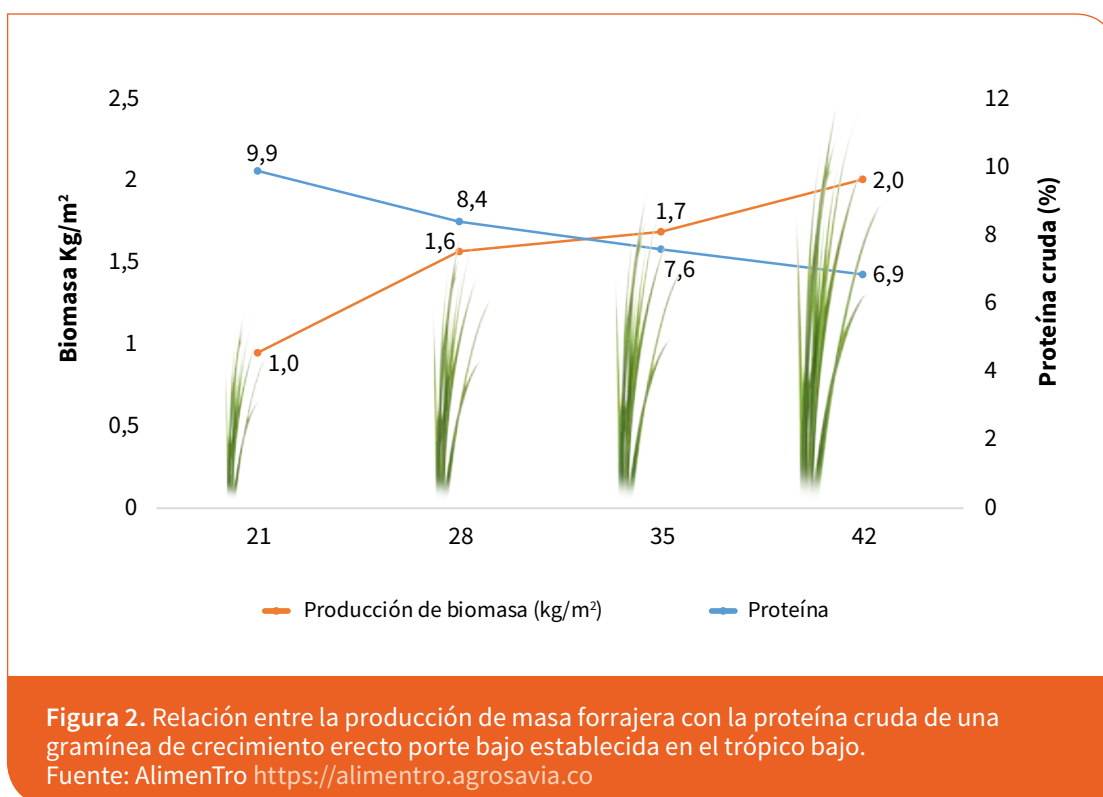
El manejo de las pasturas influye directamente sobre la producción de masa forrajera y la calidad nutricional del forraje; por lo tanto, identificar la edad y altura adecuadas de pastoreo es fundamental para hacer un correcto aprovechamiento de estos, sin llegar a afectar el rebrote y su persistencia en las praderas.

2.3.1 Edad de rebrote de la planta al corte o pastoreo

El valor nutritivo de los recursos forrajeros tiene una estrecha dependencia con la edad o estado de madurez de la planta. Durante el proceso de crecimiento, la planta incrementa rápidamente su contenido de materia seca al presentar cambios en sus componentes orgánicos e inorgánicos. Luego de llegar al estado de madurez, la formación de los componentes estructurales (lignina, celulosa y hemicelulosa) ocurre a mayor velocidad que el incremento de los carbohidratos solubles y los componentes nitrogenados; esto se debe a que la proporción de tallos aumenta con relación a las hojas (Del Pozo, 2002). En la medida en que se aumenta la edad de la planta, la pared celular de sus tejidos se va lignificando, lo cual se ve reflejado en un bajo valor nutricional.

De otra parte, la digestibilidad de la materia seca varía a medida que cambia la proporción de la pared y el contenido celular en los tejidos del forraje. Esta medida es útil para definir el momento óptimo de pastoreo por parte de los animales. Sin embargo, los cambios en digestibilidad asociados con madurez del forraje son diferentes entre tipos de plantas, al ser más drásticos en la mayoría de las gramíneas que en los árboles y arbustos forrajeros leguminosos y no leguminosos. Además, es conocido que existen diferencias en digestibilidad entre especies de gramíneas o leguminosas cuando se comparan a una misma madurez (Carmona, 2007). Así, la determinación de la edad o estado de madurez al que se debe cortar o pastorear un forraje es crítico para aprovecharlo al máximo; a esto se le conoce como punto óptimo de aprovechamiento y hace referencia a la edad en la cual se obtiene un balance entre la producción de masa forrajera y la calidad del forraje. En la figura 2, se observa la relación de producción masa forrajera con la concentración de proteína cruda en una

gramínea crecimiento erecto porte bajo. En este caso, el momento ideal para pastorear es a los 30 días de edad, cuando se optimiza la producción de materia seca con la calidad del forraje.



