



Efecto del encalado y la edad de rebrote sobre la calidad nutricional y el crecimiento de asociaciones gramínea-leguminosa*

Effect of liming and regrowth age on the nutritional quality and growth of grass legume association

Javier Castillo-Sierra¹, Yesid Avellaneda-Avellaneda¹, Juan Carlos Benavides-Cruz¹,
Daniel Ricardo Torres-Cuesta¹, María Elena Duter-Nisivoccia², Juan de J. Vargasmartínez³

* Recepción: 29 de agosto, 2025. Aceptación: 20 de febrero, 2026. Esta investigación hizo parte del proyecto “Desarrollo de estrategias para el fortalecimiento y soporte de la cadena de valor láctea de Colombia basadas en las experiencias de Nueva Zelanda”, ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia y el Ministerio de Relaciones Exteriores y Comercio de Nueva Zelanda.

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Mosquera, Colombia. jcastillos@agrosavia.co (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0003-0797-3908>); yavellaneda@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0003-2471-5863>); jbenavidez@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0003-1293-8242>); dtorres@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0001-9101-0543>).

² Seed Force Ltd. Canterbury & West Coast. Christchurch, Nueva Zelanda. latinlincuru@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-3514-3020>).

³ Colorado State University, Department of Animal Sciences, AgNext. Colorado, Estados Unidos. juan.vargasmartinez@colostate.edu (<https://orcid.org/0000-0002-7674-3850>).

Resumen

Introducción. En el trópico alto colombiano la producción lechera bovina depende del forraje; por ello, es crucial desarrollar estrategias de alimentación eficientes y sostenibles en sistemas productivos bovinos. **Objetivo.** Evaluar el efecto del encalado y la edad de rebrote sobre el crecimiento y la composición botánica y química de asociaciones gramínea-leguminosa en los periodos seco y lluvioso en el trópico alto colombiano. **Materiales y métodos.** El experimento se realizó en el Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en Mosquera, Colombia, entre enero y diciembre de 2018. Se midieron la tasa diaria de crecimiento y la composición química y botánica de diez asociaciones gramínea-leguminosa. El experimento se realizó mediante un diseño de parcelas subsubdivididas. Los datos se analizaron de acuerdo con el periodo climático y las medias ajustadas se compararon mediante la prueba de Tukey. **Resultados.** Encalar con 6 t ha⁻¹ optimizó la tasa diaria de crecimiento de las asociaciones gramínea-leguminosa bajo cualquier periodo de evaluación ($p < 0,05$). Estas asociaciones presentaron un balance entre la tasa diaria de crecimiento y la composición química entre 35 y 45 días de edad de rebrote. La inclusión de leguminosas garantizó, en la mayoría de las asociaciones, niveles de proteína cruda superiores al 20 % y fibra detergente neutra por debajo de 50 % ($p < 0,05$). Algunas asociaciones gramínea-leguminosa mantuvieron niveles de proteína cruda superiores al 20 % a los 60 días de edad de rebrote ($p < 0,05$). **Conclusiones.** El encalado y la inclusión de leguminosas mejoraron la tasa diaria de crecimiento y la concentración de proteína cruda durante los periodos evaluados, y establecieron un intervalo óptimo de utilización entre los 35 y 45 días de edad de rebrote.

Palabras clave: tasa de crecimiento, composición botánica, raigrás, azul orchoro, tréboles, proteína cruda.



Agronomía Mesoamericana es desarrollada en la Universidad de Costa Rica bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escriba a pccmca@ucr.ac.cr o pccmca@gmail.com

Abstract

Introduction. In the Colombian highlands, bovine dairy production depends on forage; therefore, it is crucial to develop efficient and sustainable feeding strategies for bovine production systems. **Objective.** To evaluate the effect of liming and regrowth age on the growth rate and botanical and chemical composition of grass-legume associations during the dry and rainy seasons in the Colombian highlands. **Material and methods.** The experiment was conducted at the Tibaitatá Research Center of the Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), in Mosquera, Colombia, from January to December 2018. The daily growth rate and the chemical and botanical composition of ten grass-legume associations were measured. The experiment was conducted using a split-split-plot design. Data were analyzed according to climatic periods, and adjusted means were compared using Tukey's test. **Results.** Applying 6 t ha⁻¹ of lime optimized the daily growth rate of grass-legume associations under all evaluation periods ($p < 0.05$). The grass-legume associations showed a balance between daily growth rate and chemical composition between 35 and 45 days of regrowth age. The inclusion of legumes guaranteed crude protein levels above 20 % in most grass-legume associations and neutral detergent fiber below 50 % ($p < 0.05$). Certain grass-legume associations exhibited crude protein levels exceeding 20 % at 60 days of regrowth age ($p < 0.05$). **Conclusions.** Liming and the inclusion of legumes improved the daily growth rate and crude protein concentration during the evaluated periods, establishing an optimal utilization interval between 35 and 45 days of regrowth age.

Keywords: growth rate, botanical composition, ryegrass, orchardgrass, clovers, crude protein.

Introducción

En el trópico alto colombiano, la lechería presenta heterogeneidad productiva, con un promedio nacional de 10,65 L vaca⁻¹ día⁻¹ (González Cárdenas et al., 2022); no obstante, diversas ganaderías bajo sistemas de pastoreo tradicional registran producciones inferiores. Esta brecha se asocia a la interacción entre variables ambientales y de manejo, entre las que destacan la falta de alternativas forrajeras y la dependencia del pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) (Carulla & Ortega, 2016; Castillo et al., 2019; Vargas Martínez et al., 2018). Esta gramínea presenta estacionalidad y susceptibilidad a la chinche de los pastos (*Collaria* sp.) (Barreto Triana, 1999) y a las heladas (Vargas Martínez et al., 2018), lo que reduce la producción y provoca la ineficiencia de recursos y degradación de praderas (Avellaneda Avellaneda et al., 2020).

Las asociaciones gramínea-leguminosa (AGL), que incluyen especies como raigrases (*Lolium* sp.), azul orchoro (*Dactylis glomerata*) y tréboles (*Trifolium* sp.), ofrecen ventajas sobre los monocultivos, al mejorar la composición química de la pradera, la salud edáfica y la productividad. Su implementación reduce la emisión de gases de efecto invernadero y la dependencia de nitrógeno, lo que aumenta la digestibilidad en el animal (Boddey et al., 2020; Gere et al., 2024; Jezequel et al., 2024; Nyfeler et al., 2024; Pereira Neto et al., 2024; Singh et al., 2023). El éxito de las AGL radica en la selección de especies por adaptación, ploidía, persistencia, productividad y composición química (Caradus & Chapman, 2025). Sin embargo, la acidez del suelo (pH < 5,5) y la topografía representan un desafío.

La salud del suelo es clave para establecer praderas en sistemas productivos lecheros (Schon et al., 2024). La acidez edáfica restringe la disponibilidad de nutrientes y genera efectos fitotóxicos por exceso de aluminio, lo que afecta el desarrollo adecuado de las praderas (Hajiboland et al., 2023; Moro Flores et al., 2024; Singh et al., 2017; Zhang et al., 2019). El encalado representa una estrategia para neutralizar el efecto del aluminio intercambiable y mejorar la disponibilidad de nutrientes para el desarrollo vegetal (Huang et al., 2020). Esta práctica favorece la

calidad y conservación del suelo (Li et al., 2019) e incrementa el rendimiento productivo y nutritivo de los forrajes y la producción animal (Moro Flores et al., 2024).

En las pasturas, a mayor producción de materia seca (MS) con la edad de rebrote (ER), menor es la concentración de proteína y digestibilidad del forraje (Van Soest, 1994), debido al aumento de la pared celular y lignina (Hall & Mertens, 2017). La ER también modifica la composición botánica y la morfología de la pradera (Vallejos-Cacho et al., 2024). En este contexto, ofrecer recomendaciones para el manejo de AGL implica identificar el momento óptimo de cosecha que equilibre la productividad y la composición química del forraje en diferentes periodos del año. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del encalado y la edad de rebrote sobre el crecimiento y la composición botánica y química de asociaciones gramínea-leguminosa en los periodos seco y lluvioso en el trópico alto colombiano.

Materiales y métodos

Localización

El experimento se realizó en el Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), ubicado en Mosquera, Cundinamarca, Colombia (4°41'11"N, 74°12'36"E; 2543 m s. n. m., topografía plana). Se utilizó un área experimental de 1200 m², incluidos los pasillos entre parcelas. El periodo abarcó un año (2018) y se dividió en dos periodos de lluvia: marzo a junio y octubre a diciembre. En 2018, la precipitación superó el promedio histórico en abril (27,3 %) y mayo (50,5 %). La temperatura mínima promedio fue de 7,25 °C y la máxima de 20 °C (Figura 1).

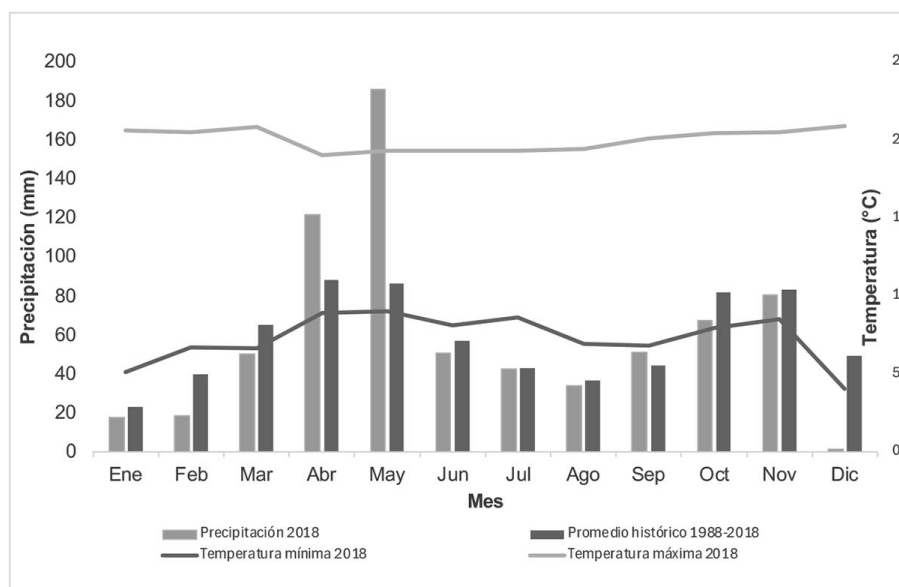


Figura 1. Precipitación y temperatura (máxima y mínima) en el año 2018, y precipitación mensual promedio (1988-2018). Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Colombia.

