

Respuesta productiva de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone a la fertilización, la altura residual y el momento de defoliación**Productive response of *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone to fertilization, residual height and defoliation timing**

Yesid Avellaneda-Avellaneda^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-2471-5863>, Edgar Augusto Mancipe-Muñoz¹ <https://orcid.org/0000-0001-9831-673X>, Franklin Giovanni Mayorga-Cubillos² <https://orcid.org/0000-0003-1482-0280>, Javier Castillo-Sierra¹ <https://orcid.org/0000-0003-0797-3908>, Juan de Jesús Vargas-Martínez³ <https://orcid.org/0000-0002-7674-3850>

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). Km 14 vía Bogotá - Mosquera, Cundinamarca, Colombia. ² Federación Nacional de Cultivadores de Cereales Leguminosos y Soya, Kilómetro 1, vía Cota Siberia, Vda. Cundinamarca, Colombia. ³ Department of Animal Sciences, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523, USA. Correo electrónico: yavellaneda@agrosavia.co*, emancipe@agrosavia.co, fmayorga@fenalcerregional.org, jcastillos@agrosavia.co, jdvargasm@unal.edu.co. * Autor para correspondencia

Resumen

Objetivo: Evaluar la respuesta de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone a la fertilización mediante la tasa de extracción de nutrientes, la altura residual y el momento de defoliación en el trópico alto colombiano.

Materiales y Métodos: Se evaluaron dos alturas residuales (6 y 12 cm) y cuatro dosis de fertilización en parcelas que se cortaron con cuatro, cinco o seis hojas vivas. La respuesta agronómica se evaluó durante un año y la composición química durante los meses de mayor y menor precipitación. La información se analizó mediante un diseño de parcelas divididas en el espacio y el tiempo, con tres repeticiones.

Resultados: El crecimiento de *C. clandestinus* fue superior cuando se cosechó con cinco hojas y altura residual de 6 cm, en la época seca, y seis hojas y 6 cm de altura residual o cinco hojas y 12 cm de altura residual, en la época de lluvias. La calidad nutricional de *C. clandestinus* fue mayor cuando se cosechó con mayor altura residual o se utilizó dosis de 648 kg de N/ha y 114 kg de P/ha. Además, fue superior cuando la planta presentó cuatro hojas vivas en la época seca, pero similar en la época de lluvias.

Conclusión: El momento para obtener la máxima tasa de crecimiento de *C. clandestinus* depende de la época y la altura residual de la cosecha. Además, se logra mayor eficiencia en este forraje cuando la fertilización edáfica se aplica durante la época de lluvia.

Palabras clave: crecimiento, digestibilidad, producción lechera

Abstract

Objective: To evaluate the response of *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone to fertilization by nutrient extraction rate, residual height and defoliation timing in the Colombian high tropics.

Materials and Methods: Two residual heights (6 and 12 cm) and four fertilization doses were evaluated in plots that were cut with four, five or six live leaves. Agronomic response was evaluated during one year and chemical composition during the months of highest and lowest rainfall. The information was analyzed using a spatially and temporally divided-plot design with three replications.

Results: The growth of *C. clandestinus* was superior when harvested with five leaves and 6-cm residual height in the dry season, and six leaves and 6 cm residual height or five leaves and 12 cm residual height in the rainy season. The nutritional quality of *C. clandestinus* was higher when it was harvested with greater residual height or when doses of 648 kg N/ha and 114 kg P/ha were used. In addition, it was higher when the plant showed four live leaves in the dry season, but similar in the rainy season.

Conclusion: The moment to obtain the maximum growth rate of *C. clandestinus* depends on the time and residual height of harvest. In addition, higher efficiency is achieved in this forage when edaphic fertilization is applied during the rainy season.

Keywords: growth, digestibility, milk production

Introducción

El sector lácteo colombiano desempeña una función crucial en la economía nacional y representa 24,1 % del PIB agropecuario y 1,76 % del PIB total, además de generar más de 736 000 empleos

en la cadena de valor (MADR, 2020). A pesar de que predominan los sistemas pastoriles, por su bajo costo de producción, la ganadería de leche enfrenta desafíos significativos, como la dependencia de

Recibido: 07 de diciembre de 2023

Aceptado: 12 de abril de 2024

Como citar este artículo: Avellaneda-Avellaneda, Yesid; Mancipe-Muñoz, Edgar Augusto; Mayorga-Cubillos, Franklin Giovanni & Vargas-Martínez, Juan de Jesús. Respuesta productiva de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone a la fertilización, la altura residual y el momento de defoliación. Pastos y Forrajes. 47:e06, 2024.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

recursos alimentarios externos y la insostenibilidad de la producción (González-Cárdenas, 2021).

La base forrajera en los sistemas ganaderos del trópico alto colombiano se centra, principalmente, en *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone, una gramínea que, bajo un manejo adecuado, ofrece alta calidad nutricional y persistencia al pastoreo intensivo (Vargas-Martínez *et al.*, 2018). Sin embargo, el manejo inadecuado puede reducir su productividad y calidad nutricional (Mila-Prieto y Corredor-Sanchez, 2004). En Colombia, en la expresión fenotípica de *C. clandestinus* influye el manejo del pastoreo y las condiciones ambientales (Castillo-Sierra *et al.*, 2023).

Para lograr una intensificación sostenible de los sistemas ganaderos, es esencial una producción y manejo eficiente del forraje, que promueva la productividad animal y la rentabilidad de las fincas, minimizando el impacto ambiental (Rao *et al.*, 2015). La optimización de la relación planta-animal necesita sincronizar el requerimiento diario de los animales con la tasa de crecimiento y composición nutricional de los forrajes, lo que se puede lograr mediante la aplicación de fertilizantes y el manejo programado del pastoreo (Escobar-Charry *et al.*, 2020; Medeiros-Martins *et al.*, 2021).

El manejo adecuado de la frecuencia de defoliación y la intensidad de pastoreo es crucial para ofrecer forraje de alta calidad en especies tropicales perennes (Chapman y Lemaire, 1996). La frecuencia de defoliación afecta la recuperación de la pradera y la acumulación de carbohidratos solubles, mientras que la intensidad de pastoreo determina las características de la vegetación y la diversidad de las praderas (Zainelabdeen *et al.*, 2020; Venter *et al.*, 2021; Zanella *et al.*, 2021).

La deficiencia de minerales en el suelo y el uso de bajas dosis de fertilizantes pueden agotar las reservas, lo que ocasiona baja productividad de la pastura (Govindasamy *et al.*, 2023). También, el uso excesivo de fertilizantes puede llevar a la pérdida de nutrientes y a un gran impacto ambiental (Fonseca-López *et al.*, 2020). A pesar de los programas de fertilización desarrollados para *C. clandestinus*, la información sobre las dosis de fertilización para un manejo intensivo es limitada, especialmente en condiciones ambientales variables (Govindasamy *et al.*, 2023).

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la respuesta de *C. clandestinus* a la fertilización mediante la tasa de extracción de nutrientes, la altura

residual y el momento de defoliación en el trópico alto colombiano.

