

Artículo científico

Adaptación de gramíneas asociadas con *Lotus uliginosus* Schkuhr en el trópico alto de Colombia

Adaptation of grasses associated with *Lotus uliginosus* Schkuhr in the high Colombian tropic

Edwin Castro-Rincon¹; Juan Evangelista Carulla-Fornaguera² y Edgar Alberto Cárdenas-Rocha²

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA. (Nariño, Colombia)

²Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. (Bogotá, Colombia)

Correo electrónico: ecastro@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0001-9841-8242>

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento agronómico de 11 accesiones de gramíneas asociadas con la leguminosa *Lotus uliginosus* Schkuhr, a dos edades de corte, en el trópico alto andino de Colombia. El ensayo se realizó en el Centro Agropecuario Marengo, de la Universidad Nacional de Colombia, en el municipio de Mosquera, Cundinamarca, Colombia. Se evaluaron 11 accesiones de gramíneas asociadas con la leguminosa y un control puro (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov), empleando un diseño de bloques al azar con arreglo de franjas divididas con 3 repeticiones. Se midió la producción de biomasa al realizar cortes a los 45 y 70 días en el período lluvioso y poco lluvioso. En general, tanto *L. uliginosus* como las gramíneas asociadas presentaron buen desarrollo en la fase de establecimiento. La producción de biomasa aérea total fue mayor en el período lluvioso y con la frecuencia de 70 días, destacándose las asociaciones con *Festuca rubra*, *Festuca arundinacea*, *Bromus catharticus*, *Anthoxantum odoratum* y *Holcus lanatus*. Sobresalieron por su alta producción de biomasa aérea las gramíneas *F. rubra*, *F. arundinacea*, *B. catharticus* y *C. clandestinus* (naturalizado), con una producción superior a la del control puro. Se concluye que las asociaciones que tuvieron mejor comportamiento fueron *F. arundinacea* y *C. clandestinus*, tanto el naturalizado como el introducido, las cuales se destacaron por su mayor resistencia a plagas y enfermedades durante la fase de establecimiento, lo que mostró el potencial de este tipo de sistema en el trópico alto andino colombiano.

Palabras clave: biomasa, establecimiento de plantas, leguminosas forrajeras

Abstract

The objective of this study was to evaluate the agronomic performance of 11 grass accessions associated with the legume *Lotus uliginosus* Schkuhr, at two cutting ages, in the high Andean tropic of Colombia. The trial was conducted at the Marengo Animal Husbandry Center, of the National University of Colombia, in the Mosquera municipality, Cundinamarca, Colombia. Eleven grass accessions associated with the legume and a pure control (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov), were evaluated, using a randomized block design with split-strip arrangement and three repetitions. The biomass production was measured when cutting at 45 and 70 days in the rainy and dry seasons. In general, *L. uliginosus* as well as the associated grasses showed good growth in the establishment stage. The total aerial biomass production was higher in the rainy season and with the 70-day frequency, especially in the associations with *Festuca rubra*, *Festuca arundinacea*, *Bromus catharticus*, *Anthoxantum odoratum* and *Holcus lanatus*. The grasses *F. rubra*, *F. arundinacea*, *B. catharticus* and *C. clandestinus* (naturalized) stood out for their high aerial biomass production, with a higher production than that of the pure control. It is concluded that the associations with the best performance were *F. arundinacea* and *C. clandestinus*, the naturalized as well as the introduced one, which stood out for their higher resistance to pests and diseases during the establishment stage, showing the potential of this type of system in the high Colombian Andean tropic.

Keywords: biomass, plant establishment, forage legumes

Introducción

La zona agroecológica del trópico alto andino colombiano, cuyas características microclimáticas particulares favorecen la producción especializada de leche, dedica 300 000 hectáreas a la producción

de pastos, conformados en un 80 % por kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov), y en menor proporción raigrás (*Lolium* sp.), avena (*Avena sativa* L.), azul orchoro (*Dactylis glomerata* L.),

falsa poa (*Holcus lanatus* L.), tréboles (*Trifolium* spp. L.) y alfalfa (*Medicago sativa* L.) (Cárdenas, 2003; Sánchez y Villaneda, 2009).

Con los materiales mencionados anteriormente se han desarrollado trabajos de investigación donde se han evaluado nuevos forrajes para este clima (nativos e introducidos), con el objetivo de mantener altas producciones de biomasa de buena calidad durante el año a mínimos costos, buscando especies con bajos requerimientos de fertilización, alta resistencia a plagas y enfermedades, adaptación, persistencia y palatabilidad (Ochoa *et al.*, 2017).

En Colombia se han evaluado diferentes pastos como raigrás (*Lolium* sp.), tréboles, azul orchoro y kikuyos, y se ha reportado gran variedad de materiales adaptados a las condiciones del trópico alto de Colombia (Cadena *et al.*, 2019).

Dentro de los materiales foráneos evaluados se destaca *Lotus uliginosus* Schkuhr, leguminosa promisoría para su establecimiento en los sistemas de lechería en el trópico alto andino de Colombia; por lo tanto, se ha propuesto en varios estudios su evaluación en asociaciones con gramíneas (Castro *et al.*, 2009; Santacoloma-Varón *et al.*, 2017).

En este sentido, Morales *et al.* (2013) encontraron un buen comportamiento en la calidad y la producción de leche en vacas que pastoreaban en una asociación de *F. arundinacea* y *L. uliginosus* en el trópico alto de Colombia, al compararla con pasturas puras de *C. clandestinus*. No se tiene abundante registro de materiales evaluados y liberados para el país en el caso de asociaciones de gramíneas y leguminosas.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento agronómico de 11 accesiones de gramíneas asociadas con la leguminosa *Lotus uliginosus* Schkuhr, a dos edades de corte, en el trópico alto andino de Colombia.