La estacionalidad de las lluvias y la temperatura ambiental juegan un papel importante en la determinación del punto óptimo de aprovechamiento. Se atribuye una mayor proporción de hojas durante el periodo lluvioso debido a una mayor tasa de recambio de tejido; por otra parte, la composición morfológica de las plantas puede ser afectada por gradientes de temperatura, con los que una baja temperatura en forrajes puede resultar en la inhibición de la elongación de tallos y aparición de hojas y, consecuentemente, en menores producciones de biomasa (Cruz López et al., 2011; Martínez et al., 2008). En este sentido, en zonas de trópico bajo (con altas temperaturas) la mayoría de los pastos tienden a alcanzar su punto óptimo entre los 25 y 35 días de rebrote en época de lluvias, y durante la sequía, entre los 37 y 42 días.

Caso distinto sucede con las especies leñosas forrajeras, cuya calidad nutricional es más estable hasta los 60 días, pero su producción de masa forrajera es mínima antes de los 30 días; sin embargo, alcanza su estabilidad y máximo potencial después de los 40 días. Por lo anterior, el aprovechamiento del forraje para la mayoría de las especies arbóreas utilizadas para ramoneo directo en trópico bajo puede alcanzarse entre los 40 y 45 días de rebrote (Pérez-Almario et al., 2017)

Durante la época de sequía, la edad de aprovechamiento tiende a ser mayor que en época de lluvias debido a que el estrés hídrico afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas, más aún cuando son sometidas a defoliaciones periódicas (pastoreo, ramoneo o corte); por lo tanto, se recomienda conservar forraje cosechado durante la época de lluvias y almacenarlo para ser usado durante la época seca, con lo cual se disminuye el uso de alimentos balanceados costosos. El uso de cereales forrajeros, como la avena forrajera en trópico alto y el sorgo forrajero en trópico bajo, es una opción que permite aprovechar el contenido elevado de carbohidratos (almidón, azúcares solubles) para ser transformados en ácido láctico y elevado contenido en materia seca al ensilar.

Desde el punto de vista nutricional, los granos en los cereales forrajeros son la parte más importante del cultivo; por lo tanto, el criterio para cosechar los cereales forrajeros debe ser la madurez de la espiga cuando hay una mayor deposición de almidón y no la edad del cultivo. En la tabla 8, se observa que la avena forrajera cultivada en el departamento de Cundinamarca debe cosecharse a los 147 días de edad, cuando se evidencia la mayor deposición de almidón (12,6 %); esto se refleja en una alta digestibilidad de la MS (73,4 %), con mayor valor energético EM (2,52 Mcal/kg MS) y ENL (1,49 Mcal/kg MS), lo que va a favorecer la productividad de los bovinos.

Tabla 8. Composición química y valor energético a diferentes edades de la *Avena sativa* variedad Altoandina cultivada en el departamento de Cundinamarca (Colombia)