Materiales y Métodos

Localización y temporalidad. Este estudio se llevó a cabo en un lote de 760 m², previamente establecido con *C. clandestinus*, en el centro de investigación Tibaitatá, ubicado en el municipio de Mosquera, Colombia (latitud 4°35'56''N y longitud 74°04'51''O), desde julio de 2020 hasta junio de 2021.

Características del suelo. Previo al establecimiento del experimento, se tomó y envió una muestra representativa del suelo para su análisis químico en el laboratorio de suelos de Agrosavia. Además, se realizó un pase de desbrozadora para eliminar la formación de colchones en la pradera de *C. clandestinus*. El análisis químico del suelo presentó contenidos adecuados de nutrientes (materia orgánica: 8,64 %, P: 73,8 mg/kg, S: 38,3 mg/kg, Ca: 12,8 cmol/kg, Mg: 4,2 cmol/kg y CIC: 20,4 cmol/kg) y pH moderadamente ácido (5,60).

Diseño experimental y tratamientos. El área seleccionada se dividió en 72 parcelas de 0,9 x 1,5 m, con distancia de 1 m entre estas y de 3 m hacia los bordes. Los tratamientos se aplicaron en un diseño experimental de parcelas subdivididas en tres bloques diferentes. Dos alturas de forraje residual (6 y 12 cm) se impusieron con el uso de un cortacésped (Husqvarna 7021P 160 cc) en la parcela principal. En cada parcela, se aplicaron cuatro dosis de fertilización nitrogenada y fosfórica para alcanzar tasas diarias de crecimiento entre 20 y 80 kg/MS/ha/d (tabla 1), de acuerdo con la metodología propuesta por Cuesta-Muñoz *et al.* (2005). Además, todas las parcelas recibieron dosis de 350 kg/ha/año de sulfato de magnesio para mejorar las relaciones catiónicas. Las parcelas se cortaron cuando más del 90 % de las plantas presentaban cuatro, cinco o seis hojas vivas nuevas. Para cada combinación experimental, se usaron tres repeticiones (bloques) y se consideró la altura residual como la parcela principal, la dosis de fertilización como subparcela y el momento de corte como sub-subparcela en el tiempo.

Procedimiento experimental. Posterior a la definición de las parcelas experimentales, se realizó un corte de uniformización de la pradera. Para el cálculo de la dosis de fertilizante, se consideró el tiempo estimado para la aparición de una hoja nueva en *C. clandestinus* (ensayo preliminar), que fue de 8,3 días. De esta manera, el número inicial de períodos de corte al año fue de 10,9; 8,7 y 7,3 rota-

Tabla 1. Planes de fertilización evaluados en el estudio.

Tasa de crecimiento esperada (kg de MS/ha/día)	N (kg/ha/año)	P ₂ O ₅ (kg/ha/año)
20	0	0
40	274	6,8
60	461	60,3
80	648	113,8

ciones, para las parcelas con cuatro, cinco y seis hojas vivas, respectivamente. Como los tratamientos afectaron la recuperación de las parcelas, se tuvo en cuenta el tiempo de rebrote registrado en cada medición para ajustar la siguiente dosis a aplicar y se consideró el fertilizante y el tiempo restante del estudio.

Variables evaluadas y análisis de laboratorio.

La respuesta agronómica de los diferentes tratamientos se midió durante un año, entre julio 2020 y junio de 2021. La composición química se determinó en las muestras obtenidas durante noviembre de 2020, período que correspondió a la época de mayor precipitación (180 mm/mes), y durante enero y febrero de 2021, lo que coincide con la época de menor precipitación (40 mm/mes). Se determinó en cada parcela la altura de las plantas (cm) con la utilización de una regla plástica. Se cosechó el forraje de cada parcela y se secó para determinar la producción de forraje seco (g de MS/m²). Adicionalmente, se determinó la tasa diaria de crecimiento (TDC, kg de MS/ha/día) como la relación entre la acumulación de materia seca y el período de corte. Las muestras de forraje se conservaron y se determinó la concentración de la proteína bruta (PB), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), carbohidratos no estructurales (CNE), calcio (Ca) y fósforo (P) mediante la metodología NIRS en el laboratorio de química analítica de Agrosavia. Además, se estimó la energía neta de lactancia (EN_L) con ecuaciones usadas en la plataforma AlimenTro, de Agrosavia. Se determinó la digestibilidad *in situ* de la materia seca (DISMS) (Ørskov y MacDonald, 1979) en el laboratorio de nutrición animal de Agrosavia.

Análisis estadístico. Las variables agronómicas y composicionales se analizaron mediante un diseño de parcelas subdivididas en el espacio y el tiempo, con la utilización del procedimiento MIXED de SAS Institute Inc. (2018). El análisis se realizó de manera independiente, de acuerdo con la época climática asociada a la precipitación (época de lluvia o de seca). Las medias ajustadas se compararon

mediante la prueba de Tukey, con nivel de significación de 5 %. Además, se informaron como tendencias las significancias menores al 10% y mayores al 5%. La aplicación del fertilizante se evaluó por medio de contrastes ortogonales para determinar el efecto lineal, cuadrático y cúbico de este tratamiento. Los errores experimentales de las variables evaluadas cumplieron los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad.

Resultados

Respuesta en la época seca. Las parcelas de *C. clandestinus*, que se cortaron a altura de 6 cm, tardaron 7,1 días más ($p < 0,05$) en llegar al momento de cosecha y registraron menor ($p < 0,05$) altura de las plantas y cantidad de hojas senescentes, comparadas con aquellas cosechadas a 12 cm (tabla 2). Además, la menor altura de corte resultó en menor ($p < 0,05$) concentración de PB y DISMS, pero presentó ($p < 0,01$) mayor acumulación de materia seca (MS), lo que se tradujo en mayor tasa de crecimiento (62,0 % más forraje por día).

La fertilización afectó de manera lineal ($p < 0,05$) la respuesta agronómica de las parcelas de *C. clandestinus*. La aplicación de fertilizantes para obtener tasa de crecimiento de 60 u 80 kg de MS/ha/día incrementó la acumulación de biomasa y la altura de las plantas con respecto al control (tabla 2). Además, la TDC fue mayor ($p < 0,05$) en los tratamientos con dosis altas de fertilización comparado con los de dosis bajas. De igual manera, el aumento de la fertilización promovió un incremento lineal ($p < 0,05$) en la concentración de PB, P y EN_L, pero redujo linealmente el contenido de CNE (tabla 2).

La frecuencia de defoliación, determinada por el número de hojas vivas, tuvo efecto significativo ($p < 0,05$) en el tiempo de corte. Las parcelas con cuatro hojas vivas requirieron 19,8 días menos para el corte, comparado con las de 5 hojas, y a su vez, las de 5 hojas vivas, 16,4 días, comparado con las de 6 hojas. Además, las plantas con menos hojas mostraron menor altura, menos hojas senescentes y

Tabla 2. Efecto de la altura residual, fertilización y momento de cosecha en la respuesta agronómica y composicional de *C. clandestinus* en la época seca¹.

