

Nota técnica

Establecimiento y producción de raigrás y tréboles en dos regiones del trópico alto colombiano¹

Ryegrass and clover establishment and production in two regions of the Colombian's highlands

Juan Vargas-Martínez², Andrea Sierra-Alarcón², Juan Benavidez-Cruz², Yesid Avellaneda-Avellaneda², Olga Mayorga-Mogollón², Claudia Ariza-Nieto²

Resumen

Los sistemas de lechería en Colombia se basan en el uso de praderas, por lo cual es necesario determinar la respuesta de los forrajes bajo diferentes condiciones ambientales. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el establecimiento y la producción de raigrás perennes y tréboles en dos regiones del trópico alto colombiano. Se evaluaron cinco raigrás perennes (tres diploides y dos tetraploides) y tres tréboles (dos rojos y uno blanco) en Tuta, Boyacá y Mosquera, Cundinamarca. Se establecieron parcelas de 8 m² de cada especie con tres repeticiones. Las variables de establecimiento fueron evaluadas quincenalmente durante los primeros cinco meses. Las variables de producción y calidad nutricional fueron evaluadas en temporada de lluvia (abril y mayo) y de sequía (junio y julio). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con medidas repetidas, entre noviembre de 2015 y julio de 2016. Durante el periodo de establecimiento, se encontró una mayor cobertura y grado de adaptación en los raigrás y tréboles entre los días 45 y 60 y 105 y 150 en Tuta y Mosquera, respectivamente. La mayor edad provocó una disminución en la energía neta de lactancia (entre 7 y 15%) y un aumento en la producción diaria de materia seca por hectárea (entre 20 y 78 kg). El día de evaluación presentó una mayor influencia respecto a la variedad y la época de lluvias sobre las variables de establecimiento y producción evaluadas en raigrás y tréboles en trópico alto colombiano.

Palabras clave: ganado de leche, sistema agropastoril, plantas forrajeras.

Abstract

Colombian dairy systems are based on grasslands; therefore, it is necessary to define forages response under different environmental conditions. The objective of this study was to assess the establishment and production of five perennial ryegrass and three clovers into two regions of Colombian highlands (Tuta, Boyacá and Mosquera, Cundinamarca). Three 8 m² plots of each species were established. Establishment variables were evaluated twice a

¹ Recibido: 7 de marzo, 2017. Aceptado: 23 de agosto, 2017. Este trabajo formó parte de la agenda de investigación de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), con recursos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia.

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), Grupo de Investigación en Microbiología y Nutrición Animal del Trópico. Red de Ganadería y Especies Menores. Km 14 vía Bogotá-Mosquera. Mosquera, Cundinamarca, Colombia. jvargasm@corpoica.org.co, asierraa@corpoica.org.co, jbenavidez@corpoica.org.co, yavellaneda@corpoica.org.co, lmayorga@corpoica.org.co, cariza@corpoica.org.co



month during the initial five months. The variables of production and nutritional quality were evaluated in rainy (April and May) and drought (June and July) season. The variables were analyzed through a randomized complete block with repeated measures, between November 2015 and July 2016. During the establishment period, ryegrass and clovers coverage and adaptation degree were greater between the days 45 and 60, and 105 and 150, in Tuta and Mosquera, respectively. Maturity increase reduced the lactation net energy (between 7% and 15%) and increased the daily dry matter production per hectare (between 20 and 78 kg). Evaluation day presented a greater influence regarding the variety and the rainy season on the evaluated establishment and regarding the production variables in ryegrass and clover forages, in the Colombian highlands.

Keywords: dairy cattle, agro-pastoral system, feed crops.

Introducción

Las actividades productivas tienen como objetivo económico alcanzar mayores ingresos, a través de menores costos de producción o de inversiones que afecten positivamente la productividad. La ganadería tradicional no es ajena a esta estrategia, sin embargo, esta visión ha resultado en el deterioro de los ecosistemas, debido al incremento en el impacto negativo sobre el ambiente (Steinfeld et al., 2006). Algunos autores sugieren que el incremento en las emisiones de gases efecto invernadero, el uso inapropiado del recurso hídrico, la emisión de contaminantes y la deforestación son el resultado de prácticas inadecuadas en la ganadería (Hoekstra et al., 2011; Gerber et al., 2013; Murgueitio et al., 2013).

Los sistemas ganaderos basados en pasturas constituyen una estrategia que promueve la prestación de servicios ecosistémicos, como la captura de carbono, regulación de ciclos biológicos, entre otros (Amézquita, 2008). En este sentido, la intensificación sostenible de la ganadería es considerada una estrategia que permite aumentar la eficiencia en la producción y disminuir el impacto negativo sobre el ambiente (Rudel et al., 2015).

Los sistemas pastoriles, silvopastoriles, agropastoriles o agrosilvopastoriles representan dos terceras partes de la superficie cultivable del planeta (Reynolds y Frame, 2005). El manejo adecuado de estos sistemas constituye una fuente de almacenamiento de carbono (en el suelo o en la biomasa aérea), mantenimiento de la biodiversidad, conservación del recurso hídrico, entre otros servicios ambientales (Tobar y Ibrahim, 2008). Sin embargo, es necesario intensificar estos sistemas de producción a través de la optimización sostenible que incluye la selección de recursos genéticos adaptados a las condiciones particulares de los ecosistemas, el aumento en la eficiencia de utilización de nutrientes y la disminución en la excreción de residuos (Rao et al., 2015).

En Colombia, los sistemas de producción de lechería especializada de trópico alto se soportan en pasturas, se encuentran ubicados en zonas mayores a los 2200 msnm y generan el 70% de la producción láctea nacional (Carulla y Ortega, 2016). Estos sistemas se caracterizan por la presencia de gramíneas nativas (*Holcus lanatus* o *Anthoxanthum odoratum*), naturalizadas (*Cenchrus clandestinus* previamente denominado *Pennisetum clandestinum*) o mejoradas (*Lolium* sp.) (Carulla y Ortega, 2016). Además, pueden presentar leguminosas postradas (*Trifolium* sp. o *Lotus* sp.) o arbóreas (*Sambucus peruviana* o *Acacia decurrens*) destinadas a la alimentación animal (Castro et al., 2008).