Parte de la planta	Hoja, tallo			Flor, hoja, tallo			Grano, hoja, tallo		
Edad (días)	28	63	91	98	105	112	133	147	161
N	2	6	3	33	6	6	33	6	6
PC (%)	29,6 ± 1,10	14,5 ± 0,76	13,5 ± 0,45	18,3 ± 0,35	14,5 ± 0,52	9,2 ± 1,51	12,7 ± 0,31	7,6 ± 0,39	8,6 ± 0,66
CS (%)	0,5 ± 0,38	3,5 ± 0,55	5,3 ± 0,25	1,5 ± 0,24	4,1 ± 0,22	2,8 ± 0,18	2,1 ± 0,18	2,3 ± 0,16	2,8 ± 0,14
Almidón (%)	6,3 ± 2,39	7,7 ± 0,20	6,6 ± 0,33	7,3 ± 0,17	6,0 ± 0,35	9,8 ± 0,78	9,0 ± 0,21	12,6 ± 0,30	11,1 ± 0,91
FDN (%)	45,3 ± 1,70	55,0 ± 0,47	52,3 ± 0,31	55,9 ± 0,34	57,3 ± 0,42	61,0 ± 1,11	59,1 ± 0,55	58,2 ± 0,57	57,6 ± 1,30
Ca (%)	0,2 ± 0,08	0,5 ± 0,02	0,4 ± 0,01	0,3 ± 0,01	0,3 ± 0,02	0,3 ± 0,01	0,3 ± 0,01	0,3 ± 0,02	0,3 ± 0,02
P (%)	0,4 ± 0,04	0,3 ± 0,01	0,3 ± 0,02	0,3 ± 0,01	0,3 ± 0,01	0,2 ± 0,02	0,3 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,01
Mg (%)	0,3 ± 0,09	0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,00	0,2 ± 0,00	0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,00	0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,01
K (%)	3,5 ± 0,14	2,2 ± 0,05	2,0 ± 0,11	3,2 ± 0,06	3,0 ± 0,07	1,9 ± 0,14	2,5 ± 0,04	1,7 ± 0,03	2,1 ± 0,17
NDT (%)	68,9 ± 0,48	56,4 ± 0,61	56,3 ± 0,44	58,3 ± 0,23	56,2 ± 0,43	51,8 ± 1,22	64,8 ± 0,3	67,2 ± 0,20	66,7 ± 0,70
DMS (%)	75,2 ± 0,52	61,8 ± 0,66	61,6 ± 0,47	63,8 ± 0,25	61,5 ± 0,46	56,8 ± 1,32	70,9 ± 0,32	73,4 ± 0,22	72,8 ± 0,75
EM (Mcal/kg MS)	2,6 ± 0,02	2,0 ± 0,03	2,0 ± 0,02	2,1 ± 0,01	2,0 ± 0,02	1,8 ± 0,05	2,4 ± 0,01	2,5 ± 0,01	2,5 ± 0,03
ENL (Mcal/kg MS)	1,6 ± 0,01	1,3 ± 0,02	1,3 ± 0,01	1,3 ± 0,01	1,3 ± 0,01	1,2 ± 0,03	1,4 ± 0,02	1,5 ± 0,01	1,5 ± 0,03

MS: materia seca; **FDN:** fibra en detergente neutro; **NDT:** nutrientes digestibles totales; **DMS:** digestibilidad de la materia seca; **EM:** energía metabolizable; **ENL:** energía neta de la lactancia

Fuente: AlimenTro <https://alimentro.agrosavia.co>

2.3.2 Altura de corte o pastoreo

La altura de corte o pastoreo de los recursos forrajeros es determinante en su dinámica de crecimiento por la incidencia de la remoción de los puntos de crecimiento que ocurren durante la cosecha y el balance de carbohidratos de reservas. Cuando el corte o pastoreo se realiza a alturas muy bajas, según el hábito de crecimiento de la especie, se afecta drásticamente el crecimiento vegetativo en la primera etapa de crecimiento debido a que la planta no cuenta con un área foliar remanente capaz de fotosintetizar. Lo anterior condiciona a que el crecimiento dependa únicamente de las reservas orgánicas de la planta (Del Pozo, 2002). Por esta razón, la altura de corte o pastoreo es un factor decisivo en el manejo adecuado de las praderas por la influencia que ejerce sobre el comportamiento morfofisiológico y productivo del pasto (Villamizar et al., 2017). En las especies leñosas forrajeras, la altura de corte o ramoneo tiene un efecto más directo sobre la producción de masa forrajera que sobre su calidad nutricional, que está influenciada mayormente por la edad de rebrote y la especie utilizada. La altura recomendada para ramoneo, que permite al animal aprovechar eficientemente el forraje del arbusto, está entre 0,8 y 1,0 m (Pérez-Almario, comunicación personal). Teniendo en cuenta que la altura de corte o pastoreo afecta la calidad del forraje, se realizó un ensayo con pasto kikuyo, en el que se simularon cinco alturas de corte entre 10 y 30 cm, tal como se ilustra en la figura 3.