Figure 1. Precipitation and temperature (maximum and minimum) in 2018 and average monthly precipitation (1988-2018). Tibaitatá Research Center, Mosquera, Colombia.

Toma de muestras de suelo y tratamientos de cal

Para caracterizar el suelo del área experimental, se tomó una muestra de 1 kg, obtenida a partir de 12 submuestras recolectadas a 20 cm de profundidad con un barreno holandés en una zona representativa. Esta se envió al laboratorio de suelos de AGROSAVIA, para determinar el pH y la concentración de nutrientes. El pH resultó ácido (Cuadro 1), por lo que se decidió evaluar tres dosis de cal viva 0, 3 y 6 t ha⁻¹ (Osorno Henao, 2012). La cal se aplicó de manera manual y uniforme sobre el suelo; luego se incorporó con un motocultor.

Cuadro 1. Análisis químico del suelo utilizado durante el experimento. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Colombia. Agosto de 2017.

Table 1. Chemical analyses of the soils used during the experimental evaluation. Tibaitatá Research Center, Mosquera, Colombia. August 2017.

Textura	pH	MO	P	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Al	Ca	Mg	K	Na	CIC**
		%			mg kg ⁻¹							cmol kg ⁻¹			
Limoso	5,4	9,8	56,8	71,9	1588	10	32	6,3	0,4	0,2	6,4	2,5	0,5	0,2	9,8

MO: Materia orgánica. ****CIC:** Capacidad de intercambio catiónico. / ***MO:** Organic matter. ****CIC:** Cation exchange capacity.

Materiales vegetales evaluados, tratamientos y densidades de siembra

Los materiales evaluados fueron raigrases anuales (*Lolium multiflorum*), raigrases híbridos (*Lolium hybridum*), raigrases perennes (*Lolium perenne*), pasto azul orchoro (*Dactylis glomerata*) y leguminosas como trébol blanco (*Trifolium repens*) y trébol rojo (*Trifolium pratense*). Se utilizó semilla comercial importada con pureza del 95 % y porcentaje de germinación superior al 85 %. La densidad de siembra de cada tratamiento se ajustó a las recomendaciones de las casas comerciales y trabajos previos de AGROSAVIA (Cuadro 2).

Cuadro 2. Proporciones de materiales utilizados en las parcelas experimentales de asociaciones de gramínea-leguminosa evaluadas. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Colombia. Enero-diciembre, 2018.

Table 2. Proportion of grass-legume association used in the experimental design. Tibaitatá Research Center, Mosquera, Colombia. January-December 2018.

Asociación gramínea- leguminosa	Gramíneas kg ha ⁻¹						Leguminosas kg ha ⁻¹		Total kg ha ⁻¹
	Raigrás anual	Raigrás híbrido	Raigrás perenne		Pasto azul orchoro		Trébol blanco	Trébol rojo	
	Tetraploide	Tetraploide	Diploide	Tetraploide	Diploide	Tetraploide			
RaPeTeTb	-	-	-	25	-	-	5	-	30
RaPeTeTr	-	-	-	25	-	-	-	5	30
RaPeTeTbTr	-	-	-	20	-	-	5	5	30
AzDiTbTr	-	-	-	-	20	-	5	5	30
RanTeRhAzDiTr	9	15	-	-	3	-	-	3	30
RaPeDiTb	-	-	25	-	-	-	5	-	30
RaPeDiTr	-	-	25	-	-	-	-	5	30
RaPeDiTbTr	-	-	20	-	-	-	5	5	30
AzTeTbTr	-	-	-	-	-	20	5	5	30
RanRhAzDiTr	12	12	-	-	4,5	-	-	1,5	30

La siembra se realizó en noviembre de 2017. Las semillas de cada tratamiento se distribuyeron al voleo en parcelas de 4 m² y se taparon mediante rastrillo manual. Se aplicó una fertilización inicial de 50 kg ha⁻¹ de N, 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 20 kg ha⁻¹ de K₂O. El periodo de establecimiento finalizó en enero de 2018, cuando las parcelas alcanzaron una cobertura vegetal del 90 %, seguido de un corte de uniformización a 5 cm de suelo.

Preparación del terreno

La preparación del terreno inició tres meses antes de la siembra y comprendió la aplicación de un herbicida no selectivo (1,5 L ha⁻¹ N-fosfometil-glicina). Luego, se realizó la mecanización del suelo con dos pases de cincel rígido, seguido de dos pases de rastrillo californiano. La etapa final consistió en la remoción manual de los estolones de pasto Kikuyo y otras arvenses presentes.

Tiempos de cosecha

Se seleccionaron cuatro edades de rebrote: 20, 35, 45 y 60 días para identificar puntos óptimos de orden biológico y productivo. Esta elección permitió optimizar los recursos económicos y la logística de campo, lo que garantizó resultados técnicos sólidos y comparables y evitó complicaciones operativas de las variables morfológicas como el filocrono o el número de hojas. La masa herbácea se cosechó manualmente con una hoz a 5 cm del suelo en un marco fijo de 0,25 m².

Variables evaluadas

Para determinar la tasa diaria de crecimiento (TDC), se cortó la masa herbácea dentro de un marco fijo de 0,25 m², se pesó en fresco y se tomó una muestra de 100 g. Esta muestra se secó a 65 °C por 48 h para obtener el peso seco. La TDC se calculó dividiendo la masa herbácea (kg ha⁻¹ MS) por la ER (días) de cada sub-subparcela. Se recolectaron otros 100 g de muestra de cada sub-subparcela para determinar la composición botánica. La muestra se separó por especie (gramínea, leguminosa o arvenses) y material senescente. Cada fracción se pesó y se secó para determinar la proporción de cada componente.

Se enviaron 100 g de cada muestra seca de forraje al laboratorio de nutrición animal. El análisis empleó espectroscopia de reflectancia de infrarrojo cercano para cuantificar la proteína cruda (PC) y la fibra detergente neutra. Este procedimiento siguió el protocolo descrito por Ariza-Nieto et al. (2018).

Diseño y análisis experimental

Se empleó un diseño de parcelas sub-subdivididas con tres repeticiones y 360 unidades experimentales. Las parcelas principales correspondieron a tres dosis de cal: 0, 3 y 6 t ha⁻¹. Cada parcela principal, con un área de 40 m², se subdividió en 10 subparcelas (4 m² cada una) correspondientes a las 10 AGL (Cuadro 2), con 1 m de distancia entre ellas. A su vez, cada subparcela se dividió en cuatro sub-subparcelas (1 m² cada una) que representaron las cuatro ER (20, 35, 45 y 60 días). Los datos fueron analizados con el programa RStudio 4.1.2 con el paquete “agricolae”. Las medias ajustadas se compararon a través de la prueba de Tukey con una significancia de 5 %.

Resultados

Dosis de cal, edad de rebrote y composición botánica para el periodo lluvioso

La aplicación de 6 t ha⁻¹ de cal incrementó ($p < 0,05$) la tasa diaria de crecimiento con un promedio de 83 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS. La mayor TDC se registró en RaPeTeTbTr con 88,6 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS, seguido de RaPeDiTbTr, RaPeTeTr, RanTeRhAzDiTr y RaPeDiTr (88,4, 86, 83,9 y 83,6 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS, respectivamente). Los valores más bajos se observaron en RaPeDiTb, AzDiTbTr, RaPeTeTb y RanRhAzDiTr (72, 75,4, 75,7 y 77 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS, respectivamente).

En cuanto a la composición botánica, la asociación RaPeTeTb mostró mayor proporción de gramíneas (77,8 %) y menor de leguminosas (8,9 %). Por el contrario, AzTeTbTr registró el mayor contenido de leguminosas (44,2 %) y menor proporción de gramíneas (47,4 %). La ER influyó sobre la productividad y la composición botánica. La TDC aumentó de 65 a 100 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS al extender el periodo de 20 a 60 días. En este lapso la proporción de gramíneas disminuyó conforme avanzó la ER, pasando de un 68,0 a 46,2 %. La participación de leguminosas y del material senescente mostró una tendencia ascendente, alcanzando sus valores máximos a los 45 y 60 días de ER (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variables agronómicas evaluadas sobre el efecto de la aplicación de cal, la asociación gramínea-leguminosa y cuatro edades de rebrote en el periodo lluvioso. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Colombia. Enero-diciembre de 2018.

Table 3. Agronomic variables evaluated on the effect of the application of lime, grass-legume association, and four regrowing ages in rainy season. Tibaitatá Research Center, Mosquera, Colombia. January-December 2018.

Factor	Tasa diaria de crecimiento (kg ha ⁻¹ día ⁻¹ MS)	Gramínea	Leguminosa (%)	Material senescente
Dosis de cal (t ha⁻¹)				
0	78 b	57,5 b	32,3	3,7 b
3	81 ab	57,6 b	29,4	3,3 b
6	83 a	62,0 a	28,0	4,5 a
EEM	1,6	1,2	0,8	0,2
Asociación gramínea-leguminosa				
RaPeTeTb	75,7 cd	77,8 a	8,9 d	4,9 ab
RaPeTeTr	86,0 ab	63,5 cd	31,4 ab	2,9 cd
RaPeTeTbTr	88,6 a	62,4 de	30,0 b	3,1 cd
AzDiTbTr	75,4 d	51,3 g	37,2 ab	5,6 a
RanTeRhAzDiTr	83,9 ab	61,1 e	30,2 ab	4,0 bcd
RaPeDiTb	72,0 d	72,7 b	13,6 cd	4,1 bc
RaPeDiTr	83,6 ab	53,5 f	39,2 ab	2,7 d
RaPeDiTbTr	88,4 ab	53,3 f	38,2 ab	3,0 cd
AzTeTbTr	81,1 bc	47,4 h	44,2 a	4,0 bcd
RanRhAzDiTr	77,0 cd	64,1 c	26,3 bc	3,9 bcd
EEM	2,9	0,4	1,4	0,4
Edad de rebrote (días)				
20	65 c	68,0 a	24,1 b	1,4 d
35	87 b	64,3 b	27,5 b	3,6 c
45	97 a	46,2 c	41,7 a	6,8 b
60	100 a	46,2 c	40,3 a	8,7 a
EEM	1,32	0,2	1	0,19

^{abcd} Letras diferentes dentro de las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$). **EEM:** Error estándar de la media. / ^{abcd} Different letters within columns represent significant differences ($p < 0,05$). **EEM:** Standard error of the mean.

