



Fecha de recibido: 06-06-2023

Fecha de aceptado: 29-09-2023

10.22490/21456453.6875

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL PASTO KIKUYO *Cenchrus clandestinus* (Hochst. Ex Chiov.) Morrone FERTILIZADO CON DIFERENTES NIVELES DE NITRÓGENO

GROWTH ANALYSIS OF KIKUYO GRASS *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone FERTILIZED WITH DIFFERENT LEVELS OF NITROGEN

Dania Fonseca-López¹

Carlos Eduardo Rodríguez-Molano²

Nelson Vivas-Quilla³

Pedro Almanza-Merchán⁴

Helber Balaguera-López⁵

¹ Doctora en Ciencias Agrarias y Agroindustriales,
Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia.
correodania@gmail.com

² Doctor en Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. carlos.rodriguez@uptc.edu.co

³ Doctor en Ciencias Agrarias, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia,
nvivas@unicauca.edu.co

⁴ Doctor en Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. pedro.almanza@uptc.edu.co

⁵ Doctor en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional. Bogotá, Colombia.
helber.balaguera@uptc.edu.co

Citación: Fonseca-López, D., Rodríguez-Molano, C., Vivas-Quilla, N., Almanza-Merchán, P. y Balaguera-López, H. (2024). Análisis de crecimiento del pasto kikuyo *Cenchrus clandestinus* (Hochst. Ex Chiov.) Morrone fertilizado con diferentes niveles de nitrógeno.

Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 15(2), 69-89.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6875>

RESUMEN

Contextualización: la respuesta productiva del forraje está determinada por factores inherentes al ecotipo y condiciones externas tanto ambientales como de manejo. La alta variación de factores que influyen en el crecimiento del forraje implican la necesidad de determinar respuestas de acuerdo con el desarrollo biológico en relación con la temperatura acumulada.

Vacío de conocimiento: se desconoce la respuesta de crecimiento de *Cenchrus clandestinus* expresada en Grados Días Calor (GDCA) cuando se fertiliza con diferentes dosis de N para establecer con precisión tiempos de pastoreo en el pico de acumulación de biomasa.

Propósito: determinar la dinámica de crecimiento del pasto kikuyo con diferentes niveles de fertilización nitrogenada.

Metodología: se evaluó un tratamiento control en el que no se aplicó ninguna fuente de N (T0); una dosificación de 100 kg. N ha.⁻¹ (T1) y una dosificación de 150 kg. N ha.⁻¹ (T2). El plan de fertilización se

programó para defoliaciones de 42 días con altura residual de 10 cm; posteriormente, se evaluó con siete días de frecuencia el crecimiento de pasto kikuyo, a partir del análisis de materia seca, contenido de clorofila, conductancia estomática, número de hojas, altura, área foliar y materia seca de hojas y tallos. A partir de la materia seca del forraje se calcularon los índices de crecimiento: Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC), Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), Tasa de Asimilación Neta (TAN), Área Foliar Específica (AFE), Relación de Área Foliar (RAF) y el Índice de Área Foliar (IAF). Se realizó análisis de medidas repetidas en el tiempo para determinar el efecto por punto de muestreo (GDCA).

Resultados y conclusiones: Con la aplicación de 150 kg. N ha.⁻¹ (T2) y 208.6 GDCA (42 días), las plantas presentaron mayor velocidad de crecimiento, producción de tejido foliar, área foliar y mayor altura.

Palabras clave: fertilización, forraje, gramínea, tasa de crecimiento

ABSTRACT

Contextualization: forage production response is determined by factors inherent to the ecotype and external environmental and management conditions. The high variation of factors influencing forage growth implies the need to establish responses based on the biological development regarding the accumulated temperature.

Knowledge gap: the growth response of *Cenchrus clandestinus* expressed in heating degree days (HDDs) when fertilized with different doses of N is unknown to establish grazing times at peak biomass accumulation accurately.

Purpose: to determine the growth dynamics of kikuyu grass with different levels of nitrogen fertilization.