Factor	Edad rebrote, días	Altura planta, cm	Hojas senescentes		Producción de forraje seco, g de MS/m ²	TDC, kg de MS/ha/día	%					EN _L m Mcal/kg		
			No.	No.			PB	FDN	FDA	CNE	Ca		P	DISMS
Altura residual (AR, cm)														
6	55,7	11,6	1,3	1,3	105,5	19,3	15,6	57,6	33,4	8,2	0,34	0,32	69,7	1,26
12	48,6	14,5	1,8	1,8	58,8	12,3	17,4	56,3	31,8	8,3	0,35	0,32	74,5	1,29
EEM ²	1,57	0,49	0,10	0,10	12,5	1,35	0,23	0,43	0,32	0,25	0,013	0,009	0,85	0,005
Fertilización (F)														
TDC 20	53,1	12,1 ^b	1,3	1,3	60,2 ^b	11,4 ^b	15,4 ^b	56,5	32,0	9,5 ^a	0,36	0,30 ^b	70,9	1,26 ^b
TDC 40	53,5	12,5 ^{ab}	1,8	1,8	72,5 ^{ab}	13,1 ^b	16,4 ^{ab}	56,5	32,7	9,6 ^a	0,36	0,30 ^b	71,6	1,27 ^{ab}
TDC 60	52,3	13,8 ^a	1,8	1,8	97,1 ^a	19,4 ^a	16,6 ^{ab}	57,3	32,0	7,2 ^b	0,34	0,34 ^a	72,5	1,28 ^{ab}
TDC 80	49,8	13,8 ^a	1,4	1,4	98,8 ^a	19,5 ^a	17,7 ^a	57,3	32,9	6,8 ^b	0,34	0,33 ^a	73,3	1,29 ^a
EEM	2,1	0,53	0,16	0,16	11,1	1,56	0,29	0,58	0,48	0,36	0,016	0,011	1,21	0,006
Corte (C, No. hojas vivas)														
4	33,5 ^a	11,8 ^b	0,8 ^a	0,8 ^a	34,6 ^b	9,4 ^b	17,3 ^a	56,0 ^a	32,1 ^a	8,5	0,36	0,31 ^b	73,2	1,30 ^a
5	53,3 ^b	13,0 ^{ab}	1,7 ^b	1,7 ^b	99,3 ^a	20,9 ^a	16,6 ^{ab}	57,4 ^b	31,7 ^a	8,2	0,34	0,34 ^a	70,5	1,28 ^b
6	69,7 ^c	14,4 ^a	2,2 ^c	2,2 ^c	112,6 ^a	17,1 ^a	15,7 ^b	57,4 ^b	33,4 ^b	8,0	0,35	0,32 ^{ab}	72,5	1,26 ^c
EEM	1,78	0,48	0,10	0,10	10,4	1,36	0,24	0,42	0,35	0,26	0,014	0,008	1,05	0,005
Efectos ³														
AR	*	*	*	*	+	*	*	ns	+	ns	ns	ns	*	+
F	ns	*	ns	ns	*	**	*	ns	ns	**	ns	*	ns	*
C	***	***	***	***	***	***	***	**	***	ns	ns	*	ns	**
AR*F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	+	ns	ns	ns	+	ns	ns	+
AR*C	*	ns	ns	ns	+	ns	ns	*	*	*	ns	ns	ns	+
F*C	**	ns	ns	ns	+	ns	ns	ns	ns	ns	+	ns	ns	ns
AR*F*C	ns	+	ns	ns	ns	ns	+	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Efecto F ⁴	ns	L*	Q*	L**	L**	L**	L**	ns	ns	L**	ns	L*	ns	L**

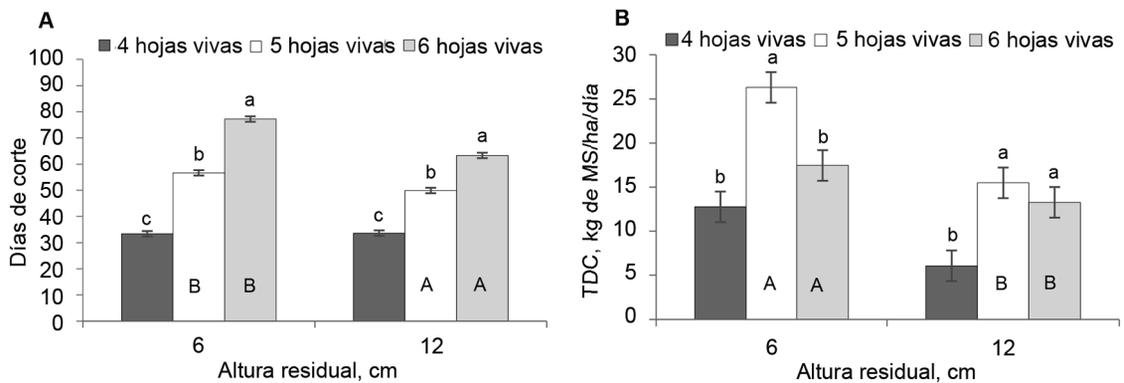
¹TDC = Tasa diaria de crecimiento; PB = Proteína bruta; FDN = Fibra en detergente neutro; FDA = Fibra en detergente ácido CNE = Carbohidratos no estructurales; Ca = Calcio;²P = Fósforo; DISMS = Digestibilidad *in situ* de la materia seca; EN_L = Energía neta de lactancia; ³EEM = Error estándar de la media; ⁴+; p < 0,1; *; p < 0,05; **; p < 0,01; ***; p < 0,001;⁴Efecto de la fertilización edáfica, L, efecto cuadrático, a, b y c Letras designales en una misma columna indican diferencias significativas

menos aforo y TDC, comparado con las parcelas cosechadas con cinco o seis hojas vivas. Se constató una tendencia cuadrática en la TDC, lo que sugiere que el máximo teórico se alcanzaría con 5,3 hojas vivas durante la época seca. *C. clandestinus* defoliado, con cuatro hojas vivas presentó mayor porcentaje de PB y EN_L estimada, así como menor concentración de FDN y P en comparación con otros tratamientos ($p < 0,05$).

Con el aumento en el número de hojas, se incrementó el tiempo de cosecha. Sin embargo, esta respuesta se puede asociar a la altura residual. De esta manera, el tiempo de cosecha fue menor ($p < 0,05$) para plantas con cinco o seis hojas vivas, cuando se cortaron a 12 cm respecto a 6 cm. En tanto, fue similar para la cosecha con cuatro hojas (figura 1A). La TDC en las parcelas cortadas a altura residual de 6 cm fue mayor ($p < 0,05$) cuando presentaron

cinco hojas, comparado con cuatro o seis hojas. Sin embargo, la respuesta fue similar para cinco o seis hojas y mayor ($p < 0,05$), si se compara con cuatro hojas, cuando se cortaron a 12 cm (figura 1B). Ello indica que el momento óptimo para obtener la mayor TDC es cuando las plantas tienen entre cinco y seis hojas vivas.