Los sistemas de producción generalmente presentan inadecuadas prácticas de manejo (sobre o sub pastoreo que genera compactación y degradación de suelos y uso excesivo de fertilizantes de síntesis química), lo que resulta en una disminución en la producción de forraje (Cuesta, 2005; Black et al., 2009). Además, son dependientes de las condiciones ambientales, presentándose exceso de biomasa en épocas de lluvias y escasez en la de sequía (Cuesta, 2005). Aunado a esto, los forrajes presentan limitantes en calidad y susceptibilidad a factores exógenos como enfermedades, sequía y heladas (Cuesta, 2005), estos fenómenos son exacerbados por una mayor variabilidad

climática con periodos de mayor intensidad en la precipitación y épocas con sequías prolongadas (IDEAM et al., 2015). Finalmente, es evidente que el crecimiento demográfico está desplazando la ganadería a zonas con condiciones difíciles de producción (mayor pendiente, suelos con mayor acidez y menor fertilidad), lo que limita la eficiencia en la producción de forrajes (Chapman et al., 1985).

Es necesario evaluar especies forrajeras que presenten una mayor adaptación a las condiciones de variabilidad climática, un buen comportamiento en pendientes más pronunciadas y una mayor producción de forraje en términos de cantidad y calidad, que permita promover sistemas de producción sostenibles. Es por esto que, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el establecimiento y la producción de raigrás perennes y tréboles en dos regiones de trópico alto colombiano.

Materiales y métodos

Localización y preparación de suelos

Este trabajo de investigación se desarrolló en dos regiones del trópico alto colombiano, uno en zona plana y otro en ladera, entre noviembre de 2015 y julio de 2016. Como modelo representativo de la zona plana se seleccionó la finca Tibaitatá ubicada en Mosquera, Cundinamarca (latitud 4°35'56''N y longitud 74°04'51''O) y para la zona de ladera, la finca Ubasa, con pendiente de 40°, ubicada en Tuta, Boyacá (latitud 5°71'92''N y longitud 73°22'60''O). En cada finca se escogieron dos lotes representativos de 1000 m², en los cuales se tomaron muestras de suelo para determinar el análisis químico y definir un plan de fertilización.

En la zona plana se preparó el terreno con dos pases de cincel vibratorio y un pase de rastra sin traba. En la finca con pendiente se realizaron dos pases de rastra. Además, se hizo la limpieza manual del lote retirando el material vegetal residual. En ambos predios se incorporaron 500 kg/ha de cal dolomita en el momento de la preparación, de acuerdo con el análisis químico de suelos (Cuadro 1).

Forrajes evaluados y diseño experimental

Se seleccionaron cinco variedades de raigrás perennes (*Lolium perenne*), tres diploides y dos tetraploides, dos variedades de trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) y una variedad de trébol blanco (*Trifolium repens*). En cada finca se sembraron al voleo los forrajes en parcelas de 8 m², según la recomendación de la casa comercial de 50 kg/ha para los raigrás y 12,5 kg/ha para los tréboles. La siembra se realizó en la primera semana de noviembre, debido a que las lluvias se retrasaron durante el segundo semestre del año. Se realizó la fertilización de establecimiento para gramíneas utilizando las siguientes dosis: 50 kg N/ha, 30 kg P/ha, 25 kg K/ha, 12 kg Mg/ha y 12 kg B/ha; para las leguminosas se emplearon las mismas cantidades de fertilizante pero se omitió el N según lo recomendado por Castro et al. (2008).

Para evaluar cada especie se contó con tres repeticiones en cada finca y se utilizó como criterio de bloqueo la distribución espacial de la repetición en el lote completo, en este sentido se distribuyeron las repeticiones de acuerdo al gradiente de la pendiente en Tuta y de la humedad en Mosquera.

Variables de establecimiento y producción

Se evaluó el establecimiento durante los primeros 150 días post siembra y se realizó un corte de uniformización de las parcelas experimentales para dar inicio a la fase de producción. Se determinó la producción de forraje verde, materia seca y calidad nutricional los días 21, 35 y 49 de rebrote en época de lluvias (abril y mayo) y en la época de sequía (junio y julio). La fertilización de mantenimiento se realizó con 50 kg de N/ha y 25 kg de P/ha para las gramíneas y únicamente fósforo para las leguminosas según lo recomendado por Castro et al. (2008).

Cuadro 1. Características químicas del suelo en una finca ubicada en Tuta (Boyacá) y en otra finca ubicada en Mosquera (Cundinamarca). Colombia, Julio 2015.

Table 1. Soil chemical characteristics of two farms, one located in Tuta (Boyacá) and the other one located in Mosquera (Cundinamarca). Colombia, July 2015.

Análisis	Tuta	Mosquera
pH	5,3	5,3
MO (%)	4,0	4,8
	mg/kg	
P	4,8	122,0
S	4,5	11,1
Fe	1037,0	2846,0
Mn	2,6	11,8
Zn	4,4	46,7
Cu	1,9	9,0
B	0,2	0,7
	cmol/kg	
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
Acidez	1,7	0,4
CICE	6,9	14,0

MO: Materia orgánica, CICE: Capacidad de intercambio catiónico efectiva / MO: Organic matter, CICE: Effective cationic exchange capacity.

Durante el periodo de establecimiento, se determinó quincenalmente en cada parcela la cobertura (%), la altura de diez plantas (cm) y el grado de adaptación (en escala de 1 a 4, en donde 1 y 4 es adaptación muy baja y muy alta, respectivamente) de las gramíneas y las leguminosas evaluadas, siguiendo las recomendaciones de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (CIAT, 1982). En los dos periodos productivos evaluados se determinó en cada parcela la altura (cm) de diez plantas y la producción de forraje verde (kg/ha) realizando aforos de 0,25 m². Las muestras de forraje fueron pesadas, secadas y conservadas para posterior análisis de laboratorio.

Análisis de laboratorio

La concentración de la proteína cruda (PC), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), cenizas (CEN) y extracto etéreo (EE) de las gramíneas y leguminosas recolectadas en los tiempos de evaluación, fueron determinadas a través de espectroscopía infrarroja (NIRS, por sus siglas en inglés) (Godin et al., 2015), en el laboratorio de Nutrición Animal del Centro de Investigación Tibaitatá. Además, se estimó la concentración de energía neta de lactancia de cada forraje, utilizando la formula descrita por Adams (1994).

Análisis estadístico

Las variables de establecimiento y producción fueron analizadas a través de un modelo mixto de bloques completos al azar con medidas repetidas, en donde la variedad, el día de rebrote y la época fueron considerados

efectos fijos, y el bloque el efecto aleatorio, empleando el paquete estadístico SAS (2004). Las medias fueron comparadas a través de la prueba de Tukey con una significancia de 5%. Además, se determinó la relación entre la altura de la planta o el día de rebrote, y la producción de materia seca o forraje verde empleando regresión lineal simple a través del procedimiento reg de SAS (2004).