Proteína cruda y fibra detergente neutra de las AGL para el periodo lluvioso

La PC presentó valores idénticos en las dosis de 0 y 3 t ha⁻¹ y una disminución en 6 t ha⁻¹ (21,9 %; $p < 0,05$). AzTeTbTr registró el mayor contenido de PC (24,5 %), mientras que RaPeTeTb (19,9 %) y RaPeDiTb (20,1 %) reportaron los valores más bajos. El contenido de PC disminuyó conforme aumentó la ER, con un máximo de 23,0 % a los 20 días y un mínimo de 19,2 % a los 60 días.

El contenido de fibra detergente neutra (FDN) no varió entre tratamientos. Las AGL RaPeTeTb y RaPeDiTb exhibieron las concentraciones más altas (48,6 y 47,4 %, respectivamente), mientras que el resto se mantuvieron en un rango inferior (42,8 a 44,4 %). La FDN no mostró diferencias estadísticas por efecto de la ER (Cuadro 4).

Cuadro 4. Composición química evaluada sobre el efecto de la aplicación de cal, la asociación gramínea-leguminosa y cuatro edades de rebrote en el periodo lluvioso. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Colombia. Enero-diciembre de 2018.

Table 4. Nutrient composition variables evaluated on the effect of the application of lime, grass-legume association, and four regrowing ages in rainy season. Tibaitatá Research Center, Mosquera, Colombia. January-December 2018.

Factor	Proteína cruda	Fibra detergente neutra
	(%)	(%)
Dosis de cal (t ha⁻¹)		
0	22,3 a	44,2
3	22,3 a	44,1
6	21,9 b	44,9
EEM	0,1	0,2
Asociación gramínea-leguminosa		
RaPeTeTb	19,9 e	48,6 a
RaPeTeTr	22,2 c	44,0 b
RaPeTeTbTr	22,4 c	43,6 b
AzDiTbTr	23,8 b	43,9 b
RanTeRhAzDiTr	22,5 c	43,4 b
RaPeDiTb	20,1 c	47,4 a
RaPeDiTr	22,4 c	42,9 b
RaPeDiTbTr	22,4 c	43,2 b
AzTeTbTr	24,5 a	42,8 b
RanRhAzDiTr	21,5 d	44,4 b
EEM	0,25	0,35
Edad de rebrote (días)		
20	23,0 a	43,9
35	22,1 b	44,2
45	20,9 c	44,6
60	19,2 d	44,7
EEM	0,08	0,13

^{abcd} Letras diferentes dentro de las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$). **EEM:** Error estándar de la media. / ^{abcd} Different letters within columns represent significant differences ($p < 0.05$). **EEM:** Standard error of the mean.

Dosis de cal, edad de rebrote y composición botánica para el periodo seco

La TDC aumentó conforme se incrementó la dosis de cal (DC) y alcanzó el valor máximo de 6 t ha⁻¹ (36,4 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS). No se presentaron cambios significativos ($p > 0,05$) en los porcentajes de gramíneas y leguminosas ante los niveles de DC. El material senescente fue superior en el tratamiento de 6 t ha⁻¹ (3,7 %) en comparación con los niveles de 0 y 3 t ha⁻¹ ($p < 0,05$).

La mayor TDC correspondió a la AGL RaPeDiTbTr con 41,8 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS, similar a RaPeDiTr, AzTeTbTr y RaPeTeTr. Las menores TDC las presentaron RaPeTeTb y RaPeDiTb (26,3 y 28,2 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS, respectivamente). En la composición botánica, RaPeTeTb alcanzó la proporción más alta de gramíneas (79,8 %), mientras que AzTeTbTr mostró el mayor contenido de leguminosas (49,6 %). Los valores máximos de material senescente se cuantificaron en AzDiTbTr (4,8 %) y RaPeDiTb (4,3 %).

La ER influyó en todas las variables. La TDC mostró una relación directa con la edad de la planta y alcanzó su máximo a los 60 días (49,1 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS). La proporción de gramíneas fue de 64,1 % a los 20 días y cercana al 55 % entre los 35 y 60 días. Por el contrario, el porcentaje de leguminosas fue menor a los 20 días (25,6 %) y mostró niveles superiores al 32 % partir del día 35. El material senescente alcanzó su mayor expresión a los 35 días (9,1 %) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Variables agronómicas evaluadas sobre el efecto de la aplicación de cal, la asociación gramínea-leguminosa y cuatro edades de rebrote en periodo seco. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Colombia. Enero-diciembre de 2018.

Table 5. Agronomic variables evaluated on the effect of the application of lime, grass-legume association, and four regrowing ages, in dry season. Tibaitatá Research Center, Mosquera, Colombia. January-December 2018.

Factor	Tasa diaria de crecimiento (kg ha ⁻¹ día ⁻¹ MS)	Gramínea	Leguminosa (%)	Material senescente
Dosis de cal (t ha⁻¹)				
0	34,7 b	62,0	33,5	2,8 b
3	35,1 ab	58,3	31,4	3,0 b
6	36,4 a	58,1	28,6	3,7 a
EEM	1,17	1,23	0,84	0,22
Asociación gramínea-leguminosa				
RaPeTeTb	26,3 e	79,8 a	6,00 e	4,0 ab
RaPeTeTr	41,0 ab	63,0 b	30,8 cd	2,5 cd
RaPeteTbTr	39,1 b	61,3 b	31,5 cd	3,9 cd
AzDiTbTr	33,5 cd	47,2 cd	41,1 ab	4,8 a
RanTeRhAzDiTr	33,7 c	62,6 b	30,6 cd	2,9 cd
RaPeDiTb	28,2 e	73,6 a	12,6 e	4,3 a
RaPeDiTr	39,6 ab	51,3 c	42,6 ab	2,0 d
RaPeDiTbTr	41,8 a	52,1 c	39,4 bc	2,2 cd
AzTeTbTr	39,7 ab	41,8 d	49,6 a	3,1 bc
RanRhAzDiTr	31,0 d	61,9 b	27,4 d	3,1 bc
EEM	2,1	2,17	2,01	0,4
Edad de rebrote (días)				
20	24,8 d	64,1 a	25,6 b	1,4 b
35	30,8 c	57,0 b	36,5 a	9,1 a
45	46,4 b	56,6 b	35,9 a	6,8 a
60	49,1 a	54,9 b	32,5 a	8,7 a
EEM	0,02	1,14	1,1	0,43

^{abcd} Letras diferentes dentro de las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$). **EEM:** Error estándar de la media. / ^{abcd} Different letters within columns represent significant differences ($p < 0,05$). **EEM:** Standard error of the mean.

Proteína cruda y fibra detergente neutra de las AGL para el periodo seco

El incremento en la DC afectó en la PC y FDN. La PC disminuyó de 21,5 a 21,1 % al aumentar la dosis de 0 a 6 t ha⁻¹ ($p < 0,05$), mientras que la FDN alcanzó su valor máximo con 6 t ha⁻¹ (45,5 %). Los niveles más altos de PC se registraron en AzTeTbTr (23,5 %) y AzDiTbTr (23,1 %), superando a las otras asociaciones ($p < 0,05$). Las mezclas RaPeDiTb y RaPeTeTb presentaron los valores más bajos de PC (19,1 y 19,5 %, respectivamente) y los más altos de FDN (47,9 y 48,3 %). La PC disminuyó de 21,9 a 19,8 % entre los días 20 y 60 de ER. La FDN aumentó de 44,2 a 47,2 % (Cuadro 6).

Cuadro 6. Composición química evaluada sobre el efecto de la aplicación de cal, la asociación gramínea-leguminosa y cuatro edades de rebrote en periodo seco. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Colombia. Enero-diciembre de 2018.

Table 6. Nutrient composition variables evaluated on the effect of the application of lime, grass-legume association, and four regrowing ages, in dry season. Tibaitatá Research Center, Mosquera, Colombia. January-December 2018.

Factor	Proteína cruda	Fibra detergente neutra
	(%)	
Dosis de cal (t ha ⁻¹)		
0	21,5 a	44,4 b
3	21,3 ab	44,7 b
6	21,1 b	45,5 a
EEM	0,14	0,22
Asociación gramínea-leguminosa		
RaPeTeTb	19,5 d	48,3 a
RaPeTeTr	21,5 b	44,1 bcd
RaPeTeTbTr	21,5 b	44,5 b
AzDiTbTr	23,1 a	43,9 bcd
RanTeRhAzDiTr	21,2 bc	44,2 bc
RaPeDiTb	19,1 d	47,9 a
RaPeDiTr	21,8 b	43,3 d
RaPeDiTbTr	21,2 bc	44,2 c
AzTeTbTr	23,5 a	43,4 bcd
RanRhAzDiTr	20,6 c	44,7 b
EEM	0,24	0,39
Edad de rebrote (días)		
20	21,9 b	44,2 c
35	22,5 a	42,8 d
45	20,5 c	45,9 b
60	19,8 d	47,2 a
EEM	0,12	0,19

^{abcd} Letras diferentes dentro de las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$). **EEM:** Error estándar de la media. / ^{abcd} Different letters within columns represent significant differences ($p < 0,05$). **EEM:** Standard error of the mean.

Efecto de la dosis de cal sobre la tasa diaria de crecimiento

La TDC varió en función de la dosis de cal. En el periodo lluvioso, la aplicación de diferentes DC generó diferencias significativas ($p < 0,05$) para AzDiTbTr, RaPeTeTb y RaPeTeTr. Las mayores TDC se obtuvieron con la aplicación de 6 t ha⁻¹ de cal, con registros de 83,0, 81,4 y 91,85 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS, respectivamente, mientras que las más bajas se registraron con la aplicación de 0 t ha⁻¹ en AzDiTbTr y RaPeTeTb (68,2 y 64,1 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS, respectivamente).

Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la tasa de crecimiento de las asociaciones con las DC de 0 y 6 t ha⁻¹. RaPeTeTr con 0 t ha⁻¹ presentó la mayor TDC (90,0 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS), mientras que RaPeTeTb mostró la menor (64,2 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS). Con la DC de 6 t ha⁻¹, la RaPeDiTbTr reportó la mayor TDC (92,7 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS) respecto a RaPeDiTb, que exhibió la menor (70,1 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS) (Figura 2).

