



Efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada en raigrases perennes y tréboles rojos¹

Effect of nitrogen and phosphate fertilization on perennial ryegrasses and red clovers

Andrea Sierra-Alarcón², Yesenia Moreno-Oviedo², Edgar A. Mancipe-Muñoz², Yesid Avellaneda-Avellaneda²,
Juan de J. Vargas-Martínez²

¹ Recepción: 3 de diciembre, 2018. Aceptación: 7 de febrero, 2019. Este trabajo formó parte de la agenda de investigación de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), financiada con recursos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia.

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Grupo de Investigación en Microbiología y Nutrición Animal del Trópico, Red de Ganadería y Especies Menores. Km 14 vía Bogotá-Mosquera. Mosquera, Cundinamarca, Colombia. asierraa@agrosavia.co, ymoreno@agrosavia.co, emancipe@agrosavia.co, yavellaneda@agrosavia.co, jvargasm@agrosavia.co (autor para correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-7674-3850>).

Resumen

Introducción. Los sistemas de lechería especializada están basados en el uso de forrajes, lo que hace necesaria la generación de recomendaciones que promuevan el uso eficiente y sostenible de este recurso. **Objetivo.** El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de niveles crecientes de fertilización nitrogenada y fosfatada sobre la producción de forraje y la calidad composicional de raigrases (*Lolium perenne*) y tréboles rojos (*Trifolium repens*). **Materiales y métodos.** En septiembre de 2016 se establecieron, en dos departamentos colombianos (Bocayá y Cundinamarca), dos raigrases perennes y dos tréboles rojos en parcelas de 4 m², los primeros recibieron 0, 50, 100 o 150 kg N ha⁻¹ y 0, 25 o 50 kg P₂O₅ ha⁻¹, y los segundos 0, 12,5, 25 o 37,5 kg P₂O₅ ha⁻¹. Posterior al periodo de establecimiento (120 días) y de un corte de uniformización, los forrajes se cosecharon a los 21, 35 y 49 días de rebrote, durante dos periodos de evaluación (abril-mayo y junio-julio de 2017). Las variables se evaluaron a través de un modelo de parcelas divididas con medidas repetidas. **Resultados.** La fertilización nitrogenada aumentó (p<0,05) la producción de materia seca, la clorofila y la concentración de proteína cruda, y disminuyó la fibra en detergente neutro. La fertilización fosfatada no modificó (p>0,05) la producción y la composición de los raigrases y tréboles. Además, con el incremento en la edad de rebrote aumentó (p<0,05) la concentración de los componentes menos solubles en tréboles y raigrases, que se relacionan con el menor valor nutricional de estos forrajes. **Conclusión.** La aplicación de niveles crecientes de nitrógeno, pero no de fósforo, aumentó la producción y calidad de los raigrases. La aplicación de fósforo no modificó la producción y composición de los tréboles.

Palabras clave: forrajes, gramíneas forrajeras, leguminosas forrajeras, pastizales, praderas.

Abstract

Introduction. Specialized dairy systems are forage based, which makes necessary to generate recommendations that promote the efficient and sustainable use of this resource. **Objective.** The objective of this work was to evaluate



increasing levels of nitrogen and phosphate fertilization on forage yield and compositional quality of ryegrass (*Lolium perenne*) and red clovers (*Trifolium repens*). **Materials and methods.** In September 2016, two perennial ryegrasses plots and two red clovers were established in two Colombian departments (Boyacá and Cundinamarca), in 4 m². The first one received 0, 50, 100 or 150 kg N ha⁻¹; and 0, 25 or 50 kg P₂O₅ ha⁻¹; and the second one received 0, 12.5, 25 or 37.5 P₂O₅ ha⁻¹. After the establishment period (120 days) and a uniform cut, forages were harvested at 21, 35 and 49 regrowth days, during two evaluation periods (April-May and June-July 2017). The variables were evaluated through a split-plot design with repeated measures. **Results.** Nitrogen fertilization increased (p<0.05) dry matter yield, chlorophyll and crude protein concentration; and decreased neutral detergent fiber. Phosphatic fertilization did not modify (p>0.05) ryegrass and clover yield and composition. Furthermore, the extension in the age of regrowth increased (p<0.05) the concentration of components less soluble in clovers and ryegrass, which are related to the lower nutritional value. **Conclusion.** The application of increasing levels of nitrogen, but not phosphorus, elevated the production and quality of ryegrasses. Phosphorus application did not modify clovers yield nor composition.

Keywords: forages, feed grasses, legumes, pastures, grasslands.

Introducción

La ganadería intensiva sostenible, a diferencia de otras actividades antropogénicas, es una actividad que promueve la prestación de servicios ecosistémicos, como la captura de carbono, la regulación del recurso hídrico, la biodiversidad, entre otros (Amézquita et al., 2005; Tobar e Ibrahim, 2008). De esta manera, prácticas que promuevan el uso eficiente de los forrajes disminuyen el impacto ambiental, soportan los requerimientos nutricionales de una población creciente y generan sistemas de producción animal sostenibles (Rao et al., 2015).

Los esquemas de alimentación de los sistemas de lechería especializada del trópico alto colombiano están basados en el uso de forrajes. Las gramíneas predominantes en estos sistemas son el kikuyo (*Cenchrus clandestinus*, *Pennisetum clandestinum* o *Kikuyuocloa clandestina*) y el raigrás (*Lolium* sp.) (Carulla y Ortega, 2016), mientras que las leguminosas son el trébol blanco (*Trifolium repens*) y rojo (*Trifolium pratense*), principalmente (Vargas et al., 2018). El kikuyo es una especie C4 lo que provoca que sea más sensible a la presencia de heladas (temperaturas inferiores a 0 °C), situación que provoca la muerte de la planta, lo que conduce a la reducción en el consumo de forraje y la producción animal por unidad de área (Marais, 2001). Este motivo ha promovido la incorporación de raigrases y tréboles en las pasturas, ya que son menos sensibles a las bajas temperaturas y presentan un valor nutricional mayor respecto al kikuyo (Fulkerson et al., 2007). Sin embargo, los raigrases y tréboles tienen mayores requerimientos en la calidad química y física del suelo, en los niveles de fertilización, el contenido de humedad y en el manejo del pastoreo (Bernal, 1998).

