


Artículo de investigación científica y tecnológica

Perfil nutricional y productivo de especies arbustivas en trópico bajo, Antioquia (Colombia)

 Jeraldyn Argüello-Rangel¹,  Liliana Mahecha-Ledesma^{1*},
 Joaquín Angulo-Arizala¹

¹ Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia

* Autor de correspondencia: Universidad de Antioquia. Grupo GRICA. Calle 67 No. 53 – 108. Medellín, Colombia.
liliana.mahecha@udea.edu.co

Recibido: 11 de noviembre de 2019

Aceptado: 24 de marzo de 2020

Publicado: 15 de agosto de 2020

Editor temático: Jairo Rojas Molina (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA])

Para citar este artículo: Argüello-Rangel, J., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2020). Perfil nutricional y productivo de especies arbustivas en trópico bajo, Antioquia (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), e1700. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1700

Resumen

Los suelos destinados a ganadería en la región del Bajo Cauca (Antioquia, Colombia) se caracterizan por presentar pH ácido, baja fertilidad, erosión, compactación y sobrepastoreo. Debido a esto, presentan deficiencias en calidad nutricional y producción de biomasa, especialmente en épocas secas. Por lo anterior, se requiere evaluar el uso de recursos forrajeros adaptables a la zona de interés. Para comparar el perfil nutricional y productivo de las especies *Crescentia cujete*, *Gliricidia sepium* y *Tithonia diversifolia*, se establecieron en la hacienda La Candelaria parcelas experimentales en un diseño por bloques completamente aleatorizado con un arreglo factorial. Se evaluó altura de las plantas, rendimiento de forraje verde y materia seca (MS), y contenido de materia seca (MS %), fibra detergente neutro (FDN %), fibra detergente ácido (FDA %) y proteína cruda (PC %). Se realizó análisis de varianza y prueba de Tukey y se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para el rendimiento de materia seca, con una producción anual proyectada de 13,87 t/ha para *Crescentia cujete*, 23,2 t/ha para *Gliricidia sepium* y 18,47 t/ha para *Tithonia diversifolia*. Hubo diferencias significativas para FDN ($p = 0,0349$), FDA ($p < 0,0001$) y PC ($p = 0,0037$). *Crescentia cujete* presentó el mayor contenido de FDN (46,5 %) y FDA (25,1 %), mientras *Tithonia diversifolia* registró los valores más bajos (32,6 % en FDN y 14,4 % en FDA). El contenido de PC fue de 25,2 % en *T. diversifolia*, 24,3 % en *G. sepium* y 15,0 % en *C. cujete*. Los resultados sugieren el potencial de estas especies en sistemas ganaderos con suelos pobres.

Palabras clave: agricultura sostenible, *Crescentia cujete*, *Gliricidia sepium*, rendimiento del forraje, *Tithonia diversifolia*

Nutritional and productive profile of shrub species in tropical lowlands of Antioquia (Colombia)

Abstract

The soils used for livestock in the Bajo Cauca (Antioquia, Colombia) are characterized by having acid pH, low fertility, erosion, compaction, and overgrazing. For this reason, there are deficiencies in nutritional quality and forage production, especially in dry seasons. Therefore, it is necessary to evaluate the use of forage resources adaptable to this area. To compare the nutritional and productive profile of the species *Crescentia cujete*, *Gliricidia sepium*, and *Tithonia diversifolia*, experimental plots were established in Hacienda La Candelaria, using a completely randomized block design with and factorial arrangement. Plant height, green forage and dry matter yield (DM), dry matter content (DM %), neutral detergent fiber (NDF %), acid detergent fiber (ADF %), and crude protein (CP %) were evaluated. An analysis of variance and Tukey's test were performed with significant differences ($p \leq 0.05$) for dry matter yield, with a projected annual production of 13.75 t/ha for *Crescentia cujete*, 23.2 t/ha for *Gliricidia sepium*, and 18.47 t/ha for *Tithonia diversifolia*. Significant differences were found for NDF ($p = 0.0349$), ADF ($p < 0.0001$) and CP ($p = 0.0037$). *Crescentia cujete* showed the highest NDF (46.5 %) and ADF (25.1 %) contents, whereas *Tithonia diversifolia* recorded the lowest values (32.6 % NDF and 14.4 % ADF). The CP

content was 25.2 % for *Tithonia diversifolia*, 24.3 % for *Gliricidia sepium*, and 15.0 % for *Crescentia cujete*. These results suggest that these species have a potential use in livestock systems in poor soil conditions.

Keywords: *Crescentia cujete*, forage yield, *Gliricidia sepium*, sustainable agriculture, *Tithonia diversifolia*

Introducción

La ganadería colombiana se ha caracterizado por ser en su mayoría extensiva, al destinar potreros de grandes áreas para suplir las necesidades nutricionales de los animales a expensas de los ecosistemas, que se deterioran por deforestación (Mauricio et al., 2019). Pese a la ampliación de la frontera agropecuaria, las ganaderías presentan bajos índices productivos debido a la pobre calidad y baja producción de forraje derivadas del inadecuado manejo de praderas y el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Cubillos et al., 2016; Mauricio et al., 2019). Por si fuera poco, las sequías prolongadas, las heladas y las inundaciones agudizadas como efecto del cambio climático (Tapasco et al., 2015), las dificultades socioeconómicas y la falta de acceso a asistencia técnica y a tecnologías (López-Vigoa et al., 2017; Navas, 2017) han acentuado la vulnerabilidad de estos sistemas productivos (Cuartas et al., 2014).

La mayoría de los sistemas de producción de carne se encuentran distribuidos en regiones de trópico bajo (0-1.200 m s. n. m.), las cuales exhiben diversas características edáficas (Carulla & Ortega, 2016). Las ganaderías localizadas en suelos con baja fertilidad, pH ácido, alta saturación de aluminio, baja materia orgánica y problemas de compactación y erosión son especialmente vulnerables (Gaviria-Uribe et al., 2015; Sossa & Barahona, 2015), ya que, además del manejo extensivo, suelen presentar una baja producción y relación energía-proteína de las pasturas (Rincón et al., 2018, 2019).

Por lo anterior, es necesario buscar medidas que permitan mejorar el rendimiento productivo de estos sistemas bajo los conceptos de sostenibilidad, sustentabilidad y adaptación al cambio climático. Una de las alternativas que se ha implementado durante los últimos años es el uso de sistemas silvopastoriles (SSP), que consiste en combinar pasturas, plantas arbustivas y árboles en diferentes arreglos espaciales (multiestrato en alta densidad, bancos forrajeros, cercas vivas, barreras rompevientos, árboles dispersos) para optimizar el uso de áreas, aumentar la oferta alimentaria y fomentar la recuperación de suelos y el uso sostenible de los recursos naturales (Mauricio et al., 2019).

De los arreglos espaciales que se pueden implementar, los bancos de forrajes (siembra de especies arbóreas o arbustivas en alta densidad) son una alternativa de solución para producir alimento de alta calidad en un área menor, lo que es útil para realizar suplementación, ya sea en fresco o mediante métodos de conservación de forraje como el ensilaje (Calle et al., 2012).

Existen diversas especies arbustivas, tales como el botón de oro (*Tithonia diversifolia* Hemsl A. Gray [Asteraceae]) (Gallego-Castro et al., 2017), el matarratón (*Gliricidia sepium* Jacq. [Fabaceae]) (Silva et al., 2017) y el totumo (*Crescentia cujete* L. [Bignoniaceae]) (Gómez et al., 2015), las cuales, por sus

características nutricionales y adaptación a diversos pisos térmicos y condiciones edáficas, pueden ser utilizadas en bancos forrajeros.

A la especie *T. diversifolia* se le atribuye la capacidad para aprovechar los escasos nutrientes en suelos de baja calidad y aportar al mejoramiento del suelo por los niveles de nitrógeno, fósforo y aminoácidos de sus hojas (Medina et al., 2009; Ojeniyi et al., 2012). *Gliricidia sepium* también es una especie reconocida por adaptarse a suelos de baja fertilidad, pero además es una leguminosa, de modo que contribuye a la fijación de nitrógeno del suelo (Cubillos-Hinojosa et al., 2012), por lo cual ha sido usada en sistemas agroforestales para mejorar la productividad de especies como el maíz (Smethurst et al., 2017) y el cacao (Hosseini et al., 2017). Por otro lado, *C. kujete* es reconocida por su plasticidad en la adaptación a distintas condiciones biogeográficas (Arango-Ulloa et al., 2009) y por presentar buenas características nutricionales no solo en sus hojas (Rodríguez & Roncallo, 2013), sino también en su fruto (Flórez, 2012).