Resultados

Precipitación y características edáficas de los predios experimentales

La precipitación en las regiones donde se realizó el trabajo de investigación presentaron una distribución bimodal, con dos épocas de lluvias (de marzo a junio y de septiembre a noviembre) y dos de sequía (de julio a agosto y de diciembre a febrero) (Figura 1). Mosquera presentó una menor precipitación promedio anual respecto a lo reportado en Tuta (674 vs 890 mm/año). Durante el periodo de establecimiento (noviembre a marzo) se presentó una reducción del 52% en la precipitación, mientras que en el periodo de producción (abril a julio) aumentó 10% respecto al promedio histórico (Figura 1).

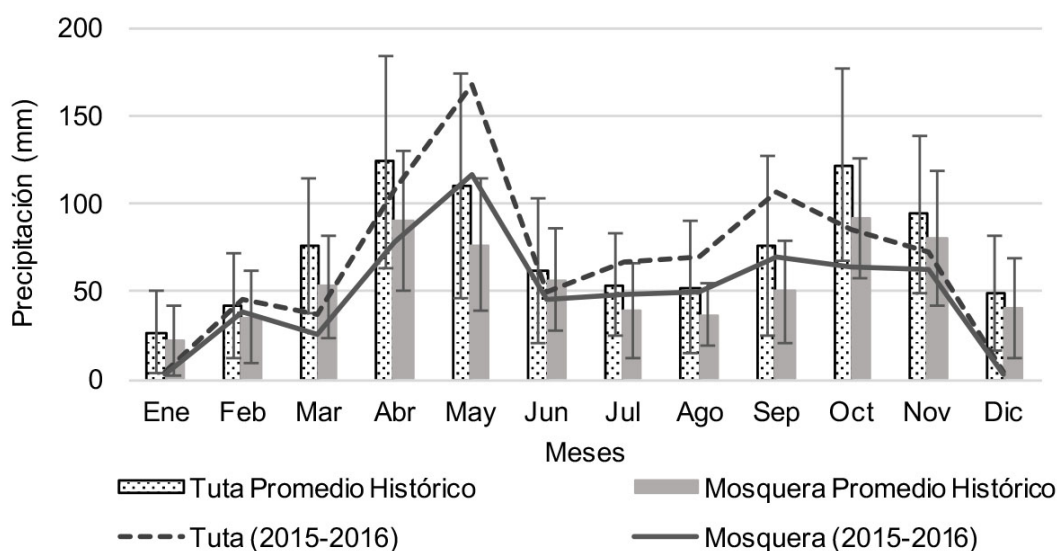


Figura 1. Distribución de la precipitación promedio mensual histórica (1971-2016) y durante el año de evaluación (2015-2016) en el establecimiento y producción de raigrás perennes (*Lolium perenne*), tréboles rojos (*Trifolium pratense* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens*) en Tuta (Boyacá) y Mosquera (Cundinamarca), Colombia. Fuente: IDEAM (2016).

Figure 1. Average of the historical precipitation distribution (1971-2016) and average precipitation during the establishment and production of perennial ryegrasses (*Lolium perenne*), red clovers (*Trifolium pratense* L.) and white clover (*Trifolium repens*) for this investigation (2015-2016) in Tuta (Boyacá) and Mosquera (Cundinamarca), Colombia. Source: IDEAM (2016).

Los suelos fueron ácidos ($\text{pH} < 5,5$) y con bajas concentraciones de materia orgánica ($< 5\%$). En Mosquera, los suelos presentaron 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 alta de microminerales (Cuadro 1).

Características agronómicas de raigrás y trébol durante la fase de establecimiento en dos regiones de trópico alto colombiano

Las variables del establecimiento de raigrás y de tréboles presentaron un comportamiento diferente en las dos regiones. Los raigrás evaluados en Tuta exhibieron la mayor altura en el día sesenta, mientras que el mayor grado de adaptación se evidenció en el día 45. La cobertura presentó una interacción entre el día y la variedad, debido a una menor cobertura de los raigrás tetraploides respecto a las otras variedades en el día sesenta. En Mosquera, los raigrás evaluados mostraron la mayor cobertura en el día 45, 60 y 150, el mayor grado de adaptación a los días 75 y 105, mientras la altura incrementó conforme avanzaba el periodo de establecimiento (Cuadro 2).

Cuadro 2. Variables de establecimiento de cinco variedades de raigrás perennes (*Lolium perenne*), en Tuta (Boyacá) y Mosquera (Cundinamarca), Colombia. 2015-2016.

Table 2. Establishment variables of five perennial ryegrasses (*Lolium perenne*) in Tuta (Boyacá) and Mosquera (Cundinamarca), Colombia. 2015-2016.

Días	Tuta				Mosquera							
	Cobertura (%)		Altura (cm)		Grado de adaptación (%)		Cobertura (%)		Altura (cm)		Grado de adaptación (%)	
15	22,0	d	-	-	2,0	b	11,3	g	-	-	2,0	a
30	45,3	bc	6,6	d	2,0	b	35,4	cd	5,9	g	1,6	ab
45	52,7	ab	10,1	c	2,3	a	45,4	ab	9,6	f	1,6	ab
60	58,3	a	16,5	a	1,9	bc	39,4	abc	12,8	e	1,6	ab
75	50,0	b	13,6	b	1,5	cd	36,4	bc	13,8	e	1,9	a
90	44,7	bc	10,8	c	1,1	d	30,3	de	17,2	d	1,5	b
105	25,0	d	11,5	c	0,7	e	37,8	bc	20,6	c	2,0	a
120	38,5	c	17,2	a	1,5	c	16,9	f	22,7	c	0,9	c
135	35,7	c	19,0	a	1,5	cd	22,9	ef	33,7	b	0,8	c
150	40,3	bc	16,6	a	1,1	d	48,8	a	41,4	a	1,3	b
p<¹												
V	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
D	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
DxV	***	ns	ns	ns	+	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹V: efecto de la variedad, D: efecto del día de muestreo, DxV: interacción del día y la variedad / ¹ V: variety effect, D: sampling day effect, DxV: day and variety interaction.

^{abc} Dentro de la columna, valores seguidos con la misma letra no presentan diferencias significativas, ns: no significativo, +: p<0,1, ***: p<0,001 / ^{abc} Similar letters in the same column indicate that there are no differences between treatments, ns: not significant, +: p<0.1, ***: p<0.001.