La incorporación de raigrases y tréboles a los sistemas de producción lechero en el trópico alto colombiano, requieren la evaluación de estrategias de manejo que permitan potencializar la respuesta productiva y composicional de estos forrajes (Vargas et al., 2018). El nitrógeno es considerado un elemento importante en la nutrición de las plantas, al constituir compuestos como proteínas, pigmentos, hormonas y ácidos nucleicos (Salisbury y Ross, 2000). En este sentido, el nitrógeno es un elemento esencial en los procesos de fotosíntesis y acumulación de foto asimilados en la planta (Rincón, 2012). En la literatura se han reportado valores contradictorios, hay quienes obtuvieron una mayor producción de forraje al aplicar niveles crecientes de nitrógeno y fósforo (Chaverra et al., 1967), y están aquellos que no han encontrado diferencias en la producción y la composición química de los raigrases al aumentar la fertilización nitrogenada (Gislum et al., 2005). Por otro lado, los niveles elevados de fertilización nitrogenada o fosfatada han sido asociados con contaminación del aire (por ejemplo: emisión de óxido nitroso) o de cuerpos de agua (por ejemplo: lixiviación de nitratos y nitritos) (Ledgard et al., 2019).

El fósforo hace parte de los procesos de transferencia energética, respiración, fotosíntesis y desarrollo radicular de la planta (Rincón, 2012). Desafortunadamente, no se encontraron en la literatura trabajos donde se evaluarán diferentes niveles de fertilización fosfórica sobre la respuesta agronómica en tréboles. La ausencia de información relacionada con la respuesta de raigrases y tréboles rojos ante la aplicación nitrogenada y fosfatada en condiciones del trópico alto colombiano, limita el desarrollo de una planeación de la oferta de forraje y la viabilidad de estrategias de alimentación en sistemas pastoriles. De esta manera, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de niveles crecientes de fertilización nitrogenada y fosfatada sobre la producción de forraje y la calidad composicional de raigrases (*Lolium perenne*) y tréboles rojos (*Trifolium repens*).

Materiales y métodos

Localización y preparación de suelos

La evaluación de la productividad de los forrajes se desarrolló en dos regiones del trópico alto colombiano, de septiembre de 2016 a julio de 2017. Se seleccionaron 1000 m² en dos fincas con pendientes diferentes y se tomaron muestras de suelo (compuestas por cinco submuestras en cada departamento) que se analizaron químicamente. En zona de ladera, con pendiente de 40°, se seleccionó la finca Ubasa ubicada en Tuta, Boyacá (latitud 5,712144 y longitud -73,2274546) a 2590 msnm, y en zona plana se escogió la finca Tibaitatá ubicada en Mosquera, Cundinamarca (latitud 4,675500 y longitud 74,201311) a 2547 msnm.

Posterior a la toma de muestras de los suelos en la finca con pendiente, se realizaron dos pases de rastra, mientras en la zona plana, se preparó el terreno con dos pases de cincel vibratorio y un pase de rastra sin traba. Además, se hizo la limpieza manual del lote retirando el material vegetal residual. En ambos predios, al momento de la preparación, se incorporó 2 t ha⁻¹ de cal agrícola con poder relativo de neutralización total de 122,4 %, de acuerdo con los resultados de los análisis químicos de los suelos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características químicas de suelos en Tuta (Boyacá) y Mosquera (Cundinamarca), Colombia. Julio, 2016.

Table 1. Chemical characteristics of the soils in Tuta (Boyaca) and Mosquera (Cundinamarca), Colombia. July, 2016.

Análisis	Tuta	Mosquera
pH	5,2	5,4
	%	
MO	4,1	4,9
	mg kg ⁻¹	
P	4,9	120,0
S	4,4	10,1
Fe	1040,0	2830,0
Mn	2,5	10,8
Zn	4,3	46,7
Cu	2,1	8,7
B	0,2	0,7
	cmol kg ⁻¹	
Al	1,2	0,0
Ca	2,9	8,4
Mg	1,3	2,9
K	0,9	0,9
Na	0,1	1,5
CIC	6,9	14,0

Forrajes evaluados y diseño experimental

Se evaluaron dos variedades de raigrases perennes diploides (*Lolium perenne*) (P1 y P2) y dos de tréboles rojos (*Trifolium pratense* L.) (TR y TRG) (Vargas et al., 2018). En cada finca se sembraron al voleo los forrajes en parcelas de 4 m², con distancia de 1 m entre parcelas y 2 m entre bloques, a una densidad de siembra de 50 y 12,5 kg ha⁻¹ para raigrases y tréboles, respectivamente. Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones. La siembra se realizó en la primera semana de noviembre de 2016. En Mosquera la fertilización de establecimiento para las gramíneas fue de 50 kg N ha⁻¹ y 30 kg P ha⁻¹, mientras en Tuta fue de 50 kg N ha⁻¹, 30 kg P ha⁻¹, 25 kg K ha⁻¹, 12 kg Mg ha⁻¹ y 12 kg B ha⁻¹, mientras que para las leguminosas, se aplicaron las mismas cantidades de fertilizante, pero se omitió el N, según lo recomendado por Castro et al. (2008). Posterior al periodo de establecimiento (120 d) y tras el corte de uniformización a 5 cm de altura, se determinó la producción de forraje verde, materia seca y la calidad composicional los días 21, 35 y 49 de rebrote, en dos periodos de medición (abril-mayo y junio-julio), representando entre el 2 y el 7 corte. Luego de cada corte se aplicaron niveles crecientes de fertilización nitrogenada (0, 50, 100 y 150 kg ha⁻¹) y fosfatada (0, 25 y 50 kg ha⁻¹) en los raigrases y únicamente fosfatada en los tréboles (0, 12,5, 25 y 37,5 kg ha⁻¹).

Variables de producción y análisis de laboratorio

Durante el periodo de evaluación, se determinó en cada parcela la altura promedio de las plantas (cm), la cobertura del cultivo (%), determinada como la proporción cubierta del área sembrada), el contenido de clorofila (SPAD) y la producción de forraje verde (kg ha⁻¹). Las muestras de forraje se pesaron, secaron y conservaron para su posterior análisis en el laboratorio. La concentración de proteína cruda (PC), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), cenizas, calcio (Ca) y fósforo (P) de los raigrases y los tréboles se determinaron a través de la metodología NIRS (Ariza et al., 2017). Además, se estimó la concentración de nutrientes digestibles totales (NDT), energía metabólica (EM) y energía neta de lactancia (ENI) de cada forraje, utilizando la fórmula descrita por Adams (1994).

Análisis estadístico

Las variables se analizaron a través de un modelo de parcelas divididas con medidas repetidas, a través del procedimiento GLM (SAS Institute Inc, 2013), de la siguiente manera: $Y_{ijkm} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij} + \tau_k + \sigma_m + (\beta\tau)_{jk} + \phi_{ijkm}$, en donde: Y_{ijkm} , es la respuesta de la j-ésima especie, ubicada en el i-ésimo bloque, que recibió el k-ésimo plan de fertilización en la m-ésima fecha de corte; α_i es el efecto del bloque i; β_j efecto de la especie j; ϵ_{ij} es el error de la parcela principal; τ_k es el efecto del plan de fertilización k, σ_m es el efecto del tiempo de corte, $(\beta\tau)_{jk}$ es la interacción entre el plan de fertilización y la especie, y ϕ_{ijkm} error de las subparcelas (Martínez et al., 2011). Las medias fueron comparadas a través de la prueba de Tukey con una significancia de 5 %. Se determinó la relación lineal, cuadrática y cúbica entre los niveles de fertilización nitrogenada y fosfatada de las variables evaluadas.