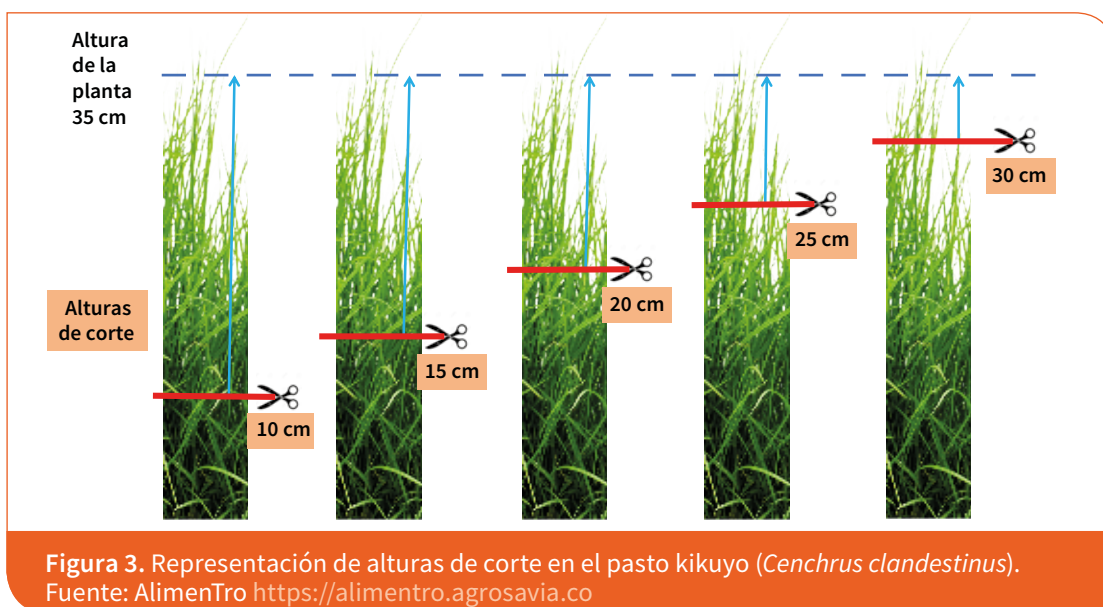


Figura 3. Representación de alturas de corte en el pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*).
Fuente: AlimenTro <https://alimentro.agrosavia.co>

En el pasto kikuyo, la mayor concentración de proteína (27,7 %), menor contenido de FDN (48,5 %) y alto aporte energético de 2,42 EM Mcal kg/MS se presentan en la parte superior de la planta (30 cm), la cual está conformada principalmente por hojas. Mientras que, a una altura de corte a 10 cm que representa la parte aérea de la planta, conformada por hojas y tallos, el valor de proteína disminuye en 6,1 puntos porcentuales, el FDN aumenta en 4,7 puntos porcentuales y el aporte energético disminuye en 0,23 EM Mcal kg/MS (tabla 9).

Tabla 9. Composición química y valor energético del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) a diferentes alturas de corte

Componentes	Altura de corte (cm)				
	10	15	20	25	30
Proteína (%)	21,64	22,83	26,55	27,37	27,73
EE (%)	2,68	2,12	2,34	2,24	1,96
Ceniza (%)	11,56	12,03	12,19	11,91	12,74
FDN (%)	53,19	52,46	49,49	48,68	48,54
CNE (%)	7,62	7,91	7,48	7,48	7,22
Calcio (%)	0,22	0,27	0,32	0,36	0,43
Fósforo (%)	0,43	0,43	0,44	0,43	0,38
Magnesio (%)	0,29	0,29	0,30	0,30	0,34
Potasio (%)	3,46	3,52	3,63	3,53	3,56
NDT (%)	59,87	60,53	64,03	64,50	64,94
EM (Mcal/kg MS)	2,19	2,22	2,38	2,40	2,42

MS: materia seca; **EE:** extracto etéreo; **FDN:** fibra en detergente neutro; **CNE:** carbohidratos no estructurales; **NDT:** nutrientes digestibles totales; **EM:** energía metabolizable

Fuente: AlimenTro <https://alimentro.agrosavia.co>



Efecto de la composición de los forrajes sobre la emisión de metano entérico de rumiantes

En sistemas de producción ganaderos del trópico generalmente se tienen bajos índices productivos debido a la baja calidad de los forrajes. Esto implica que, en situaciones de bajo consumo de alimento a causa de la baja tasa de pasaje, no solo se presenta el efecto negativo en el rendimiento por animal, sino que también se genera mayor emisión de metano y, por ende, menor aporte de energía metabolizable (Niu et al., 2018).

Otros autores han desarrollado modelos a partir del consumo y calidad del sistema de alimentación de bovinos para predecir las emisiones de metano entérico (Escobar-Bahamondes et al. 2017; Suzuki et al., 2018). De estos se seleccionaron dos ecuaciones que se ajustan mejor a los sistemas colombianos de producción de carne y leche. Los criterios que se consideraron fueron el error en la raíz cuadrada de la media (RMSE), número de datos utilizados, variables de calidad composicional de los recursos alimenticios, consumo voluntario, peso corporal, producción y calidad de leche (tabla 10).

Tabla 10. Ecuaciones para predecir el potencial de emisiones de metano entérico

Autor	Sistema de producción	n	Ecuación	RMSE
Niu et al. (2018)	Leche	2667	$CH_4(g/día/vaca) = -60,5(±17,56) + 12,4(±0,37) MSI - 8,78(±1,342)EE + 2,10(±0,256)FDN + 16,1(±1,39)GL + 0,148(±0,0143)PV$	16,6
Van Lingen et al. (2019)	Carne	1021	$CH_4(g/d) = -16,4(9,0) + 12,1(0,6) × MSI + 2,10(0,16) × FDN$	31,4

RMSE: error de la raíz cuadrada de la media; **MSI:** materia seca ingerida (kg); **EE:** extracto etéreo (%); **FDN:** fibra en detergente neutro (%); **GL:** grasa de la leche (%); **PV:** peso vivo (kg)