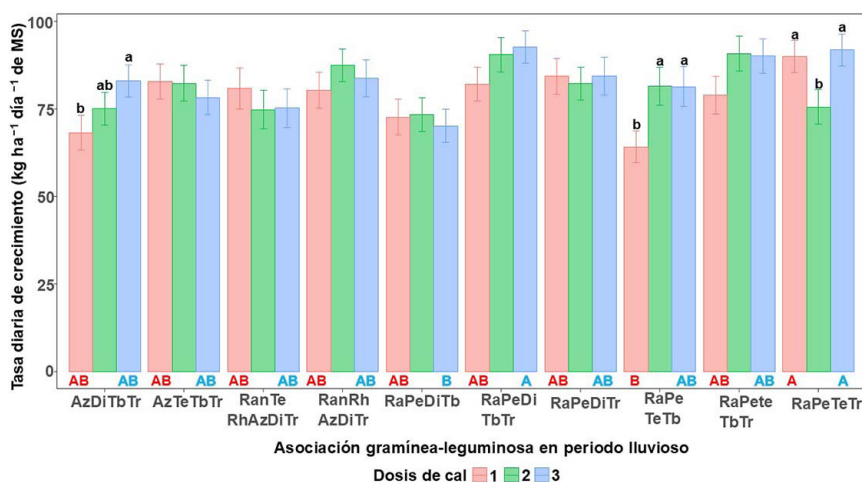


Figura 2. Efecto de la dosis de cal y la asociación gramínea-leguminosa (AGL) en la tasa diaria de crecimiento durante el periodo lluvioso. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Colombia. Enero-diciembre de 2018.

Dosis de cal 1 = 0 t ha⁻¹; dosis de cal 2 = 3 t ha⁻¹; dosis de cal 3 = 6 t ha⁻¹. Letras mayúsculas presentan diferencias significativas para la AGL de cada dosis de cal.

Figure 2. Effect of lime doses and grass-legume association (AGL) on daily growth rate during the rainy season. Tibaitatá Research Center, Mosquera, Colombia. January-December 2018.

Lime dose 1 = 0 t ha⁻¹; lime dose 2 = 3 t ha⁻¹; lime dose 3 = 6 t ha⁻¹. Capital letters represent significant differences between AGL for each lime dose.

En el periodo seco, la aplicación de distintas DC presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) en la TDC para las AGL AzDiTbTr, RanTeRhAzDiTr, RaPeTeTb y RaPeTeTr. Las mayores TDC en estas AGL se obtuvieron con 6 t ha⁻¹ de cal, con registros de 41,3, 36,8, 32,2 y 48,3 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS, respectivamente. Las más bajas se registraron con 0 t ha⁻¹, con un mínimo de 22,0 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS en RaPeTeTb.

Las asociaciones dentro de cada DC, también evidenciaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en las tres DC evaluadas. Con la 0 t ha⁻¹, RaPeTeTr mostró la mayor TDC (48,3 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS) y RaPeTeTb (22,0 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS) el valor más bajo. Con 3 t ha⁻¹, RaPeDiTbTr exhibió el mayor valor (42,3 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS) y RaPeTeTb presentó el menor (25,0 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS) (Figura 3).

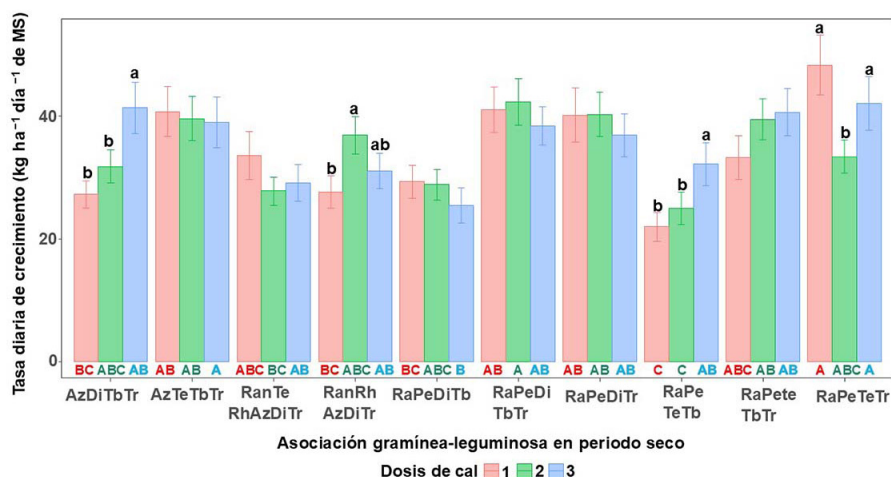


Figura 3. Efecto de la dosis de cal y la asociación gramínea-leguminosa (AGL) en la tasa diaria de crecimiento durante el periodo seco. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Colombia. Enero-diciembre de 2018.

Dosis de cal 1 = 0 t ha⁻¹; dosis de cal 2 = 3 t ha⁻¹; dosis de cal 3 = 6 t ha⁻¹. Letras mayúsculas presentan diferencias significativas para la AGL de cada dosis de cal.

Figure 3. Effect of lime doses and grass-legume association (AGL) on daily growth rate during the dry season. Tibaitatá Research Center, Mosquera, Colombia. January-December 2018.

Lime dose 1 = 0 t ha⁻¹; lime dose 2 = 3 t ha⁻¹; lime dose 3 = 6 t ha⁻¹. Capital letters represent significant differences between AGL for each lime dose.

Efecto de la edad de rebrote sobre la tasa diaria de crecimiento, composición química y la proporción de leguminosas

La TDC varió según la edad de rebrote durante el periodo lluvioso. A los 20 días, todas las AGL registraron los valores mínimos de TDC, con diferencias estadísticas respecto a las demás ER. Entre los 35 y 60 días, RanRhAzDiTr, RanTeRhAzDiTr, RaPeDiTb y RaPeTeTb no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$). AzDiTbTr alcanzó una TDC de 98,5 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS a los 45 días, con una disminución a partir de los 60 días (83,5 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS). AzTeTbTr, RaPeDiTbTr, RaPeDiTr, RaPeTeTbTr y RaPeTeTr no mostraron diferencias significativas entre los 45 y 60 días de ER (Figura 4).

En el periodo seco, la tasa de crecimiento fue inferior a la del periodo lluvioso. Bajo condiciones de sequía, la TDC varió según la ER. El avance en la ER de las AGL generó un incremento en la TDC. Entre los 20 y 35 días, todas las asociaciones registraron los valores mínimos de TDC, con diferencias estadísticas respecto a las otras ER. RanRhAzDiTr y RaPeTeTbTr presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los 45 y 60 días, mientras que el resto no variaron significativamente ($p > 0,05$).

El análisis de la TDC de cada asociación por cada ER fue diferente ($p < 0,05$) a los 35 y 45 días de ER. A los 35 días, RaPeTeTr y RaPeDiTbTr presentaron los valores más altos (38,9 y 38,5 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS, respectivamente), mientras que el menor valor se observó en RaPeTeTb (18,8 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS). A los 45 días, RaPeTeTr registró la mayor TDC (58,4 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS), y RaPeTeTb y RanRhAzDiTr, los valores más bajos (32,2 y 31,9 kg ha⁻¹ día⁻¹ de MS, respectivamente) (Figura 5).

Durante las lluvias la proteína cruda disminuyó en todas las AGL a medida que la ER avanzaba. Entre los 35 y 45 días de ER, la mayoría de las asociaciones mantuvo niveles superiores al 20 %, con excepción de RanRhAzDiTr, RaPeDiTb y RaPeTeTb, que presentaron valores por debajo del 20 %.

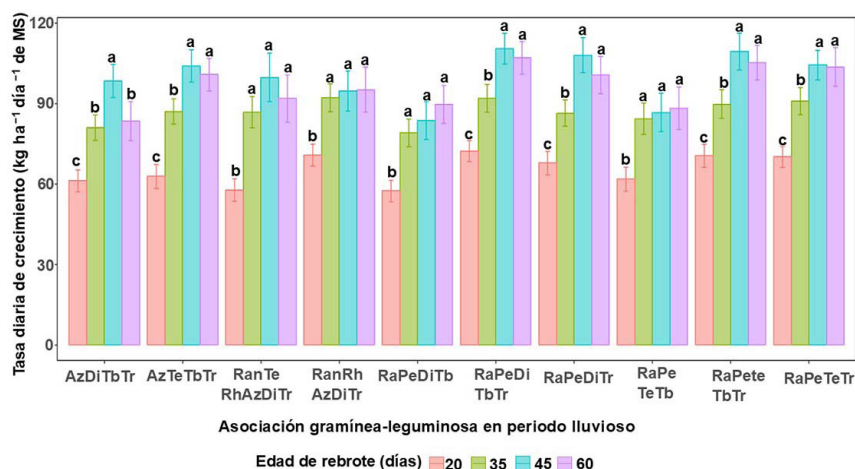


Figura 4. Efecto de la edad de rebrote y la asociación gramínea-leguminosa (AGL) en la tasa diaria de crecimiento durante el periodo lluvioso. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Colombia. Enero-diciembre de 2018.

Letras minúsculas dentro de la columna presentan diferencias significativas para la edad de rebrote en cada AGL ($p < 0,05$). Letras mayúsculas presentan diferencias significativas para la AGL de cada dosis de cal.

Figure 4. Effect of regrowth age and grass-legume association (AGL) on daily growth rate during the rainy season. Tibaitatá Research Center, Mosquera, Colombia. January-December 2018.

Lowercase letters within the column represent significant differences for lime doses in each AGL ($p < 0.05$). Capital letters represent significant differences between AGL for each lime dose.

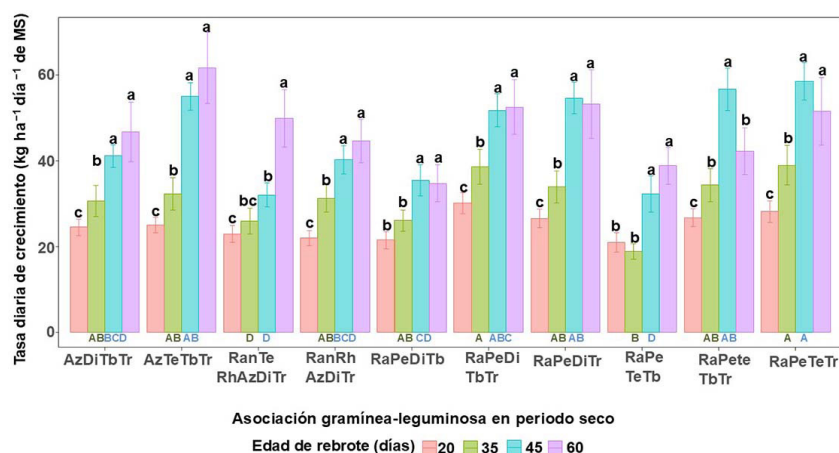


Figura 5. Efecto de la edad de rebrote y la asociación gramínea-leguminosa (AGL) en la tasa diaria de crecimiento durante el periodo seco. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Colombia. Enero-diciembre de 2018.