Tithonia diversifolia puede tener una producción de forraje verde de 24,7 t/ha y de materia seca (MS) de 5,6 t/ha en prefloración (Ferreira et al., 2016), con contenidos de proteína cruda (PC) que pueden oscilar entre 13,0 % (Gallego-Castro et al., 2017) y 28,0 % (Verdecia et al., 2011). Por su parte, sin un manejo de siembra de alta densidad, *G. sepium* puede producir anualmente 17,5 t/ha de forraje verde (Vennila et al., 2016) y 8,57 t/ha de MS en época seca (López, 2005), con contenidos de PC entre 16,0 % y 25,0 % (Silva et al., 2017). De la especie *C. kujete* se puede aprovechar tanto el forraje como el fruto, pues tiene producciones de forraje verde de 14,0-16,0 t/ha y de frutos de 20,0 t/ha (Gómez et al., 2015). En cuanto a su producción de MS, de las hojas y tallos de *C. kujete* con 120 días de edad se pueden obtener 689,2 kg/ha (Rodríguez & Roncallo, 2013), mientras que, del fruto, 11,0 t/ha (Gómez et al., 2015). Esta especie puede tener porcentajes de PC de 14,0 % en hojas y tallos (Gómez et al., 2015) y de 8,38 % en el fruto (Ejelonu et al., 2011). El objetivo de este estudio fue comparar el perfil nutricional y productivo de *T. diversifolia*, *G. sepium* y *C. kujete* en una región de trópico bajo en Antioquia (Colombia).

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en la hacienda La Candelaria, que está ubicada en el municipio de Caucasia (Antioquia) a 08°01'49" N y 75°13'03" O, con una temperatura promedio de 26 °C, una altura de 50 m s. n. m., una precipitación promedio anual de 2.100 mm, 75,0 % de humedad relativa y topografía 15,0 % plana y 85,0 % de terreno ondulado.

Establecimiento de parcelas experimentales

La investigación se desarrolló durante 13 meses, a partir de la fase de establecimiento (cinco meses) y hasta la evaluación del último corte de época lluviosa (ocho meses). Las parcelas experimentales fueron establecidas en suelos que se caracterizan por tener textura franco-arenosa, pH ácido, materia orgánica deficiente, saturación de aluminio elevada, compactación y erosión, y grado de pedregosidad elevado (tabla 1).

Tabla 1. Características de los suelos de la hacienda La Candelaria, 2017

Característica	Valor
Textura	Franco-arenosa
Saturación de aluminio	46,9 %
Cationes meq/100 g de suelo	
Materia orgánica	1,6
P (mg/kg)	8,33
pH	4,67
Al	2,13
Ca	1,83
Mg	0,60
K	0,09
Na	0,04
Cationes (ppm)	
Cu	2,0
Fe	88,67
Mn	37,33
Zn	1,67
B	0,27
S	8,67
Capacidad de intercambio catiónico	4,70

Fuente: Elaboración propia

Se seleccionó un área de 792,0 m² y se dividió en dos partes de 18,0 m x 22,0 m (396,0 m²) cada una, de acuerdo con la topografía y mediante distinción como semiplano (SMP) y pendiente (PD). En la preparación del terreno se limpió el área con un herbicida sistémico comercial, según las recomendaciones del producto, para eliminar el material vegetal. Posteriormente, se realizó arado con tracción animal (búfalo) y se trazaron ocho parcelas experimentales de 8,0 m x 7,0 m (56,0 m²) cada una, cuatro en SMP y cuatro en PD, dejando callejones de 2,0 m entre estas. Luego se distribuyeron aleatoriamente las cuatro especies dentro de cada condición topográfica (SMP y PD). En cada parcela, la siembra se realizó con un modelo de surcos dobles y una distancia de 20,0 cm entre plantas, 75,0 cm entre surcos sencillos y 1,0 m entre surcos dobles, para una densidad de siembra de 6,25 plantas/m².

Siembra de las especies

Para la siembra en las parcelas experimentales se utilizó semilla sexual de *T. diversifolia*, *G. sepium* y *C. cujete*. Se mezcló 1,0 kg de semilla de *T. diversifolia* con 10,0 kg de gallinaza y se realizó siembra directa en campo a menos de 2,0 cm de profundidad. La semilla de *G. sepium* se hidrató durante doce horas (0,5 kg), se secó al sol por seis horas y se sembró en campo a 2,0 cm de profundidad. Por último, la semilla de

C. kujete se sembró a menos de 2,0 cm de profundidad, sin separar la semilla de la pulpa del fruto. La resiembra se realizó 15 días después con plántulas previamente establecidas en vivero.

Ciclo de corte y mantenimiento de las especies

Las tres especies, *T. diversifolia*, *G. sepium* y *C. kujete*, tuvieron un establecimiento exitoso. Antes del corte de uniformización y durante el periodo de evaluación de las parcelas, se realizó mensualmente control manual y químico de arvenses. El corte de uniformización se llevó a cabo a los cinco meses del establecimiento, mediante un corte en bisel a 0,70 m del suelo para todas las especies. Posteriormente, se realizaron cuatro muestreos, uno en diciembre (inicio de época seca), otro en febrero (época seca), otro en abril (lluvias moderadas) y el último en mayo (lluvias fuertes). Los muestreos en época de baja precipitación se realizaron cada 60 días, mientras que, en época de alta precipitación, se hicieron cada 45 días. Para las especies evaluadas, se siguió el mismo procedimiento del corte de uniformización, teniendo en cuenta la diferencia topográfica del área (SMP y PD).

Comportamiento climático

Durante las evaluaciones agronómicas y de composición nutricional de las especies analizadas, se realizó seguimiento al comportamiento de las variables climáticas (temperatura, precipitación, radiación solar y humedad relativa) a través de la estación climática de la finca (RainWise®).

Variables evaluadas

Altura

En cada parcela se seleccionaron 50 plantas de manera aleatoria y se usó una regla graduada para medir su altura desde el suelo hasta la yema terminal del tallo principal en el primer muestreo y en el último. El objetivo era observar el comportamiento inmediatamente después del corte de uniformización, considerando que se trató de un banco forrajero recién establecido (5 meses) y posterior a cortes intermedios (13 meses postestablecimiento).

Composición nutricional

Se evaluó el contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA). Se tomaron dos muestras de hojas y tallos tiernos (0,2 kg cada uno) de cada parcela (en cada bloque); un muestreo se realizó en febrero (época seca) y el otro en abril (lluvias moderadas). La composición nutricional se examinó con espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS, por su sigla en inglés) en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia y en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Rendimiento de forraje verde y materia seca aprovechable por planta

De cada parcela se seleccionaron aleatoriamente 50 plantas para ser cortadas y pesadas. Se realizaron muestreos al inicio de la época seca (diciembre), en época de lluvias moderadas (abril) y durante las lluvias

fuertes (mayo). La época seca (febrero) no fue evaluada debido a que las plantas estaban en estado crítico por la fuerte sequía. Para diferenciar el material aprovechable se pesó el material verde obtenido con báscula digital, separando hojas y tallos tiernos de tallos gruesos y material senescente, con el fin de distinguir entre el material aprovechable y el no aprovechable. A partir de las 50 plantas, se estimó la producción por planta de cada parcela. Para estimar el rendimiento de MS, se tomaron muestras de 0,2 kg en cada parcela, que fueron llevadas al Laboratorio de Nutrición Animal y secadas en horno con ventilación forzada durante 16 horas a 70 °C. El porcentaje de MS obtenido mediante NIRS se tomó como referencia para estimar el rendimiento de MS por planta a partir del rendimiento de forraje verde por planta. Las variables de rendimiento de forraje verde y MS fueron expresadas en kg/planta.

Para la proyección del rendimiento de forraje verde por hectárea se tuvo en cuenta la densidad de siembra aplicada en las parcelas (6,25 plantas/m²), y para la proyección anual del rendimiento de MS por hectárea se consideró la densidad de siembra de 6,25 plantas/m² y seis cortes anuales.

Diseño experimental

Los datos fueron analizados mediante un diseño por bloques completamente aleatorizados (BCA) con un arreglo factorial 3 × 2, donde el bloque fue la topografía del terreno (SMP y PD) y los factores fueron la especie y el muestreo. La información de las variables del estudio fue analizada con el paquete *nlme* para modelos lineales mixtos en el *software* R Project, versión 3.6.0. Se realizó un análisis de varianza de cada una de las variables y prueba de Tukey ($p \leq 0,5$) para comparación de medias.