En Tuta, la altura en los tréboles presentó interacción entre la variedad y el día, debido a la mayor altura de un trébol rojo respecto al trébol blanco en los días 60, 75 y 90, respectivamente (Cuadro 3). En Mosquera las parcelas de trébol blanco desaparecieron durante el periodo de establecimiento. Los tréboles rojos presentaron la mayor cobertura y grado de adaptación al día 105 y 120, mientras que la altura y el grado de adaptación presentaron una interacción entre la variedad y el día, al evidenciar una mayor altura de uno de los tréboles rojos en el día 75.

Cuadro 3. Variables de establecimiento de dos variedades de trébol rojo rojo (*Trifolium pratense* L.) y una variedad de trébol blanco (*Trifolium repens*) en Tuta (Boyacá) y Mosquera (Cundinamarca), Colombia. 2015-2016.

Table 3. Establishment variables of two red clovers (*Trifolium pratense* L.) and one white clover (*Trifolium repens*) varieties, into the two regions of Tuta (Boyacá) and Mosquera (Cundinamarca), Colombia. 2015-2016.

Días	Tuta			Mosquera		
	Cobertura (%)	Altura (cm)	Grado de adaptación (%)	Cobertura (%)	Altura (cm)	Grado de adaptación (%)
15	31,7 de	- -	2,0 cd	8,1 e	- -	1,8 bc
30	56,7 bc	2,4 d	2,0 cd	42,5 cd	3,6 f	2,1 abc
45	68,9 ab	4,0 c	2,6 ab	36,3 d	4,0 e	1,9 bc
60	77,2 a	8,3 ab	2,7 a	58,1 bc	9,1 d	2,4 ab
75	66,1 b	7,9 ab	2,2 bc	51,3 bc	9,8 d	2,0 bc
90	38,9 d	8,2 ab	1,0 ef	62,5 bc	25,8 c	2,0 bc
105	25,0 e	7,0 b	0,7 f	73,8 a	30,5 b	2,6 a
120	34,4 d	7,2 b	1,0 e	66,3 ab	33,2 b	2,6 a
135	32,3 d	9,1 ab	1,6 d	49,4 bcd	36,1 ab	1,6 c
150	46,7 cd	10,6 a	1,7 d	63,8 abc	42,0 a	1,8 bc
p<¹						
V	ns	ns	ns	ns	*	**
D	***	***	***	***	***	***
DxV	ns	***	ns	***	**	*

¹ V: efecto de la variedad, D: efecto del día de muestreo, DxV: interacción del día y la variedad / ¹ V: variety effect, D: sampling day effect, DxV: day and variety interaction.

^{abc} Dentro de la columna, valores seguidos con la misma letra no presentan diferencias significativas, ns: no significativo, *: p<0,05, **: p<0,01, ***: p<0,001 / ^{abc} Similar letters in the same column indicate that there are no differences between treatments, ns: not significant, *: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001.

Características agronómicas y de composición química de raigrás y tréboles durante la fase de producción en dos regiones de trópico alto colombiano

La producción de forraje verde, materia seca y altura del raigrás incrementó al aumentar los días en rebrote. En Tuta se presentó una interacción entre el día y la variedad sobre la producción de forraje verde y materia seca, debido a que, un raigrás tetraploide presentó una menor producción en el día 49 respecto al 35 (Cuadro 4). La altura fue mayor en la temporada de lluvias respecto al periodo seco (dato no mostrado). La concentración de PC, CEN y ENI disminuyó en los raigrás, mientras que las concentraciones de FDN incrementaron conforme aumentó la edad de rebrote (Cuadro 5). En Mosquera, los raigrás no evidenciaron diferencias en la concentración de FDA entre los días de rebrote, sin embargo, los raigrás diploides presentaron una mayor concentración de FDA y CEN respecto a los tetraploides. En Tuta, la concentración de PC mostró interacción entre el día y la variedad, debido a que, un raigrás tetraploide tuvo una menor concentración en el día 35 respecto a 49.

Cuadro 4. Variables de producción de cinco variedades de raigrás perennes (*Lolium perenne*), en Tuta (Boyacá) y Mosquera (Cundinamarca), Colombia, 2015-2016.

Table 4. Production variables of five ryegrass (*Lolium perenne*), in the two regions of Tuta (Boyacá) and Mosquera (Cundinamarca), Colombia, 2015-2016.

Días	Tuta			Mosquera		
	Producción de forraje verde (kg/ha)	Producción de materia seca (kg/ha)	Altura (cm)	Producción de forraje verde (kg/ha)	Producción de materia seca (kg/ha)	Altura (cm)
21	9895,7 c	1836,0 c	31,4 b	2317,8 b	473,0 b	20,3 b
35	14737,0 b	2510,5 b	34,7 b	2432,5 b	471,4 b	22,0 b
49	23759,0 a	3815,9 a	43,5 a	4337,6 a	1087,7 a	24,3 a
p< ¹						
V	ns	ns	ns	+	ns	+
D	***	***	***	***	***	***
E	ns	ns	*	ns	ns	*
ExV	ns	ns	ns	ns	ns	ns
DxV	**	*	ns	ns	ns	ns
DxExV	ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹ V: efecto de la variedad, D: efecto del día de muestreo, E: efecto de la época, DxV: interacción del día y la variedad, ExV: interacción de la época y la variedad, DxExV: interacción del día, la época y la variedad / ¹ V: variety effect, D: sampling day effect, E: season effect, DxV: day and variety interaction, ExV: season and variety interaction, DxExV: day, season, and variety interaction.

^{abc} Dentro de la columna, valores seguidos con la misma letra no presentan diferencias significativas, ns: no significativo, +: p<0,1, *: p<0,05, **: p<0,01, ***: p<0,001 / ^{abc} Similar letters in the same column indicate that there are no differences between treatments, ns: not significant, +: p<0.1, *: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001.

Cuadro 5. Composición química de cinco variedades de raigrás perennes (*Lolium perenne*), en Tuta (Boyacá) y Mosquera (Cundinamarca), Colombia, 2015-2016.

Table 5. Chemical composition of five ryegrass (*Lolium perenne*), in Tuta (Boyacá) and Mosquera (Cundinamarca), Colombia, 2015-2016.