Materiales y Métodos

El ensayo se realizó en el Centro Agropecuario Marengo, situado en la vereda San José, municipio de Mosquera, Cundinamarca, Colombia. El municipio está localizado a 4° 42' de latitud norte y 74° 12' de longitud oeste, a una altitud de 2 650 msnm. La temperatura promedio es de 13 °C, con fluctuaciones entre 0 y 20 °C, y presencia de heladas en los meses de enero, febrero y principios de agosto. La precipitación anual promedio es de 528,9 mm. Se consideró como el período lluvioso los meses con precipitación promedio igual o superior a 50 mm, o sea, de abril a mayo y de octubre a noviembre;

mientras que en el período poco lluvioso se incluyeron los meses en los que no ocurrieron al menos 50 mm de precipitación como promedio, y se correspondió con enero, febrero y junio.

Los suelos pertenecen a la serie Tibaitatá, los cuales se han formado a partir de materiales heterogéneos con influencia variable de cenizas volcánicas. Presentan baja evolución, son generalmente profundos, varían desde bien drenados hasta los de pobre drenaje y tienen fertilidad moderada. Su textura es franco-arcillosa, presentaron un pH de 4,9 y la materia orgánica de 6,8 % (Orduz, 2014).

Tratamientos y diseño experimental. Se evaluaron 11 accesiones de gramíneas asociadas con *L. uliginosus* y un control puro (*Cenchrus clandestinus*). Las accesiones fueron seleccionadas de la Unidad de Recursos Genéticos Forrajeros (URGF) de la Universidad Nacional. Las accesiones que se evaluaron fueron: *Bromus catharticus* (Vahl) var. Banco, *Festuca arundinacea* (Schreb.) var. Festorina, *Dactylis glomerata* (L.) var. Knaulgrass, *Festuca pratense* (Huds) var. Preval, *Holcus lanatus* (L.) (naturalizado), *Anthoxantum odoratum* (naturalizado), *Cenchrus clandestinus* (control puro, naturalizado), *Phleum pratense*, *Cenchrus clandestinus* 1 (naturalizado), *Cenchrus clandestinus* 2, (introducido), *Dactylis glomerata*, var. Varaula, todas asociadas con *Lotus uliginosus* (leguminosa para asociar). Se empleó un diseño de bloques al azar con arreglo de franjas divididas, donde la unidad experimental fue cada parcela que contenía cada accesión. La parcela principal fue la accesión y la franja, la época de corte (45 y 70 días). El experimento tuvo en total 12 parcelas, cada una con tres repeticiones.

Preparación del terreno. Se preparó con un mes de anticipación, mediante un pase de rotovator, dos de arado de cincel y dos de grada liviana; al mismo tiempo se procedió a corregir la acidez del suelo con 2 000 kg de cal/ha. El área total del experimento fue de 950 m², con parcelas de 2,5 por 5 metros con calles de 1 metro entre parcelas, donde se sembraron 5 surcos de gramínea, y 2 alternos de leguminosa por medio de plántulas provenientes de invernadero.

Fase de post-establecimiento. Después de 180 días de la siembra de las parcelas, se realizó un corte de homogenización con guadaña a 10 cm del suelo, simulando un pastoreo. A partir de este punto se consideró iniciada la fase de post-establecimiento, en la que se realizaron cortes cada 45 y 70 días, según lo recomendado para la especie por Correa *et al.* (2016) y Vargas-Martínez *et al.* (2018).

Fertilización. Se empleó la fertilización recomendada para el establecimiento de pasturas según lo planteado por Bernal-Eusse (1994) y Silva (1986). Se aplicó N (50 kg/ha; aplicado solo al testigo puro) en el establecimiento, K (25 kg/ha), P (30 kg/ha) y Mg (25 kg/ha). El testigo se fertilizó después de cada corte de producción con 50 kg de N/ha.

Variables medidas

Durante el establecimiento. Se determinó como establecimiento el periodo comprendido entre el trasplante y los 180 días posteriores, en el que se midieron las variables siguientes cada ocho días:

- Vigor: En una escala de 1 a 5, que se consideró como el grado de adaptación al ambiente (1: muy bajo, 2: bajo, 3: regular, 4: bueno, 5: excelente).
- Cobertura de la leguminosa (%): Área que cubrió la planta en un marco de 1 m².
- Altura de la gramínea (desde el suelo hasta el peciolo de la hoja más alta) y radio de la leguminosa (cm; desde el centro hasta el extremo distal).
- Plagas y enfermedades: En una escala de 0 a 5; 0: sin afectaciones y 5: severamente afectado.
- Fenología (gramíneas): Inicio de la floración: cuando el 30 % de la parcela presentó inflorescencia, se determinó que la gramínea inició la floración. Inicio de la fase de maduración: cuando el 30 % de la parcela presentó semilla madura.

Producción de forraje (kg de MS/ha). Se midió la producción de forraje en la fase post-establecimiento. En este sentido, para los cortes de producción de biomasa aérea cada unidad experimental o parcela se dividió en dos mitades, donde la primera se cortó a los 45 días y la segunda a los 70 días después del corte de homogenización. Se cortó el forraje contenido dentro de un marco de 1 metro cuadrado y después se estimó para una hectárea.

Análisis estadístico. Las variables cualitativas (todas las de adaptación y fenología) se analizaron mediante estadística descriptiva; mientras que la producción de biomasa se analizó mediante el PROG GLM/ANOVA (SAS V 9.2). La comparación de medias se realizó por medio de la prueba de Tukey.

Resultados

Fase de establecimiento

Vigor. Se destacaron por su vigor las gramíneas *F. rubra*, *D. glomerata* y *C. clandestinus* (control); mientras que *B. catharticus* y *P. pratense* presentaron los valores más bajos. *L. uliginosus* presentó un

comportamiento similar independientemente de la gramínea, excepto cuando se asoció con *H. lanatus* y *D. glomerata* var. Knaulgrass, que el vigor fue mayor (tabla 1).

Altura de la gramínea. La altura promedio de la gramínea fue 27,3 cm, con diferencias significativas entre accesiones ($p < 0,001$), siendo mayor en *B. catharticus* y *H. lanatus* con 39,7 y 42,3 cm, respectivamente; mientras que *A. odoratum* y *D. glomerata* var. Knaulgrass alcanzaron la menor altura (20,0 y 21,3 cm, respectivamente).