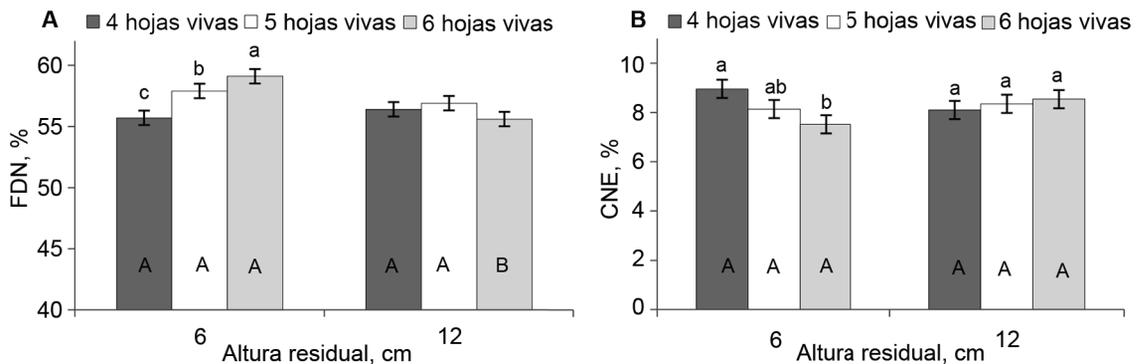
La concentración de FDN se incrementó ($p < 0,05$) con el tiempo de cosecha, cuando la pradera se cortó a 6 cm, pero no cuando se cortó a 12 cm (figura 2A). Además, esta fracción de pared celular fue menor en las plantas con seis hojas, que se cortaron a una altura de 12 cm, comparado con la de 6 cm. Por otra parte, la concentración de CNE se redujo cuando las parcelas se cortaron a 6 cm, pero no cuando se cortaron a 12 cm, siendo menor para las plantas con seis hojas con respecto a las de cuatro (figura 2B).



^{a,b,c} Letras minúsculas diferentes entre momentos de defoliación para cada altura residual difieren para $p < 0,05$.

^{A,B} Letras mayúsculas diferentes para un mismo tiempo de defoliación entre alturas residuales difieren para $p < 0,05$.

Figura 1. Efecto de la altura residual y el momento de defoliación en los días para la cosecha (A) y la tasa diaria de crecimiento (B) en *C. clandestinus*.



^{a,b,c} Letras minúsculas diferentes entre momentos de defoliación para cada altura residual difieren para $p < 0,05$.

^{A,B} Letras mayúsculas diferentes para un mismo tiempo de defoliación entre alturas residuales difieren para $p < 0,05$.

Figura 2. Efecto de la altura residual y el momento de defoliación en el contenido de FDN (A) y los carbohidratos no estructurales (B) en pasto *C. clandestinus*.

Respuesta en la época de lluvia. Durante la época de lluvia, la cosecha del pasto *C. clandestinus*, a una altura de 6 cm retrasó ($p < 0,05$) el momento de corte en 7,9 días, incrementó ($p < 0,05$) en 0,7 el número de hojas senescentes e hizo que la DISMS fuera 5,7 % menor ($p < 0,05$) con respecto a la defoliación a 12 cm de altura (tabla 3).

La dosis creciente de fertilizantes edáficos afectó linealmente ($p < 0,05$) el tiempo de cosecha y la respuesta agronómica de *C. clandestinus* durante la época de lluvia (tabla 3). De esta manera, el incremento en la fertilización aumentó ($p < 0,05$) el aforo y la tasa de crecimiento. La relación entre la TDC observada y la esperada fue de 1,37; 0,89; 0,84 y 0,78, para 20, 40, 60 y 80 kg/ha/día, lo que responde a una curva de incremento decreciente. Se logró la mayor eficiencia con la aplicación de dosis bajas de fertilización. El incremento en la fertilización promovió aumento lineal ($p < 0,05$) en la concentración de PB, P y EN_L (tabla 3), de manera que el contenido de estos nutrientes y la energía neta estimada fueron mayores ($p < 0,05$) en el tratamiento con la dosis más alta de fertilización, con respecto a los tratamientos TDC20 y TDC40 (PB y P) o únicamente TDC20 (EN_L).

La frecuencia de defoliación afectó ($p < 0,05$) el tiempo de rebrote, la altura de las plantas, el número de hojas senescentes y la producción de forraje. La altura de las plantas y el número de hojas senescentes fue similar ($p > 0,1$) para la biomasa cosechada con cinco o seis hojas vivas, pero superior ($p < 0,05$) comparado con el forraje cosechado con cuatro hojas vivas. La aparición de la quinta y sexta hoja viva requirió 7,8 y 10,1 días, respectivamente. Asimismo, la cosecha de la biomasa con cinco hojas vivas representó 65,8 g MS/m² más ($p < 0,05$) comparado con cuatro hojas vivas, mientras que la cosecha con seis hojas vivas acumuló 36,9 g de MS/m² más ($p < 0,05$) con respecto a cinco hojas vivas. En cuanto a la composición química del forraje, la concentración de PB se afectó ($p < 0,05$) por el momento de cosecha, siendo mayor ($p < 0,05$) en las plantas con cuatro hojas vivas respecto a las de seis hojas vivas.

La producción de forraje por unidad de área en praderas cortadas a una altura de 6 cm se incrementó ($p < 0,05$) cuando se cosechó el material vegetal teniendo seis hojas vivas con respecto a otros dos momentos de defoliación (figura 3A). Mientras que el mayor aforo se registró en las parcelas cosechadas con cinco o seis hojas vivas, comparado con cuatro hojas vivas, en praderas cortadas a 12 cm.

Además, la producción de forraje cosechado con cuatro hojas vivas fue similar ($p > 0,1$) cuando se cosechó con 6 o 12 cm, mientras que en los otros dos momentos de corte, el aforo fue superior cuando se cortó a 6 cm de altura (figura 3A). Cuando el *C. clandestinus* se cosechó con cuatro hojas vivas, no hubo diferencias en la acumulación de forraje, asociada a la aplicación de fertilizante, mientras que, la cosecha con cinco o seis hojas, fue superior el aforo en aquellas parcelas que recibieron las mayores dosis de fertilizante (figura 3B).

Cuando *C. clandestinus* se cosechó a una altura residual de 6 cm hubo mayor ($p < 0,05$) TDC en las parcelas que tenían seis hojas vivas, comparado con las que tenían cuatro hojas vivas (figura 4A), mientras que cuando se cortó a 12 cm del suelo la mayor TDC se registró en las parcelas cosechadas con cinco hojas vivas con respecto a los otros dos momentos de cosecha (figura 4A). Además, con el cambio en la altura de cosecha, entre 6 y 12 cm, se afectó ($p < 0,05$) la tasa de acumulación de biomasa de las parcelas que tenían seis hojas vivas. El aumento en la dosis de fertilizantes promovió el incremento lineal en todas las parcelas, independiente del número de hojas. Sin embargo, la respuesta fue mayor ($p < 0,05$) en las dosis más altas, cuando se cosechó con cinco o seis hojas vivas ($p < 0,05$), al comparar con los otros dos esquemas de fertilización (figura 4B).

El análisis de superficie de respuesta para la aplicación de nitrógeno (figura 5) en la época de lluvia indicó que la mayor tasa de crecimiento predicha de *C. clandestinus*, se obtuvo cuando la dosis de fertilizante fue baja, en las plantas con cinco hojas, mientras que con el incremento en la dosis de fertilización la mayor respuesta se obtuvo cuando las plantas tenían seis hojas vivas.