Letras minúsculas dentro de la columna presentan diferencias significativas para la edad de rebrote en cada AGL ($p < 0,05$). Letras mayúsculas presentan diferencias significativas para la AGL de cada dosis de cal.

Figure 5. Effect of regrowth age and grass-legume association (AGL) on daily growth rate during the dry season. Tibaitatá Research Center, Mosquera, Colombia. January-December 2018.

Lowercase letters within the column represent significant differences for lime doses in each AGL ($p < 0.05$). Capital letters represent significant differences between AGL for each lime dose.

A los 20 días, AzDiTbTr y AzTeTbTr alcanzaron los porcentajes máximos de PC (26,3 y 25,5 %, respectivamente), mientras que RaPeTeTb mostró el valor más bajo (21,5 %). A los 35 días, AzTeTbTr exhibió el valor más alto (23,4 %) y RaPeDiTb el más bajo (19,85 %). A los 45 días, AzTeTbTr, AzDiTbTr y RaPeTeTbTr presentaron los valores más altos (24,1, 23,7 y 22,3 %, respectivamente), mientras que RaPeTeTb y RaPeDiTb, los más bajos (18,4 y 18,3 %, respectivamente). A los 60 días, AzTeTbTr mantuvo el valor más alto (21,4 %) y RaPeTeTb el más bajo (15,6 %) (Figura 6).

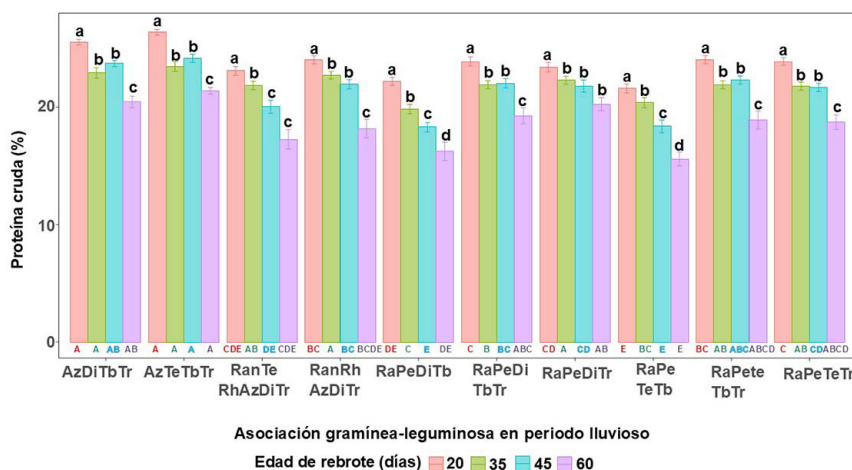


Figura 6. Efecto de la edad de rebrote y la asociación gramínea-leguminosa (AGL) en la proteína cruda durante el periodo lluvioso. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Colombia. Enero-diciembre de 2018.

Letras minúsculas dentro de la columna presentan diferencias significativas para las dosis de cal en cada AGL ($p < 0,05$). Letras mayúsculas presentan diferencias significativas para la AGL de cada dosis de cal.

Figure 6. Effect of regrowth age and grass-legume association (AGL) on crude protein during the rainy season. Tibaitatá Research Center, Mosquera, Colombia. January-December 2018.

Lowercase letters within the column represent significant differences for lime doses in each AGL ($p < 0,05$). Capital letters represent significant differences between AGL for each lime dose.

Para el periodo seco, la PC varió con la ER. Entre los 20 y 35 días, la mayoría de las AGL mantuvo niveles superiores al 19,7 %. Al día 35, las AGL presentaron mayor PC, exceptuando la RaPeTeTb. Entre los 45 y 60 días se observó una menor proporción de PC. En las cuatro ER, AzTeTbTr y AzDiTbTr mostraron los mayores porcentajes de PC y RaPeTeTb y RaPeDiTb presentaron los valores más bajos (Figura 7).

En el periodo lluvioso, la fibra detergente neutra presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) en relación con la ER para AzDiTbTr, RaPeDiTb y RaPeDiTbTr, las cuales mostraron una tendencia a incrementar en función de su avance. A los 20 días, RaPeTeTb y RaPeDiTb presentaron los valores más altos ($p < 0,05$) de FDN (47,9 y 46,4 %), igualmente a los 35 días (48,3 y 47,8 %) y a los 45 días (49,9 y 49,2 %). A los 60 días RaPeTeTb mostró el valor más alto de FDN (50,0 %). AzTeTbTr y RaPeDiTr registraron los valores más bajos de FDN (42,5 y 40,9 %, respectivamente) (Figura 8).

Durante el periodo seco la FDN registró diferencias significativas en función de la ER. Se observó una tendencia de incremento de la FDN conforme avanzó la ER. Las edades de rebrote de 20 y 35 días presentaron los

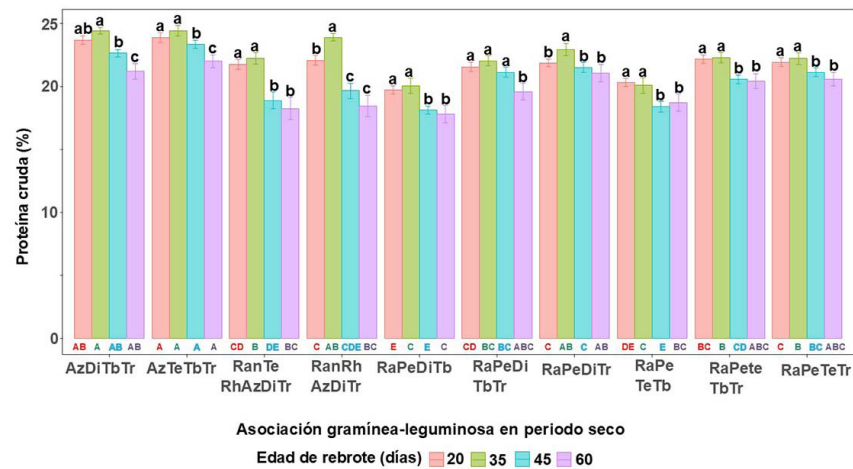


Figura 7. Efecto de la edad de rebrote y la asociación gramínea-leguminosa (AGL) en la proteína cruda durante el periodo seco. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Colombia. Enero-diciembre de 2018.

Letras minúsculas dentro de la columna presentan diferencias significativas para las dosis de cal en cada AGL ($p < 0,05$). Letras mayúsculas presentan diferencias significativas para la AGL de cada dosis de cal.

Figure 7. Effect of regrowth age and grass-legume association (AGL) on crude protein during the dry season. Tibaitatá Research Center, Mosquera, Colombia. January-December 2018.

Lowercase letters within the column represent significant differences for lime doses in each AGL ($p < 0.05$). Capital letters represent significant differences between AGL for each lime dose.

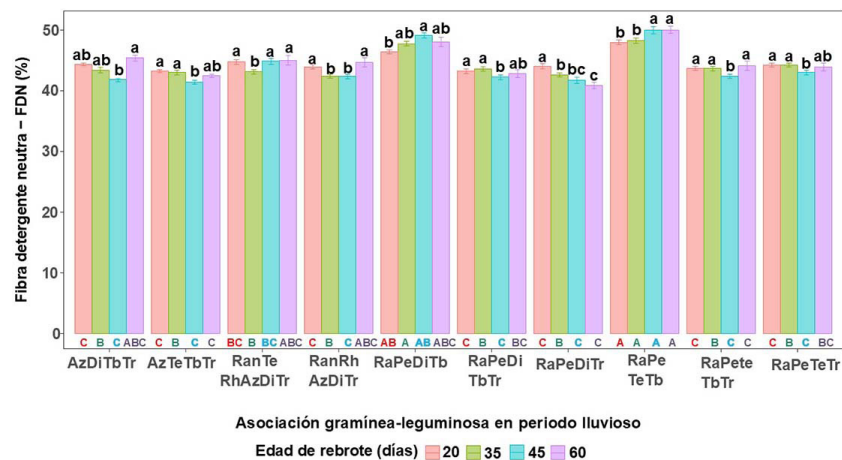


Figura 8. Efecto de la edad de rebrote y la asociación gramínea-leguminosa (AGL) en la fibra detergente neutra durante el periodo lluvioso. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Colombia. Enero-diciembre de 2018.

Letras minúsculas dentro de la columna presentan diferencias significativas para las dosis de cal en cada AGL ($p < 0,05$). Letras mayúsculas presentan diferencias significativas para la AGL de cada dosis de cal.

Figure 8. Effect of regrowth age and grass-legume association (AGL) on neutral detergent fibre during the rainy season. Tibaitatá Research Center, Mosquera, Colombia. January-December 2018.

Lowercase letters within the column represent significant differences for lime doses in each AGL ($p < 0.05$). Capital letters represent significant differences between AGL for each lime dose.

valores más bajos frente a las de 45 y 60 días, que exhibieron los valores más altos. En las cuatro ER evaluadas, RaPeTeTb y RaPeDiTb mostraron las mayores concentraciones de FDN. Las otras AGL presentaron entre 43,1 y 44,1 % a los 20 días, con una reducción entre 40,5 y 43,2 % a los 35 días. A los 60 días, RaPeDiTr y AzTeTbTr registraron los valores más bajos (44,8%) (Figura 9).

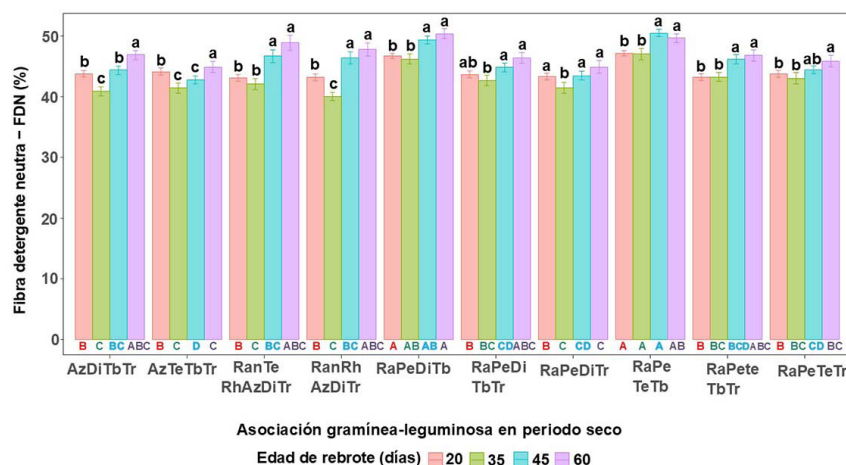


Figura 9. Efecto de la edad de rebrote y la asociación gramínea-leguminosa (AGL) en la fibra detergente neutra durante el periodo seco. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Colombia. Enero-diciembre de 2018.