Plagas y enfermedades. La mayor incidencia de plagas y enfermedades se presentó en *F. pratense* y *D. glomerata*, asociada al ataque de roya (*Puccinia* sp.); mientras que en *B. catharticus* y *H. lanatus* se observó daño en la inflorescencia, relacionado con el carbón. En *L. uliginosus* fue visible un daño causado por babosas al inicio de la fase de establecimiento, pero no tuvo alta incidencia y las plantas se recuperaron rápidamente. Para el caso de *C. clandestinus* no se presentó incidencia de plagas y enfermedades (tabla 1).

Cobertura de la leguminosa. En todas las accesiones se presentó una buena cobertura de la leguminosa, con un valor promedio de 90 %, y sobresalió la asociación con *P. pratense*, *A. odoratum* y *F. pratense* con un 95 % de cobertura; sin embargo la asociación con *D. glomerata* alcanzó un 75 % de cobertura de la leguminosa (tabla 1).

Fenología. Solo ocho de las 11 accesiones de gramíneas asociadas con *L. uliginosus* presentaron floración; *B. catharticus* y *H. lanatus* fueron las que tuvieron un menor periodo entre el trasplante y la aparición de inflorescencia, con 28 días. La gramínea con el mayor período fue *D. glomerata*, con 49 días antes de la floración; mientras que en el control, *C. clandestinus* (naturalizado, control), las asociaciones con *C. clandestinus* (introducido) y *C. clandestinus* (naturalizado), no fue visible la aparición de floración temprana, y por lo tanto no se evaluó. Para el caso de la presencia de semilla madura se destacó *H. lanatus* con el menor tiempo en la maduración de la semilla, que ocurrió 14 días después de la floración.

Fase de post-establecimiento

Altura de la gramínea en el período lluvioso. Para esta variable en la frecuencia de rebrote de 45 días se obtuvo un promedio de 31,3 cm, donde se observaron diferencias significativas entre las gramíneas ($p < 0,001$). Se destacó *B. catharticus* con 57,5 cm; mientras que *A. odoratum* y *F. pratense*

Tabla 1. Variables medidas durante el establecimiento en las accesiones de gramíneas asociadas con *L. uliginosus* y el control de *Cenchrus clandestinus*.

Tratamiento	Gramínea			Leguminosa		
	Altura ² , cm	P y E ³	Vigor ⁴	Vigor	Cobertura ⁵ , %	P y E
<i>C. clandestinus</i> (naturalizado, control)	24,0 ^{def}	0,0	4,6	-	-	-
<i>B. catharticus</i>	39,7 ^a	1,6	4,3	4,7	90	0,0
<i>F. rubra</i>	25,7 ^{bed}	0,0	4,8	4,6	90	0,3
<i>D. glomerata</i>	29,0 ^b	2,1	4,7	4,7	75	0,1
<i>F. arundinacea</i>	28,7 ^{bc}	0,3	4,6	4,7	90	0,0
<i>P. pratense</i>	26,0 ^{bed}	0,0	4,2	4,7	95	0,0
<i>C. clandestinus</i> 1 (introducido)	23,4 ^{def}	0	4,5	4,7	90	0,1
<i>A. odoratum</i>	20,0 ^f	0,0	4,5	4,6	95	0,0
<i>H. lanatus</i>	42,3 ^a	1,5	4,5	4,7	90	0,0
<i>D. glomerata</i> (var. Knaulgrass)	21,3 ^{ef}	0,0	4,5	4,7	90	0,0
<i>F. pratense</i>	23,0 ^{def}	2,2	4,4	4,6	95	0,0
<i>C. clandestinus</i> 2 (naturalizado)	24,7 ^{ede}	0,0	4,5	4,7	90	0,0
Media	27,3	0,6	4,5	4,7	90	0,04
EE ±	0,88 ^{***}	-	-	-	-	-

¹ No se presentó incidencia de chinche, pero sí de heladas en la fase de establecimiento.

² Altura al final de la fase de establecimiento (180 días a partir de la siembra).

³ P y E = Incidencia de plagas y enfermedades de 0 a 5 (0: sin afectaciones y 5: severamente afectado).

⁴ Vigor en una escala de 1 a 5 (1: muy bajo, 5: alto).

⁵ Cobertura al final de la fase de establecimiento

Medias desiguales en una misma columna difieren significativamente a $p < 0,05$, según prueba de Tukey. $***p < 0,001$.

mostraron los valores más bajos (16,5 y 17,0 cm, respectivamente). En la frecuencia de rebrote de 70 días, se alcanzó una altura en las gramíneas de 37,0 cm con diferencias significativas ($p < 0,001$); el mayor valor fue de 63,5 cm en *B. catharticus* y tuvo el valor más bajo (19,0 cm) en *F. pratense* (tabla 2).

Altura de la gramínea en el periodo poco lluvioso. Durante el periodo poco lluvioso, la altura promedio a los 45 días de rebrote fue de 27,5 cm, con diferencias significativas ($p < 0,001$) entre gramíneas. La mayor altura la alcanzó *B. catharticus* (51,5 cm). A su vez, *P. pratense* y *C. clandestinus* (introducido) mostraron los valores más bajos (15,0 y 15,5 cm, respectivamente). En la frecuencia de rebrote de 70 días también se presentaron diferencias significativas ($p < 0,001$) y se tuvo una altura promedio de 32,3 cm. A su vez, se destacó *B. catharticus* con una altura de 58,5 cm y *C. clandestinus* (introducido) con la más baja (tabla 2).

Producción de biomasa aérea total en el periodo lluvioso (PLL). En la frecuencia de corte de 45 días se observó una producción de biomasa aérea total en el PLL de 1 347 kg de MS/ha con diferencias significativas para $p < 0,001$ (tabla 3), y sobresalieron

las asociaciones con *F. rubra*, *F. arundinacea* y *A. odoratum* con 1 764; 1 745 y 1 680 kg de MS/ha, respectivamente; entre tanto, *C. clandestinus* (naturalizado, control) mostró la menor producción con 624 kg de MS/ha.