Resultados

Precipitación, temperatura y características edáficas de los lugares experimentales

La precipitación en las regiones donde se realizó el trabajo de investigación, tuvo una distribución bimodal, con dos épocas de lluvias (de marzo a mayo y de septiembre a noviembre) y dos de sequía (de julio a agosto y de diciembre a febrero). Mosquera presentó una menor precipitación promedio anual respecto a lo reportado en Tuta (674 vs 890 mm año⁻¹) (Figura 1).

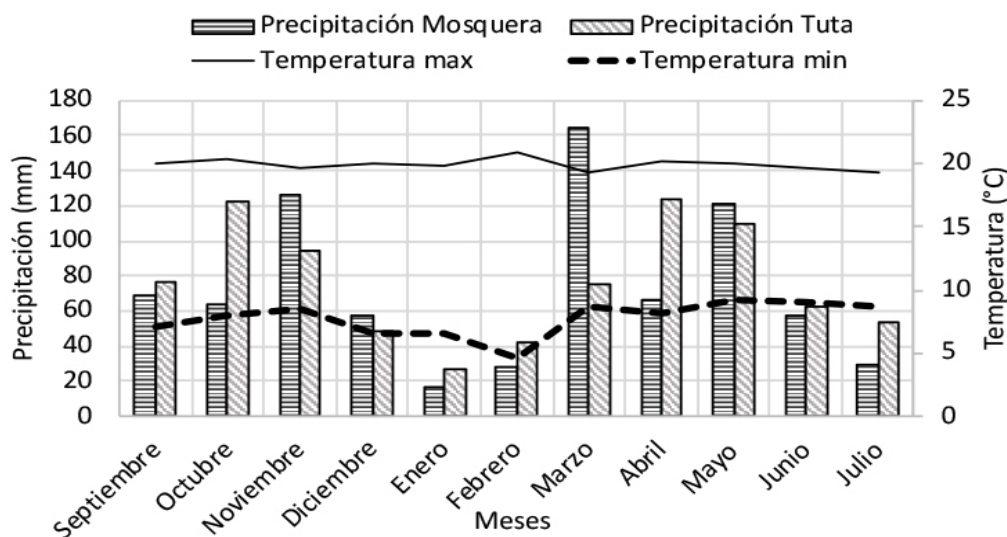


Figura 1. Distribución de la precipitación y la temperatura durante el periodo de evaluación de raigrases perennes (*Lolium perenne*) y tréboles rojos (*Trifolium pratense*) en Tuta (Boyacá) y Mosquera (Cundinamarca), Colombia. 2016-2017.

Figure 1. Precipitation distribution and temperature during evaluation period of perennial ryegrasses (*Lolium perenne*) and red clovers (*Trifolium pratense*) in Tuta (Boyaca) and Mosquera (Cundinamarca), Colombia. 2016-2017.

Las características de los suelos en las fincas se muestran en el Cuadro 1. Los suelos son ácidos ($\text{pH} < 5,5$) y con bajas concentraciones de materia orgánica ($< 5\%$). En Mosquera, los suelos tuvieron niveles de moderados a altos de nutrientes, sin embargo, los suelos de Tuta presentaron concentraciones de medias a moderadas de macrominerales y de medias a altas de microminerales (ICA, 1992).

Producción de forraje y calidad composicional de raigrases perennes en dos regiones del trópico alto colombiano

En los raigrases, la fertilización nitrogenada incrementó linealmente ($p < 0,05$) la producción de materia seca, la altura de las plantas y la concentración de clorofila en las dos regiones evaluadas. Además, al incrementar la aplicación de nitrógeno aumentó ($p < 0,05$) la concentración de PC, Ca, P y energía, y disminuyó la de FDN (Cuadro 2 y Cuadro 3). En Mosquera, se evidenció un aumento en la concentración de FDA al incrementar el nivel de fertilización nitrogenada (Cuadro 2), mientras en Tuta aumentó la cobertura y la concentración de cenizas (Cuadro 3). Sin embargo, los niveles crecientes de la fertilización fosfatada no afectaron ($p > 0,05$) las variables en Tuta y únicamente aumentó ($p < 0,05$) la altura de los raigrases en Mosquera (Cuadro 2 y Cuadro 3).

El raigrás P1 presentó una mayor ($p < 0,05$) producción de materia seca y altura respecto al P2 en los dos municipios (Cuadro 2 y Cuadro 3). El P2 presentó una mayor ($p < 0,05$) concentración de PC, NDT y energía, y una menor ($p < 0,05$) concentración de cenizas (Cuadro 2 y Cuadro 3). En Mosquera, el P2 presentó mayor ($p < 0,05$) cobertura, pero menor ($p < 0,05$) clorofila, FDN y Ca respecto a P1 (Cuadro 2), mientras en Tuta, el P1 presentó mayor ($p < 0,05$) contenido de P y menor de PC respecto al P2 (Cuadro 3).

El incremento en la edad se relacionó con una mayor producción de materia seca, altura, FDN y FDA, y con una disminución en la clorofila, PC, P, NDT y energía de los raigrases en los municipios (Cuadro 2 y Cuadro 3). En Tuta, el incremento en la madurez del forraje disminuyó ($p < 0,05$) la concentración de cenizas y de Ca (Cuadro 3), mientras que en Mosquera, aumentó ($p < 0,05$) la concentración de cenizas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Variables productivas y composicionales de dos variedades de raigrases perenne (*Lolium perenne*) en Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2016-2017. **Table 2.** Yield and composition variables of two perennial ryegrass (*Lolium perenne*) varieties in Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2016-2017.