Discusión

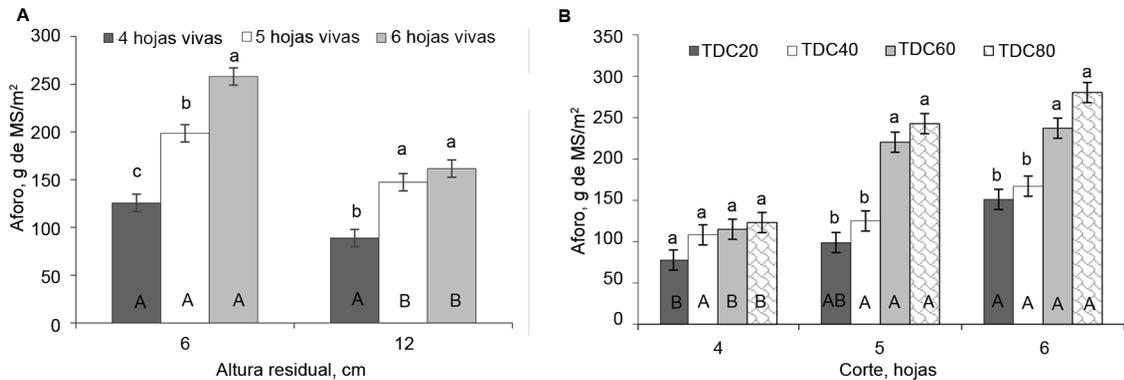
En este experimento, el manejo de las pasturas con altura residual de 6 cm incrementó la respuesta en crecimiento de *C. clandestinus*, pero retrasó el tiempo de corte y redujo la calidad del forraje. Al respecto, la intensificación en la defoliación incrementa el período de tiempo requerido para reponer el equilibrio de carbono de la planta (Mayel *et al.*, 2021), lo que retrasa la aparición de nuevas hojas.

Fulkerson *et al.* (1999) observaron que el rendimiento de biomasa anual de *C. clandestinus* fue mayor cuando se cosechó a una altura de 3 cm. Sin embargo, estudios posteriores como los de Molina-Gerena (2018) y Martins *et al.* (2021) indican una disminución en la producción de MS de

Tabla 3. Efecto de la altura residual, la fertilización y el momento de cosecha en la respuesta agrónoma y composicional de *C. clandestinus*.

Factor	Edad rebrote, días	Altura planta, cm	Hojas senescentes		Aforo, g de MS/m ²	TDC, kg MS/ha/día	PB	FDN	FDA	%			DISMS	EN _L , Mcal/kg
			Número	Número						CNE	Ca	P		
Altura residual (AR, cm)														
6	41,0 ^b	18,4	1,5 ^a	191,6	47,1	16,5	54,8	33,1	7,4	0,34	0,29	70,8 ^b	1,27	
12	33,1 ^a	19,6	2,2 ^b	132,5	40,8	18,0	50,7	30,4	9,3	0,36	0,27	76,5 ^a	1,32	
EEM ²	0,97	0,95	0,14	4,97	1,91	0,22	0,41	0,49	0,18	0,011	0,004	0,22	0,005	
Fertilización (F)														
TDC 20	39,4	15,8 ^b	1,9	108,9 ^c	27,3 ^c	16,1 ^c	54,1	32,9	8,2	0,35	0,27 ^b	72,3	1,27 ^b	
TDC 40	36,8	17,3 ^{ab}	2,0	133,4 ^c	35,6 ^c	16,8 ^{bc}	52,6	31,9	8,0	0,35	0,27 ^b	73,4	1,29 ^{ab}	
TDC 60	36,3	22,1 ^a	1,8	190,7 ^b	50,4 ^b	17,9 ^{ab}	51,6	31,0	8,5	0,36	0,29 ^{ab}	75,4	1,31 ^a	
TDC 80	33,9	20,8 ^a	1,7	215,3 ^a	62,4 ^a	18,5 ^a	52,7	31,0	8,6	0,34	0,30 ^a	73,4	1,32 ^a	
EEM	1,24	1,09	0,17	7,03	2,44	0,32	0,62	0,56	0,26	0,015	0,005	1,12	0,007	
Corte (C, No. hojas vivas)														
4	28,5 ^a	17,3 ^b	1,2 ^a	105,9 ^c	37,3 ^b	17,8 ^a	53,3	32,3	8,3	0,34	0,29	73,1	1,30	
5	36,3 ^b	20,1 ^a	2,1 ^b	171,7 ^b	49,0 ^a	17,3 ^{ab}	52,4	31,5	8,5	0,35	0,28	74,6	1,30	
6	46,4 ^c	19,5 ^a	2,2 ^b	208,6 ^a	45,5 ^a	16,8 ^b	55,6	31,4	8,3	0,37	0,28	73,2	1,27	
EEM	1,02	1,00	0,16	6,09	2,18	0,23	0,49	0,52	0,23	0,011	0,005	1,46	0,005	
Efectos ³														
AR	*	ns	*	+	+	ns	+	+	+	ns	ns	*	+	
F	ns	*	ns	**	*	*	ns	+	ns	ns	*	ns	*	
C	***	**	***	***	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
AR*F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
AR*C	+	+	ns	***	*	ns	ns	+	ns	ns	ns	ns	ns	
F*C	ns	ns	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
AR*F*C	ns	ns	ns	+	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
Efecto F ⁴	L*	L**	ns	L**	L**	L*	ns	L*	ns	ns	L*	ns	L**	

TDC = tasa diaria de crecimiento; PB = proteína bruta; FDN = fibra en detergente neutro; FDA = fibra en detergente ácido; CNE = carbohidratos no estructurales; Ca = calcio; P = fósforo; DISMS = digestibilidad in situ de la materia seca; ENL = energía neta de lactancia; ²EEM = error estándar de la media; ³ +, *, p < 0,01; **, p < 0,05; ***, p < 0,001. ⁴Efecto de la fertilización edáfica. L efecto lineal

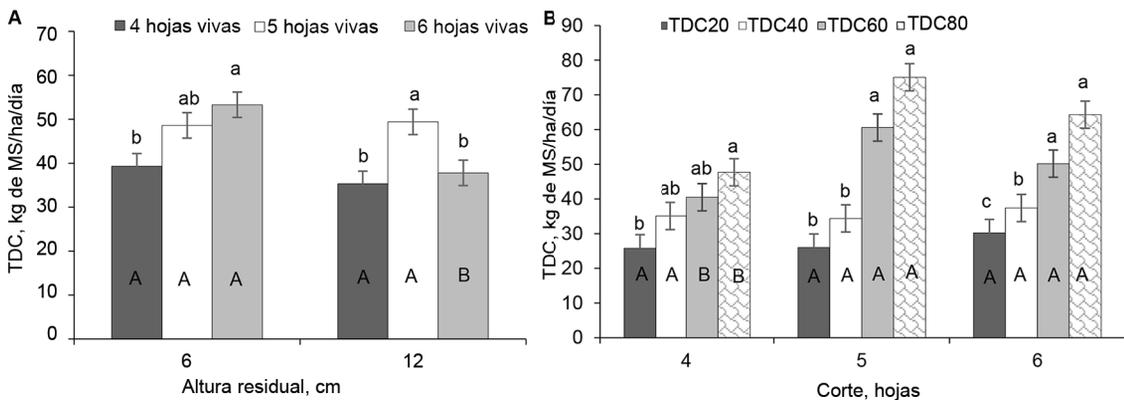


a, b y c Letras minúsculas diferentes entre momentos de defoliación para cada altura residual (A) o entre niveles de fertilización para momento de defoliación (B) indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