Para la frecuencia de 70 días, la producción de biomasa aérea total en el PLL tuvo un valor de 1 476 kg de MS/ha; se observaron diferencias significativas ($p < 0,001$) entre la producción de las especies de gramíneas (tabla 4). *F. rubra* y *F. arundinacea* alcanzaron las producciones más altas con 2 576 y 2 365 kg de MS/ha, respectivamente; mientras que *F. pratense* presentó la más baja con 168 kg de MS/ha. *C. clandestinus* (naturalizado, control), por su parte, presentó un valor de 1 834 kg de MS/ha, el cual estuvo por encima del promedio. Se halló diferencias significativas ($p < 0,001$) en la cobertura de la leguminosa en las asociaciones, sobresaliendo en *F. pratense* con el mayor porcentaje (94,4 %) y en *D. glomerata* con el más bajo (27,8 %).

Producción de biomasa aérea total en el periodo poco lluvioso (PPLL). En cuanto a la producción de biomasa aérea total en el PPLL en la frecuencia de corte de 45 días, se obtuvo un promedio de 663

Tabla 2. Altura promedio (cm) en las accesiones de gramíneas asociadas con *L. uliginosus* y el control de *Cenchrus clandestinus*, durante el período lluvioso y poco lluvioso.

Tratamiento	Período lluvioso		Período poco lluvioso	
	45 días	70 días	45 días	70 días
<i>C. clandestinus</i> (naturalizado, control)	25,5 ^c	31,0 ^c	22,5 ^{cl}	25,5 ^d
<i>B. catharticus</i>	57,5 ^a	63,5 ^a	51,5 ^a	58,5 ^a
<i>F. rubra</i>	38,0 ^b	46,0 ^b	34,0 ^b	39,5 ^c
<i>D. glomerata</i>	40,5 ^b	46,5 ^b	39,5 ^b	46,5 ^b
<i>F. arundinacea</i>	41,0 ^b	48,5 ^b	33,5 ^b	38,5 ^c
<i>P. pratense</i>	19,0 ^{cd}	20,5 ^{ef}	15,0 ^d	19,0 ^e
<i>C. clandestinus</i> 1 (introducido)	22,5 ^{cd}	28,5 ^{cd}	15,5 ^d	19,5 ^e
<i>A. odoratum</i>	16,5 ^d	22,5 ^{ef}	17,0 ^{cd}	23,5 ^{ed}
<i>H. lanatus</i>	52,0 ^a	62,5 ^a	46,0 ^a	51,0 ^b
<i>D. glomerata</i> (var. Knaulgrass)	20,0 ^{cd}	24,5 ^{de}	18,5 ^{cd}	21,0 ^{ed}
<i>F. pratense</i>	17,0 ^d	19,0 ^f	17,0 ^{cd}	20,0 ^e
<i>C. clandestinus</i> 2 (naturalizado)	25,5 ^c	31,5 ^c	20,5 ^{cd}	25,5 ^d
Media	31,3	37,0	27,5	32,3
EE ±	0,39 ^{***}	0,28 ^{***}	0,31 ^{***}	0,26 ^{***}

Letras desiguales en una misma columna difieren significativamente para $p < 0,05$, según prueba de Tukey. ***($p < 0,001$).

Tabla 3. Producción de biomasa aérea total (kg de MS/ha)¹ en las accesiones de gramíneas asociadas con *L. uliginosus* y el control de *C. clandestinus* durante el periodo lluvioso².

Tratamiento	Frecuencia de corte		
	45 días	70 días	Sig ³
<i>C. clandestinus</i> (naturalizado, control)	624 ^{bd}	1 834 ^{bc4}	S
<i>B. catharticus</i> + Leguminosa	1 200 ^{ab}	2 959 ^{abc}	S
<i>F. rubra</i> + Leguminosa	1 764 ^a	3 974 ^{ab}	S
<i>D. glomerata</i> + Leguminosa	982 ^{ab}	2 692 ^{abc}	S
<i>F. arundinacea</i> + Leguminosa	1 745 ^a	3 793 ^{ab}	S
<i>P. pratense</i> + Leguminosa	1 417 ^{ab}	2 224 ^{abc}	S
<i>C. clandestinus</i> 1 (introducido) + Leguminosa	1 424 ^{ab}	1 685 ^{bc}	NS
<i>A. odoratum</i> + Leguminosa	1 680 ^a	4 583 ^a	S
<i>H. lanatus</i> + Leguminosa	1 371 ^{ab}	3 465 ^{abc}	S
<i>D. glomerata</i> (var. Knaulgrass) + Leguminosa	1 311 ^{ab}	1 220 ^c	NS
<i>F. pratense</i> + Leguminosa	1 279 ^{ab}	1 817 ^{bc}	S
<i>C. clandestinus</i> 2 (naturalizado) + Leguminosa	1 365 ^{ab}	1 329 ^c	NS
Media	1 347	2 631	***
EE ±	66,26 ^{***}	214,57 ^{***}	

¹ kg de MS/ha = kg de MS de gramínea + kg de MS de leguminosa, ² producción promedio de un corte por cada frecuencia, ³Significación = Indica si hay (S) o no (NS) diferencia significativa entre frecuencias de corte para cada accesión
Letras desiguales en la misma columna difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey, *** $p < 0,001$.

Tabla 4. Producción de biomasa de la gramínea (kg de MS/ha)¹ y porcentaje de leguminosa durante el período lluvioso².