Fuente: Niu et al. (2018) y Van Lingen et al. (2019)

Para la predicción de emisión de metano entérico del sistema de producción de lechería especializada se utilizó la ecuación desarrollada por Niu et al. (2018), en animales raza holstein y, para el sistema de producción de carne se utilizó la ecuación de Van Lingen et al. (2019), en animales raza simmental. El valor de Ym corresponde al porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano (energía emitida como CH₄/energía bruta consumida), el cual puede estar en un rango de 2 a 20 %EB de pérdidas energéticas. Dicho valor indica la eficiencia de utilización de la energía del forraje por parte del animal. En este ejercicio teórico se simuló la alimentación de bovinos holstein y simmental del arreglo silvopastoril ubicado en el Centro de Investigación Tibaitatá (Mosquera, Colombia), el cual está compuesto por pasto kikuyo como la gramínea base, arbustos de tilo (*Sambucus peruviana*), dalia (*Dahlia pinnata*), morera (*Morus alba*) y botón de oro (*Tithonia diversifolia*). La información de la calidad composicional del kikuyo y de las diferentes especies de arbóreas se tomó de AlimenTro. A partir de esta información, se predijo la emisión de metano entérico y valor de Ym (energía CH₄/energía bruta consumida) de las diferentes proporciones de gramíneas:arbóreas como se observa en la tabla 11.

Tabla 11. Predicción de las emisiones de metano entérico y valor de Ym (energía CH₄/energía bruta consumida) en bovinos holstein y simmental simulando diferentes proporciones de consumo gramínea:arbórea

Raza	Recurso forrajero	Proporción gramínea:arbórea	Metano (g CH ₄ /día)	Ym %EB
Holstein	<i>Dahlia pinnata</i>	100	341,3	5,4 ^{ab}
	<i>Morus alba</i>	100	323,2	5,0 ^{bc}
	<i>Sambucus peruviana</i>	100	317,3	4,8 ^c
	<i>Tithonia diversifolia</i>	100	344,8	5,4 ^{ab}
	<i>Cenchrus clandestinus</i>	100	367,4	5,7 ^a
	<i>Cenchrus clandestinus</i> - <i>Dahlia pinnata</i>	70-30	359,6	5,6 ^a
	<i>Cenchrus clandestinus</i> - <i>Morus alba</i>	70-30	354,1	5,5 ^a
	<i>Cenchrus clandestinus</i> - <i>Sambucus peruviana</i>	70-30	352,4	5,4 ^{ab}
	<i>Cenchrus clandestinus</i> - <i>Tithonia diversifolia</i>	70-30	360,6	5,6 ^a
P-valor			0,6761	<,0001
Simmental	<i>Dahlia pinnata</i>	100	206,3 ^{abc}	4,5 ^{de}
	<i>Morus alba</i>	100	197,0 ^{bc}	4,2 ^e
	<i>Sambucus peruviana</i>	100	161,1 ^d	4,2 ^e
	<i>Tithonia diversifolia</i>	100	182,6 ^{dc}	5,0 ^c
	<i>Cenchrus clandestinus</i>	100	209,0 ^{abc}	5,6 ^a
	<i>Cenchrus clandestinus</i> - <i>Dahlia pinnata</i>	70:30	228,5 ^a	4,9 ^c
	<i>Cenchrus clandestinus</i> - <i>Morus alba</i>	70:30	225,7 ^{ab}	4,8 ^{dc}
	<i>Cenchrus clandestinus</i> - <i>Sambucus peruviana</i>	70:30	194,6 ^c	5,2 ^{bc}
	<i>Cenchrus clandestinus</i> - <i>Tithonia diversifolia</i>	70:30	201,1 ^{abc}	5,4 ^{ab}
P-valor			<,0001	<,0001

CH₄: metano; EB: energía bruta. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Fuente: Elaboración propia

La predicción de emisión de metano entérico y valor de Ym muestran que los animales de la raza holstein presentan mayores valores (347,6 g/d, 5,4 %/EB, respectivamente), en comparación con los de la raza simmental (200,7 g/d 4,9 %EB, respectivamente). En la raza holstein, la proporción gramínea:arbórea no afectó la emisión de metano; sin embargo, el mayor valor de Ym lo presentaron los animales cuando el sistema de alimentación se basó en solo pasto kikuyo (5,7 %EB). Si al sistema de alimentación se le incluye forraje de tilo en un 30 %, el valor de Ym disminuye (-0,3 %EB).