Días	Tuta					Mosquera						
	Proteína cruda (%)	Fibra en detergente neutro (%)	Fibra en detergente ácido (%)	Cenizas (%)	Energía neta de lactancia (Mcal/kg)	Extracto etéreo (%)	Proteína cruda (%)	Fibra en detergente neutro (%)	Fibra en detergente ácido (%)	Cenizas (%)	Extracto etéreo (%)	Energía neta de lactancia (Mcal/kg)
21	25,24 a	47,14 c	18,49 c	12,89 a	2,75 b	1,54 a	18,97 a	54,51 c	22,46 a	12,70 a	2,90 b	1,40 a
35	24,12 b	50,14 b	26,10 a	12,03 b	2,95 a	1,46 b	15,52 b	59,11 b	22,08 a	12,44 a	3,10 a	1,34 b
49	21,14 c	53,57 a	20,82 b	12,20 b	2,78 b	1,45 b	13,07 c	61,67 a	22,09 a	11,76 b	3,09 a	1,29 c
p< ¹												
V	*	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	*	*	ns	ns
D	***	***	***	***	***	***	***	***	ns	***	***	***
E	**	**	ns	ns	**	**	***	***	ns	ns	***	***
ExV	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
DxV	**	ns	+	ns	**	+	ns	ns	ns	ns	ns	ns
DxVxE	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹ V: efecto de la variedad, D: efecto del día de muestreo, E: efecto de la época, DxV: interacción del día y la variedad, ExV: interacción de la época y la variedad, DxExV: interacción del día, la época y la variedad / ¹ V: variety effect, D: sampling day effect, E: season effect, DxV: day and variety interaction, ExV: season and variety interaction, DxExV: day, season, and variety interaction.

^{abc} Dentro de la columna, valores seguidos con la misma letra no presentan diferencias significativas, ns: no significativo, +: p<0,1, *: p<0,05, **: p<0,01, ***: p<0,001 / ^{abc} Similar letters in the same column indicate that there are no differences between treatments, ns: not significant, +: p<0.1, *: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001.

Los tréboles evaluados presentaron una mayor producción de forraje verde, materia seca y altura al incrementar la edad de rebrote (Cuadro 6). Sin embargo, a diferencia de las gramíneas, la altura de los tréboles fue mayor en época de sequía respecto a época de lluvia. En Tuta no se evidenció diferencias ($p>0,05$) en la concentración de PC, FDN y CEN, mientras que las concentraciones de FDA y ENI presentaron un comportamiento cuadrático conforme aumentaba la edad de rebrote, en donde la edad intermedia presentó la mayor concentración de FDA y la menor de energía ($p<0,05$). En Mosquera las concentraciones de PC y ENI disminuyeron ($p<0,05$), las de FDA aumentaron ($p<0,05$), mientras las de CEN y FDA no presentan diferencias al incrementar la edad de rebrote ($p>0,05$) (Cuadro 7).

Cuadro 6. Variables de producción¹ de dos variedades de trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) y una variedad de trébol blanco (*Trifolium repens*), en Tuta (Boyacá) y Mosquera (Cundinamarca), Colombia. 2015-2016.

Table 6. Production variables¹ of two red clovers (*Trifolium pratense* L.) and one white clover (*Trifolium repens*), in Tuta (Boyacá) and Mosquera (Cundinamarca), Colombia. 2015-2016.

Días	Tuta			Mosquera		
	Producción de forraje verde (kg/ha)	Producción de materia seca (kg/ha)	Altura (cm)	Producción de forraje verde (kg/ha)	Producción de materia seca (kg/ha)	Altura (cm)
21	5197,7 c	946,2 c	16,2 c	5981,3 b	980,1 b	23,1 c
35	9897,3 b	1488,4 b	23,9 b	6968,6 b	1107,7 b	35,4 b
49	14431,0 a	2190,7 a	32,7 a	12149,0 a	2121,6 a	45,5 a
$p<^1$						
V	ns	ns	**	ns	ns	ns
D	***	***	***	***	***	***
E	ns	ns	***	ns	ns	*
ExV	ns	ns	ns	ns	ns	ns
DxV	ns	ns	ns	ns	ns	ns
DxVxE	ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹ V: efecto de la variedad. D: efecto del día de muestreo. E: efecto de la época. DxV: interacción del día y la variedad. ExV: interacción de la época y la variedad, DxExV: interacción del día, la época y la variedad / ¹ V: variety effect. D: sampling day effect. E: season effect. DxV: day and variety interaction. ExV: season and variety interaction, DxExV: Day, season, and variety interaction.

^{abc} Dentro de la columna, valores seguidos con la misma letra no presentan diferencias significativas. NS: no significativo, *: $p<0,05$, ***: $p<0,001$ / ^{abc} Similar letters in the same column indicate that there are no differences between treatments, ns: not significant, *: $p<0,05$, ***: $p<0,001$.

Durante el periodo de evaluación, la tasa de crecimiento del raigrás en Mosquera fue de 34,1 y 20,6 kg de MS/ha por cada cm de altura o día de rebrote, respectivamente, por su lado, el trébol tuvo una tasa de crecimiento de 39,4 kg de MS/ha por cada cm de altura y 40,3 kg de MS/ha por día de rebrote. En Tuta, la tasa de crecimiento del raigrás fue de 79,9 y 77,8 kg de MS/ha por cada cm de altura o día de rebrote, respectivamente, mientras que en trébol fue de 65,4 y 44,1 kg de MS/ha, respectivamente (Cuadro 8).

Cuadro 7. Variables de calidad composicional de dos variedades de trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) y una variedad de trébol blanco (*Trifolium repens*), en Tuta (Boyacá) y Mosquera (Cundinamarca), Colombia, 2015-2016.

Table 7. Chemical composition of two red clovers (*Trifolium pratense* L.) and one white clover (*Trifolium repens*) in Tuta (Boyacá) and Mosquera (Cundinamarca), Colombia, 2015-2016.

Días	Tuta						Mosquera																	
	Proteína cruda (%)	Fibra en detergen- te neutro (%)	Fibra en detergente ácido (%)	Cenizas (%)	Extracto etéreo (%)	Energía neta de lactancia (Mcal/ kg)	Proteína cruda (%)	Fibra en de- tergente neutro (%)	Fibra en de- tergente ácido (%)	Cenizas (%)	Ex- tracto etéreo (%)	Energía neta de lac- tancia (Mcal/ kg)												
21	29,67	a	34,50	a	10,97	c	11,41	a	2,32	b	1,67	a	29,11	c	34,91	b	14,08	a	11,42	a	2,34	ab	1,64	a
35	27,88	a	36,40	a	16,73	a	10,93	a	2,58	a	1,60	b	27,54	b	35,82	b	14,85	a	11,32	a	2,42	a	1,61	b
49	28,07	a	35,59	a	12,69	b	11,02	a	2,48	a	1,63	ab	24,10	a	39,12	a	14,19	a	11,19	a	2,28	b	1,55	c
$p^{1<}$																								
V	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	+	ns	ns	
D	ns	ns	***	ns	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	*	***	
E	ns	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	
ExV	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
DxV	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
DxVxE	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

¹ V: efecto de la variedad, D: efecto del día de muestreo, E: efecto de la época, DxV: interacción del día y la variedad, ExV: interacción de la época y la variedad, DxExV: interacción del día, la época y la variedad / ¹ V: variety effect, D: sampling day effect, E: season effect, DxV: day and variety interaction, ExV: season and variety interaction, DxExV: day, season, and variety interaction.