Resultados y discusión

Comportamiento climático

El muestreo realizado en diciembre (inicio de época seca) se hizo durante la primera semana, cuando las parcelas llevaban siete días sin lluvias. Sin embargo, después de este primer muestreo, la sequía se prolongó durante todo el mes, de manera que se obtuvo precipitación de 0,0 mm, temperatura promedio de 27,2 °C, humedad relativa de 81,9 % y radiación solar de 274,75 W/m². Al ver comprometida la sobrevivencia de las plantas, se decidió aplicar un riego leve de forma uniforme en todas las parcelas. Esto se hizo tres veces por semana, desde mediados de diciembre hasta principios de marzo, a razón de 360,0 l de agua/parcela en cada riego. El riego se prolongó hasta marzo debido a las condiciones climáticas de los meses de enero y febrero, que registraron precipitación de 3,5 mm y 24,1 mm, temperatura promedio de 27,8 °C y 28,6 °C, humedad relativa de 75,2 % y 71,4 %, y radiación solar de 286,7 W/m² y 298,2 W/m², respectivamente. Este riego solo sirvió de ayuda para la supervivencia de las plantas, pero no fue suficiente para su apropiada recuperación. Por este motivo, al llegar la evaluación de febrero (época seca), escasamente hubo forraje para tomar la muestra del análisis bromatológico, pero no para hacer una evaluación del rendimiento forrajero, por lo cual se decidió no hacer el corte de las plantas. El tercer muestreo se llevó a cabo a principios de abril (lluvias moderadas). Además del riego, las plantas habían recibido las lluvias de marzo (aproximadamente 97,0 mm) y las primeras lluvias de abril (62,2 mm). Finalmente, el muestreo realizado a fin de mayo correspondió a un periodo de fuertes lluvias (aproximadamente 550,0 mm) (figura 1 y figura 2).

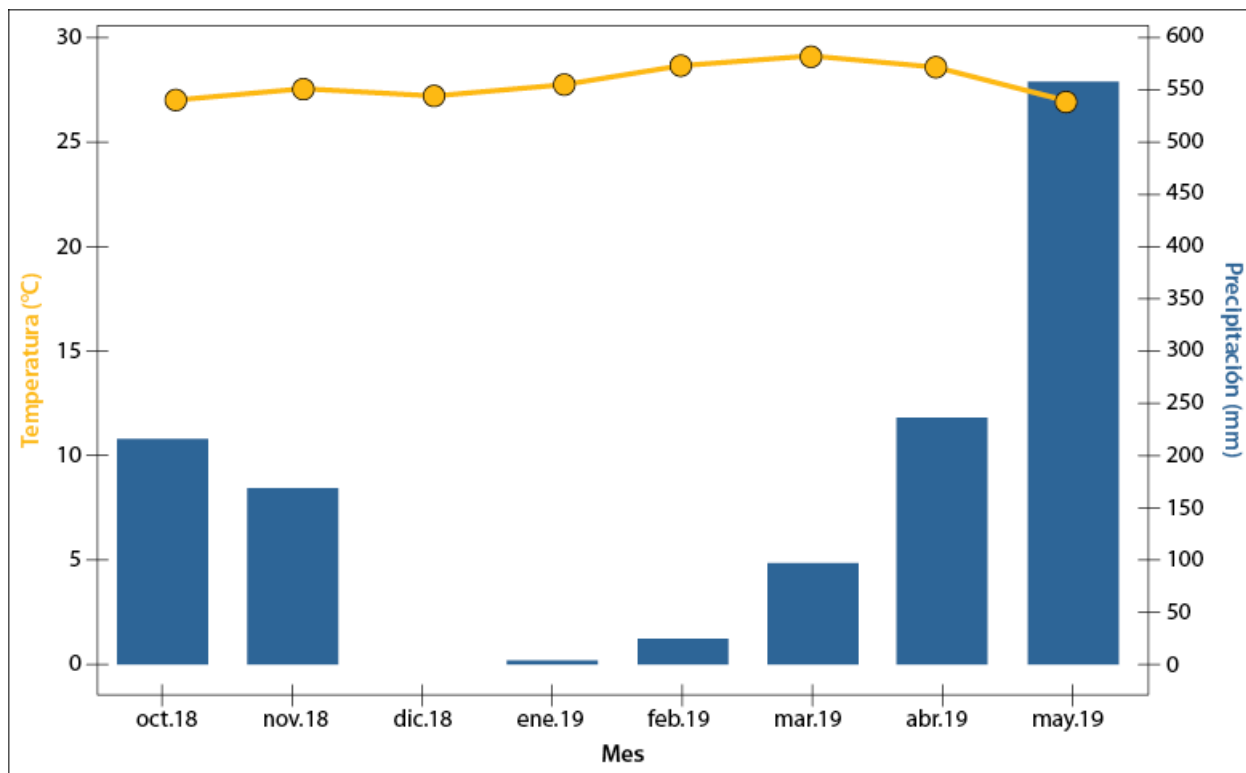


Figura 1. Comportamiento de la temperatura y la precipitación durante el periodo experimental.

Fuente: Elaboración propia

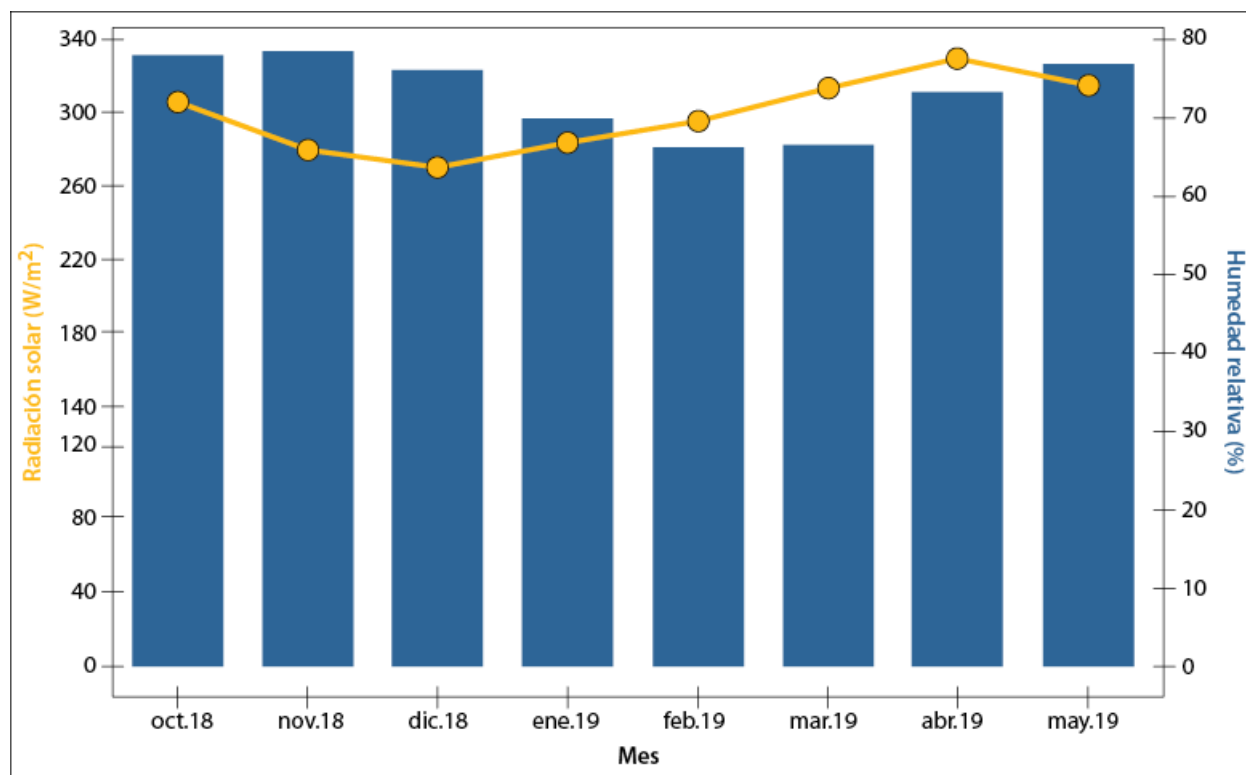


Figura 2. Comportamiento de la radiación solar y la humedad relativa durante el periodo experimental.