En la raza simmental, la menor emisión de metano se presentó cuando el sistema de alimentación se basó en el 100 % de forraje de tilo; sin embargo, este tipo de alimentación no se utiliza en la realidad. Los sistemas de alimentación de trópico alto se basan en solo pasto kikuyo, cuyo valor de emisión de metano fue de 209 g/d. Si a este sistema de alimentación se le incluye forraje de tilo en un 30 %, la emisión de metano se reduce (-14 g/d). Para el valor de Ym la mejor combinación fue kikuyo:morera (4,8 %EB). Estos resultados son potencialmente útiles para mejorar la eficiencia digestiva de rumiantes, ya que el uso de forrajes de especies arbustivas puede ser una alternativa para reducir la emisión de metano por unidad de alimento consumido.

Kurihara et al. (1999) señalan que hay una asociación lineal entre la relación alimento:ganancia y la producción de metano. Sugieren que un incremento en la calidad de los recursos alimenticios del sistema de alimentación es un medio práctico para reducir la producción de metano. Moss y Givens (1994) demostraron que los sistemas de alimentación que utilizan recursos alimenticios altos en almidón favorecen la producción de propionato y disminuyen la relación metano:materia orgánica fermentada en el rumen.

En otro estudio, Johnson et al. (2007) indican que hay una disminución en la producción de metano cuando se incrementa el consumo de fuentes energéticas. El tipo de carbohidratos fermentados afecta la producción de metano probablemente a través de impactos en el pH y la población microbiana del rumen. Así, la fermentación de los carbohidratos fibrosos produce una alta relación de acetato:propionato y una alta producción de metano; no obstante, según la tasa de

degradación de la fibra y del consumo relacionado, la producción de metano varía. Schalch et al. (2001) demostraron que el ensilado de naranja, que tiene una concentración alta de fibra (pectinas) de alta digestibilidad, disminuye la producción de metano en bovinos, lo que confirma que los recursos alimenticios altamente digestibles tienen menores pérdidas energéticas, lo cual da como resultado una menor emisión de metano.

Este tipo de respuesta en producción de metano asociada a la composición de los forrajes permite que la manipulación de los sistemas de alimentación de los rumiantes sea una alternativa viable para reducir la producción de este hidrocarburo y, por lo tanto, las pérdidas energéticas en el animal. Diversos autores señalan que la magnitud de energía del alimento perdida por la generación de gas metano se debe a muchos factores, entre los cuales se encuentran la cantidad y el tipo de alimento suministrado, manipulación de la fermentación ruminal, adición de compuestos con actividad biológica y procesos de conservación de forrajes (Burt, 2004; Chanthakhoun et al., 2011; Nagaraja et al., 1997; Primavesi et al., 2004). El manejo de estos factores se convierte en una alternativa para la disminución de la metanogénesis.





Conclusiones

AlimenTro da información sobre el valor nutricional de recursos forrajeros en contextos específicos, lo que permite al ganadero, al técnico y al profesional del agro tener una visión más amplia de las características nutricionales que puede esperar de los recursos forrajeros en las diferentes regiones de Colombia. Se consideran las diferentes condiciones geográficas, agroclimáticas y estados fisiológicos de la planta, lo cual sirve de oportunidad para el desarrollo de diferentes sistemas de alimentación en pastoreo local sostenibles y competitivos, que incentiven el uso adecuado de las praderas y eviten el sobrepastoreo.

En AlimenTro se puede identificar cada recurso alimenticio en el escenario nacional a partir de las unidades de producción y su georreferenciación, con un análisis histórico de la base disponible y de los avances de la literatura científica. El valor nutricional del forraje varía ampliamente en las diferentes condiciones del trópico; por tanto, unos análisis confiables, prácticos y precisos como los encontrados en AlimenTro se convierten en una herramienta invaluable para los

productores ganaderos al momento de tomar decisiones dentro de la gestión nutricional y alimenticia de sus hatos.

Referencias

- Arce, B. A., Peña, A. J., & Cárdenas, E. A. (2013). Sistema de apoyo a la toma de decisiones para la selección de especies forrajeras (STDF) en función de la oferta ambiental en Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 14(2), 215-229. https://doi.org/10.21930/rcta.vol14_num2_art:483
- Ariza-Nieto, C., Mayorga, O. L., Mojica, B., Parra, D., & Afanador-Tejeda, G. (2017). Use of LOCAL algorithm with near infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems in Colombia. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 26(1), 44-52. <https://doi.org/10.1177/0967033517746900>
- Beer, J., Ibrahim, M., Somarriba, E. J., Barrance, A., & Leakey, R. (2003). Establecimiento y manejo de árboles en sistemas agroforestales. En J. Cordero & D. Boshier (Eds.), *Árboles de Mesoamérica: un manual para extesionistas* (pp. 197-242). Oxford Forestry Institute - CATIE.
- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods - A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Calsamiglia, S. (1997). Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas de rumiantes. XIII Curso de Especialización FEDNA. <https://bit.ly/3iLX7Qr>
- Carmona, J. (2007). Efecto de la utilización de arbóreas y arbustivas forrajeras sobre la dinámica digestiva en bovinos. *Revista Lasallista de Investigación de Investigación*, 4(1), 40-50. <https://bit.ly/35O9yHX>