Variable ¹	N (kg ha ⁻¹)				P (kg ha ⁻¹)				Variedad				Día de rebrote (d)				p< ²	
	0	50	100	150	0	25	50	P1	P2	P2	21	35	49	N	P	NxP	V	E
Materia seca	2,40 ^c	2,96 ^b	3,42 ^a	3,54 ^a	3,07	3,11	3,07	3,21 ^a	2,95 ^b	2,20 ^c	3,21 ^b	3,84 ^a	***	ns	ns	ns	**	***
	kg MS ha ⁻¹																	
Altura	33,71 ^d	40,35 ^c	44,83 ^b	48,92 ^a	40,73 ^b	42,29 ^a	42,84 ^a	45,08 ^a	38,83 ^b	35,83 ^c	43,48 ^b	46,55 ^a	***	*	ns	****	***	***
	cm																	
Clorofila	38,13 ^c	40,98 ^b	43,03 ^a	43,94 ^a	41,46	41,21	41,89	42,35 ^a	40,69 ^b	43,38 ^a	41,60 ^b	39,58 ^c	***	ns	ns	****	***	***
	SPAD																	
	%																	
Cobertura	64	61	62	66	64	63	63	61 ^b	66 ^a	65 ^a	60 ^b	64 ^a	ns	ns	ns	****	**	**
PC	16,32 ^d	18,85 ^c	20,36 ^b	21,52 ^a	19,18	19,13	19,47	19,02 ^b	19,51 ^a	21,67 ^a	19,69 ^b	16,42 ^c	***	ns	ns	**	***	***
FDN	55,17 ^a	52,98 ^b	51,71 ^c	50,60 ^d	52,71	52,67	52,46	52,87 ^a	52,36 ^b	51,25 ^c	52,74 ^b	53,85 ^a	***	ns	ns	*	***	***
FDA	25,38 ^d	25,98 ^c	26,61 ^b	27,50 ^a	26,44	26,36	26,30	26,39	26,34	26,46 ^{ab}	26,04 ^b	26,61 ^a	***	ns	ns	ns	*	*
Cenizas	9,70	9,73	9,65	9,72	9,68	9,74	9,68	9,84 ^a	9,56 ^b	9,16 ^c	9,42 ^b	10,52 ^a	ns	ns	ns	****	****	****
Ca	0,60 ^b	0,62 ^a	0,62 ^a	0,61 ^a	0,62	0,61	0,61	0,60 ^a	0,62 ^b	0,60	0,62	0,61	*	ns	ns	****	ns	ns
P	0,43 ^c	0,46 ^b	0,47 ^{ab}	0,48 ^a	0,46	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47 ^a	0,47 ^a	0,45 ^b	***	ns	ns	ns	ns	***
NDT	58,36 ^d	60,49 ^c	61,79 ^b	62,82 ^a	60,78	60,77	61,04	60,67 ^b	61,50 ^a	62,62 ^a	61,27 ^b	58,70 ^c	***	ns	ns	*	****	****
	Mcal kg MS ⁻¹																	
EM	2,12 ^d	2,20 ^c	2,24 ^b	2,28 ^a	2,21	2,21	2,22	2,20 ^b	2,22 ^a	2,29 ^a	2,22 ^b	2,12 ^c	***	ns	ns	*	***	***
ENI	1,31 ^d	1,36 ^c	1,40 ^b	1,42 ^a	1,37	1,37	1,38	1,37 ^b	1,38 ^a	1,42 ^a	1,38 ^b	1,32 ^c	***	ns	ns	*	***	***

^{ab,c} Letras diferentes dentro de la misma fila, representa diferencias significativas. ns: no significativo; *, p<0,05; **, p<0,01; ***, p<0,001 / ^{ab,c} Different letter within the same row, represents differences between treatments. ns: non-significant, *, p<0,05; **, p<0,01; ***, p<0,001.

¹ PC: proteína Cruda; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; Ca: calcio; P: fósforo; NDT: nutrientes digestibles totales; EM: energía metabolizable; ENI: energía neta de lactancia / CP: crude protein; NDF: neutral detergent fibre; ADF: acid detergent fibre; Ca: calcium; P: phosphate; TDN: total digestible nutrients; ME: metabolizable energy; NEI: net energy of lactation.

² N: efecto de la fertilización nitrogenada; P: efecto de la fertilización fosfatada; NxP: interacción entre la fertilización nitrogenada y fosfatada; V: efecto de la variedad; E: efecto de la edad de rebrote / N: nitrogen fertilization effect; P: phosphate fertilization effect; NxP: interaction between nitrogen and phosphate fertilization; V: variety effect; E: regrowth effect.

Cuadro 3. Variables productivas y composicionales de dos variedades de raigrases perennes (*Lolium perenne*) en Tuta, Boyacá, Colombia. 2016-2017.**Table 3.** Yield and composition variables of two perennial ryegrass (*Lolium perenne*) varieties in Tuta, Boyaca, Colombia. 2016-2017.

Variable ¹	N (kg ha ⁻¹)				P (kg ha ⁻¹)				Variedad				Día de rebrote (d)				p< ²		
	0	50	100	150	0	25	50	P1	P2	P1	P2	21	35	49	N	P	NxP	V	E
Materia seca	1,77 ^e	2,42 ^b	2,61 ^b	3,20 ^a	2,45	2,50	2,54	2,71 ^a	2,28 ^b	1,58 ^c	2,41 ^b	3,50 ^a			***	ns	ns	***	***
	kg MS ha ⁻¹																		
Altura	33,25 ^d	39,98 ^c	44,86 ^b	49,98 ^a	40,67	42,25	43,09	43,58 ^a	40,41 ^b	37,31 ^c	42,84 ^b	45,83 ^a			***	ns	ns	***	***
	cm																		
Clorofila	41,47 ^c	42,67 ^c	44,95 ^b	46,58 ^a	43,86	44,06	43,82	44,00	43,82	45,94 ^a	43,58 ^b	42,23 ^c			***	ns	ns	ns	***
	SPAD																		
	%																		
Cobertura	48 ^b	52 ^b	49 ^b	59 ^a	50	52	53	51	53	51	53	51		*	ns	ns	ns	ns	ns
PC	16,92 ^d	18,43 ^c	19,51 ^b	20,50 ^a	18,76	18,91	18,84	18,71 ^b	18,97 ^a	22,43 ^a	18,54 ^b	15,83 ^c			***	ns	ns	*	***
FDN	53,11 ^a	51,38 ^b	50,40 ^c	49,78 ^c	51,23	51,06	51,23	51,23	51,11	48,22 ^c	50,96 ^b	54,09 ^a			***	ns	ns	ns	***
FDA	22,67	22,24	21,85	22,07	22,02	22,19	22,41	22,29	22,13	22,25 ^a	21,77 ^b	22,61 ^a		+	ns	ns	ns	ns	***
Cenizas	9,16 ^c	9,35 ^{bc}	9,51 ^{ab}	9,62 ^a	9,37	9,42	9,43	9,57 ^a	9,24 ^b	9,57 ^a	9,59 ^a	9,07 ^b		***	ns	ns	ns	***	***
Ca	0,53 ^b	0,55 ^{ab}	0,54 ^b	0,56 ^a	0,53	0,55	0,55	0,54	0,60 ^a	0,60 ^a	0,53 ^b	0,50 ^c		*	ns	ns	+	***	***
P	0,38 ^c	0,40 ^b	0,41 ^b	0,43 ^a	0,40	0,41	0,41	0,41 ^a	0,40 ^b	0,47 ^a	0,40 ^b	0,36 ^c		***	ns	ns	*	***	***
NDT	60,21 ^d	61,45 ^c	62,36 ^b	63,03 ^a	61,75	61,82	61,70	61,64 ^b	61,87 ^a	64,42 ^a	61,67 ^b	59,42 ^c		***	ns	ns	*	***	***
	Mcal kg MS ⁻¹																		
EM	2,20 ^d	2,25 ^c	2,29 ^b	2,32 ^a	2,26	2,27	2,26	2,26 ^b	2,27 ^a	2,37 ^a	2,26 ^b	2,17 ^c		***	ns	ns	**	***	***
ENI	1,36 ^d	1,39 ^c	1,41 ^b	1,43 ^a	1,40	1,40	1,39	1,39 ^b	1,40 ^a	1,46 ^a	1,39 ^b	1,34 ^c		***	ns	ns	*	***	***