Letras minúsculas dentro de la columna presentan diferencias significativas para las dosis de cal en cada AGL ($p < 0,05$). Letras mayúsculas presentan diferencias significativas para la AGL de cada dosis de cal.

Figure 9. Effect of regrowth age and grass-legume association (AGL) on neutral detergent fibre during the dry season. Tibaitatá Research Center, Mosquera, Colombia. January-December 2018.

Lowercase letters within the column represent significant differences for lime doses in each AGL ($p < 0.05$). Capital letters represent significant differences between AGL for each lime dose.

La proporción de leguminosas mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la ER de cada asociación evaluada. Se observó una tendencia creciente en la presencia de leguminosas conforme avanzó la ER. No obstante, RaPeDiTb y RaPeTeTb presentaron proporciones inferiores al 20 % en todas las ER. RaPeDiTb, RaPeDiTbTr, RaPeDiTr, RaPeTeTb y RaPeTeTr exhibieron la mayor proporción de leguminosas a los 60 días (17,6 54,7, 66,10, 13,42 y 47,9 %, respectivamente), mientras que las AGL restantes alcanzaron su máxima proporción a los 45 días de ER.

A los 20 días las AGL AzTeTbTr, RaPeDiTr, RaPeDiTbTr y AzDiTbTr presentaron el mayor porcentaje de leguminosas (39,1, 32,3 31,0, y 30,3, respectivamente). Estas mismas AGL mostraron mayores porcentajes de leguminosas a los 45 días (61,5, 52,6, 50,3, y 60,6 %, respectivamente). A los 35 días las AGL AzTeTbTr, RaPeDiTbTr y AzDiTbTr presentaron porcentajes de leguminosas superiores al 33 % (Figura 10).

En el periodo seco, la proporción de leguminosas mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la ER de cada asociación. Se observó una tendencia creciente hasta el día 45, seguida de un descenso al día 60. RaPeTeTb y RaPeTeTr fueron excepciones, al registrar mayores valores a los 60 días. Al igual que en el periodo lluvioso, RaPeDiTb y RaPeTeTb concentraron las menores proporciones de leguminosa, con valores inferiores al 15,3 % en todas las ER.

A los 20 días, AzTeTbTr, AzDiTbTr, RaPeDiTr y RaPeDiTbTr presentaron el mayor porcentaje de leguminosas (38,9, 35,6 33,4, y 31,7 %, respectivamente), superiores a los del periodo lluvioso. Estas mismas incrementaron su proporción en el día 35, con registros de 56,6, 47,3, 43,7 y 43,3 %, respectivamente. En el día 45 continuó el incremento en la proporción de estas asociaciones, con valores de 58,8, 52,5, 48,5 y 48,4 %, respectivamente (Figura 11).

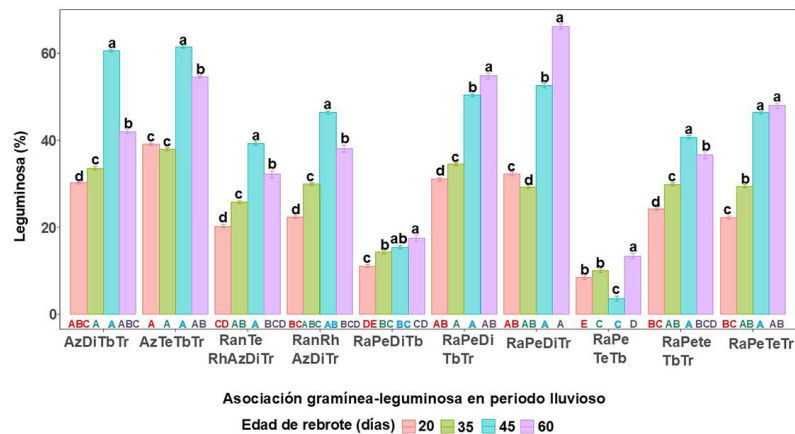


Figura 10. Efecto de la edad de rebrote y la asociación gramínea-leguminosa (AGL) en la proporción de leguminosas durante el periodo lluvioso. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Colombia. Enero-diciembre de 2018.

Letras minúsculas dentro de la columna presentan diferencias significativas para las dosis de cal en cada AGL ($p < 0,05$). Letras mayúsculas presentan diferencias significativas para la AGL de cada dosis de cal.

Figure 10. Effect of regrowth age and grass-legume association (AGL) on legume proportion during the rainy season. Tibaitatá Research Center, Mosquera, Colombia. January-December 2018.

Lowercase letters within the column represent significant differences for lime doses in each AGL ($p < 0.05$). Capital letters represent significant differences between AGL for each lime dose.

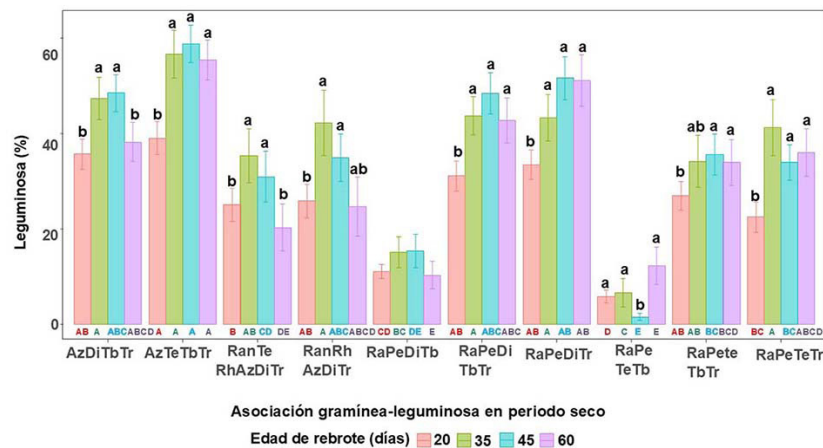


Figura 11. Efecto de la edad de rebrote y la asociación gramínea-leguminosa (AGL) en la proporción de leguminosas durante el periodo seco. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Colombia. Enero-diciembre de 2018.

Letras minúsculas dentro de la columna presentan diferencias significativas para las dosis de cal en cada AGL ($p < 0,05$). Letras mayúsculas presentan diferencias significativas para la AGL de cada dosis de cal.

Figure 11. Effect of regrowth age and grass-legume association (AGL) on legume proportion during the dry season. Tibaitatá Research Center, Mosquera, Colombia. January-December 2018.

Lowercase letters within the column represent significant differences for lime doses in each AGL ($p < 0.05$). Capital letters represent significant differences between AGL for each lime dose.

Discusión

La respuesta de la tasa de crecimiento a 6 t ha⁻¹ de cal en ambos periodos climáticos sugiere una mejora en las condiciones químicas del suelo. El incremento productivo en AzDiTbTr, RaPeTeTb y RaPeTeTr en el periodo lluvioso, así como en AzDiTbTr, RanTeRhAzDiTr, RaPeTeTb y RaPeTeTr en el periodo seco, muestra el efecto positivo del encalado sobre el desarrollo vegetal. Esta enmienda reduce la toxicidad por aluminio, libera fósforo fijado, facilita el intercambio catiónico y optimiza la actividad microbiana y la mineralización del nitrógeno, lo que mejora la absorción de nutrientes para las AGL, proceso que potencia el desarrollo radicular y la acumulación de masa forrajera (Moro Flores et al., 2024; Singh et al., 2017).

En el periodo seco, la TDC disminuyó respecto al lluvioso; no obstante, la DC de 6 t ha⁻¹ mantuvo los rendimientos más elevados en mezclas como RaPeTeTr, RaPeTeTbTr, RaPeDiTbTr y AzDiTbTr. Este comportamiento está asociado a que encalar mejora las propiedades fisicoquímicas del suelo y la retención de humedad, variables determinantes para la persistencia forrajera bajo estrés hídrico (Huang et al., 2020).

La AGL RaPeTeTr destacó por su estabilidad productiva en condiciones de DC de 0 t ha⁻¹, lo que evidencia tolerancia a las limitantes del suelo, al ambiente y al manejo. Dicha resiliencia representa un criterio prioritario en la selección de especies forrajeras con adaptabilidad (Caradus & Chapman, 2025). La selección de especies vegetales con tolerancia a pH bajos reduce la dependencia de insumos externos y garantiza la oferta constante de forraje (Boddey et al., 2020). Además, la integración de genotipos resilientes con buenas prácticas de manejo como el encalado asegura la estabilidad de la pradera. Esta sinergia reduce la vulnerabilidad de los sistemas lecheros ante la estacionalidad climática y la degradación de los recursos naturales.

La influencia del encalado sobre la productividad y la composición química del forraje genera debate en torno a la viabilidad económica en sistemas de pastoreo (Li et al., 2024). Pese a que en este estudio se evidenció un incremento de la TDC, los costos elevados por transporte, la distribución de enmiendas y la aplicación constituyen barreras para su implementación (Kidd et al., 2023). Además, los beneficios en la fertilidad edáfica y el rendimiento vegetal carecen de inmediatez, por lo que se requiere de periodos de mediano y largo plazo para su consolidación (Kidd et al., 2023; Mancipe-Muñoz et al., 2022). Esta temporalidad posterga el retorno económico, factor crítico en la toma de decisiones para sistemas productivos.

Como alternativa, para los suelos ácidos del altiplano cundiboyacense, se propone la aplicación gradual de cal frente al uso de dosis masivas. Este enfoque busca optimizar la eficiencia de la enmienda y reducir el riesgo de pérdidas económicas. No obstante, su validación requiere investigaciones adicionales que determinen las curvas de respuestas técnicas y financieras en el tiempo.

La reducción en la concentración de proteína cruda con altas DC y mayor edad de rebrote responde a un efecto de dilución asociado al aumento en el volumen de masa forrajera producido (Moro Flores et al., 2024). El aumento en la pared celular, derivado del crecimiento, disminuye los compuestos nitrogenados por unidad de materia seca (Hall & Mertens, 2017; Van Soest, 1994). En este contexto, la interacción entre la corrección del pH edáfico y la fisiología de las AGL determina la composición química de la pradera. El encalado incrementa la masa forrajera, por lo que requiere un monitoreo de la pradera para evitar una disminución en la composición química.