- Chanthakhoun, V., Wanapat, M., Wachirapakorn, C., & Wanapat, S. (2011). Effect of legume (*Phaseolus calcaratus*) hay supplementation on rumen microorganisms, fermentation and nutrient digestibility in swamp buffalo. *Livestock Science*, 140(1-3), 17-23. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.02.003>
- Cruz López, P. I., Garay, A. H., Enríquez Quiroz, J. F., Mendoza Pedroza, S. I., Quero Carrillo, A. R., & Joaquín Torres, B. M. (2011). Desempeño agronómico de genotipos de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickt en el trópico húmedo de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(2), 123-131. <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/34-2/7a.pdf>
- Cui, G., Li, B., He, W., Yin, X., Liu, S., Lian, L., Zhang, W., Liang, W., & Zhang, P. (2018). Physiological analysis of the effect of altitudinal gradients on *Leymus secalinus* on the Qinghai-Tibetan Plateau. *PLoS ONE*, 13(9), 1-13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202881>
- Del Pozo, P. (2002). Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. *Pastos*, 32(2), 109-137. <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/1314/1318>
- Delgado, D. C., La, O. O., & Chongo, B. (2007). Composición bromatológica y degradabilidad ruminal *in situ* de leguminosas tropicales herbáceas con perspectivas de uso en los sistemas productivos ganaderos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(4), 343-346. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193017712008>
- Escobar, M. A., Cárdenas, E. A., & Carulla, J. E. (2020). Effect of altitude and defoliation frequency in the quality and growth of kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 73(1), 9121-9130. <http://dx.doi.org/10.15446/rfnam.v73n1.77330>
- Escobar-Bahamondes, P., Oba, M., & Beauchemin, K. A. (2017). Universally applicable methane prediction equations for beef cattle fed high- or low-forage diets. *Canadian Journal of Animal Science*, 97(1), 83-94. <https://doi.org/10.1139/cjas-2016-0042>

- Flores, O. I., Bolívar, D., Botero, J. A., & Ibrahim, M. A. (1998). Parámetros nutricionales de algunas arbóreas leguminosas y no leguminosas con potencial forrajera para la suplementación de ruminantes en el trópico. *Livestock Research for Rural Development*, 10(1). <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/lrrd/lrrd10/1/cati101.htm>
- García, D. E. (2004). Principales factores antinutricionales de las leguminosas forrajeras y sus formas de cuantificación. *Pastos y Forrajes*, 27(2), 101-116. <https://bit.ly/3myP0Jk>
- Johnson, J. M.-F., Franzluebbers, A. J., Weyers, S. L., & Reicosky, D. C. (2007). Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environmental Pollution*, 150(1), 107-124. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.030>
- Kurihara, M., Magner, T., Hunter, R. A., & McCrabb, G. J. (1999). Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of Nutrition*, 81(3), 227-234.
- Lamb, J. F. S., Jung, H. J. G., Sheaffer, C. C., & Samac, D. A. (2007). Alfalfa leaf protein and stem cell wall polysaccharide yields under hay and biomass management systems. *Crop Science*, 47(4), 1407-1415. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.10.0665>
- León, R., Bonifaz, N., & Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador. Siembra y producción de pasturas*. Editorial Universitaria ABya-Yala.
- Martínez, D., Hernández, A., Enríquez, J., Pérez, J., González, S., & Herrera, J. (2008). Producción de forraje y componentes del rendimiento del pasto *Brachiaria humidicola* CIAT 6133 con diferente manejo de la defoliación. *Técnica Pecuaria México*, 46(4), 417-438.
- Mestra-Vargas, L. I., Barragán-Hernández, W., Medina-Herrera, D. A., & Flórez-Díaz, H. (2020). Evaluación técnica-económica de la frecuencia de suplementación de novillos en pastoreo en Córdoba, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 353-366. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v31i2.38389>