^{a,b,c} Letras diferentes dentro de la misma fila, representa diferencias significativas. ns: no significativo; *, p<0,05; **, p<0,01; ***, p<0,001 / a,b,c. Different letter within the same row, represents differences between treatments. ns: non-significant, *, p<0,05; **, p<0,01; ***, p<0,001.

¹ PC: proteína Cruda; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; Ca: calcio; P: fósforo; NDT: nutrientes digestibles totales; EM: energía metabolizable; ENI: energía neta de lactancia / CP: crude protein; NDF: neutral detergent fibre; ADF: acid detergent fibre; Ca: calcium; P: phosphate; TDN: total digestible nutrients; ME: metabolizable energy; NEI: net energy of lactation.

² N: efecto de la fertilización nitrogenada; P: efecto de la fertilización fosfatada; NxP: interacción entre la fertilización nitrogenada y fosfatada; V: efecto de la variedad; E: efecto de la edad de rebrote / N: nitrogen fertilization effect; P: phosphate fertilization effect; NxP: interaction between nitrogen and phosphate fertilization; V: variety effect; E: regrowth effect.

Producción de forraje y calidad composicional de tréboles rojos en dos regiones del trópico alto colombiano

La fertilización fosfatada no afectó ($p>0,05$) las variables evaluadas en los tréboles en Tuta (Cuadro 4), sin embargo, en Mosquera se evidenció únicamente un incremento lineal ($p<0,05$) en la altura al aumentar los niveles de fertilización fosfatada (Cuadro 5). La cobertura fue mayor ($p<0,05$) en el TR respecto al TRG, las demás variables no se afectaron ($p>0,05$) por la variedad de los tréboles en las dos regiones evaluadas (Cuadro 4 y Cuadro 5).

Cuadro 4. Variables productivas y composicionales evaluadas en dos variedades de tréboles rojos (*Trifolium pratense*) en Tuta, Boyacá, Colombia. 2017.

Table 4. Yield and composition variables of two red clovers (*Trifolium pratense*) varieties in Tuta, Boyaca, Colombia. 2017.

Variable ¹	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				Variedad		Día de rebrote (d)			p ²		
	0	12,5	25	37,5	TR	TRG	21	35	49	P	V	E
	kg MS ha⁻¹											
Materia seca	0,58	0,77	0,76	0,79	0,74	0,69	0,58 ^b	0,65 ^b	0,94 ^a	ns	ns	**
	cm											
Altura	15,46	16,76	17,16	20,04	17,24	17,24	14,24 ^b	18,53 ^a	19,56 ^a	ns	ns	***
	SPAD											
Clorofila	39,74	41,59	42,53	40,51	41,08	41,01	41,48	41,26	40,32	ns	ns	Ns
	%											
Cobertura	20	22	30	25	27 ^a	21 ^b	28 ^a	27 ^a	16 ^b	ns	**	***
PC	23,08	24,60	23,05	23,55	23,65	23,52	23,64	24,08	23,01	ns	ns	+
FDN	34,24	34,21	35,26	34,96	34,55	34,71	35,90	34,69	33,72	ns	ns	+
FDA	20,05	20,14	20,47	20,58	20,25	20,34	20,85 ^a	19,79 ^b	20,46 ^{ab}	ns	ns	*
Cenizas	10,01	9,98	10,12	10,03	9,99	10,08	10,16 ^a	9,84 ^b	10,15 ^a	ns	ns	*
Ca	0,77	0,80	0,79	0,79	0,78	0,79	0,78	0,79	0,78	ns	ns	ns
P	0,35	0,37	0,36	0,36	0,36	0,36	0,38 ^a	0,37 ^a	0,34 ^b	ns	ns	***
NDT	65,53	66,62	65,38	65,72	65,88	65,76	65,71	66,34	65,35	ns	ns	+
	Mcal kg MS⁻¹											
EM	2,42	2,47	2,42	2,43	2,44	2,44	2,42	2,45	2,43	ns	ns	ns
ENI	1,49	1,52	1,48	1,49	1,50	1,49	1,49	1,51	1,48	ns	ns	+

^{a,b,c} Letras diferentes dentro de la misma fila, representa diferencias significativas. ns: no significativo; *: $p<0,05$; **: $p<0,01$; ***: $p<0,001$ / Different letter within the same row, represents differences between treatments. ns: non-significant, *: $p<0,05$; **: $p<0,01$; ***: $p<0,001$.

¹ PC: proteína cruda; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; Ca: calcio; P: fósforo; NDT: nutrientes digestibles totales; EM: energía metabolizable; ENI: energía neta de lactancia / CP: crude protein; NDF: neutral detergent fibre; ADF: acid detergent fibre; Ca: calcium; P: phosphate; TDN: total digestible nutrients; ME: metabolizable energy; NEI: net energy of lactation.

² P: efecto de la fertilización fosfatada; V: efecto de la variedad; E: efecto de la edad de rebrote / P: phosphate fertilization effect; V: variety effect; E: regrowth effect.

Cuadro 5. Variables productivas y composicionales evaluadas en dos variedades de tréboles rojos (*Trifolium pratense*) en Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

Table 5. Yield and composition variables of two red clovers (*Trifolium pratense*) varieties in Mosquera, Cundinamarca. 2017.