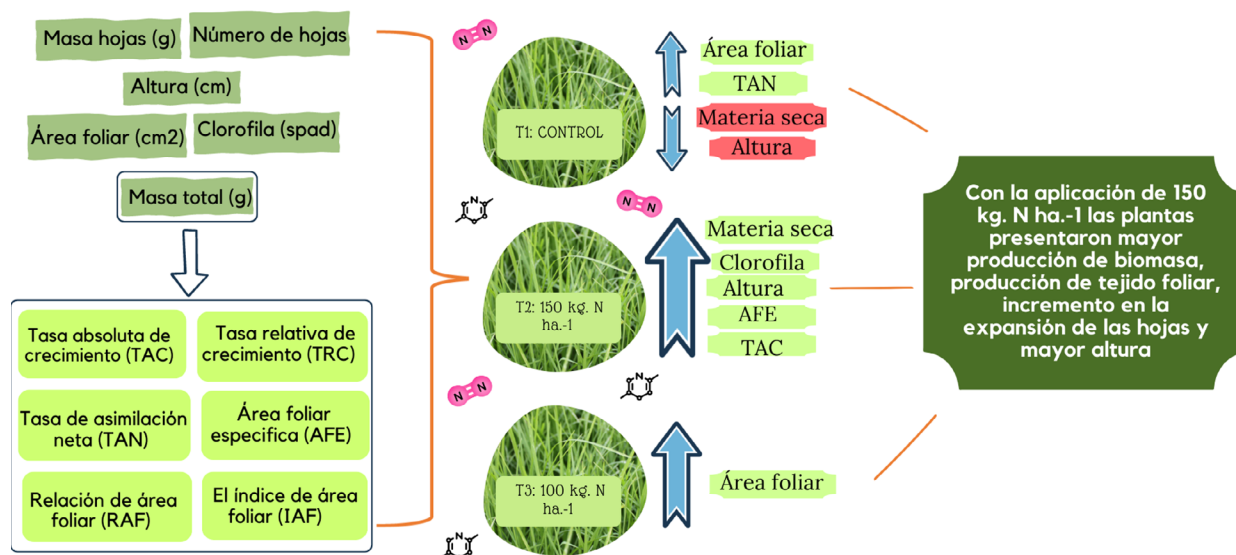
Methodology: a control treatment without application of any source of N (T0) was evaluated, a dosage of 100 kg. N ha⁻¹ (T1) and a dosage of 150 kg. N ha⁻¹ (T2). The fertilization plan was programmed

for 42-day defoliation with a residual height of 10cm. Subsequently, the growth of kikuyu grass was evaluated with a seven-day frequency based on the analysis of dry matter, chlorophyll content, stomatal conductance, number of leaves, height, leaf area, and dry matter of leaves and stems. Growth rates were calculated from the dry matter of the forage: Absolute Growth Rate (AGR), Relative Growth Rate (RGR), Net Assimilation Rate (NAR), Specific Leaf Area (SLA), Leaf Area Ratio (LAR), and Leaf Area Index (LAI). Analysis of repeated measures was carried out to determine the effect per sampling point (HDDs) in a completely randomized arrangement.

Results and conclusions: with the application of 150 kg. N ha⁻¹ (T2) and 208.6 HDDs (42 days), plants showed higher growth rate, leaf tissue production, leaf area, and greater height.

Keywords: fertilization, forage, grass, growth rate

RESUMEN GRÁFICO



Esquema descriptivo de metodología, resultados y conclusión

Fuente: autores.

1 INTRODUCCIÓN

El pasto kikuyo *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone (Tropicos Name Search, 2010; Acero-Camelo *et al.*, 2020), es una especie forrajera Africana nativa de zonas ubicadas entre 1950 a 2700 msnm (Arango *et al.*, 2019; Fonseca *et al.*, 2020) que se adapta desde 800-3500 msnm en Colombia (Irving, 2015). Se reportan varios cultivares y ecotipos desarrollados por presión ambiental, con poca

diferencia fenotípica, (Lowe *et al.*, 2010). Sus cualidades nutricionales, resistencia al pastoreo, sistema de raíces desarrollado, tolerancia a la sequía (Neal, 2011), calor y salinidad del suelo (Muscolo *et al.*, 2004), hacen de esta una planta útil en sistemas de pastoreo intensivos.