^{abc} Dentro de la columna, valores seguidos con la misma letra no presentan diferencias significativas, ns: no significativo, +: $p<0,1$, *: $p<0,05$, **: $p<0,01$, ***: $p<0,001$ / ^{abc} Similar letters in the same column indicate that there are no differences between treatments, ns: not significant, +: $p<0,1$, *: $p<0,05$, **: $p<0,01$, ***: $p<0,001$.

Cuadro 8. Producción de materia seca (kg/ha) y de forraje verde (kg/ha) de cinco variedades de raigrás perennes (*Lolium perenne*), dos de trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) y una de trébol blanco (*Trifolium repens*), en función del día de rebrote y la altura de la planta en Tuta (Boyacá) y Mosquera (Cundinamarca), Colombia, 2015-2016.

Table 8. Dry matter (kg/ha) and fresh matter (kg/ha) production of five perennial ryegrasses (*Lolium perenne*), two red clovers (*Trifolium pratense* L.), and one white clover (*Trifolium repens*) varieties, regarding the day of regrowth and the plant's height in Tuta (Boyacá) and Mosquera (Cundinamarca), Colombia, 2015-2016.

Especie	Producción	Mosquera			Tuta			
		X	R ²	p< ¹	X	R ²	p< ¹	
Altura (cm)								
Raigrás	Materia seca	34,11	0,65	***	79,92	0,90	***	
	Forraje verde	154,76	0,70	***	479,75	0,87	***	
	Periodo de rebrote (días)							
	Materia seca	20,58	0,60	***	77,80	0,80	***	
Forraje verde	90,54	0,59	***	469,15	0,78	***		
Altura (cm)								
Trébol	Materia seca	39,42	0,84	***	65,43	0,95	***	
	Forraje verde	240,12	0,83	***	430,23	0,93	***	
	Periodo de rebrote (días)							
	Materia seca	40,34	0,83	***	44,09	0,81	***	
Forraje verde	244,00	0,82	***	285,84	0,77	***		

*** $p<0,001$.

Discusión

Periodo de establecimiento de gramíneas y leguminosas

El establecimiento es un periodo crítico en la conformación de sistemas pastoriles persistentes y rentables. La Red de Investigación en Pasturas Tropicales (RIEPT) estableció lineamientos para la evaluación de germoplasma forrajero que permite la comparación de resultados y la selección de materiales con potencial productivo, sin embargo, estas evaluaciones se han desarrollado con mayor énfasis en el trópico cálido colombiano (CIAT, 1982).

Las condiciones edafo-climáticas influyen en el establecimiento y la producción de los forrajes, presentando respuestas diferenciales de acuerdo con cada localidad de evaluación. Cuesta (2008) reportó que las características ambientales y físico-químicas del suelo modificaron la respuesta de los raigrás y tréboles sembrados en cuatro ecorregiones de trópico alto colombiano. En el presente trabajo, la limitada precipitación durante el periodo de establecimiento influyó en la baja cobertura y grado de adaptación de los materiales evaluados, especialmente durante los meses de enero y febrero (Cuadro 2 y 3).

Los raigrás presentan un alto requerimiento hídrico respecto a otras gramíneas (Turner et al., 2012). Algunos autores mencionan que los raigrás se establecen en regiones con precipitación anual mayor a 550 mm (Cunningham et al., 1994), sin embargo, otros consideran que en localidades con precipitación menor a 650 mm, este forraje no presenta una buena respuesta productiva (Reed, 1996; Bernal, 1998). Además de requerimientos hídricos, la respuesta de los forrajes depende de las condiciones edáficas y la distribución de lluvias (Turner et al., 2012), por lo que, es de esperar que se deba evaluar la respuesta de estos en distintas condiciones agroecológicas, para poder generar recomendaciones apropiadas destinadas a los sistemas de producción bovina (DairyNZ, 2010).

Los raigrás tetraploides y anuales presentan un mayor requerimiento hídrico respecto a los diploides y perennes, respectivamente, debido a un mayor potencial productivo (Harris, 1973; Bernal, 1998). Además, los tréboles blancos, debido a la morfología, presentan un menor requerimiento que los tréboles rojos (Vaseva et al., 2011). Sin embargo, en el presente trabajo se presentó la interacción entre el día de evaluación y la variedad en algunas variables de establecimiento (Cuadro 2 y 3). Similar a lo reportado por Cuesta (2008), la menor respuesta del trébol blanco en Tuta puede explicarse por el menor contenido de bases intercambiables y el pH edáfico bajo, lo que limitó el crecimiento de esta leguminosa, presentando los tréboles rojos un mayor grado de adaptación.

La respuesta limitada de los forrajes durante el periodo de establecimiento puede explicarse por otros factores como la muerte de la semilla, la presencia de plagas y de enfermedades, entre otras (Chapman et al., 1985). Otros factores que modifican las tasas de germinación es la presencia de carbohidratos solubles en la semilla (Turner et al., 2012) o el origen de las semillas, presentándose una mayor germinación en los tréboles respecto a los raigrás (Chapman et al., 1985).

Periodo de producción de gramíneas y leguminosas

El raigrás es una gramínea ampliamente evaluada y utilizada en sistemas pastoriles, debido a la alta producción de forraje, alto valor nutricional y eficiencia en la utilización de nutrientes (Lee et al., 2004; Chaves et al., 2006). Sin embargo, esta gramínea presenta altos requerimientos hídricos y de fertilidad en los suelos, además es susceptible a plagas y enfermedades (Smit et al., 2005; Villalobos y Sánchez, 2010). La producción de raigrás perennes y anuales puros presenta respuestas diferenciales entre las localidades de evaluación (Cuesta, 2008), y en interseembra, se evidencia una mayor respuesta de los anuales diploides respecto a los anuales tetraploides (Vipond et al., 1997).