Tratamiento	Frecuencia de corte			
	45		70	
	kg de MS/ha	Leguminosa, %	kg de MS/ha	Leguminosa, %
<i>C. clandestinus</i> (naturalizado, control)	624 ^{abcd2}	-	1 834 ^{abcd2}	-
<i>B. catharticus</i>	625 ^{abcd}	57,3 ^{abc2}	1 861 ^{abcd}	50,9 ^{cd2}
<i>F. rubra</i>	1 003 ^a	60,6 ^{abc}	2 576 ^a	50,1 ^{cd}
<i>D. glomerata</i>	812 ^{abc}	22,1 ^d	2 156 ^{abc}	27,8 ^d
<i>F. arundinacea</i>	805 ^{abc}	64,1 ^{abc}	2 365 ^{ab}	48,9 ^{cd}
<i>P. Pratense</i>	261 ^d	35,0 ^{cd}	837 ^{ab}	-
<i>C. clandestinus</i> 1 (introducido)	605 ^{abcd}	62,8 ^{abc}	868 ^{abcd}	57,3 ^{bcd}
<i>A. odoratum</i>	832 ^{ab}	62,2 ^{abc}	2 318 ^{ab}	58,4 ^d
<i>H. lanatus</i>	822 ^{abcd}	48, ^{bcd}	1 992 ^{abcd}	45,8 ^{abcd}
<i>D. glomerata</i> (var. Knaulgrass)	431 ^{bcd}	79,9 ^{ab}	475 ^{bcd}	67,8 ^c
<i>F. pratense</i>	328 ^{cd}	81,2 ^{ab}	168 ^d	94,4 ^{abc}
<i>C. clandestinus</i> 2 (naturalizado)	952 ^a	35,4 ^{cd}	753 ^{abcd}	53,0 ^d
Media	667	60,8	1 476	58
EE ±	44,57 ^{***}	3,77 ^{***}	168,07 ^{***}	3,44 ^{***}

***($p < 0,001$). ¹kg de MS/ha= kilogramos de MS de gramínea, ²producción promedio de un corte por cada frecuencia.

kg de MS/ha, y se encontraron diferencias significativas ($p < 0,001$) entre asociaciones (tabla 5). Se destacaron por sus mayores producciones *F. pratense* y *B. catharticus*, con 988 y 832 kg de MS/ha, respectivamente; mientras que *C. clandestinus* (naturalizado, control) tuvo la menor producción con 348 kg de MS/ha.

A los 70 días de frecuencia de corte se obtuvo una producción de biomasa aérea de las gramíneas de 1 184 kg de MS/ha; y se hallaron diferencias significativas ($p < 0,001$) entre las asociaciones (tabla 5). Las mayores producciones de biomasa las obtuvieron *B. catharticus* y *H. lanatus* con 2 009 y 1 721 kg de MS/ha, respectivamente; mientras que la menor se obtuvo en la asociación con *C. clandestinus* (introducido).

Al comparar la producción de biomasa aérea total entre las dos frecuencias de corte, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,01$) (tabla 5). La producción de biomasa en el corte de 70 días fue mayor, excepto en *P. pratense*, *C. clandestinus* 1 (introducido), *D. glomerata* (var. Knaulgrass) y *F. pratense*.

Producción de biomasa aérea en la gramínea en el PPLL. En la producción de biomasa de la gramínea durante el PPLL a los 45 días de corte se obtuvo un promedio de 510 kg de MS/ha, con di-

ferencias significativas ($p < 0,001$) entre accesiones (tabla 6). La producción más alta se obtuvo en *B. catharticus* (741 kg de MS/ha); mientras que *P. pratense* tuvo la producción más baja, con 337 kg de MS/ha. En la cobertura de leguminosa se encontraron diferencias significativas ($p < 0,01$) entre las asociaciones (tabla 6). El promedio fue de 33,2 %, donde sobresalió la leguminosa en la asociación con *D. glomerata* var. Knaulgrass (54,1 %); mientras que con *B. catharticus* y *D. glomerata* tuvieron los valores más bajos (15,0 y 15,9 %, respectivamente).

Se alcanzó en la frecuencia de 70 días un promedio de 917 kg de MS/ha, con diferencias significativas ($p < 0,001$) para la producción de biomasa de las gramíneas (tabla 4). Sobresalieron *B. catharticus* (1 537 kg de MS/ha), *Festuca arundinacea* (1 512 kg de MS/ha) y *Holcus lanatus* (1 421 kg de MS/ha) con las producciones más altas; en tanto que *C. clandestinus* (int.) y *D. glomerata* (var. Knaulgrass) tuvieron la producción más baja con 350 y 370 kg de MS/ha. *C. clandestinus* (naturalizado, control) presentó una producción por encima del promedio con 1 182 kg de MS/ha.

En cuanto a la proporción de leguminosa, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,001$) entre asociaciones (tabla 6), con un promedio de 33,2 y 32,9 %, para la frecuencia de corte de 45 y

Tabla 5. Producción de biomasa aérea total (kg de MS/ha)¹ en las accesiones de gramíneas asociadas con *L. uliginosus* y el control de *Cenchrus clandestinus* durante el periodo poco lluvioso².

Tratamiento	Frecuencia de corte		
	45 días	70 días	Sig ³
<i>C. clandestinus</i> (naturalizado, control)	348 ^{cd}	1 182 ^{abcd4}	S
<i>B. catharticus</i> + Leguminosa	832 ^{ab}	2 009 ^a	S
<i>F. rubra</i> + Leguminosa	804 ^{ab}	1 682 ^{abc}	S
<i>D. glomerata</i> + Leguminosa	772 ^{abc}	1 114 ^{abcd}	S
<i>F. arundinacea</i> + Leguminosa	776 ^{abc}	1 715 ^{ab}	S
<i>P. pratense</i> + Leguminosa	639 ^{abc}	865 ^{bcd}	NS
<i>C. clandestinus</i> 1 (introducido) + Leguminosa	501 ^{bc}	578 ^d	NS
<i>A. odoratum</i> + Leguminosa	545 ^{bc}	1 152 ^{abcd}	S
<i>H. lanatus</i> + Leguminosa	647 ^{abc}	1 721 ^{ab}	S
<i>D. glomerata</i> (var. Knaulgrass) + Leguminosa	596 ^{abc}	675 ^d	NS
<i>F. pratense</i> + Leguminosa	988 ^a	768 ^{cd}	NS
<i>C. clandestinus</i> 2 (naturalizado) + Leguminosa	507 ^{bc}	749 ^d	S
Media	663	1 184 ^{***}	**
EE ±	40,63 ^{***}	76,48 ^{***}	

** p<0,01, *** p<0,001. ¹ (kg de MS/ha) = kg de MS de gramínea + kg de MS de leguminosa. ² Promedio de dos cortes. ³ Sig = Indica si hay (S) o no (NS) diferencia significativa entre frecuencias de corte para cada accesión (P<0,05). ⁴ Las medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes (P<0,05), según prueba de Tukey.