Variable ¹	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				Variedad		Día de rebrote (d)			p ²		
	0	12,5	25	37,5	TR	TRG	21	35	49	P	V	E
kg MS ha⁻¹												
Materia seca	1,57	1,83	1,76	1,71	1,73	1,70	1,25 ^b	1,50 ^b	2,41 ^a	ns	ns	***
Cm												
Altura	20,02 ^c	22,13 ^{bc}	23,54 ^{ab}	25,59 ^a	23,06	22,58	16,12 ^c	23,34 ^b	29,00 ^a	***	ns	***
SPAD												
Clorofila	43,88	43,89	46,19	45,86	45,06	44,85	43,48 ^b	45,35 ^{ab}	46,03 ^a	+	ns	*
%												
Cobertura	53	54	53	50	55 ^a	50 ^b	49 ^b	53 ^{ab}	55 ^a	ns	*	*
PC	25,94	25,79	26,09	26,20	26,28	25,73	27,14 ^a	27,01 ^a	23,87 ^b	ns	ns	***
FDN	35,83	36,30	35,47	35,30	35,58	35,87	39,21 ^a	34,23 ^b	33,73 ^b	ns	ns	***
FDA	21,60	21,91	21,38	21,61	21,51	21,74	23,28 ^a	20,28 ^c	21,32 ^b	ns	ns	***
Cenizas	10,29	10,46	10,43	10,60	10,43	10,46	9,82 ^c	10,41 ^b	11,09 ^a	ns	ns	***
Ca	0,83	0,84	0,83	0,84	0,84	0,83	0,82 ^b	0,83 ^b	0,86 ^a	ns	ns	***
P	0,42	0,42	0,42	0,41	0,42	0,41	0,43 ^a	0,42 ^a	0,40 ^b	ns	ns	***
NDT	67,19	66,99	67,36	67,37	67,46	66,99	67,58 ^a	68,36 ^a	65,73 ^b	ns	+	***
Mcal kg MS⁻¹												
EM	2,44	2,44	2,45	2,45	2,46	2,44	2,49 ^a	2,47 ^a	2,38 ^b	ns	ns	***
ENI	1,53	1,52	1,53	1,53	1,54	1,52	1,54 ^b	1,56 ^a	1,49 ^c	ns	ns	***

^{a,b,c} Letras diferentes dentro de la misma fila, representa diferencias significativas. ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01; ***: p<0,001 / Different letter within the same row, represents differences between treatments. ns: non-significant, *: p<0.05; **: p<0.01; ***: p<0.001.

¹ PC: proteína cruda; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; Ca: calcio; P: fósforo; NDT: nutrientes digestibles totales; EM: energía metabolizable; ENI: energía neta de lactancia / PC: crude protein; FDN: neutral detergent fibre; FDA: acid detergent fibre; Ca: calcium; P: phosphate; TDN: total digestible nutrients; ME: metabolizable energy; NEI: net energy of lactation.

² P: efecto de la fertilización fosfatada; V: efecto de la variedad; E: efecto de la edad de rebrote / P: phosphate fertilization effect; V: variety effect; E: regrowth effect.

El incremento en la edad de rebrote aumentó (p<0,05) la producción de biomasa y la altura, y disminuyó (p<0,05) la concentración de FDA y de P en los dos municipios (Cuadro 5 y Cuadro 6). En Mosquera, el incremento en la edad de rebrote disminuyó (p<0,05) la concentración de PC, FDN, P, NDT y energía, mientras aumentó (p<0,05) la clorofila, la cobertura y la concentración de cenizas y de Ca (Cuadro 5). En Tuta, el incremento en la edad disminuyó (p<0,05) la cobertura (Cuadro 4).

Cuadro 6. Efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada sobre la producción de materia seca en raigrases perennes, anuales e híbridos (*Lolium* sp.) comparado con la literatura.

Table 6. Effect of nitrogen and phosphate fertilization on the production of dry matter in perennial, annual and hybrid ryegrasses (*Lolium* sp.) compared to the literature.

Nutriente	Forraje	Dosis (kg nutriente ha ⁻¹)	Tasa acumulación (kg MS kg ⁻¹ nutriente)	Fuente
N	<i>Lolium perenne</i>	26, 53 y 80	13,92	Cuesta (2011)
	<i>Lolium perenne</i>	0, 25, 50, 75 y 100	4,28	Chaverra et al. (1967)
	<i>Lolium perenne</i>	0, 26 y 52	14,36	Cuesta (2011)
	<i>Lolium perenne</i>	100, 200, 300, 400 y 500	24,70	Wilkins et al. (2000)
	<i>Lolium perenne</i>	0, 100, 200, 300 y 400	20,11	Shiel et al. (2001)
	<i>Lolium perenne</i> (P1)	0, 50, 100 y 150	7,8	Presente trabajo
	<i>Lolium perenne</i> (P2)	0, 50, 100 y 150	8,9	Presente trabajo
	<i>Lolium multiflorum</i>	26, 53 y 80	9,48	Cuesta (2011)
	<i>Lolium multiflorum</i>	0, 26 y 52	22,50	Cuesta (2011)
	<i>Lolium multiflorum</i>	0, 25, 50, 75 y 100	12,72	Chaverra et al. (1967)
P ₂ O ₅	<i>Lolium perenne</i>	0 y 45	1,08	Cuesta (2011)
	<i>Lolium perenne</i>	0 y 45	2,51	Cuesta (2011)
	<i>Lolium perenne</i> (P1)	0, 12,5, 25 y 37,5	-0,07	Presente trabajo
	<i>Lolium perenne</i> (P2)	0, 12,5, 25 y 37,5	1,8	Presente trabajo
	<i>Lolium multiflorum</i>	0 y 45	2,89	Cuesta (2011)
	<i>Lolium multiflorum</i>	0 y 45	3,80	Cuesta (2011)
	<i>Lolium</i> sp.	0, 45, 90, 180 y 360	1,43	Mazza et al. (2012)

Discusión

La literatura reporta incrementos en la producción de biomasa en raigrases perennes, anuales e híbridos, debido a niveles crecientes de nitrógeno, que variaron entre 4 y 24 kg de materia seca por kg de N aplicado (Cuadro 6) (Chaverra et al., 1967; Wilkins et al., 2000; Shiel et al., 2001; Cuesta, 2011; Mazza et al., 2012), rango en el cual se encuentran los valores obtenidos en este trabajo (7,8 y 8,9 kg de materia seca por kg de nitrógeno aplicado). La diferencia respecto a los trabajos realizados en otros países puede estar asociada con la baja precipitación presentada en los meses de enero y febrero en los departamentos donde se desarrollaron las evaluaciones (Figura 1), en relación con los requerimientos hídricos de los raigrases, que pueden variar entre 48 y 100 mm al mes (Bernal, 1998). Aunado a ello, las tasas de aplicación de fertilización, las condiciones de manejo, como por ejemplo, la frecuencia de irrigación o la edad de corte, son factores que afectan la eficiencia en la utilización de la fertilización nitrogenada (Mantell, 1966; Bryant et al., 2012), lo que podría explicar el rango amplio de respuestas en la producción de biomasa reportada en raigrases perennes, anuales o híbridos (Cuadro 6).