Este patrón de maduración fisiológica es un fenómeno universal que condiciona la composición química de la pradera y exige un balance entre la masa forrajera y la PC (Mancipe-Muñoz et al., 2022). La maduración fisiológica de la planta prioriza el soporte estructural sobre el contenido celular metabólico, lo cual demanda ajustes en el manejo del pastoreo para evitar deficiencias proteicas. La selección de un punto óptimo de cosecha permite maximizar el rendimiento de MS sin comprometer la PC de las mezclas en sistemas de trópico alto. Los datos para este estudio sugieren un punto adecuado entre los 35 y 45 días de ER, donde la producción de MS y composición química presentan un balance.

El incremento de la TDC vinculado al avance de ER responde a la dinámica fisiológica de acumulación de masa forrajera (Parsons & Chapman, 2000). Esta variable exhibe fluctuaciones marcadas según el periodo climático predominante. Durante el periodo lluvioso, las diferencias en la TDC entre las AGL a los 45 días resaltan su potencial productivo. Bajo estas condiciones, la pradera alcanza un índice de área foliar crítico que maximiza la intercepción de luz solar antes de iniciar procesos de senescencia basal y autosombreado, los cuales limitan el crecimiento neto en estadios maduros, como se observa en el día 60. Identificar este equilibrio resulta determinante para la gestión del sistema productivo, pues marca una transición entre la acumulación del material verde y la pérdida de calidad por lignificación. La sincronización entre la oferta forrajera y los requerimientos animales depende del aprovechamiento de esta eficiencia fotosintética.

Las mezclas AzDiTbTr y AzTeTbTr destacaron por mantener niveles de PC superiores al 20 % en las ER avanzadas. La inclusión de leguminosas como los tréboles (*Trifolium* sp.) y la sinergia con el pasto azul orchoro diploide y tetraploide explican esta estabilidad proteica, gracias a su capacidad de fijación biológica de nitrógeno y su menor tasa de lignificación en comparación con las gramíneas. Según Boddey et al. (2020), las leguminosas conservan una calidad nutricional elevada por periodos extensos, lo cual compensa la disminución de la proteína en especies como el pasto Kikuyo.

En el periodo seco, el incremento de PC a los 35 días respecto a los 20 días sugiere que la inclusión de leguminosas podría mitigar el estrés hídrico. La presencia de especies como el trébol (*Trifolium* sp.) reduce su impacto mediante la movilización de nitrógeno y la regulación de la turgencia foliar. No obstante, el descenso detectado tras el día 45 responde a la senescencia de los tejidos y a la translocación de nutrientes hacia los órganos de reserva radicular, procesos característicos de la maduración fisiológica. Pese a ello, las AGL mitigaron la caída, lo cual confirma la importancia de la diversidad botánica para sostener la oferta proteica en épocas críticas (Gere et al., 2024). Esta sinergia se fundamenta en la capacidad de las leguminosas para captar nitrógeno de fuentes simbióticas. Proceso que estimula la absorción de nutrientes en el sistema incluso en condiciones de baja precipitación (Nyfeler et al., 2011).

En el periodo seco, las AGL con bajo desempeño, como RaPeTeTb y RaPeDiTb, presentaron niveles de PC inferiores al 18 % en etapas de madurez. Estos valores se vinculan con una menor proporción de leguminosas por poca adaptación al ambiente, lo que desplaza la calidad total hacia la gramínea dominante que exhibe una menor PC conforme avanza la ER. El predominio de gramíneas acelera la disminución de la PC debido a la translocación de nitrógeno hacia órganos de reserva y al engrosamiento de tejidos estructurales (Lemaire & Belanger, 2020).

El registro mínimo de RaPeTeTb (15,6 % de PC) a los 60 días de ER refuerza la necesidad de ajustar la frecuencia de pastoreo a edades más tempranas para evitar deficiencias en rumiantes. Sin embargo, estos valores superan los parámetros reportados en monocultivos regionales de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), donde la PC suele descender a niveles críticos en condiciones similares (Vargas Martínez et al., 2018). La inclusión de leguminosas, incluso en bajas proporciones, ejerce un efecto amortiguador en la calidad de la dieta (Nyfeler et al., 2011).

La fibra detergente neutra presentó variaciones vinculadas a la ER y la composición de las AGL. El ascenso de la FDN junto a la ER, en ambos periodos climáticos, responde a la maduración fisiológica del forraje. Investigaciones globales confirman que el retraso en la cosecha eleva la fracción fibrosa, lo cual reduce el consumo voluntario en bovinos al ocupar mayor espacio en el rumen (Hall & Mertens, 2017). La estabilidad de este patrón en épocas secas y lluviosas sugiere que la ER ejerce un control dominante sobre la estructura química foliar.

Las AGL RaPeTeTb y RaPeDiTb exhibieron niveles altos de FDN en todas las ER, con valores cercanos al 50 % a los 60 días. Estas asociaciones integran mayor proporción de gramíneas, que acumulan mayores concentraciones de hemicelulosa y celulosa en sus paredes celulares como mecanismo de soporte ante el crecimiento longitudinal del tallo (Hall & Mertens, 2017). En contraste, AzTeTbTr y RaPeDiTr mantuvieron registros mínimos de FDN, lo cual se atribuye a la mayor presencia de leguminosas, especies caracterizadas por poseer paredes celulares delgadas y una tasa de degradación rápida. La inclusión de leguminosas en praderas mejora la calidad de la dieta mediante la dilución de la fibra total (Nyfeler et al., 2011).

Durante el periodo seco, la FDN disminuyó a los 35 días en la mayoría de las mezclas, antes de retomar una tendencia creciente. Dicha fluctuación responde a la tasa de aparición de hojas nuevas tras episodios de estrés hídrico. Bajo condiciones de déficit de humedad, las plantas priorizan la formación de tejido foliar joven con paredes celulares menos lignificadas una vez que disponen de recursos mínimos. El crecimiento compensatorio tras un periodo de restricción altera la relación hoja-tallo, lo cual reduce temporalmente la concentración de fibra estructural en el dosel forrajero (Lemaire & Belanger, 2020).

A los 60 días, RaPeDiTr y AzTeTbTr conservaron niveles de FDN de 44,8 %, cifra inferior al resto de tratamientos. Este resultado posiciona las AGL como opciones viables para mantener forrajes de calidad durante periodos de baja precipitación con avanzada ER. La estabilidad sugiere una mayor participación de leguminosas, con contenidos de pared celular menores que las gramíneas (Loneragan & Snowball, 1969).

Las leguminosas suelen presentar una tasa de establecimiento inicial reducida frente a las gramíneas, pero logran mayor acumulación de biomasa en etapas avanzadas del ciclo de crecimiento. Este comportamiento responde a la morfología de especies como *Trifolium* sp., las cuales extienden su área foliar tras superar la fase crítica de competencia por luz con el componente gramíneo. La diversidad botánica en la AGL otorga resiliencia al sistema productivo. Mezclas con géneros *Lolium*, *Dactylis* o *Trifolium* presentan estrategias de adaptación que mantienen la producción. La estabilidad entre los 45 y 60 días de ER sugiere un estado de latencia o crecimiento lento en la mayoría de las asociaciones evaluadas.

La AGL AzTeTbTr sobresalió por una proporción de leguminosas del 49,6 % y PC de 24,5 %. Esta proporción mejora la composición química de la dieta sin depender de fertilizantes nitrogenados externos. La sinergia entre gramíneas y leguminosas estimula la captura de nitrógeno y transformación en masa forrajera. Además, favorece la conformación de praderas más productivas y eficientes en el uso de los recursos (Nyfeler et al., 2011).

La composición botánica de las AGL varió según el tratamiento, lo que alteró la proporción de gramíneas y leguminosas presentes. Esta dinámica responde a la influencia de las condiciones ambientales, el estado fenológico y las características del suelo (Chen et al., 2019; Woodmartin et al., 2024). La competencia por recursos lumínicos y nutrientes determina el éxito en el establecimiento de cada componente.

La superioridad en la presencia de leguminosas durante el periodo seco frente al periodo lluvioso sugiere mecanismos de adaptación al estrés hídrico. AzTeTbTr y AzDiTbTr sobresalieron en el periodo seco, lo cual indica mayor resiliencia frente a monocultivos de gramíneas. Las leguminosas de raíces profundas o con hábitos de crecimiento estolonífero mantienen la turgencia y la fotosíntesis bajo déficit de humedad (Huang et al., 2020). Esta ventaja permite que el trébol mantenga una participación dominante en la pradera cuando la gramínea reduce su tasa de expansión foliar por falta de agua.

Por el contrario, la disminución de la leguminosa a los 60 días en la mayoría de las AGL refleja la senescencia y el sombreado de la gramínea. El dosel superior de raigrases o azul orchoro, al alcanzar la madurez fisiológica, intercepta la radiación solar y limita el crecimiento del estrato bajo de tréboles. No obstante, las asociaciones RaPeTeTb y RaPeTeTr rompieron esta tendencia, manteniendo su crecimiento en edades avanzadas. Este fenómeno se atribuye a una complementariedad de nichos temporales, donde la leguminosa compensa la caída de la PC del forraje base. Tales interacciones son fundamentales para la estabilidad productiva de sistemas lecheros especializados en el trópico alto.

La interacción entre las asociaciones gramínea-leguminosa estimula la captación de nitrógeno, proceso que depende de la estabilidad del entorno edáfico (Nyfeler et al., 2011). El manejo de la AGL, orientado por la ER, la altura de corte y el plan de fertilización modula la respuesta productiva y la composición química (Hearn et al., 2022). Controlar la frecuencia de defoliación mantiene la relación gramínea-leguminosa en la pradera. Integrar estas variables permite alcanzar rendimientos superiores y una composición química estable, factores determinantes para la sostenibilidad de la producción en el trópico alto. Las AGL se postulan como estrategia para mejorar la composición química de la pradera e incrementar la estabilidad de los sistemas productivos bovinos ante la variabilidad climática (Filip et al., 2024).