Tabla 6. Producción de biomasa aérea de las gramíneas (kg de MS/ha)¹ y proporción de leguminosa (%) durante el periodo poco lluvioso².

Tratamiento	Frecuencia de corte			
	45		70	
	kg de MS/ha	Leguminosa, %	kg de MS/ha	Leguminosa, %
<i>C. clandestinus</i> (naturalizado control)	348 ^{de3}	-	1 182 ^{abc3}	-
<i>B. catharticus</i>	741 ^a	15,0 ^{c3}	1 537 ^a	23,9 ^{ab3}
<i>F. rubra</i>	645 ^{abc}	25,3 ^{bc}	1 307 ^{ab}	28,8 ^{ab}
<i>D. glomerata</i>	690 ^{ab}	15,9 ^c	1 031 ^{abcd}	9,3 ^b
<i>F. arundinacea</i>	599 ^{abcd}	22,5 ^{bc}	1 512 ^a	18,3 ^{ab}
<i>P. pratense</i>	337 ^c	41,7 ^{abc}	482 ^{cd}	48,2 ^a
<i>C. clandestinus</i> 1 (introducido)	360 ^d	49,6 ^{ab}	350 ^d	44,3 ^a
<i>A. odoratum</i>	394 ^d	38,5 ^{abc}	791 ^{abcd}	39,0 ^{ab}
<i>H. lanatus</i>	499 ^{bcd}	28,3 ^{abc}	1 421 ^a	24,1 ^{ab}
<i>D. glomerata</i> (var. Knaulgrass)	346 ^c	54,1 ^a	373 ^d	49,2 ^a
<i>F. pratense</i>	726 ^a	47,8 ^{ab}	443 ^{cd}	47,8 ^a
<i>C. clandestinus</i> 2 (naturalizado)	437 ^{cd}	23,2 ^{bc}	574 ^{abcd}	27,6 ^{ab}
Media	510	33,2	917	32,9
EE ±	33,52 ^{***}	2,92 ^{**}	68,78 ^{***}	2,53 ^{**}

NS No significativo (p>0,05), ** (p<0,01), *** (p<0,001). ¹ (kg de MS/ha) = kg de MS de la gramínea, ² Promedio de dos cortes, ³ Las medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes (P<0,05), según prueba de Tukey.

70 días, respectivamente. Se destacó la leguminosa cuando estuvo asociada con *D. glomerata* (var. Knaulgrass), con la proporción más alta, seguida de *P. pratense* y *F. pratense*; mientras que la asociada con *D. glomerata* mostró la proporción más baja.

Discusión

Fase de establecimiento. Durante la fase de establecimiento se observó que todas las asociaciones tuvieron una adecuada adaptación al ambiente, pero en los tratamientos con *F. arundinacea* y *D. glomerata*, la gramínea presentó problemas por *Puccinia* sp. (roya); lo que coincide con reportes hechos en otros estudios, donde se evidencia que estos materiales y otras gramíneas son susceptibles a la incidencia de roya (Novotná *et al.*, 2017).

Por otro lado, *L. uliginosus* presentó un excelente comportamiento en esta fase, aunque tuvo un crecimiento lento durante el inicio del experimento, lo cual coincide con lo reportado por Marley *et al.* (2006), en condiciones similares a las de este estudio (Castillo *et al.*, 2017). La diferencia en los valores encontrados para la altura de las gramíneas al final de la fase de establecimiento se asocia con la fisiología de crecimiento propia de cada especie (ya que se evaluaron gramíneas de hábito erecto, semierecto y prostrado), lo cual se evidenció en los resultados que se alcanzaron en dicha variable (tabla 1).

En cuanto a la cobertura de la leguminosa, se observó que todas las asociaciones, con excepción de *D. glomerata*, tuvieron un buen desarrollo. En algunos casos se llegó a desplazar parcialmente la gramínea, como en las asociaciones con *P. pratense*, *F. pratense* y *A. odoratum*. Esto se relaciona con el hábito de crecimiento prostrado de esta leguminosa (Castillo *et al.*, 2017).

Con respecto a la fenología de las gramíneas, las especies como *B. catharticus*, *H. lanatus* y *F. arundinacea* presentaron floración temprana y abundante producción de semilla, característica que puede ser de utilidad para multiplicar estos materiales en campo e identificar el momento óptimo de pastoreo y de manejo de la pastura durante el establecimiento.

Fase post-establecimiento

Producción de biomasa aérea total. Las asociaciones presentaron mayor producción de biomasa en las dos frecuencias de corte durante el período lluvioso. A su vez, en la producción de biomasa a los 45 días en el PLL se observaron valores superiores a los reportados por otros autores,

como Corredor (1986), quien halló producciones de 930 kg de MS/ha en *F. arundinacea* asociada con *Trifolium repens* en este período.

En algunos estudios los reportes se expresan en kg de MS/ha/año; se debe tener en cuenta el número posible de cortes a realizar durante el año de acuerdo con las frecuencias. En este sentido, los cortes cada 45 días representan 8,1 cortes/año que equivalen a 10 910,7 kg de MS/ha/año; mientras que cada 70 días equivale a 5,2 cortes/año, lo que significaría 13 681,2 kg de MS/ha/año.

Teniendo en cuenta lo anterior, se han encontrado reportes como los de Mendoza (1988), con producciones de hasta 14 440 kg de MS/ha/año en *C. clandestinus* asociado con *T. repens*, valor superior a los observados en el presente estudio, tanto en el PPLL como el PLL (tabla 3). No obstante, en condiciones de pastoreo estas especies se usan con períodos de descanso inferiores a 35 días en algunos casos (Posada-Ochoa *et al.*, 2013; Dimaté-Gil, 2016).