En el presente trabajo se encontró una mayor producción de MS ($p < 0,05$) de los raigrás diploides respecto a los tetraploides en Mosquera, sin embargo, en Tuta no se presentaron diferencias entre variedades. Los raigrás tetraploides presentan un mayor requerimiento de nutrientes, debido a la mayor síntesis de forrajes y valor

nutricional respecto a los diploides (Beecher et al., 2013). Sin embargo, cuando se presentan limitaciones en la disponibilidad de nutrientes edáficos y ambientales, los raigrás diploides pueden presentar una mayor respuesta productiva respecto a los tetraploides (Posada et al., 2013).

La precipitación influye sobre la respuesta durante el periodo de establecimiento y producción de los forrajes (Tas et al., 2006). La oferta hídrica adecuada permite potencializar la respuesta de forraje y la fijación de N (Goh y Bruce, 2005). Además, la restricción hídrica reduce la asimilación de carbono y afecta la eficiencia de utilización de nutrientes, siendo el primer factor limitante en la producción de forrajes (Akmal y Janssens, 2004). La limitada precipitación durante el periodo de establecimiento pudo afectar la respuesta en producción de los raigrás evaluados, aunque las producciones de MS fueron similares a las reportadas por Smit et al. (2005) y Cuesta (2008), pero menores a las reportadas por Barker et al. (1993).

En el presente trabajo la especie de trébol no afectó la producción de materia seca, sin embargo, los tréboles rojos presentaron una mayor altura respecto al trébol blanco (Cuadro 5). Los tréboles rojos presentaron un hábito de crecimiento erecto haciéndolos más altos respecto a los tréboles blancos, lo que les confirió mayor persistencia cuando se siembran en praderas puras respecto a asociadas (Black et al., 2009). Además, los tréboles rojos presentan una tolerancia mayor a pH bajos, lo que se relacionaría con una mayor productividad respecto a los tréboles blancos (Cuesta, 2008).

Similar a lo encontrado en este trabajo, la literatura reporta que la producción de MS y la concentración de pared celular aumentan, mientras que la concentración de PC, la digestibilidad de la MS y la ENI disminuyen al incrementar la edad de rebrote. Esta respuesta se relaciona con una mayor proporción de tallos y tejidos de baja digestibilidad, y una menor proporción de hojas y de componentes solubles en forrajes maduros (Chaves et al., 2006; Sun et al., 2010; Villalobos y Sánchez, 2012).

Los resultados de este trabajo sugieren que la producción de materia seca aumentó al incrementar los días de rebrote o la altura del forraje en Tuta y en Mosquera (Cuadro 8). Sin embargo, pocos trabajos en la literatura reportan las tasas de crecimiento de raigrás y tréboles en condiciones de trópico alto colombiano. Avellaneda (comunicación personal, 2017) obtuvo un aumento entre 27 y 56 kg de MS/ha por cada día de rebrote en raigrás de sabana de Bogotá, mientras que para diferentes regiones en Nueva Zelanda los valores variaron entre 3 y 98 kg de MS/ha por cada día de rebrote, presentando una fuerte influencia la región y la época del año en las tasas de crecimiento (DairyNZ, 2013). Posiblemente la mayor precipitación en Tuta estuvo asociada con la mayor producción de materia seca respecto a lo reportado en Mosquera.

Conclusiones

Los sistemas de alimentación bovino soportados en pasturas requieren la evaluación de recursos forrajeros que potencialicen la producción animal e incrementen la rentabilidad de los sistemas de producción. Este trabajo sugiere que la respuesta de la mayoría de las variables evaluadas durante el periodo de establecimiento y producción, fue dependiente del día de sembrado o de rebrote más que de la variedad del forraje y la época de evaluación. Esto demuestra la influencia del ambiente (precipitación, nubosidad, características edáficas, entre otras) sobre la respuesta productiva de los forrajes. En este sentido, no se evidenció diferencias entre los raigrás diploides respecto a tetraploides, ni entre los tréboles rojos respecto a los blancos. Además, se definieron tasas de crecimiento de los raigrás y tréboles en dos localidades del trópico alto colombiano. Finalmente, es recomendable generar programas de evaluación de materiales forrajeros para generar recomendaciones que promuevan una ganadería sostenible.

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. <http://www.dairyweb.ca/Resources/USWebDocs/RumenFunction.pdf> (accessed 12 Jan. 2017).
- 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.C. 2008. Captura de carbono en sistemas de pasturas y silvopastoriles en cuatro ecosistemas de América tropical vulnerables al cambio climático. Documento de políticas públicas 27. Foro Nacional Ambiental, Bogotá, COL. <http://www.foronacionalambiental.org.co/wp-content/uploads/2011/11/PolicyPaperFna-027.pdf> (accessed 12 Jan. 2017).
- Barker, D.J., J.A. Lancashire, S.C. Maloney, N. Dymock, D.R. Stevens, J.D. Turner, D. Scott, and W.J. Archie. 1993. Introduction, production, and persistence of five grass species in dry hill country. *New Zeal. J. Agr. Res.* 36:29-39. doi:10.1080/00288233.1993.10427486
- 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. Saenz y Cia Ltda., Bogotá, COL.
- Black, A.D., A.S. Laidlaw, D.J. Moot, and P. O'Kiely. 2009. Comparative growth and management of white and red clovers. *Irish J. Agr. Food Res.* 48:149-166.
- 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, J.E. Carulla, E.A. Cárdenas, y M.L. Pabón. 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.
- Chapman, D.F., B.D. Campbell, and P.S. Harris. 1985. Establishment of ryegrass, cocksfoot, and White clover by over-sowing in hill country. *New Zeal. J. Agr. Res.* 28:177-189. doi:10.1080/00288233.1985.10420927
- 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
- CIAT. 1982. Manual para la evaluación agronómica. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). CIAT, Cali, COL.
- Cuesta, P.A. 2005. Fundamentos de manejo de praderas para mejorar la productividad de la ganadería del trópico colombiano. *Rev. Corpoica* 6(2):5-13. doi:10.21930/rcta.vol6_num2_art:42
- Cuesta, P.A. 2008. Evaluación y selección de nuevas especies forrajeras para mejorar la eficiencia de los sistemas ganaderos de leche de trópico alto colombiano. Produmedios, Bogotá, COL.
- Cunningham, P.J., M.J. Blumenthal, M.W. Anderson, K.S. Prakash, and A. Leonforte. 1994. Perennial ryegrass improvement in Australia. *New Zeal. J. Agr. Res.* 37:295-310. doi:10.1080/00288233.1994.9513068
- DairyNZ. 2010. Facts and figures for New Zealand dairy farmers. Hamilton, NZ. <https://www.dairynz.co.nz/publications/dairy-industry/facts-and-figures/> (accessed 12 Jan. 2017).