La capacidad productiva de los forrajes está limitada por el ecotipo cultivado, las condiciones ambientales y el manejo;

sin embargo, es posible manipular la respuesta del pasto a partir de la aplicación de nutrientes como el Nitrógeno (N) y la frecuencia de defoliación (Escobar et al., 2020; Medeiros *et al.*, 2021; Schmitt *et al.*, 2019). Definir tiempos de corte precisos es difícil, ya que la luz y la temperatura son factores que influyen en la asignación de la biomasa (Perera y Cullen, 2020). Por ello, se ha sugerido la evaluación de los parámetros de crecimiento: Tasa de Asimilación Neta (TAN), **Área Foliar Específica** (AFE), Relación de Área Foliar (RAF), Índice de Área Foliar (IAF), Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC) y Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), que deben ser expresados en función de la acumulación de Grados Día de Crecimiento Acumulados (GDCA), los cuales corresponden a la acumulación de temperaturas medias diarias por sobre la temperatura base de desarrollo de las especies de cultivo, durante su temporada de crecimiento, a fin de determinar el límite de rebrote en sis-

temas de siembra intermitente (Sbrissia, 2018; Vistoso y Martínez, 2021).

Debido a que se presentan diferentes hallazgos en la respuesta agronómica del pasto kikuyo por la zona de establecimiento del cultivo y por el nivel de N aplicado en la fertilización, se reduce la posibilidad de establecer comportamientos productivos generales. Además, la sub fertilización de N puede incrementar el material en senescencia y cambiar la proporción de brotes a raíces (Irving, 2015), mientras que cantidades altas pueden contribuir a pérdidas de N por volatilización y por lixiviación, favoreciendo la eutrofización del agua, lo que acelera el proceso de desnitrificación en el que se produce N_2O , conocido por su efecto en el calentamiento global (Fonseca *et al.*, 2019b). Por lo anterior, en este estudio se evaluó la dinámica de crecimiento de pasto kikuyo con diferentes niveles de fertilización nitrogenada sobre los 2900 m.s.n.m.

MATERIALES Y MÉTODOS **2**

El estudio se realizó en Región Andina colombiana del departamento de Boyacá, en el municipio de Tunja, vereda la cascada sobre los 2900 m.s.n.m. en zona con un clima templado ecuatorial, temperatura promedio de 13 ° C, humedad relativa 78 %, radiación entre 9 y 10, relieve de planicie y suelo franco arcilloso

con las siguientes características: pH 5.4, M.O.‰ 4.9, C.I.C. 17.84 y 1.3 C.E. dS. m⁻¹. Las unidades experimentales correspondieron a parcelas de 3 x 4 m² de pasto kikuyo en monocultivo establecidas durante seis meses, con distancia intersiembra de 0.50m, con cuatro repeticiones por tratamiento. Se evaluó en un diseño com-

pletamente al azar cantidades de urea utilizadas comúnmente en la zona de la siguiente manera: un tratamiento control en el que no se aplicó ninguna fuente de N (T0); una dosificación de 217,4 kg de urea para aportar 100 kg. N ha.⁻¹ (T1), una dosificación de 326 kg de urea para aportar 150 kg. N ha.⁻¹ (T2). Los demás minerales se aplicaron según los requerimientos (PO₄ 69, K 90 y Mg 25 kg. ha.⁻¹ año⁻¹) (Bernal y Espinoza, 2003).

El plan de fertilización se programó para defoliaciones de 42 días durante dos ciclos de corte con altura residual de 10 cm. Posterior al corte de defoliación, se evaluó con siete días de frecuencia el crecimiento del pasto kikuyo, a partir del análisis de la materia seca total, materia seca acu-

mulada en hojas, número de hojas, altura, conductancia estomática y contenido de clorofila. La materia seca total y de hojas se determinó a partir de muestras dejadas a 60°C durante 48 h hasta alcanzar un peso constante (Fonseca *et al.*, 2019a). El área foliar se determinó a partir de una muestra de 100 g. por unidad experimental, de éstas muestras se separaron hojas de tallos y las hojas se colocaron sobre un soporte blanco con adhesivo para toma fotográfica, las imágenes fueron importadas al programa Imagen versión 7[®] y se determinó el área foliar a partir de un valor de área conocido, los resultados se realizaron por planta. A partir de la materia seca se calculó: TAC, TRC, TAN, AFE, RAF y el IAF (Tabla 1).