A, B Letras mayúsculas diferentes para un mismo tiempo de defoliación entre alturas residuales (A) o para un mismo nivel de fertilización entre momentos de defoliación (B) indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

¹TDC= Tasa diaria de crecimiento

Figura 3. Efecto de la altura residual, el momento de defoliación (A) y la fertilización (B) en la producción de biomasa de *C. clandestinus*.



a, b y c Letras minúsculas diferentes entre momentos de defoliación para cada altura residual, indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

A, B Letras mayúsculas diferentes para un mismo tiempo de defoliación entre alturas residuales (A) o para un mismo nivel de fertilización entre momentos de defoliación (B), indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

TDC: Tasa de crecimiento

Figura 4. Efecto de la altura residual y momento de defoliación (A) y el momento de defoliación y la fertilización (B) sobre la tasa diaria de crecimiento de *C. clandestinus* en época de lluvias.

C. clandestinus con alturas de defoliación más bajas. Este hallazgo se corrobora con el estudio de Medeiros-Neto *et al.* (2020), que señala que defoliaciones superiores al 50 % pueden afectar negativamente la acumulación de forraje de esta gramínea.

En general, las defoliaciones intensas reducen el área foliar residual, lo que hace que la planta dependa de las reservas de carbohidratos no estructurales para producir nuevos tejidos (Fulkerson *et al.*, 1999). Sin embargo, los puntos de crecimiento presentes en pastos estoloníferos, como *C. clandestinus*, se ubican a nivel del suelo, sobre el tallo

modificado denominado estolón, lo que hace que sean menos susceptibles a las defoliaciones intensas (Vallentine, 2000). Una mayor intensidad de defoliación estimula la generación de nuevos rebrotes por mayor penetración de luz a través de un dosel menos frondoso (Martins *et al.*, 2021), lo que puede llevar a mayor eficiencia en la captura de energía solar y, a su vez, mayor crecimiento, como se registró en el presente estudio. Además de las características morfológicas de las plantas, los resultados contradictorios se pueden explicar por las diferencias en las condiciones climáticas durante

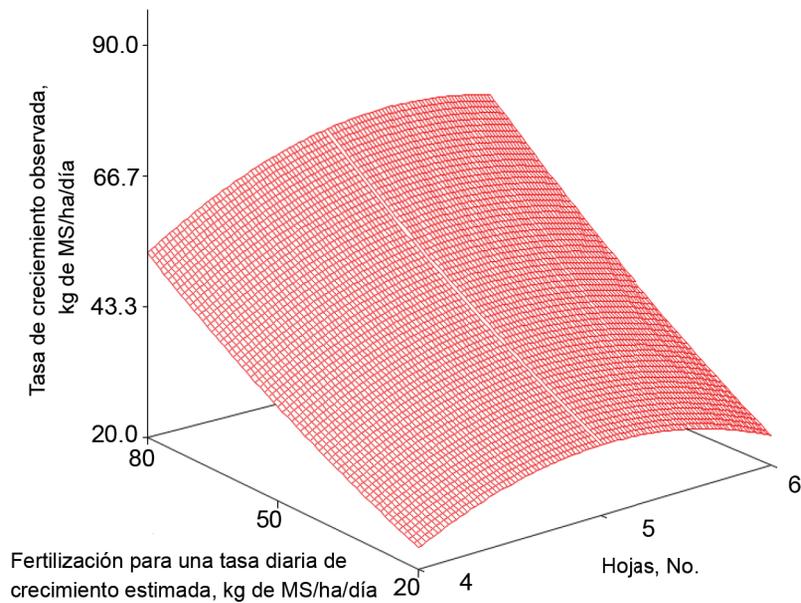


Figura 5. Superficie de respuesta de la tasa de crecimiento de *C. clandestinus*, asociada al número de hojas y dosis de fertilización para una tasa de crecimiento esperada.

el experimento. Por ejemplo, en la época de lluvias se incrementó la producción de *C. clandestinus* (tabla 3). Avellaneda-Avellaneda *et al.* (2020) informan que la producción de biomasa de *C. clandestinus* está muy influenciada por la precipitación en los sistemas pastoriles.

Como se comentó previamente, el forraje cosechado con menor altura residual registró menor calidad nutricional, con una reducción promedio de 5,3 % en la DISMS en las dos épocas evaluadas y menor contenido de PB en sequía (-1,8 %). En otros trabajos, se ha registrado que la menor altura del forraje residual incrementa la pared celular de la biomasa de *C. clandestinus*, especialmente la concentración de FDA (Fulkerson *et al.*, 1999), lo que se ha relacionado con mayor cantidad de material muerto (Molina-Gerena, 2018). Además, con bajas alturas de defoliación también se ha informado mayor presencia de tallos (Molina-Gerena, 2018), lo que les confiere menor calidad nutricional, como informan Mganga *et al.* (2021) en forrajes tropicales de África. Sin embargo, otros autores (Fonseca *et al.*, 2016; Mocelin *et al.*, 2022) informan que no se evidenció diferencias en la composición química y nutricional entre alturas residuales diferentes, lo que podría estar relacionado con la adaptación y la plasticidad de *C. clandestinus* (Castillo-Sierra *et al.*, 2023).

En esta investigación, la fertilización generó reducción lineal en los días a cosecha durante la época de lluvias (tabla 3), lo que se relaciona con el efecto positivo que tiene el nitrógeno en la acumulación de reservas de CNE en la base de las plantas (León *et al.*, 2018; Molina-Gerena, 2018). Esto último resulta en la recuperación más rápida después del pastoreo. Además, la fertilización edáfica generó una respuesta lineal en la producción de forraje en las dos épocas evaluadas (tablas 2 y 3).

La mejora en la producción de MS ha sido previamente registrada (Herrero *et al.*, 2000; Acero-Camelo *et al.*, 2020) y se complementa con el mejoramiento en la relación forraje vivo: forraje muerto y altura de las plantas, debido a la mayor elongación en las hojas (Acero-Camelo *et al.*, 2020). Viljoen *et al.* (2020) señalan que la producción de la pastura no se modificó al aplicar dosis bajas de nitrógeno (< 40 kg de N/ha).

En este experimento, la respuesta en crecimiento fue similar entre TDC20 y TDC40 (diferencia numérica de 2 183 kg de MS/ha/año) a pesar de la aplicación de más de 200 kg de N/ha/año, lo que indica la asociación del crecimiento del forraje con las condiciones del suelo o la oferta ambiental. La fertilización nitrogenada incrementa el área foliar de las plantas (Zanine *et al.*, 2020), debido a que promueve la aceleración de los procesos de crecimiento

y desarrollo de las hojas, al activar las yemas y potenciar la ocupación del espacio (Matthew *et al.*, 2000).