- Gerber, P.J., H. Steinfeld, B. Henderson, A. Mottet, C. Opio, J. Dijkman, A. Falcucci, and G. Tempio. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. FAO Roma, ITA. <http://www.fao.org/docrep/018/i3437e/i3437e.pdf> (accessed 12 Jan. 2017).
- Godin, B., R. Agneessens, J. Delcarte, and P. Dardenne. 2015. Prediction of chemical characteristics of fibrous plant biomasses from their near infrared spectrum: comparing local versus partial least square models and cross-validation versus independent validations. *J. Near Infrared Spectrosc.* 23:1-14. doi:10.1255/jnirs.1138
- Goh, K.M., and G.E. Bruce. 2005. Comparison of biomass production and biological nitrogen fixation of multi-species pastures (mixed herb leys) with perennial ryegrass-white clover pasture with and without irrigation in Canterbury, New Zealand. *Agr. Ecosyst. Environ.* 110:230-240. doi:10.1016/j.agee.2005.04.005
- Harris, W. 1973. Ryegrass genotype-environment interactions in response to density, cutting height, and competition with white clover. *New Zeal. J. Agr. Res.* 16:207-222. doi:10.1080/00288233.10421138
- Hoekstra, A.Y., A.K. Chapagain, M.M. Aldaya, and M.M. Mekonnen. 2011. The water footprint manual. Setting the global standard. Earthscan publishes, London, GBR. http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf (accessed 12 Jan. 2017).
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2016. Reporte meteorológico. IDEAM, Bogotá, COL.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), PNUD, MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenibles), DNP (Departamento Nacional de Planeación) y Cancillería. 2015. Escenarios de cambio climático para precipitación y temperatura en Colombia 2011-2100. Herramientas científicas para la toma de decisiones. Estudio técnico completo: Tercera comunicación nacional de cambio climático. Unatintamedios, Bogotá, COL. <http://modelos.ideam.gov.co/media/dynamic/escenarios/escenarios-de-cambio-climatico-2015.pdf> (accessed 12 Jan. 2017).
- Lee, J.M., S.L. Woodward, G.C. Waghorn, and D.A. Clark. 2004. Methane emissions by dairy cows fed increasing proportions of white clover (*Trifolium repens*) in pasture. *Proc. New Zeal. Grassland Assoc.* 66:151-155.
- Murgueitio, E., J.D. Chará, A.J. Solarte, F. Uribe, C. Zapata, y J.E. Rivera. 2013. Agroforestería pecuaria y sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático. *Rev. Col. Cienc. Pecu.* 26:313-316.
- Posada, S., J.M. Cerón, J. Arenas, J.F. Hamdet, and A. Alvarez. 2013. Evaluation of ryegrass (*Lolium* sp.) establishment in kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) paddocks using zero tillage. *Rev. CES Med. Zotec.* 8:26-35.
- 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. van-der-Hoek, B. Maass, T. Tiemann, M. Cuchillo, S. Douxchamps, C. Villanueva, A. Rincón, M. Ayarza, T. Rosenstock, G. Subbarao, J. Arango, J. Cardoso, M. Worthington, N. Chirinda, A. Notenbaert, A. Jenet, A. Schmidt, N. Vivas, R. Lefroy, K. Fahrney, E. Guimarães, J. Tohme, S. Cook, M. Herrero, M. Chacón, T. Searchinger, and T. Rudel. 2015. LivestockPlus - The sustainable intensification of forage-based agricultural systems to improve livelihoods and ecosystems services in the tropics. *Trop. Grasslands* 3:59-82. doi:10.17138/TGFT(3)59-82
- Reed, K.F.M. 1996. Improving the adaptation of perennial ryegrass, tall fescue, phalaris, and cocksfoot for Australia. *New Zeal. J. Agr. Res.* 39:457-464. doi:10.1080/00288233.1996.9513207
- Reynolds, S., and J. Frame. 2005. Grasslands: developments, opportunities, perspectives. FAO, and Science Publisher Inc., Eifield, USA.
- Rudel, T.K., B. Paul, D. White, I.M. Rao, R. Van-Der Hoek, A. Castro, M. Boval, A. Lerner, L. Schineider, and M. Peters. 2015. LivestockPlus: Forages, sustainable intensification, and food security in the tropics. *Ambio.* 44:685-693. doi:10.1007/s13280-015-0676-2

- SAS. 2004. SAS/STAT® 9.1 User's guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Smit, H.J., B.M. Tas, H.Z. Taweel, S. Tamminga, and A. Elgersma. 2005. Effects of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) cultivars on herbage production, nutritional quality and herbage intake of grazing dairy cows. *Grass Forage Sci.* 60:297-309. doi:10.1111/j.1365-2494.2005.00480.x
- Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, and C. Dehaan. 2006. Livestock's long shadow – Environmental issues and options. FAO, Rome, ITA. <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM> (accessed 12 Jan. 2017).
- 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
- Tas, B.M., H.Z. Taweel, H.J. Smit, A. Elgersma, J. Dijkstra, and S. Tamminga. 2006. Rumen degradation characteristics of perennial ryegrass cultivars during the growing season. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 131:102-119. doi:10.1016/j.anifeedsci.2006.02.002
- Tobar, D.E., y M. Ibrahim. 2008. Valor de los sistemas silvopastoriles para conservar la biodiversidad en fincas y paisajes ganaderos en América Central. CATIE, Turrialba, CRC. http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4288/Valor_de_los_sistemas_silvopastoriles.pdf?sequence=1&isAllowed=y (accessed 12 Jan. 2017).
- Turner, L.R., M.M. Holloway, R.P. Rawnsley, D.J. Donaghy, and K.G. Pembleton. 2012. The morphological and physiological response of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.), cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) and tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.; syn. *Shendonorus phoenix* Scop.) to variable water availability. *Grass Forage Sci.* 67:507-518.
- Vaseva, I., Y. Akiscan, K. Demirevska, I. Anders, and U. Feller. 2011. Drought stress tolerance of red and white clover-comparative analysis of some chaperonins and dehydrins. *Sci. Hort.* 130:653-659. doi:10.1016/j.scienta.2011.08.021
- 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.* 34:31-42.
- Vipond, J.E., G. Swift, A.T. Cleland, J. Fitzsimons, and E.A. Hunter. 1997. A comparison of diploid and tetraploid perennial ryegrass and tetraploid ryegrass/white clover swards under continuous sheep stocking at controlled sward heights. 3. Sward characteristics and animal output, years 4-8. *Grass Forage Sci.* 52:99-10. doi:10.1046/j.1365-2494.1997.00059.x