El incremento en la producción de biomasa debido a la fertilización nitrogenada se explica, por el aumento en la concentración de la clorofila, relacionado con un valor mayor de grados SPAD, lo que sugiere una mayor capacidad para la síntesis de foto-asimilados, y resultó en la mayor producción y concentración de energía en el forraje (Cuadro 3 y 4) (Rincón, 2012). Sin embargo, Bryant et al. (2012) reportaron el aumento en la producción

de biomasa, pero no en la composición de los forrajes al incrementar el nivel de fertilización nitrogenada. Otros autores sugirieron que el incremento en el área foliar y el número de hojas, podrían explicar la mayor producción de materia seca al realizar aplicaciones nitrogenadas (Akmal y Janssens, 2004).

La fertilización nitrogenada se relaciona con el aumento en la concentración de PC (Lovett et al., 2004). Aunado a esto, se observó la disminución en la concentración de FDN y Ca, similar a lo mencionado por Bernal (1998). Posiblemente, la fertilización nitrogenada promueva la mayor concentración de contenido celular, lo que resulta en una disminución en los componentes asociados a la pared y una menor proporción de materia seca en el forraje (Lovett et al., 2004).

Se han reportado incrementos en la producción de materia seca que varía entre 1 y 4 kg por kg de P_2O_5 aplicado (Mazza et al., 2012) (Cuadro 6). En este trabajo se encontraron tasas de acumulación de biomasa entre -0,07 y 1,8 kg MS en Mosquera y Tuta, respectivamente, debido a la aplicación de la fertilización fosfórica. La diferencia entre los municipios se podría explicar por el mayor contenido de fósforo en el suelo de Mosquera, lo que generó una menor respuesta respecto a los raigrases sembrados en Tuta. Sin embargo, en ninguna de las fincas se presentaron diferencias significativas entre los niveles de fertilización. Finalmente, la fertilización fosfatada no modificó la concentración de nutrientes en los raigrases, similar a lo encontrado en la literatura (Butler et al., 2007).

La producción de biomasa y la composición química presentó diferencias de acuerdo con las características genéticas de los raigrases y de las prácticas de manejo (diploide vs tetraploide, perennes vs anuales) (Bernal, 1998; Beecher et al., 2013), sin embargo, Vargas et al. (2018) no encontraron diferencias en la composición de raigrases perennes evaluados en dos departamentos del trópico alto colombiano.

El aumento en la edad del forraje se relaciona con una menor concentración de componentes de alta solubilidad (Vargas et al., 2018) y la mayor proporción de tallos y de tejidos de baja digestibilidad, dando como resultado el menor valor nutricional del forraje, al limitar el consumo voluntario y reducir la disponibilidad de nutrientes de la dieta (Chaves et al., 2006; Sun et al., 2010; Villalobos y Sánchez, 2010).

La literatura ha reportado pocos trabajos en donde se evaluó la producción y la composición química de tréboles bajo diferentes manejos de fertilización fosfatada. Un incremento de 0,3 kg MS por kg P_2O_5 aplicado fue encontrado por Chaverra et al. (1967). En el presente trabajo la adición de fósforo en tréboles presentó una acumulación de biomasa entre -4,7 y 0,8 kg MS en Mosquera y Tuta, respectivamente. Esta respuesta puede explicarse por la limitada concentración de fósforo en los suelos de Tuta (Cuadro 1), lo que promueve la producción mayor de estas leguminosas al aumentar la fertilización fosfatada, diferente a lo encontrado en Mosquera. Como se mencionó anteriormente, el incremento en la edad disminuye la concentración de energía, sin embargo, la composición de fibra y proteína presenta un comportamiento variable según la zona y la época de recolección, similar a lo reportado en la literatura (Vargas et al., 2018).

Conclusiones

La fertilización nitrogenada incrementó la producción de materia seca y mejoró la composición química de los raigrases, sin embargo, la fertilización fosfatada no modificó la producción ni la composición nutricional de los raigrases y los tréboles en las regiones evaluadas. Para desarrollar un plan de fertilización, se sugiere evaluar los niveles de fertilización nitrogenada a nivel comercial para determinar la rentabilidad de la aplicación. Finalmente, la mayor edad de rebrote promovió la mayor producción de biomasa y la menor concentración de compuestos solubles y de energía en los tréboles y raigrases evaluados.

Literatura citada

- Adams, R.S. 1994. Regression equations for estimating energy values of various feeds. In: V. Ishler et al., editors, From feed to milk: Understanding rumen function. Extension circular No. 422. Pennsylvania State University, PA, USA. p. 20. University of Manitoba, Winnipeg, CAN. <https://home.cc.umanitoba.ca/~plaizier/rumen.pdf> (accessed Sep. 25, 2018).
- Akmal, M., and M.J.J. Janssens. 2004. Productivity and light use efficiency of perennial ryegrass with contrasting water and nitrogen supplies. *Field Crop Res.* 88:143-155. doi:10.1016/j.fcr.2003.12.004
- Amézquita, M., M. Ibrahim, T. Lllander, P. Buurman, and E. Amézquita. 2005. Carbon sequestration in pastures, silvo-pastoral systems and forests in four regions of the Latin American tropics. *J. Sustain. For.* 21:31-50. doi:10.1300/J091v21n01_02
- Ariza, C., O.L. Mayorga, B. Mojica, D. Parra, and G. Afanador. 2017. Use of LOCAL algorithm with near infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems in Colombia. *J. Near Infrared Spec.* 26:44-52. doi:10.1177/0967033517746900
- Beecher, M., D. Hennessy, T.M. Boland, M. McEvoy, M. O'Donovan, and E. Lewis. 2013. The variation in morphology of perennial ryegrass cultivars throughout the grazing season and effects on organic matter digestibility. *Grass Forage Sci.* 70:19-29. doi:10.1111/gfs.12081
- Bernal, J.E. 1998. Fertilización de pastos mejorados. En: R. Guerrero, editor, Fertilización de cultivos en clima frío. 2a ed. Monómeros Colombo Venezolanos S.A., Bogotá, COL. p. 278-328.
- Bryant, R.H., P. Gregorini, and G.R. Edwards. 2012. Effects of N fertilisation, leaf appearance and time of day on N fractionation and chemical composition of *Lolium perenne* cultivars in spring. *Anim. Feed Sci. Technol.* 173:210-219. doi:10.1016/j.anifeedsci.2012.02.003
- Butler, T.J., J.P. Muir, and T.L. Provin. 2007. Phosphorus fertilization of annual ryegrass and comparison of soil phosphorus extractants. *J. Plant Nutr.* 30:9-20. doi:10.1080/01904160601054825
- Carulla, J.E., y E. Ortega. 2016. Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 24:83-87.
- Castro, E., J.E. Mojica, J.M. León, M.L. Pabón, J.E. Carulla, y E.A. Cárdenas. 2008. Productividad de pasturas y producción de leche bovina bajo pastoreo de gramínea y gramínea + *Lotus uliginosus* en Mosquera, Cundinamarca. *Rev. Med. Vet. Zoot.* 55:9-21.
- Chaverra, H., V. Dávila, F. Villamizar, y J. Bernal. 1967. El cultivo de los pastos en la sabana de Bogotá. *Cursillo sobre manejo de praderas y cultivo de pastos de clima frío.* Sociedad de Agricultores de Colombia. Aedita Editores Ltda., Bogotá, COL.
- Chaves, A.V., G.C. Waghorn, I.A. Brookes, and D.R. Woodfield. 2006. Effect of maturation and initial harvest dates on the nutritive characteristics of ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Anim. Feed. Sci. Technol.* 127:293-318. doi:10.1016/j.anifeedsci.2005.08.015
- Cuesta, P. 2011. Valoración agronómica y productiva en fincas de nuevas gramíneas forrajeras adaptadas al medio para mejorar la competitividad de los sistemas de producción de leche especializada del trópico alto colombiano. Corporación Colombiana de investigación agropecuaria (CORPOICA), Bogotá, COL.
- Fulkerson, W.J., J.S. Neal, C.F. Clark, A. Horadagoda, K.S. Nandra, and I. Barchia. 2007. Nutritive value of forage species grown in the warm temperate climate of Australia for dairy cows: Grasses and legumes. *Livest. Sci.* 107:253-264. doi:10.1016/j.livsci.2006.09.029.
- Gislum, R., B. Boelt, E.S. Jensen, B. Wollenweber, and K. Kristensen. 2005. Temporal variation in nitrogen concentration of above ground perennial ryegrass applied different nitrogen fertiliser rates. *Field Crop Res.* 91:83-90. doi:10.1016/j.fcr.2004.06.008

- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de asistencia técnica No. 25. ICA, COL.
- Ledgard, S., S. Wei, X. Wang, S. Falconer, N. Zhang, X. Zhang, and L. Ma. 2019. Nitrogen and carbon footprints of dairy farm systems in China and New Zealand, as influenced by productivity, feed sources and mitigations. *Agric. Water Manage.* 213:155-163. doi:10.1016/j.agwat.2018.10.009
- Lovett, D.K., A. Bortolozzo, P. Conaghan, P. O'Kiely, and F.P. O'Mara. 2004. *In vitro* total and methane gas production as influenced by rate of nitrogen application, season of harvest and perennial ryegrass cultivar. *Grass Forage Sci.* 59:227-232. doi:10.1111/j.1365-2494.2004.00421.x
- Mantell, A. 1966. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on growth and water use of a kikuyugrass lawn (*Pennisetum clandestinum*). *Agron. J.* 58:559-561. doi:10.2134/agronj1966.00021962005800060001x
- Marais, J.P. 2001. Factors affecting the nutritive value of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) – A review. *Trop. Grass.* 35(2):65-84.
- Martínez R., N. Martínez, y M.V. Martínez. 2011. Diseño de experimentos en ciencias agropecuarias y biológicas con SAS, SPSS, R y Statistix. Fondo Nacional Universitario, Bogotá, COL.
- Mazza, L.M., A.C. Vargas, A. Moraes, F. Machado, P.F. Adami, and D.O. Rabel. 2012. Forage yield and quality on soil subjected to phosphorus rates in subtropical grassland of Brazil. *R. Bras. Zootec.* 41:1100-1109. doi:10.1590/S1516-35982012000500004
- Rao, I., M. Peters, A. Castro, R. Schultze-Kraft, D. White, M. Fisher, J. Miles, C. Lascano, M. Blümmel, D. Bungenstab, J. Tapasco, G. Hyman, A. Bolliger, B. Paul, R. va-der-Hoek, B. Maass, T. Tiemann, M. Cuchillo, S. Douxchamps, C. Villanueva, A. Rincón, M. Ayarza, T. Rosenstock, G. Subbarao, J. Arando, J. Cardoso, M. Worthington, and N. Chirinda. 2015. LivestockPlus - The sustainable intensification of forage-based agricultural systems to improve livelihoods and ecosystems services in the tropics. *Trop. Grass.* 3(2):59-82. doi:10.17138/tgft(3)59-82
- Rincón, A. 2012. Los minerales en el desarrollo y producción de plantas. En: J. Barquero, y H. Florez, editores, Manejo de la nutrición mineral en sistemas ganaderos de los llanos orientales de Colombia. CORPOICA, Bogotá, COL. p. 58-80.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 2000. Fisiología de las plantas 2: Bioquímica vegetal. JM. Thomson Editores, Madrid, ESP.
- SAS Institute Inc. 2013. SAS® 9.4 Guide to software updates and product changes. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Shiel, R.S., A.M.A. El-Tilib, and A. Younger. 2001. The influence of fertilizer nitrogen, with clover content and environmental factor on the nitrate content of perennial ryegrass and ryegrass/white clover swards. *Grass Forage Sci.* 54:275-285. doi:10.1046/j.1365-2494.1999.00180.x
- Sun, X.Z., G.C. Waghorn, and H. Clark. 2010. Cultivar and age of regrowth effects on physical, chemical and in sacco degradation kinetics of vegetative perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Anim. Feed. Sci. Technol.* 155:172-185. doi:10.1016/j.anifeedsci.2009.12.004
- Tobar, D., y M. Ibrahim. 2008. Valor de los sistemas silvopastoriles para conservar la biodiversidad en fincas y paisaje ganaderos. CATIE, Turrialba, CRI.
- Vargas, J., A. Sierra, J. Benavidez, Y. Avellaneda, O. Mayorga, y C. Ariza. 2018. Establecimiento y producción de raigrás y trébol en dos regiones del trópico alto colombiano. *Agron. Mesoam.* 29:177-191. doi:10.15517/ma.v29i1.28077
- Villalobos, L., y J.M. Sánchez. 2010. Evaluación agronómica y nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica: I. Producción de biomasa y fenología. *Agron. Costarricense* 34(1):31-42.

Wilkins, P.W., D.K. Allen, and L.R. Mytton. 2000. Differences in the nitrogen use efficiency of perennial ryegrass varieties under simulated rotational grazing and their effects on nitrogen recovery and herbage nitrogen content. *Grass Forage Sci.* 55:69-76. doi:10.1046/j.1365-2494.2000.00199.x