A medida que aumentó la fertilización edáfica, se incrementó el contenido de PB y de EN_L en *C. clandestinus*, lo que coincide con informes de varios autores, quienes señalan que la aplicación de la fertilización aumenta el contenido de proteína bruta del forraje (Viljoen *et al.*, 2020; Ortiz *et al.*, 2021). Acero-Camelo *et al.* (2020) afirman que la fertilización con nitrógeno en términos generales mejora la calidad de la pastura, ya que disminuye la concentración de lignina en hojas y reduce el contenido de FDN y FDA en las hojas y los tallos. Además, hubo reducción en la concentración de CNE con el incremento en la fertilización, respuesta que también informaron Soto *et al.* (2005) en *C. clandestinus*. Ello se asocia al incremento en el consumo de energía y esqueletos de carbono para la asimilación de N y al crecimiento de la planta (Invers *et al.*, 2004).

En este experimento, el tiempo de aparición de cada hoja para cuatro, cinco y seis hojas vivas fue de 8,4; 10,7 y 11,6 días en la época de sequía y 7,1; 7,3 y 7,7 en las lluvias (tablas 2 y 3), lo que indica que el estrés hídrico de la época de sequía generó efecto negativo en el desarrollo de las plantas. En la época de sequía, se logró mayor productividad cuando se cosecharon las plantas con 5 y 5,5 hojas vivas, para altura residual de 6 y 12 cm, respectivamente. En tanto, la mayor productividad se encontró cuando las plantas tenían seis y cinco hojas vivas, para 6 o 12 cm de altura en el forraje residual, en las lluvias. Esto puede indicar que la época y el tipo de manejo inciden en el momento óptimo de cosecha, si se considera únicamente la tasa de crecimiento.

Entre los trabajos desarrollados en *C. clandestinus*, Escobar-Charry *et al.* (2020) informaron que la acumulación de biomasa fue mayor a medida que aumentó el número de hojas (de cuatro a siete) y el índice de aparición de hojas fue ocho días como promedio. Fonseca *et al.* (2016) encontraron que cuando la pastura presentó seis hojas se obtuvo la mayor producción de biomasa. Otros autores afirman que el momento de cosecha donde se obtiene el mayor rendimiento en la acumulación de nutrientes corresponde a cinco hojas vivas, similar al encontrado en este estudio (Acero-Camelo *et al.*, 2020; Escobar-Charry *et al.*, 2020).

Con el aumento en el número de hojas vivas, se presentó disminución en la calidad de la pastura

de *C. clandestinus*, especialmente en la época de sequía (tablas 2 y 3). Estos resultados son similares a lo informado por Escobar-Charry *et al.* (2020) en la provincia de Ubaté (Cundinamarca-Colombia), quienes encontraron que a medida que aumentó el número de las hojas, la PB y la digestibilidad de la MS disminuyeron en un rango de cuatro a siete hojas. De igual forma, la respuesta en la calidad composicional de *C. clandestinus* en la época de lluvias fue similar a lo referido por Fonseca *et al.* (2016) en la provincia de Alto Chicamocha (Boyacá-Colombia), quienes encontraron que la concentración de FDN y FDA no fue diferente entre las frecuencias de defoliación de tres a seis hojas.

Conclusiones

El momento de defoliación que permite obtener la tasa máxima de crecimiento de *C. clandestinus* depende de la época y altura residual. De esta manera, para obtener mayor tasa de crecimiento de *C. clandestinus* en la época de sequía, es recomendable altura de defoliación de 6 cm y cosechar cuando presente cinco hojas vivas, mientras que, en la lluvia, puede ser con altura residual de 6 cm y seis hojas vivas o altura residual de 12 cm, pero con cinco hojas vivas.

La respuesta a la fertilización por tasa de extracción de nutrientes es mejor cuando el suelo presenta buenas condiciones de humedad. Además, para encontrar respuesta favorable de la fertilización nitrogenada y fosfórica, en términos de aforo, se recomienda cosechar *C. clandestinus*, cuando presente cinco o seis hojas vivas.

Agradecimientos

Se agradece a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA, y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia por la financiación de este estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses entre ellos.

Contribución de los autores

- Yesid Avellaneda-Avellaneda. Conceptualización, diseño experimental, compilación de los datos, análisis de la información, escritura y revisión.
- Edgar Augusto Mancipe-Muñoz. Control experimental, compilación de los datos, escritura y revisión.
- Javier Castillo-Sierra. Conceptualización, compilación de los datos, escritura y revisión.
- Franklin G. Mayorga Cubillos. Control experimental, compilación de los datos, escritura y revisión.

- Juan de Jesús Vargas-Martínez. Conceptualización, diseño experimental, escritura y revisión.

Referencias bibliográficas

- Acero-Camelo, Amanda; Pabón, Martha L.; Fischer, G. & Carulla-Fornaguera, J. E. Optimum harvest time for Kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*) according to the number of leaves per tiller and nitrogen fertilization. *Rev. Fac. Agron. Medellín*. 73 (3):9243-9253, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n3.82257>.
- Avellaneda-Avellaneda, Y.; Mancipe-Muñoz, E. A. & Vargas-Martínez, J. de J. Efecto de la edad de rebrote sobre el desarrollo morfológico y la composición química del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en el trópico alto colombiano. *CES Med. Vet. Zootec.* 15 (2):23–37, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21615/cesmvz.15.2.2>.
- Castillo-Sierra, J.; Cerón-Souza, Ivania; Avellaneda-Avellaneda, Y.; Mancipe-Muñoz, E. A. & Vargas-Martínez, J. de J. Phenotypic variation of Kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*) across livestock production farms in Colombian highlands is explained by management and environment rather than genetic diversity. *Crop Pasture Sci.* 75 (1), 2023. DOI: <https://doi.org/10.1071/CP22360>.
- Chapman, D. & Lemaire, G. Tissue flows in grazed plant communities. In: J. Hodgson and A. W. Illius, eds. *The ecology and management of grazing systems*. Guilford, United Kingdom: CAB International. p. 3-36, 1996.
- Cuesta-Muñoz, P. A., Ed. *Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones Caribe y valles Interandinos*. Bogotá: CORPOICA. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13438/Ver_Documento_13438.pdf?sequence=1&isAllowed=y, 2005.
- Escobar-Charry, M. A.; Cardenas-Rocha, E. A. & Carulla-Fornaguera, J. E. Effect of altitude and defoliation frequency in the quality and growth of Kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*). *Rev. Fac. Agron. Medellín*. 73 (1):9121-9130, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n1.77330>.
- Fonseca, C.; Balocchi, O.; Keim, J. P. & Rodriguez, C. Efecto de la frecuencia de defoliación en el rendimiento y composición nutricional de *Pennisetum clandestinum* Hochst.ex Chiov. *Agro Sur*. 44 (3):67-76, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4206/agrosur.2016.v44n3-07>.
- Fonseca-López, Dania; Vivas-Quila, N. J. & Balaguera-López, H. E. Técnicas aplicadas en la investigación agrícola para cuantificar la fijación de nitrógeno: una revisión sistemática. *Cienc. Tecnol. Agropecuar*. 21 (1):e1342, 2020. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num1_art:1342.
- Fulkerson, W. J.; Sinclair, Katrina & Havilah, E. The effect of defoliation interval and height on growth and herbage quality of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*). *Trop. Grassl.* 33 (3):138-145. https://www.researchgate.net/publication/228506872_The_effect_of_defoliation_interval_and_height_on_growth_and_herbage_quality_of_kikuyu_grass_Pennisetum_clandestinum, 1999.
- González-Cárdenas, Andrea C., Coord. *Plan de ordenamiento productivo. Análisis prospectivo de la cadena láctea bovina colombiana*. Bogotá: Unidad de Planeación Rural Agropecuaria. <https://www.studocu.com/co/document/politecnico-grancolombiano/procesos-productivos/analisis-sectorial-20210728-dt-prospectiva-leche-1/24803377>, 2021.
- Govindasamy, P.; Muthusamy, S. K.; Bagavathiannan, M.; Mowrer, J.; Jagannadham, P. T. K.; Maity, A. et al. Nitrogen use efficiency—a key to enhance crop productivity under a changing climate. *Front. Plant Sci.* 14:1121073, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1121073>.
- Herrero, M.; Fawcett, R. H.; Silveira, V.; Busqué, J.; Bernués, A. & Dent, J. B. Modelling the growth and utilisation of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) under grazing. 1. Model definition and parameterisation. *Agric. Syst.* 65 (2):73-97, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(00\)00028-7](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)00028-7).
- Invers, Olga; Kraemer, G. P.; Pérez, Marta & Romero, J. Effects of nitrogen addition on nitrogen metabolism and carbon reserves in the temperate seagrass *Posidonia oceanica*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 303 (1):97-114, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2003.11.005>.
- León, R.; Bonifaz, Nancy & Gutiérrez, F. *Pastos y forrajes del Ecuador: siembra y producción de pasturas*. Quito: Editorial Universitaria Abya-Yala. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19019>, 2018.
- MADR. *Cifras del sector lácteo*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/SICLA/Documentos/2020-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>, 2020.
- Martins, C. D. M.; Schmitt, D.; Duchini, P. G.; Miqueloto, T. & Sbrissia, A. F. Defoliation intensity and leaf area index recovery in defoliated swards: implications for forage accumulation. *Sci. agric.* 78 (2), 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0095>.
- Mathew, C.; Assuero, S. G.; Black, C. K. & Hamilton, N. R. S. Tiller dynamics of grazed swards. In: G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, P. C. de F. Carvalho and C. Nabinger, eds. *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. United Kingdom: CABI Publishing, 2000.
- Mayel, Sonia; Jarrah, Mahboube & Kuka, Katrin. How does grassland management affect physical