Fuente: Elaboración propia

Altura

No se presentó ningún efecto de los factores estudiados ni de las interacciones entre estos sobre la variable altura ($p > 0,05$). Las medias observadas por especie fueron 1,32 m, 1,24 m y 1,11 m para *G. sepium*, *T. diversifolia* y *C. kujete*, respectivamente. De acuerdo con el comportamiento observado, las diferencias no significativas para la interacción especie \times muestreo podrían deberse a que el muestreo de diciembre (inicio de época seca) estuvo precedido por las lluvias de octubre y noviembre (figura 1). Esto pudo haber favorecido el crecimiento de las plantas de manera similar al muestreo de mayo, que se realizó en época de lluvias fuertes. Así mismo, las alturas encontradas para el muestreo de diciembre y mayo sugieren que la edad del cultivo no afectó de manera negativa el desarrollo de las plantas, pese a haber transcurrido 13 meses desde el establecimiento.

Las variaciones en el crecimiento de una planta (altura, diámetro, etc.) pueden atribuirse no solo a los factores genéticos, sino también a la interacción con el ambiente, donde confluyen factores climáticos (temperatura, precipitación, viento, radiación, etc.), edáficos (propiedades físicas, químicas y biológicas) y fitosanitarios, así como la competencia entre los individuos (Imaña & Encinas, 2008; Mora, 2018). Aunque no se observaron diferencias significativas en la altura entre el muestreo de diciembre y el muestreo de mayo, cabe recalcar que las tres especies presentaron alturas considerables en relación con otros estudios. En cuanto a *G. sepium*, Gómez et al. (2008) reportaron una altura de 2,76 m a los 12 meses de establecimiento a una distancia de siembra de 0,60 m, mientras que, en el presente estudio, la especie alcanzó un promedio de

1,32 m en alta densidad y con podas frecuentes. Algunas especies de la familia Fabaceae han mostrado altos valores en la relación raíz/tallo, lo cual les permite maximizar su superficie de contacto con el suelo para obtener nutrientes y agua. Es decir, poseen una mayor habilidad competitiva aun en condiciones edáficas pobres, lo que podría explicar el desarrollo observado para *G. sepium* en este estudio (Mayo-Mendoza et al., 2018).

La altura hallada para *T. diversifolia* fue mayor en comparación con la reportada por Gallego (2016) a los 56 días de edad (0,69 m) en trópico alto (≥ 2.000 m s. n. m.), mientras que *C. kujete* tuvo una mayor altura con respecto a la registrada por Rodríguez y Roncallo (2013), que fue de 0,96 m a los nueve meses de edad en trópico bajo (≤ 1.000 m s. n. m.). Estos datos señalan que a pesar de las pobres condiciones de los suelos en los que se desarrolló el estudio, las plantas tuvieron una adecuada recuperación en términos de crecimiento y llegaron a alturas promedio al corte por encima de 1,0 m.

Composición nutricional

Materia seca

El contenido de MS presentó efectos para la interacción entre los factores especie \times muestreo ($p \leq 0,05$) y para los factores especie y muestreo. *C. kujete* fue la especie con mayor contenido de MS, tanto en el muestreo de febrero, que coincidió con la época seca, como en el muestreo de abril, que correspondió a la época de lluvias moderadas. Por su parte, el contenido de MS de *T. diversifolia* presentó los valores más bajos con relación a *C. kujete* y *G. sepium*, tanto en el muestreo de abril como en el de febrero. En el muestreo de febrero (época seca), *G. sepium* no presentó diferencias significativas con *T. diversifolia*, aunque obtuvo diferencias estadísticas en el muestreo de abril (lluvias moderadas) con un contenido de MS superior al de *T. diversifolia* (tabla 2).

Tabla 2. Composición nutricional de las especies evaluadas

Variable	Especie			Muestreo						p		
				Febrero			Abril					
	BO	M	T	BO	M	T	BO	M	T	Esp.	Mu.	Esp. \times Mu.
MS (%)	19,0 ^c \pm 5,28	22,0 ^b \pm 2,86	33,4 ^a \pm 4,90	23,7 ^{cd} \pm 2,10	24,1 ^{cd} \pm 2,31	37,8 ^a \pm 2,29	14,3 ^f \pm 1,20	19,9 ^e \pm 1,46	29,1 ^b \pm 0,79	<0,0001	<0,0001	0,0194
FDN (%)	33,7 ^c \pm 2,09	38,5 ^b \pm 0,65	45,7 ^a \pm 1,33	34,8 ^{ef} \pm 1,42	38,4 ^{cd} \pm 0,43	44,9 ^{ab} \pm 1,47	32,6 ^{ef} \pm 2,26	38,7 ^{cd} \pm 0,86	46,5 ^{ab} \pm 0,57	<0,0001	0,1124	0,0349
FDA (%)	14,5 ^c \pm 3,41	20,3 ^b \pm 1,61	25,1 ^a \pm 1,06	14,4 ^a \pm 4,87	19,2 ^a \pm 1,65	25,1 ^a \pm 0,28	14,5 ^a \pm 1,87	21,4 \pm 0,23	25,1 ^a \pm 1,59	<0,0001	0,9671	0,1571
PC (%)	25,2 ^{ab} \pm 4,78	24,3 ^{ab} \pm 1,26	15,0 ^c \pm 1,92	26 ^a \pm 5,89	24,1 ^a \pm 2,31	13,6 ^a \pm 1,42	24,4 ^a \pm 4,10	23,5 ^a \pm 0,78	16,5 ^a \pm 1,05	0,0037	0,2072	0,2825

BO: *T. diversifolia*, M: *G. sepium*, T: *C. kujete*, Esp.: especie, Mu.: muestreo. Diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$, $a > b$) según la prueba de comparación de medias de Tukey.

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de MS de *C. kujete* resultó muy superior a los registrados por Rodríguez y Roncallo (2013), que fueron de 15,8 % y 14,9 % a los 56 días y 84 días de rebrote en época de lluvias. Con respecto a *T. diversifolia*, Naranjo y Cuartas (2011) y Gallego-Castro et al. (2017) hallaron en trópico de altura 19,1 % y 12,5-12,7 % de MS, respectivamente. Estos valores fueron inferiores a los encontrados en el presente estudio para el muestreo de febrero (época seca), aunque similares a los del muestreo de abril (lluvias moderadas). En cuanto a *G. sepium*, Oliveira et al. (2018) reportaron 21,6 % de MS, mientras que Anis et al. (2016) hallaron de 18,4 % a 24,7 %, que incrementó con la edad de corte. El valor hallado en el muestreo de febrero (época seca) fue superior al descrito por Oliveira et al. (2018) y se puede observar un comportamiento similar al identificado por Anis et al. (2016).

El contenido de MS puede variar debido a factores como edad y frecuencia de corte, época del año, manejo agronómico y asociación con otras especies (Gallego-Castro et al., 2017). El contenido alto de MS en el muestreo de febrero (época seca) podría estar relacionado con un incremento en la intensidad lumínica (figura 2), la cual puede generar cambios en la estructura celular de los forrajes, en particular una pared celular más gruesa en comparación con plantas que se desarrollan en condiciones de baja intensidad lumínica (De Castro et al., 2018). De igual modo, la exposición a una mayor intensidad lumínica genera mayores tasas de transpiración y, por tanto, una menor concentración de agua en los tejidos, lo que contribuye a elevar el contenido de MS (Soares et al., 2009).

El comportamiento de precipitación, temperatura, humedad relativa y radiación solar durante el periodo de evaluación (figura 1 y figura 2) sugiere que los porcentajes de MS observados en las especies podrían estar relacionados con las condiciones climáticas de los dos muestreos, la época seca y la época de lluvias moderadas. *C. kujete*, que presentó los contenidos más altos de MS en ambos muestreos, es una especie reconocida por su adaptación a ambientes semiáridos y tolerancia al estrés hídrico (Arango-Ulloa et al., 2009). Además, posee buena capacidad para la absorción de agua y nutrientes y soporta altas tasas fotosintéticas y de transpiración, como las observadas en este estudio (Piña & Arboleda, 2010).

Fibra detergente neutro y fibra detergente ácido

Se observó que la interacción entre los factores especie \times muestreo fue significativa ($p = 0,0349$) para el contenido de FDN. En el muestreo de abril (lluvias moderadas), *C. kujete* tuvo mayor FDN que las otras especies en ambos muestreos. Por su parte, *T. diversifolia* presentó el valor de FDN más bajo en ambos muestreos y con respecto a *C. kujete* y *G. sepium*. Esta última presentó valores inferiores a *C. kujete*, pero superiores a *T. diversifolia* en los dos muestreos evaluados (tabla 2).