- Molano, M. (2012). *Caracterización nutricional de forrajes tropicales usando espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira]. Biblioteca Digital UN. <http://www.bdigital.unal.edu.co/10565/1/7409506.2012.pdf>
- Morillo, D. (1994). Efectos de la época seca sobre la producción forrajera y bovina. *Revista de Agronomía (LUZ)*, 11(2), 152-163. <https://produccion-cientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/25979/26605>
- Moss, A. R., & Givens, D. I. (1994). The chemical composition, digestibility, metabolisable energy content and nitrogen degradability of some protein concentrates. *Animal Feed Science and Technology*, 47(3-4), 335-351.
- Nagaraja, T., Newbold, C., Van Nevel, C., & Demeyer, D. (1997). Manipulation of ruminal fermentation. En P. N. Hobson, & C. S. Stewart (Eds.), *The Rumen Microbial Ecosystem* (pp. 523-632). Blackie Acad and Prof.
- Niu, M., Kebreab, E., Hristov, A. N., Oh, J., Arndt, C., Bannink, A., Bayat, A., Brito A., Boland, T., Casper, D., Crompton, L., Dijkstra, J., Eugéne, M., Garnsworthy, P., Haque, N., Hellwing, A., Huhtanen, P., Kreuzer, M., Kuhla, B., ... Yu, Z. (2018). Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database. *Global Change Biology*, 24(8), 3368-3389. <https://doi.org/10.1111/gcb.14094>
- Pirela, M. F. (2005). Valor nutritivo de los pastos tropicales. En C. González-Stagnaro, & E. Soto-Belloso (Eds.), *Manual de ganadería doble propósito* (pp. 283-290). Ediciones Astro Data, S. A. https://www.researchgate.net/profile/Judith_Petit_Aldana/publication/329197437_Manual_de_ganaderia_doble_proposito-_Capitulo_11/links/5bfc6ad5a6fdcc76e722aafd/Manual-de-ganaderia-doble-proposito-Capitulo-11.pdf
- Primavesi, O., Shiraishi, R., dos Santos, M., Aparecida, M., Teresinha, T., & Barbosa, P. (2004). Metano entérico de bovinos leiteiros em con-

dições tropicais brasileiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(3), 277-283. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000300011>

Rodríguez-Zamora, J., & Elizondo-Salazar, J. (2012). Consumo, calidad nutricional y digestibilidad aparente de Morera (*Morus alba*) y pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en cabras. *Agronomía Costarricense*, 36(1), 13-23.

Romero, M., Maldonado, J., Bogotá, J. D., Usama, S., Umaña, A. M., Murrillo, J., Restrepo, S., Alvarez, M., Palacios, M. T., Valbuena, S., Mejía, S. L., Aldana, J., & Payán, E. (2009). *Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2007-2008: piedemonte orinoquense, sabanas y bosques asociados al norte del río Guaviare*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Schalch, F. J., Schalch, E., Zanetti, M. A., & Brisola, M. L. (2001). Substituição do milho em grão moído pela polpa cítrica na desmama precoce de bezerros leiteiros. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(1), 280-285. https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-35982001000100039&script=sci_abstract&tlng=pt

Suzuki, T., Sommart, K., Anghong, W., Nguyen, T. V., Chaokaur, A., Nitipot, P., Phromlounsri, A., Cai, Y., Sakai, T., Nishida, T., Terada, F., & Kawashima, T. (2018). Prediction of enteric methane emission from beef cattle in Southeast Asia. *Animal science journal = Nihon chikusan Gakkaiho*, 89(9), 1287-1295. <https://doi.org/10.1111/asj.13058>

Unidad de Planeación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2020). *Cadena láctea colombiana. Análisis situacional cadena láctea*. http://www.andi.com.co/Uploads/20200430_DT_AnalSitLecheLarga_AndreaGonzalez.pdf

- Villamizar, I., Salgado, S., & Navarro, O. (2017). *Evaluación de diferentes frecuencias de corte a una altura de 30 cm en Pasto Guinea Mombaza (*panicum maximum*, jacq), en condiciones de sol y sombra natural influenciada por el dosel del árbol de camoano (*Pithecellobium saman*) en el municipio de Sampués, Sucre* [Tesis de pregrado, Universidad de Sucre]. Repositorio Unisucre. <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/587/1/T633.208%20%20V715.pdf>
- Wassie, W. A., Tsegay, B. A., Wolde, A. T., & Limeneh, B. A. (2018). Evaluation of morphological characteristics, yield and nutritive value of *Brachiaria* grass ecotypes in northwestern Ethiopia. *Agriculture and Food Security*, 7(89). <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0239-4>

Equipo de transferencia de tecnología

Angélica Rocío Lesmes Chavur

Investigadora Máster

Departamento de Mercadeo de Tecnología
Productos y Servicios. Sede Central

alesmes@agrosavia.co

Jenny Milena Moreno Rodríguez

Investigadora Máster

Departamento de Mercadeo de Tecnología
Productos y Servicios. Sede Central

jmoreno@agrosavia.co

Mayor información:

Departamento de Desarrollo de Negocios

Correo: atencionalcliente@agrosavia.co

Línea de atención nacional gratuita: 01 8000 12 15 15

www.agrosavia.co

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Centro de Investigación Tibaitatá.
Km 14 vía Mosquera-Bogotá, Cundinamarca.
Código postal 250047, Colombia.

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
<http://www.agrosavia.co/>



El campo
es de todos

Minagricultura

ISBN: 978-958-740-381-7



9 789587 403817