- and biochemical properties of temperate grassland soils? A review study. *Grass Forage Sci.* 76 (2):215-244, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12512>.
- Medeiros-Martins, C.; Schmitt, D.; Duchini, P.; Miqueloto, T.; Sbrissia A. F. Defoliation intensity and leaf area index recovery in defoliated swards: implications for forage accumulation. *Sci agric.* 78 (2):1-8, 2021. DOI: <https://10.1590/1678-992X-2019-0095>.
- Medeiros-Neto, C.; Schmitt, D.; Martins, C. D. M.; Diavão, Jaciara & Sbrissia, A. F. Defoliation dynamics in Kikuyugrass pastures subjected to intensities of defoliation. *Agronomy.* 10 (12):1939, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10121939>.
- Mila-Prieto, A. & Corredor-Sanchez, G. Evolución de la composición botánica de una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) recuperada mediante escarificación mecánica y fertilización con compost. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria.* 5 (1):70-75, 2004. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol5_num1_art:28.
- Mganga, K. Z.; Ndathi, A. J. N.; Wambua, S. M.; Bosma, L.; Kaindi, E. M.; Kioko, T. *et al.* Forage value of vegetative leaf and stem biomass fractions of selected grasses indigenous to African rangelands. *Anim. Prod. Sci.* 61 (14):1476-1483, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN19597>.
- Mocelin, Nemora G.; Schmitt, D.; Zanini, G. D.; Camacho, P. A. G. & Sbrissia, A. F. Grazing management targets for Tangolagrass pastures. *Agriculture.* 12 (2):279, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12020279>.
- Molina-Gerena, M. R. E. *Altura de defoliación y recuperación de la pastura Kikuyo (Cenchrus clandestinus) en la provincia de Ubaté.* Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de Magister en Producción Animal. Bogotá: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76159>, 2018.
- Ørskov, E. R. & McDonald, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci.* 92 (2):499-503, 1979. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>.
- Ortiz, A.; Arboleda, E. & Medina, Marisol. Calidad bromatológica del pasto kikuyo en respuesta a la inoculación con hongos micorrízicos y fertilización química. *Rev. investig. vet. Perú.* 32 (3):e17645, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.15381/rirep.v32i3.17645>.
- Rao, I.; Peters, M.; Castro, A.; Schultze-Kraft, R.; White, D.; Fisher, M. *et al.* The sustainable intensification of forage-based agricultural systems to improve livelihoods and ecosystem services in the tropics. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales.* 3 (2):59-82, 2015. DOI: [https://doi.org/10.17138/tgft\(3\)59-82](https://doi.org/10.17138/tgft(3)59-82).
- SAS Institute Inc. *Statistical Analysis Software. Users' Guide Statistics Version 9.4.* Cary, USA: SAS Institute Inc, 2018.
- Soto, Claudia; Valencia, A.; Galvis, R. D. & Corre, H. J. Efecto de la edad de corte y del nivel de fertilización nitrogenada sobre el valor energético y proteico del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). *Rev. Col. Cienc. Pec.* 18 (1):17-26. <http://www.scieilo.org.co/pdf/rccp/v18n1/v18n1a03.pdf>, 2005.
- Vallentine, J. F. *Grazing management.* San Diego, USA: Academic Press, 2000.
- Vargas-Martínez, J. de J.; Sierra-Alarcón, 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.* 13 (2):137-156, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21615/cesmvz.13.2.4>.
- Venter, Z. S.; Hawkins, Heidi J. & Cramer, M. D. Does defoliation frequency and severity influence plant productivity? The role of grazing management and soil nutrients. *Afr. J. Range Forage Sci.* 38 (2):141-156, 2021. DOI: <https://doi.org/10.2989/10220119.2020.1766565>.
- Viljoen, Charné; Colf, J. van der & Swanepoel, P. A. Benefits are limited with high nitrogen fertiliser rates in kikuyu-ryegrass pasture systems. *Land.* 9 (6):173, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/land9060173>.
- Zainelabdeen, Y. M.; Yan, R.; Xin, X.; Yan, Y.; Ahmed, A. I.; Hou, L. & Zhang, Y. The impact of grazing on the grass composition in temperate grassland. *Agronomy.* 10:1230, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10091230>.
- Zanella, P. G.; Giustina-Jr., L. H. P. D.; Pinto, C. E.; Baldisserra, T. C.; Werner, Simone S.; Garagorry, F. C. *et al.* Grazing intensity drives plant diversity but does not affect forage production in a natural grassland dominated by the tussock-forming grass *Andropogon lateralis* Nees. *Sci. Rep.* 11:16744, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96208-8>.
- Zanine, A.; Farias, Lorraine; Ferreira, Daniele; Farias, L.; Ribeiro, M.; Souza, A. *et al.* Effect of season and nitrogen fertilization on the agronomic traits and efficiency of Piatã grass in Brazilian savanna. *Agriculture.* 10 (8):337, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10080337>.