En esta investigación, los valores de FDN de *T. diversifolia* resultaron inferiores a los encontrados por Verdecia et al. (2011), que fueron de 40,4 % en época de mínima precipitación y 43,6 % en época de lluvias a los 60 días de rebrote, en tanto Cardona-Iglesias et al. (2017) encontraron un 39,0 % de FDN en trópico de altura. Para el caso de *G. sepium*, en un estudio desarrollado en época seca, León et al. (2012) reportaron un valor de 55,9 % de FDN en plantas de más de 90 días de rebrote, mientras que Edwards et al. (2012) observaron un valor de 58,2 % de FDN en plantas de 42 días; ambos estudios se realizaron en condiciones de trópico bajo. Al contrastar estos valores con los del presente estudio (38,4 % a 38,7 %), se observa que los reportes mencionados son muy superiores, lo cual podría asociarse a los rasgos propios de cada cultivo, tales como edad de corte, características del suelo y condiciones biogeográficas en que se desarrollaron los estudios (León et al., 2012).

Con relación a *C. kujete*, los valores hallados (44,9 % a 46,5 %) están en un rango similar a los relacionados por Rodríguez y Roncallo (2013), quienes encontraron un 48,8 % a los tres meses de edad y un 52,8 % a los cuatro meses. Cabe resaltar que en esta investigación no se observaron diferencias significativas en la fracción FDN entre el muestreo de febrero (época seca) y el de abril (lluvias moderadas), en tanto que los autores mencionados hallaron un incremento de este valor a medida que aumentaba la edad al corte.

La FDN es considerada la fracción que determina el consumo de un forraje en rumiantes, de manera que, a mayores valores, menor consumo del alimento, dada la lenta degradación en el rumen y el efecto de llenado que genera (Apraéz et al., 2012; Naranjo & Cuartas, 2011). Por ende, valores bajos de FDN podrían relacionarse con un mejor consumo por parte de los animales. En condiciones tropicales, los forrajes suelen presentar altos valores de FDN, que se incrementan con la edad y la época del año (nula o baja precipitación). Para lograr consumos de forrajes superiores al 2,0 % del peso vivo, el contenido de FDN debería estar máximo entre 54,0 % y 60,0 %. Sin embargo, los valores de FDN de las gramíneas del trópico, que son la principal fuente alimenticia de los bovinos, superan estos valores (Cruz & Sánchez, 2000). Este alto contenido de FDN en las gramíneas suele limitar el consumo y la degradabilidad de la MS, que puede ser un 13,0 % menor con relación a las pasturas de otras latitudes (Barahona & Sánchez, 2005).

En cuanto al contenido de FDA, no se observó efecto significativo en el factor muestreo ni en la interacción de los factores especie \times muestreo. Solo se hallaron diferencias significativas para el factor especie ($p < 0,0001$) y *C. kujete* fue la especie que presentó un mayor valor de FDA (25,1 %) con respecto a *G. sepium* (20,3 %) y *T. diversifolia* (14,5 %).

Al evaluar un sistema silvopastoril en la región Caribe, Barragán (2013) reportó valores de FDA para *C. kujete* en pastoreo entre 48,36 % y 52,5 %, muy superiores a los del presente estudio. Esta diferencia podría relacionarse con el manejo de las plantas en el sistema evaluado, ya que en bancos forrajeros se realizan podas frecuentes para controlar la altura de corte y la cosecha del material, mientras que en pastoreo no se controla la cosecha del material ni su altura de corte, lo que propiciaría el desarrollo de tallos más leñosos.

Con relación a *G. sepium*, Edwards et al. (2012) registraron un incremento de la fracción de FDA de 40,5 % y 43,8 % a los 42 y 84 días de edad, respectivamente. En el presente estudio, el valor fue muy inferior y lo mismo se observó en *T. diversifolia* en comparación con los resultados de Cardona-Iglesias et al. (2017) y Verdecia et al. (2011), quienes reportaron porcentajes de FDA de 27,2 % y 24,1-27,6 %, respectivamente. La fracción FDA agrupa la celulosa y la lignina, dos componentes de la pared celular que aumentan con la edad de la planta o con una alta relación tallo-hoja (Apraéz et al., 2012). Los valores más bajos en este estudio podrían estar relacionados con la edad de las plantas al corte; las podas frecuentes podrían haber favorecido la presentación de menores contenidos de FDA.

Un mayor contenido de FDN y FDA genera baja disponibilidad de energía, menor digestibilidad y menor consumo de alimento (Naranjo & Cuartas, 2011). Cabe resaltar que los contenidos de FDN y FDA de las arbustivas evaluadas fueron más bajos comparados con gramíneas usadas en suelos ácidos y de baja fertilidad como *Urochloa humidicola* (FDN 80,8 %, FDA 42,4 %), *Urochloa decumbens* (FDN 69,5 %, FDA 43,46 %) y *Urochloa brizantha* (FDN 7,3 %, FDA 43,03 %) (Mahecha-Ledesma et al., 2017; Rivera et al., 2015). Dado que las gramíneas del trópico presentan altos contenidos de FDN y FDA y los suelos ácidos, por su baja fertilidad y alta saturación de aluminio, son un limitante adicional para el establecimiento de gramíneas con mejores perfiles nutricionales, los resultados obtenidos en el

presente estudio muestran que el uso de especies como *T. diversifolia*, *G. sepium* y *C. kujete* son una alternativa para diversificar la oferta forrajera y mejorar su calidad.

Proteína cruda

En el contenido de PC no se hallaron diferencias significativas para el factor muestreo ni para la interacción especie \times muestreo. Sin embargo, se observaron diferencias significativas para el factor especie ($p = 0,0037$) (tabla 2). La prueba de comparación de medias de Tukey mostró diferencias entre las especies *T. diversifolia* (25,2 %) y *C. kujete* (15,0 %), y entre esta y *G. sepium* (24,3 %), mientras que entre *T. diversifolia* y *G. sepium* no hubo diferencias en el contenido de PC.

Con relación a *T. diversifolia*, Gallego-Castro et al. (2017) reportaron valores entre 12,7 % y 14,1 % y Naranjo y Cuartas (2011), un valor de 24,13 %. En esta investigación, el porcentaje de PC de *T. diversifolia* fue alto respecto a dichos estudios, considerando, además, las características edáficas de la zona en que se realizó el establecimiento de las parcelas experimentales. En cuanto a *G. sepium*, Edwards et al. (2012) hallaron valores entre 25,7 % y 28,4 % con una disminución a medida que aumentaba la edad; no hubo efecto de los muestreos sobre el porcentaje de PC. En el caso de *C. kujete*, el contenido de PC fue similar al 14,0 % reportado por Rodríguez y Roncallo (2013).

El contenido de PC hallado para las tres especies resulta relevante para la dieta de animales en condiciones productivas de suelos pobres donde predominan pasturas con bajo porcentaje de PC como *U. humidicola* (6,13 %), *U. brizantha* (6,44 %), *U. decumbens* (8,64 %) y *B. híbrido* cv. Mulato II (9,88 %) (López-Vigoa et al., 2017; Mahecha-Ledesma et al., 2017; Rivera et al., 2015). Encontrar especies con la capacidad de aprovechar los escasos nutrientes del suelo y expresar adecuadas características nutricionales sería una alternativa para la suplementación de los sistemas ganaderos de trópico bajo, teniendo en cuenta la deficiente calidad nutricional de las gramíneas y su escasez durante la época seca (Cordoví et al., 2013).

El contenido de PC encontrado en las especies estudiadas podría atribuirse a su capacidad de adaptación para aprovechar los nutrientes del suelo y al manejo agronómico (Botero et al., 2019; Edwards et al., 2012; Gómez et al., 2015). Cabe mencionar que en este estudio todas las especies fueron establecidas por semilla sexual, lo cual permite un mejor desarrollo del sistema radicular (raíz pivotante) y, en consecuencia, una mayor capacidad para realizar una absorción de nutrientes que cuando se establecen plantas por estaca (Saavedra, 2016). De igual modo, la altura y la frecuencia de corte pudieron haber tenido un efecto sobre el contenido de PC, ya que, a menor edad y altura de corte, mayor contenido de PC (Botero et al., 2019; Edwards et al., 2012; Rodríguez & Roncallo, 2013), en tanto a medida que envejece la planta, la pared celular aumenta y el contenido celular disminuye (Apraéz et al., 2012). En este caso particular, pese a la pobre calidad de los suelos de la zona, los porcentajes de PC observados en las tres especies son elevados en comparación con los estudios citados, que corresponden a zonas con mejores condiciones edáficas; esto sugiere que *T. diversifolia*, *G. sepium* y *C. kujete* poseen una buena capacidad de adaptación y aprovechamiento de nutrientes.