Por su parte, Navas (1972) observó en *B. catharticus*, asociado con *T. repens* valores de 2 400 kg de MS/ha/año, valor inferior al encontrado en el PPLL para las dos frecuencias de corte de este estudio. También en la zona de Mosquera, Cundinamarca, en Colombia, se reportan producciones en pasturas de *F. arundinacea* con *L. uliginosus* de hasta 2 282 kg de MS/ha con cortes a los 45 días, valor superior al hallado en este experimento (Castro *et al.*, 2009), pero inferior a otros reportados en la Sabana occidente de Bogotá en pasturas de *P. clandestinus* + *L. uliginosus* (4 012 kg MS/ha) y en *F. arundinacea* + *L. uliginosus* (4 168 kg de MS/ha), lo cual se debió a que se emplearon terrenos bien preparados y con adecuada fertilización (Morales *et al.*, 2013).

En otras zonas, Leep *et al.* (2002), encontraron en *F. arundinacea* asociada con *L. corniculatus* 1 000 kg de MS/ha/año; por otro lado, en *L. uliginosus* utilizado como banco proteico para pastoreo en ovinos, se han hallado producciones superiores a 1 300 kg de MS/ha (Piaggio *et al.*, 2015).

Producción de biomasa en la gramínea. ICA (1987) sugirió que en condiciones de buen manejo *F. arundinacea* y *B. catharticus* pueden llegar a producir de 20 000 a 30 000 kg de MS/ha/año, lo cual coincide con estudios más recientes (Castro *et al.*, 2008; Morales *et al.*, 2013).

En otras latitudes se han reportado producciones similares, o en algunos casos superiores, a las de este estudio para las gramíneas puras; este es el caso de *F. arundinacea*, con producciones entre

2 500 y 3500 kg de MS/ha (Malcolm *et al.*, 2015; Carlsson *et al.*, 2017). También se han observado en *Dactylis glomerata*, solo y asociado con *Lolium perenne* y *T. repens*, producciones de 20 100 kg de MS/ha/año en la mezcla y 12 100 kg de MS/ha/año en monocultivo, lo que demuestra el beneficio de la asociación de gramíneas y leguminosas (Maldonado *et al.*, 2017).

La mayoría de las producciones reportadas de las gramíneas son superiores a las de este estudio; sin embargo, se debe tener en cuenta que el muestreo se realizó en conjunto para la gramínea y la leguminosa, y no para la gramínea solamente como en el testigo. Esto explica la inferioridad de las producciones con respecto a evaluaciones realizadas en gramíneas puras. En cambio, al comparar la producción de biomasa aérea total de este estudio, en la mayoría de los casos fue superior a las reportadas en otros trabajos.

En cuanto a la proporción de leguminosa, fue mayor en el período lluvioso que en el período poco lluvioso, lo que coincide con lo reportado por Corredor (1986), con 29,7 % en el PPLL y 44,8 % en el PLL en asociación de *T. repens* con *F. arundinacea*. Además, la baja proporción de leguminosa en la asociación con *D. glomerata* se puede relacionar directamente con factores alelopáticos de la gramínea sobre esta especie, como lo reportan Chung y Miller (1995) en diferentes gramíneas, incluidas *F. arundinacea* y *D. glomerata*, donde observaron cómo los extractos acuosos de estas plantas afectaban la germinación y el desarrollo de cultivos de *M. sativa*. En otros estudios se reportan producciones similares o mayores con proporciones de leguminosa desde el 30 al 50 %, usando *D. glomerata* solo y asociado con *L. perenne* y *T. repens*, con producción de hasta 21 000 kg de MS/ha/año en la proporción de 40 % de leguminosa (Rojas-García *et al.*, 2016).

Conclusiones

Las asociaciones que tuvieron mejor comportamiento fueron *F. arundinacea* y *C. clandestinus*, tanto el naturalizado como el introducido, los cuales se destacaron por su mayor resistencia a plagas y enfermedades durante la fase de establecimiento, lo que mostró el potencial de este tipo de sistema, como una opción viable para el trópico alto andino colombiano.

Las asociaciones que se destacaron por su mayor producción de biomasa aérea fueron *F. rubra*, *F. arundinacea*, y *A. odoratum*, para las dos edades de corte evaluadas. La proporción de

la leguminosa fue superior al 40 % en todas las asociaciones para las dos frecuencias de corte, excepto con *D. glomerata*, donde apenas se encontró en un 25 %, valor por debajo del promedio en cada período.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional, sede Bogotá, por la financiación de este estudio, así como a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) por la coautoría en el mismo.

Referencias bibliográficas

- Bernal-Eusse, J. Pastos y forrajes tropicales: producción y manejo. 3rd ed. Bogotá: Banco Ganadero, 1994.
- Cadena, G. M. M.; García, D. M. A.; Meneses, B. D. H.; Morales, M. S. P. & Castro, R. E. Adaptación de diez cultivares de *Lolium* sp. en el trópico alto de Nariño, Colombia. *Agron. Mesoam.* 30 (1):165–178, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.34094>.
- Cárdenas, E. A. Estrategias de la investigación en forrajes de tierra fría en Colombia y avances en la Universidad Nacional de Colombia-Bogotá. *Rev. Med. Vet. Zoot.* 50:20-24, 2003. DOI: <https://doi.org/10.15446/rfmvz>.
- Carlsson, G.; Mårtensson, L. M.; Prade, T.; Svensson, S. E. & Jensen, E. S. Perennial species mixtures for multifunctional production of biomass on marginal land. *GCB Bioenergy.* 9 (1):191–201, 2017. DOI: <http://doi.wiley.com/10.1111/gcbb.12373>.
- Castillo, A.; Rebuffo, M.; Díaz, P.; García, C.; Monza, J. & Borsani, O. Physiological and biochemical responses to water deficit in *Lotus uliginosus* × *L. corniculatus* hybrids. *Crop Pasture Sci.* 68 (7):670-679, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1071/CP16458>.
- Castro, E.; Carulla, J. & Cárdenas, E. Productive potential of *Lotus uliginosus* in specialized dairy systems at the high altitudes of Colombian Andes. *Irish J. Agric. Food Res.* 48:277-287, 2009.
- Castro, R. E.; Mojica, R. J. E.; León, J. M.; Pabón, M. L.; Carulla, F. J. E. & Cárdenas, R. E. A. Productividad de pasturas y producción de leche bovina bajo pastoreo de gramínea y gramínea+ *Lotus uliginosus* en Mosquera, Cundinamarca. *Rev. Fac. Med. Vet. Zootec.* 55:9-21, 2008.
- Chung, I.-M. & Miller, D. A. Allelopathic influence of nine forage grass extracts on germination and seedling growth of alfalfa. *Agron. J.* 87 (4):767-772, 1995. DOI: <https://doi.org/agronj1995.00021962008700040026x>.
- Correa, C. H. J.; Jaimes, C. L. J.; Avellaneda, C. J. H.; Pabón, M. L. & Carulla, F. J. E. Efecto de