Conclusiones

El encalado mejoró las propiedades químicas del suelo y potenció el crecimiento de las asociaciones gramínea-leguminosa, estabilizando la producción y la composición química del forraje frente a la estacionalidad. El equilibrio óptimo entre el rendimiento y la composición química se alcanzó en edades de rebrote intermedias, antes de que la maduración fisiológica incrementara los componentes estructurales del forraje. La inclusión de leguminosas mejoró la composición química de la dieta al reducir el contenido de fibra, en especial en el periodo seco. Estas asociaciones constituyen una estrategia de adaptación al estrés hídrico y la variabilidad climática, lo que permite un manejo eficiente de los recursos disponibles en los sistemas ganaderos de trópico alto.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia y al Ministerio de Relaciones Exteriores y Comercio de Nueva Zelanda, cuyo financiamiento y apoyo han sido fundamentales para la promoción e implementación de proyectos de investigación en Colombia. Además, otorgan un reconocimiento especial a The Agribusiness Group, Sáenz Fety, Impulsemillas y a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) a través del proyecto de cadena de valor láctea.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

Referencias

- Ariza-Nieto, C., Mayorga, O. L., Mojica, B., Parra, D., & Afanador-Tellez, G. (2018). 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>
- Avellaneda Avellaneda, Y., Mancipe Muñoz, E. A., & Vargas Martínez, J. de J. (2020). Efecto de la edad de rebrote sobre el desarrollo morfológico y la composición química del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en el trópico alto colombiano. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 15(2), 23-37. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.15.2.2>
- Barreto Triana, N. (1999, julio 28-30). La chinche de los pastos: principal problema tecnológico de la ganadería de leche. En Comisión Académica del XXVI Congreso Socolen (Ed.), *Memorias, XXVI Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología. Los insectos patrimonio natural y cultural de Colombia XXVI Congreso Sociedad Colombiana de Entomología* (pp. 175-188). Editora Guadalupe Ltda. <https://www.socolen.org.co/memoriasyresumenes>
- Boddey, R. M., Rume Casagrande, D., Homem, B. G. C., & Alves, B. J. R. (2020). Forage legumes in grass pasture in tropical Brazil and likely impacts on greenhouse gas emissions: a review. *Grass and Forage Science*, 75(4), 357-371. <https://doi.org/10.1111/gfs.12498>
- Caradus, J. R., & Chapman, D. F. (2025). Evaluating pasture forage plant breeding achievements: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 68(6), 1146-1220. <https://doi.org/10.1080/00288233.2024.2395370>

- Carulla, J. E., & Ortega, E. (2016). Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24(2), 83-87. https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/view/2526/945
- Castillo, J., Benavides, J., Vargas, J., Avellaneda, Y., & García, G. (2019). Applied research on dairy cattle feeding systems in Colombian high tropics. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 36(2), 108-122. <https://doi.org/10.22267/rcia.193602.122>
- Chen, A., Bryant, R. H., & Edwards, G. R. (2019). Morphology and nutritive value of perennial ryegrass cultivars at different phenological stages. *Grass and Forage Science*, 74(3), 576-581. <https://doi.org/10.1111/gfs.12441>
- Filip, A., Dinca, N., Stanciu, A. M., & Dunea, D. (2024). Canopy structure and light interception in *Dactylis glomerata*, *Medicago sativa* and *Trifolium repens*: a nexus among biological efficiency and forage production. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 47(1), 386-392. <https://www.agronomyjournal.usamv.ro/index.php/scientific-papers/current?id=1759>
- Gere, J. I., Restovich, S. B., Mattera, J., Cattoni, M. I., Ortiz-Chura, A., Posse, G., & Cerón-Cucchi, M. E. (2024). Enteric methane emission from cattle grazing systems with cover crops and legume–grass pasture. *Animals*, 14(23), Artículo 3535. <https://doi.org/10.3390/ani14233535>
- González Cárdenas, A. C., Samacá Prieto, H. A., Quintero Leal, L. E., Argüello Cuervo, L. R., Parra Camacho, L. F., Viveros Barrera, J. S., Giraldo Vargas, J. A., Castellanos Cárdenas, J. M., Maluendas Pardo, A. V., Leyva Pinzón, F., Cortés Bello, C. A., León Aristizábal, G. E., Bernal Patiño, J. G., Toro Hincapié, Á. M., Valderrama Salazar, P. A., Gutiérrez Melo, E. D., Romero Schadeegg, C. U., Portillo Carrascal, C. Y., Fonseca Osorio, M., ... Rodríguez Corrales, J. L. (2022). *Plan de ordenamiento productivo para la cadena láctea bovina en Colombia*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. <https://upra.gov.co/es-co/planificacion-del-ordenamiento-agropecuario/poa-nacional/pop/pop-lactea>
- Hajiboland, R., Panda, C. K., Lastochkina, O., Gavassi, M. A., Habermann, G., & Pereira, J. F. (2023). Aluminum toxicity in plants: present and future. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42, 3967-3999. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10866-0>
- Hall, M. B., & Mertens, D. R. (2017). A 100-year review: Carbohydrates—characterization, digestion, and utilization. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10078-10093. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13311>
- Hearn, C., Egan, M., Lync, M. B., Fleming, C., O'Donovan, M. (2022). Seasonal variation in nutritive and botanical composition properties of multispecies grazing swards over an entire dairy grazing season. *Grassland Research*, 1(4), 221-233. <https://doi.org/10.1002/glr2.12037>
- Huang, Y., Sheng, H., Zhou, P., & Zhang, Y. (2020). Remediation of Cd-contaminated acidic paddy fields with four-year consecutive liming. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 188, Artículo 109903. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109903>
- Jezequel, A., Delaby, L., McKay, Z. C., Fleming, C., & Horan, B. (2024). Effect of sward species diversity combined with a reduction in nitrogen fertilizer on the performances of spring-calving grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 107(12), 11104-11116. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25177>
- Kidd, D., Premaratne, M., Wisdom, J., Nicol, D., & Ryan, M. H. (2023). An agronomic study of legacy effects from annual legume pastures in acid soils. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 209(4), 439-458. <https://doi.org/10.1111/jac.12642>
- Lemaire, G., & Belanger, G. (2020). Allometries in plants as drivers of forage nutritive value: a review. *Agriculture*, 10(1), 5. <https://doi.org/10.3390/agriculture10010005>
- Li, G. D., Conyers, M. K., Refshauge, G., Ataollahi, F., & Hayes, R. C. (2024). Long-term liming changes pasture mineral profile. *Scientific Reports*, 14, Artículo 3539. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53908-1>

- Li, Y., Cui, S., Chang, S. X., & Zhang, Q. (2019). Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*, 19, 1393-1406. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2120-2>
- Loneragan, J. F., & Snowball, K. (1969). Calcium requirements of plants. *Australian Journal of Agricultural Research*, 20(3), 465-478. <https://doi.org/10.1071/ar9690465>
- Mancipe-Muñoz, E. A., Castillo-Sierra, J., Avellaneda-Avellaneda, Y., & Vargas-Martínez, J. J. (2022). Efecto de la frecuencia de cosecha y la aplicación de enmiendas en la productividad de *Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov Morrone. *Pastos y Forrajes*, 45, 1-12.
- Moro Flores, J. P., Filippi, D., Alves, L. A., Pesini, G., de Oliveira, L. B., Rodrigues, G. J., Nabinger, C., Ferreira De Quadros, F. L., & Tiecher, T. (2024). Boosting production of “Campos” natural grasslands through improving soil fertility and overseeding: a meta-analysis [Preprint]. *Social Science Research Network*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4724854>
- Nyfeler, D., Huguenin-Elie, O., Frossard, E., & Lüscher, A. (2024). Effects of legumes and fertiliser on nitrogen balance and nitrate leaching from intact leys and after tilling for subsequent crop. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 360, Artículo 108776. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108776>
- Nyfeler, D., Huguenin-Elie, O., Suter, M., Frossard, E., & Lüscher, A. (2011). Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140(1-2), 155-163.
- Osorno Henao, H. (2012). *Mitos y realidades de las cales y enmiendas en Colombia* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9810>
- Parsons, A. J., & Chapman, D. F. (2000). The principles of pasture growth and utilization. En A. Hopkins (Ed.), *Grass: its production and utilization*. Black Science.
- Pereira Neto, J. D., Batista Dubeux Jr, J. C., Ferreira dos Santos, M. V., Da Silva Santos, E. R., Lima Bretas, I., Jaramillo, D. M., Ruiz-Moreno, M., Rodrigues da Cruz, P. J., Dantas Queiroz, L. M., Tembe Oduor, K., & Araujo Bernardini, M. (2024). Herbage responses and animal performance of nitrogen-fertilized grass and grass-legume grazing systems. *The Journal of Agricultural Science*, 162(1), 77-89. <https://doi.org/10.1017/S0021859624000182>
- Schon, N. L., Mackay, A. D., Dodd, M., Moss, R. A., Laurenson, G., Taylor, A., & Moorhead, A. (2024). Influence of diverse pasture species and reduced nitrogen fertiliser inputs on soil health on four irrigated Canterbury dairy pastures. *Journal of New Zealand Grasslands*, 86, 87-95. <https://doi.org/10.33584/jnzg.2024.86.3675>
- Singh, A. K., Singh, J. B., Singh, R., Kantwa, S. R., Jha, P. K., Ahamad, S., Singh, A., Ghosh, A., Prasad, M., Singh, S., Singh, S., & Prasad, P. V. V. (2023). Understanding soil carbon and phosphorus dynamics under grass-legume intercropping in a semi-arid region. *Agronomy*, 13(7), Artículo 1692. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071692>
- Singh, S., Tripathi, D. K., Singh, S., Sharma, S., Dubey, N. K., Chauhan, D. K., & Vaculík, M. (2017). Toxicity of aluminium on various levels of plant cells and organism: a review. *Environmental and Experimental Botany*, 137, 177-193. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.01.005>
- Vallejos-Cacho, R., Vallejos-Fernández, L. A., Alvarez-García, W. Y., Tapia-Acosta, E. A., Saldanha-Odrizola, S., & Quilcate-Pairazaman, C. E. (2024). Sustainability of *Lolium multiflorum* L. ‘cajamarquino ecotype’, associated with *Trifolium repens* L., at three cutting frequencies in the Northern Highlands of Peru. *Sustainability*, 16(16), Artículo 6927. <https://doi.org/10.3390/su16166927>

- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2nd ed.). Cornell University Press.
- Vargas Martínez, J. J., Sierra Alarcón, A. M., Mancipe Muñoz, E. A., & Avellaneda Avellaneda, Y. (2018). El Kikuyo, una gramínea presente en los sistemas de rumiantes en trópico alto colombiano. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 13(2), 137-156. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.13.2.4>
- Woodmartin, S., Creighton, P., Boland, T. M., Farrell, L., Claffey, N., & McGovern, F. (2024). The inclusion of companion forages in the diet alongside perennial ryegrass increased dry matter intake and organic matter digestibility in sheep. *Animal*, 18(5), Artículo 101150. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101150>
- Zhang, X., Long, Y., Huang, J., & Xia, J. (2019). Molecular mechanisms for coping with Al toxicity in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(7), Artículo 1551. <https://doi.org/10.3390/ijms20071551>