La inclusión de fuentes que aporten proteína a dietas con forrajes tropicales de baja calidad contribuye a mejorar la ingesta de MS y la eficiencia de utilización a nivel ruminal (Sampaio et al., 2010). En este sentido, las arbustivas evaluadas podrían ser una fuente forrajera que contribuya a mejorar el consumo de las dietas

de las ganaderías por su considerable valor proteico, su bajo contenido de FDN y FDA con respecto a las gramíneas y su capacidad de adaptación y rendimiento en suelos con pobres condiciones edáficas.

Rendimiento de forraje verde y materia seca aprovechable

Los resultados mostraron diferencias significativas en la producción de forraje verde (FV) aprovechable para la interacción especie \times muestreo y para los factores especie y muestreo ($p \leq 0,05$). La prueba de comparación de medias de Tukey señaló que las diferencias para el factor especie se presentaron entre *T. diversifolia* (0,277 kg/planta) y *C. kujete* (0,114 kg/planta), y entre esta última y *G. sepium* (0,276 kg/planta). Por el contrario, entre *T. diversifolia* y *G. sepium* no hubo diferencias en la producción de forraje verde aprovechable (tabla 3). De igual forma, la interacción especie \times muestreo revela que las diferencias en la producción de FV se presentaron con respecto a *C. kujete*, que fue la especie con menor rendimiento, mientras que, en las interacciones entre los tres muestreos de evaluación, *T. diversifolia* y *G. sepium* presentaron un rendimiento similar (tabla 3).

Con relación a la producción de MS, se encontraron diferencias significativas por especie ($p = 0,00301$), ninguna diferencia para la interacción especie \times muestreo ($p > 0,05$) y tendencia estadística para el factor muestreo ($p = 0,0550$). La prueba de comparación de medias de Tukey mostró que las diferencias se presentaron entre *C. kujete* (0,037 kg/planta) y *G. sepium* (0,059 kg/planta), y entre esta última y *T. diversifolia* (0,047 kg/planta) (tabla 3). Por otro lado, aunque el rendimiento en FV fue mayor para *T. diversifolia* que para *C. kujete*, al evaluar el rendimiento en MS no se encontraron diferencias significativas. Esto podría estar relacionado con el bajo contenido de MS de *T. diversifolia* en comparación con *C. kujete* (tabla 2), de manera que, aunque *C. kujete* tuvo menor producción de FV, dado su mayor contenido de MS pudo expresar un rendimiento de MS similar al de *T. diversifolia*.

Tabla 3. Rendimiento de forraje verde y materia seca aprovechable por planta para la interacción especie × muestreo y para el factor especie

Variable	Muestreo									p	
	Diciembre			Abril			Mayo				
	BO	M	T	BO	M	T	BO	M	T	Mu.	Esp. × Mu.
Rendimiento de FV (kg/planta)	0,230 ^{abcdefg} ±0,05	0,297 ^{abcdef} ±0,05	0,128 ^{eghi} ±0,02	0,249 ^{abcdef} ±0,02	0,207 ^{abcdefhi} ±0,07	0,104 ^{fghi} ±0,001	0,351 ^{acdef} ±0,04	0,325 ^{bcef} ±0,002	0,110 ^{fghi} ±0,02	0,0258	0,0447
Rendimiento de MS (kg/planta)	0,055 ^{b±} 0,02	0,070 ^{b±} 0,003	0,048 ^{b±} 0,009	0,035 ^{b±} 0,0007	0,039 ^{b±} 0,008	0,030 ^{b±} 0,001	0,049 ^{b±} 0,0008	0,067 ^{b±} 0,002	0,032 ^{b±} 0,005	0,0550	0,2239
Variable	Especie									p	
	BO	M	T								
Rendimiento de FV (kg/planta)	0,277 ^{ab} ± 0,06			0,276 ^{ab} ± 0,06			0,114 ^c ± 0,01			0,0017	
Rendimiento de MS (kg/planta)	0,047 ^{bc} ± 0,01			0,059 ^a ± 0,01			0,037 ^{bc} ± 0,01			0,0301	

BO: *T. diversifolia*, M: *G. sepium*, T: *C. kujete*, Esp.: especie, Mu.: muestreo. Diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$, $a > b$) de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey.

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la producción de forraje verde de *T. diversifolia*, en condiciones de trópico alto Gallego (2016) reportó 21,81 t/ha por corte en un banco forrajero establecido con semilla sexual y con cortes cada 56 días a 0,50 m. Por su parte, Ferreira et al. (2016) registraron 24,7 t/ha por corte en prefloración con cortes a 0,80 m en condiciones de trópico bajo, aunque sin reportar la edad de corte. Al proyectar los resultados obtenidos en el presente estudio, la producción de *T. diversifolia* sería de 18,14 t/ha por corte, valor inferior comparado con los estudios en mención. En el caso de *G. sepium*, se estimó una producción proyectada por corte de 18,07 t/ha, que resulta igualmente favorable, aunque inferior con respecto a la reportada por López (2005), que fue de 25,1 t/ha por corte en época seca y 60,1 t/ha en época lluviosa en Nicaragua. Así mismo, Rodríguez y Roncallo (2013) encontraron una producción por corte de 14,0-16,0 t/ha de forraje verde de *C. kujete* en el Caribe colombiano, que en el presente estudio fue inferior (7,5 t/ha por corte).

Al estimar la producción anual de MS se observa que *G. sepium* tendría una mayor producción con 23,18 t/ha, mientras que la de *T. diversifolia* sería de 18,47 t/ha y la de *C. kujete*, de 13,87 t/ha. Al comparar estas estimaciones con otros estudios, el rendimiento de MS es similar para *T. diversifolia* con respecto al descrito por Gallego (2016) en trópico alto colombiano, quien reportó valores entre 14,8-19,5 t/ha/año, en tanto que Van Sao et al. (2010) estimaron 25 t/ha/año en Vietnam. En cuanto a *G. sepium*, Beedy et al. (2010) informaron valores entre 2,5-5,7 t/h/año de MS en Malawi, Togo y Nigeria, cifras inferiores en relación con las del presente estudio. Por su parte, Edwards et al. (2012) estimaron un incremento en la producción de MS a un mayor intervalo entre cortes, con valores de 8,6 t/ha, 12,7 t/ha y 15,0 t/ha a los 42, 56 y 84 días, respectivamente, en clima medio en Trinidad y Tobago. Entre tanto, en un sistema silvopastoril multiestrato, Rodríguez y Roncallo (2013) estimaron para *C. kujete* una producción de 986,7 kg/MS/ha en el periodo de mínima precipitación y de 2,4 t/MS/ha en el periodo de máxima precipitación.

Es preciso aclarar que la densidad de *C. kujete* en el sistema era baja comparada con el manejo dado en esta investigación, donde se realizó siembra en alta densidad y bajo un esquema de parcelas.

Los resultados sobre el rendimiento de FV y MS son favorables para las tres especies, teniendo en cuenta la calidad de los suelos en que fueron establecidas y las condiciones climáticas. Los rendimientos obtenidos podrían estar relacionados con la capacidad de adaptación de las especies para aprovechar nutrientes, la frecuencia de corte y la alta densidad de siembra, que pudo favorecer, por efecto de la competencia entre plantas, un mayor crecimiento (Cordoví et al., 2013; Mora, 2018; Mayo-Mendoza et al., 2018; Noda-Leyva & Martín-Martín, 2017). La competencia entre plantas por espacio, luz y nutrientes puede aumentar su densidad y crecimiento, dependiendo de qué tan competitiva sea una especie. Las especies menos competitivas verían afectado su crecimiento, mientras que una menor distancia de siembra podría favorecer el crecimiento en especies altamente competitivas. El rendimiento de FV y MS observados en los muestreos evaluados podría ser explicado por el efecto de la competencia entre las plantas, lo que sugiere que *G. sepium*, *T. diversifolia* y *C. kujete* son especies altamente competitivas (Mayo-Mendoza et al., 2018).