- la edad de rebrote del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) sobre la producción, la calidad de la leche y el balance de nitrógeno en vacas Holstein. *LRRD*. 28 (3). <http://www.lrrd.org/lrrd28/3/jaim28047.html>, 2016.
- Corredor, G. *Producción y valor nutritivo de la mezcla de seis gramíneas y dos leguminosas bajo condiciones de pastoreo*. Bogotá: Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, 1986.
- Dimaté-Gil, H. A. *Caracterización agronómica y nutricional de cultivares de raigrás (*Lolium perenne*) en el Noreste de Bogotá*. Trabajo de grado para optar al título de Zootecnista. Bogotá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de La Salle, 2016.
- ICA. *Gramíneas y leguminosas forrajeras en Colombia*. Manual de asistencia técnica No. 10. Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario, 1987.
- Malcolm, B. J.; Moir, J. L.; Cameron, K. C.; Di, H. J. & Edwards, G. R. Influence of plant growth and root architecture of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*) on N recovery during winter. *Grass Forage Sci.* 70 (4):600-610, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12157>.
- Maldonado, P. M.; Rojas, G. A. R.; Torres, S. N.; Herrera, P. J.; Cancino, J. S.; Ventura, R. J. *et al.* Productivity of orchard grass (*Dactylis glomerata* L.) alone and associated with perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.). *Rev. Bras. Zootec.* 46:890-895, 2017.
- Marley, C. L.; Fychan, R. & Jones, R. Yield, persistence and chemical composition of *Lotus* species and varieties (birdsfoot trefoil and greater birdsfoot trefoil) when harvested for silage in the UK. *Grass Forage Sci.* 61 (2):134-145, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2006.00516.x>.
- Mendoza, M. Siembra, manejo y producción de pastos y forrajes de clima frío. En: *ICA. Producción y salud en ganado de leche*. Bogotá, 1988.
- Morales, A.; León, J.; Cárdenas, E.; Afanador, G. & Carulla, J. Composición química de la leche, digestibilidad *in vitro* de la materia seca y producción en vacas alimentadas con gramíneas solas o asociadas con *Lotus uliginosus*. *Rev. Med. Vet. Zootec.* 60 (1):32-48, 2013.
- Navas, A. J. El nitrógeno en cultivos de clima frío. *Suelos Ecuatoriales*. 4 (4):277-300, 1972.
- Novotná, Monika; Hloučalová, Pavlína; Skládanka, Jiří & Pokorný, R. Effect of weather on the occurrence of *Puccinia graminis* subsp. *Graminicola* and *Puccinia coronata* F. sp. *Lolii* at *Lolium perenne* L. and *Deschampsia caespitosa* (L.) P. B. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendelianae Brun.* 65 (1):125-134, 2017. DOI: <https://doi.org/10.11118/actaun201765010125>.
- Ochoa, D. E.; Lopera, J. J.; Márquez, S. M.; Calle, Zoraida; Giraldo, C.; Chará, J. *et al.* Los sistemas silvopastoriles intensivos contribuyen a disminuir el ataque de chupadores en pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). *LRRD*. 29 (5). <http://www.lrrd.org/lrrd29/5/lope29082.html>, 2017.
- Orduz, Karen E. *Variabilidad espacial de la resistencia mecánica a la penetración del suelo. Caso estudio: Centro Agropecuario Marengo-Bogotá*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2014.
- Posada-Ochoa, Sandra; Cerón, J. M.; Arenas, J.; Haméd, J. F. & Álvarez, A. Evaluación del establecimiento de ryegrass (*Lolium* sp.) en potreros de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) usando la metodología de cero labranza. *CES Med. Vet. Zootec., Medellín*. 8 (1):23-32, 2013.
- Rojas-García, A. R.; Hernández-Garay, A.; Ayala, W.; Pedroza, S. I. M.; Cancino, S. J.; Huerata, H. V. *et al.* Productive performance of grasslands with different combinations of orchard grass (*Dactylis glomerata* L.), perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.). *Rev. Fac. Cienc. Agrar., Univ. Nac. Cuyo*. 48 (2):57-68, 2016.
- Sánchez, L. & Villaneda, E. *Renovación y manejo de praderas en sistemas de producción de leche especializada en el trópico alto colombiano*. Tibaitatá, Colombia: CORPOICA, 2009.
- Santacoloma-Varón, Luz E.; Granados-Moreno, J. E. & Aguirre-Forero, Sonia E. Evaluación de variables agronómicas, calidad del forraje y contenido de taninos condensados de la leguminosa *Lotus corniculatus* en respuesta a biofertilizante y fertilización química en condiciones agroecológicas de trópico alto andino colombiano. *Entramado*. 13 (1):222-233, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25136>.
- Silva, P. J. V. Manejo y registro de praderas de clima frío. *Seminario Nacional de Ganado de Leche "Producción de ganado lechero en zonas frías"*. Colombia: ICA. p. 243-248, 1986.
- Vargas-Martínez, J. de J.; Sierra-León, Andrea M.; Mancipe-Muñoz, E. A. & Avellaneda-Avellaneda, Y. El kikuyo, una gramínea presente en los sistemas de rumiantes en trópico alto colombiano. *CES Med. Vet. Zootec., Medellín*. 13 (2):137-156, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21615/cesmvz.13.2.4>.