De igual modo, las condiciones climáticas también han sido asociadas con el rendimiento de forraje, de forma que los cortes precedidos por lluvias pueden presentar una mayor producción de FV y MS (Navas, 2019). En este estudio, se hallaron diferencias entre los periodos de abril (lluvias moderadas) y mayo (lluvias fuertes), con un mayor rendimiento en este último posiblemente debido a que en abril las plantas aún estaban recuperándose de la época seca (diciembre-febrero). El estrés hídrico de dicha temporada generó una considerable pérdida de hojas en *T. diversifolia* durante el periodo de menor precipitación (figura 1) en comparación con *C. kujete* y *G. sepium*. La menor pérdida de hojas en *C. kujete* y *G. sepium* pudo deberse a que las especies arbóreas presentan mayor tolerancia a la época seca, ya que desarrollan raíces que les permiten tomar agua de perfiles más profundos (Cordoví et al., 2013; Navas, 2019). Este comportamiento en el rendimiento de FV y MS entre los muestreos de abril y mayo indicaría un efecto positivo de la precipitación sobre la capacidad de recuperación de las especies estudiadas y, a su vez, un efecto negativo de la baja o nula precipitación (diciembre-febrero) sobre su desarrollo.

Conclusiones

Los rendimientos de forraje verde y materia seca de las especies evaluadas están relacionados con las condiciones climáticas en que se establecen; se registran considerables producciones de forraje en cortes posteriores a épocas de moderada a alta precipitación. Por otra parte, el análisis del perfil nutricional y productivo de *T. diversifolia*, *G. sepium* y *C. kujete* indica que estas especies pueden adaptarse a suelos pobres dadas sus buenas características nutricionales y productivas, por lo que constituyen una alternativa para la suplementación estratégica en ganaderías de trópico bajo.

Agradecimientos

A la Universidad de Antioquia y al Departamento de Formación Académica de Haciendas, por el apoyo logístico y financiero para el desarrollo del proyecto “Uso de arbustivas forrajeras en la cría y levante de ganado BON × Cebú en Caucasia, Antioquia”. A la Cooperativa Colanta, por el convenio de cooperación interinstitucional con la Universidad de Antioquia, que permitió el otorgamiento de becas a los mejores

promedios de cada posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, entre las cuales resultó beneficiada la estudiante de Maestría en Ciencias Animales y coautora de este artículo, Jeraldyn Argüello Rangel.

Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento, están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias

- Anis, S., Kaligis, D., Tulung, B., & Aryanto, A. (2016). Leaf quality and yield of *Gliricidia sepium* (Jacq) Steud under different population density and cutting interval in coconut plantation. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 41(2), 91-98. <https://doi.org/10.14710/jitaa.41.2.91-98>
- Apraéz, J. E., Delgado, J. M., & Narváez, J. P. (2012). Composición nutricional, degradación *in vitro* y potencial de producción de gas de herbáceas, arbóreas y arbustivas encontradas en el trópico alto de Nariño. *Livestock Research for Rural Development*, 24(3). <http://www.lrrd.org/lrrd24/3/apra24044.htm>
- Arango-Ulloa, J., Bohorquez, A., Duque, M., & Maass, B. (2009). Diversity of the calabash tree (*Crescentia cujete* L.) in Colombia. *Agroforestry Systems*, 76(3), 543-553. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9207-0>
- Barahona, R., & Sánchez, S. (2005). Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Revista Corpoica*, 6(1), 69-82. https://doi.org/10.21930/rcta.vol6_num1_art:39
- Barragán, W. (2013). *Sistemas silvopastoriles para mejorar la producción de leche y disminuir el estrés calórico en la región Caribe* [Tesis de maestría, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10495/2365>
- Beedy, T., Snapp, S., Akinnifesi, F., & Sileshi, G. (2010). Impact of *Gliricidia sepium* intercropping on soil organic matter fractions in a maize-based cropping system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 138(3-4), 139-146. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.04.008>
- Botero, J., Gómez, A., & Botero, M. (2019). Rendimiento, parámetros agronómicos y calidad nutricional de la *Tithonia diversifolia* con base en diferentes niveles de fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(3), 789-800. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i3.4667>
- Calle, Z., Murgueitio, E., & Chará, J. (2012). Integrating forestry, sustainable cattle-ranching and landscape restoration. *Unasylva*, 63(239), 31-40. <http://www.fao.org/docrep/017/i2890e/i2890e06.pdf>
- Cardona-Iglesias, J., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017). Efecto sobre la fermentación *in vitro* de mezclas de *Tithonia diversifolia*, *Cenchrus clandestinum* y grasas poliinsaturadas. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 405-426. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25697>
- Carulla, J., & Ortega, E. (2016). Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24(2), 83-87.
- Cordoví, E., Ray, J., Tamele, O., Nhantumbo, S., & Chimbambala, A. (2013). Caracterización de especies arbóreas y arbustivas forrajeras en clima semiárido del sur de Mozambique. *Pastos y Forrajes*, 36(4), 434-439. <https://bit.ly/3cuX1sR>
- Cruz, M., & Sánchez, J. (2000). La fibra en la alimentación del ganado lechero. *Nutrición Animal Tropical*, 6(1), 39-74. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/10317/9708>
- Cuartas, C., Naranjo, J., Tarazona, A., Murgueitio, E., Chará, J., Ku, J., Solorio, F., Flores, M., Solorio, B., & Barahona, R. (2014). Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and

- mitigation of climate change. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 27(2), 76-94. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/324881/20782384>
- Cubillos, A., Vallejo, V., Arbeli, Z., Terán, W., Dick, R., Molina, C., Molina, E., & Roldán, F. (2016). Effect of the conversion of conventional pasture to intensive silvopastoral systems on edaphic bacterial and ammonia oxidizer communities in Colombia. *European Journal of Soil Biology*, 72(40), 42-50. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2015.12.003>
- Cubillos-Hinojosa, J., Milian-Mindiola, P., & Hernández-Mulford, J. (2012). Biological nitrogen fixation by *Rhizobium* sp. native gliricidia (*Gliricidia sepium* [Jacq.] Kunth ex Walp.) under greenhouse conditions. *Agronomía Colombiana*, 29(3), 465-472. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/15936/31718>
- De Castro, D., Guimarães, R., Vilela, L., Alcantara, G., & Fernandes, A. (2018). Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: productivity of forage and an exploratory test of the animal response. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 266, 174-180. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.017>
- Edwards, A., Mlambo, V., Lallo, C. H. O., & Garcia, G. (2012). Yield, chemical composition and *in vitro* ruminal fermentation of the leaves of *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* and *Trichanthera gigantea* as influenced by harvesting frequency. *Journal of Animal Science Advances*, 2(Suppl. 3.2), 321-331. <https://bit.ly/2TXIXCw>
- Ejelonu, B., Lasisi, A., Olaremu, A., & Ejelonu, O. (2011). The chemical constituents of calabash (*Crescentia cujete*). *African Journal of Biotechnology*, 10(84), 19631-19636. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1518>
- Ferreira, L., Sandin, R., Silveira, S., Delarota, G., Storino, D., Sacramento, J., Campos, D., Maurício, R. (2016). Potencial forrageiro da *Tithonia diversifolia* para alimentação de ruminantes. *Livestock Research for Rural Development*, 28(2). <http://www.lrrd.org/lrrd28/2/ferr28017.html>
- Flórez, E. (2012). Evaluación de pulpa de totumo (*Crescentia cujete* L) ensilada en dos estados de maduración como alternativa en alimentación bovina. *Temas Agrarios*, 17(1), 44-51. <https://doi.org/10.21897/rta.v17i1.695>
- Gallego, L. (2016). *Evaluación agronómica y análisis productivo del botón de oro (Tithonia diversifolia Hemsl. A Gray) como suplemento alimenticio de vacas lecheras en trópico alto* [Tesis de maestría, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional. <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/6113>
- Gallego-Castro, L., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017). Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 213-222. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21671>
- Gaviria-Urbe, X., Naranjo-Ramírez, J. F., Bolívar-Vergara, D. M., & Barahona-Rosales, R. (2015). Consumo y digestibilidad en novillos cebuínos en un sistema silvopastoril intensivo. *Archivos de Zootecnia*, 64(245), 21-27. <https://doi.org/10.21071/az.v64i245.370>
- Gómez, I., Olivera, Y., Botello, A., & Espinosa, R. (2008). Efecto del marco de siembra en la producción de postes vivos de *Gliricidia sepium*. *Pastos y Forrajes*, 31(4), 327-332. <https://bit.ly/36SrnnW>
- Gómez, M., Botero, L., Anzola, H., & Giraldo, V. (2015). Totumo, sobreviviente a inundaciones y sequías. *Carta Fedegán*, 150, 38-49. <https://go.aws/2Mj8wcb>
- Hosseini, S., Trueman, S., Nevenimo, T., Hannet, G., Bapiwai, P., Poienou, M., & Wallace, H. (2017). Effects of shade-tree species and spacing on soil and leaf nutrient concentrations in cocoa plantations at 8 years after establishment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 246, 134-143. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.003>
- Imaña, J., & Encinas, O. (2008). *Epidometría forestal*. Universidad de Brasilia.
- León, M., Martínez, S., Pedraza, R., & González, C. (2012). Indicadores de la composición química y digestibilidad *in vitro* de 14 forrajes tropicales. *Revista Producción Animal*, 24(1), 1-6. <https://bit.ly/2MiOluN>

- López, M. (2005). *Procesos de fomento tecnológico de bancos de proteína de Gliricidia sepium en Rivas, Nicaragua: resultados bioeconómicos y lecciones aprendidas para su difusión* [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. Repositorio Institucional CATIE. <http://hdl.handle.net/11554/4177>
- López-Vigoa, O., Sánchez-Santana, T., Iglesias-Gómez, J., Lamela-López, L., Soca-Pérez, M., Arece-García, J., & Milera-Rodríguez, M. (2017). Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 83-95. <https://bit.ly/3eCIb4O>
- Mahecha-Ledesma, L., Angulo-Arizala, J., & Barragán-Hernández, W. (2017). Calidad nutricional, dinámica fermentativa y producción de metano de arreglos silvopastoriles. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 371-387. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.22750>
- Mauricio, R., Sandin, R., Campos, D., Alves, M., Murgueitio, E., Chará, J., & Flores, M. (2019). Chapter 18 - Silvopastoral systems in Latin America for biodiversity, environmental, and socioeconomic improvements. In G. Lemaire, S. Kronberg, P. De Faccio, & S. Recous (Eds.), *Agroecosystem Diversity. Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality* (pp. 287-297). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00018-2>
- Mayo-Mendoza, M., Romo-Campos, R., & Medina-Fernández, P. (2018). Tasa relativa de crecimiento de herbáceas con potencial de restauración en suelos degradados del bosque La Primavera, Jalisco, México. *Acta Universitaria*, 28(2), 58-66. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1930>
- Medina, M., García, D., González, M., Cova, L., & Moratinos, P. (2009). Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical*, 27(2), 121-134. <http://bioline.org.br/request?zt09015>
- Mora, J. (2018). Aplicación de modelos matemáticos no lineales para la estimación de parámetros de crecimiento de *Alnus acuminata* en sistemas silvopastoriles de Roncesvalles, Tolima. In V. Holguín, I. García, & J. Mora (Eds.), *Árboles y arbustos para silvopasturas: uso, calidad y alometría* (pp. 123-133). Universidad del Tolima.
- Naranjo, J., & Cuartas, C. (2011). Caracterización nutricional y de la cinética de degradación ruminal de algunos de los recursos forrajeros con potencial para la suplementación de rumiantes en el trópico alto de Colombia. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 6(1), 9-19. <https://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/1489/993>
- Navas, A. (2017). Conocimiento local y diseño participativo de sistemas silvopastoriles como estrategia de conectividad en paisajes ganaderos. *Revista de Medicina Veterinaria*, 34, 55-65. <https://doi.org/10.19052/mv.4255>
- Navas, A. (2019). Bancos forrajeros de *Moringa oleifera*, en condiciones de bosque húmedo tropical. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 207-218. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art:1457
- Noda-Leyva, Y., & Martín-Martín, G. (2017). Efecto de la distancia de siembra en el rendimiento de *Morus alba* (L.) var. yu-12. *Pastos y Forrajes*, 40(1), 23-28. <https://bit.ly/2MmAbJb>
- Ojeniyi, S. O., Odedina, S. A., & Agbede, T. (2012). Soil productivity improving attributes of Mexican sunflower (*Tithonia diversifolia*) and siam weed (*Chromolaena odorata*). *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24(3), 243-247. <https://www.ejfa.me/index.php/journal/article/view/867/630>
- Oliveira, A., Bagaldo, A., Loures, D., Bezerra, L., Moraes, S., Yamamoto, S., Araújo, F., Cirne, L., & Oliveira, R. (2018). Effect of ensiling gliricidia with cassava on silage quality, growth performance, digestibility, ingestive behavior and carcass traits in lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 241, 198-209. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.05.004>
- Piña, M., & Arboleda, M. (2010). Efecto de dos ambientes lumínicos en el crecimiento inicial y la calidad de plantas de *Crescentia cujete*. *Bioagro*, 22(1), 61-66. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85716706008>
- Rincón, A., Álvarez, M., Pardo, O., Amaya, A., & Díaz, R. (2019). Estimación de la concentración de clorofila y su relación con la concentración de proteína cruda en tres especies del pasto *Urochloa* en el Piedemonte Llanero. *Tropical Grasslands*, 7(5), 533-537. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(7\)533-537](https://doi.org/10.17138/TGFT(7)533-537)

- Rincón, A., Flórez, H., Ballesteros, H., & León, L. (2018). Efectos de la fertilización en la productividad de una pastura de *Brachiaria humidicola* cv. Llanero en el Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. *Tropical Grasslands*, 6(3), 158-168. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(6\)158-168](https://doi.org/10.17138/TGFT(6)158-168)
- Rivera, J., Cuartas, C., Naranjo, J., Tafur, O., Hurtado, E., Arenas, F., Chará, J., & Murgueitio, E. (2015). Efecto de la oferta y el consumo de *Tithonia diversifolia* en un sistema silvopastoril intensivo. *Livestock Research for Rural Development*, 27(10). <http://www.lrrd.org/lrrd27/10/rive27189.html>
- Rodríguez, G., & Roncallo, B. (2013). Producción de forraje y respuesta de cabras en crecimiento en arreglos silvopastoriles basados en *Guazuma ulmifolia*, *Leucaena leucocephala*. *Crescentia kujete*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 14(1), 77-89. https://doi.org/10.21930/rcta.vol14_num1_art:345
- Saavedra, S. (2016). *Fenología y fisiología de semillas de botón de oro Tithonia diversifolia (Hemsl) Gray* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín]. Repositorio Institucional UN. <http://bdigital.lunal.edu.co/55663/>
- Sampaio, C., Detmann, E., Paulino, M., Valadares, F., De Souza, M., Lazzarini, I., Rodrigues, P., & De Queiroz, A. (2010). Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Tropical Animal Health and Production*, 42(7), 1471-1479. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9581-7>
- Silva, S., Carneiro, M., Edvan, R., Pereira, E., Neto, L. M., Pinto, A., & Camilo, D. (2017). Agronomic characteristics and chemical composition of *Gliricidia sepium* grown under different residual heights in different seasons. *Ciencia e Investigación Agraria*, 44(1), 35-42. <https://doi.org/10.7764/rcia.v44i1.1579>
- Smethurst, P., Huth, N., Masikati, P., Sileshi, G., Akinnifesi, F., Wilson, J., & Sinclair, F. (2017). Accurate crop yield predictions from modelling tree-crop interactions in gliricidia-maize agroforestry. *Agricultural Systems*, 155, 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.04.008>
- Soares, A., Sartor, L., Adami, P., Costa, A., Fonseca, L., & Mezzalira, J. (2009). Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(3), 443-451. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000300007>
- Sossa, C. P., & Barahona, R. (2015). Comportamiento productivo de novillos pastoreando en trópico de altura con y sin suplementación estratégica. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 62(1), 67-80. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v62n1.49386>
- Tapasco, J., Martínez, J., Calderón, S., Romero, G., Ordóñez, D., Álvarez, A., Sánchez-Aragón, L., & Ludeña, C. (2015). *Impactos económicos del cambio climático en Colombia. Sector ganadero. Monografía n.º 254*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://bit.ly/2MjwpA7>
- Van Sao, N., Mui, N., & Van Binh, D. (2010). Biomass production of *Tithonia diversifolia* (Wild Sunflower), soil improvement on sloping land and use as high protein foliage for feeding goats. *Livestock Research for Rural Development*, 22(8). <http://www.lrrd.org/lrrd22/8/sao22151.htm>
- Vennila, C., Gunasekaran, S., & Sankaran, V. (2016). Effect of lopping interval on the growth and fodder yield of *Gliricidia sepium*. *Agricultural Science Digest*, 36(3), 228-230. <https://doi.org/10.18805/asd.v36i3.11448>
- Verdecia, D., Ramírez, J., Leonard, I., Álvarez, Y., Bazán, Y., Bodas, R., Andrés, S., Bodas, R., Álvarez, J., Giráldez, F., & López, S. (2011). Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del Valle del Caucho - Nutritive value of the *Tithonia diversifolia* in a location of Valle del Caucho. *REDVET - Revista Electrónica de Veterinaria*, 12(5), 1-13.