■ **Tabla 1.** Descripción y fórmulas de las tasas de crecimiento evaluadas

Índice	Descripción	Fórmula abreviada	Unidades
TAC	Tasa Absoluta de Crecimiento	dW/dt	$g. d^{-1}$
TRC	Tasa Relativa de Crecimiento	$(1/W)(dW/dt)$	$g. g^{-1} d^{-1}$
IAF	Índice de Área Foliar	L_A/P	Adimensional
TAN	Tasa de Asimilación Neta	$(1/L_A)(dW/dt)$	$g. cm^{-2} d^{-1}$
AFE	Área Foliar Específica	L_A/LW	$cm.^2 g^{-1}$
RAF	Relación de Área Foliar	L_A/W	$cm.^2 g^{-1}$

W: masa seca, t: tiempo, L_A: área foliar, P: área del suelo, LW: masa seca foliar

Fuente: Carranza *et al.* (2009).

Durante todo el ensayo se registró la temperatura diaria del ambiente con un datalogger y los datos se expresaron en Grados Día de Crecimiento (GDC), utili-

zando 8°C como temperatura base, siendo calculados con la Ecuación 1 (Méndez-Soto, 2015):

(Ecuación 1)

$$GDC: \frac{Tm + TM}{2} - Tb$$

Donde: **Tm**: temperatura en °C mínima;
TM: temperatura en °C máxima;
Tb: temperatura en base.

Los GDCA, se sumaron hasta los días de defoliación establecidos para el estu-

dio, resultando en los GDCA, como se puede ver en la Tabla 2, y se calcularon con la Ecuación 2 (Méndez-Soto, 2015):

(Ecuación 2)

$$GDCA: \sum GDC 1 \rightarrow n$$

Donde: **GDC** es el Grado Día de Crecimiento diario. **n**: número de días del periodo evaluado.

■ **Tabla 2.** Grados día de crecimiento Acumulados (GDCA) medidos para cada día de defoliación del pasto kikuyo

DÍA	GDCA (C)
7	40,0
14	76,5
21	113,0
28	144,5
35	174,5
42	208,5

Fuente: autores.

■ **Tabla 4.** Valores promedio, error estándar y grupo homogéneo de la materia seca de las partes de la planta, por tratamiento (n=6)

El riego se aplicó por aspersión, calculando la lámina de riego de acuerdo con Álvarez *et al.* (2010). En promedio se aplicaron 18 litros de agua por unidad experimental.

Con los datos obtenidos se determinaron los modelos estadísticos con mayor ajuste para cada variable, se realizó un análisis de varianza, donde se presentaron diferencias significativas, se aplicó la

prueba de Tukey para detectar diferencias entre los tratamientos ($p < 0.05$). Los índices de crecimiento fueron graficados en relación con el tiempo fisiológico expresado en GDCA. El efecto de los puntos de muestreo GDCA se determinó a través de un análisis de medidas repetidas en el tiempo. Se utilizó el programa estadístico SPSS versión 19.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento del forraje

Las áreas foliares fueron estadísticamente diferentes entre los puntos de evaluación expresados en GDCA ($p < 0,05$) con la aplicación de todos los niveles de fertilización nitrogenada destacándose el tratamiento en el que se aplicó $150 \text{ kg. N ha.}^{-1}$ ($p < 0,05$). La interacción entre los GDCA y el área foliar ($p < 0,05$) tuvo un tamaño de efecto alto (0,987). También se observó que el número de hojas del forraje difirió estadísticamente cuando las plantas acumularon 175 y 209 GDCA ($p < 0,05$), pero la

interacción entre los GDCA y el desarrollo de las hojas ($p < 0,05$) tuvo un efecto bajo (0,626). La acumulación de masa total (g) en el forraje presentó marcada diferencia estadística a partir de 145 GDCA ($p < 0,05$), esto mismo se observó con la acumulación de masa de las hojas ($p < 0,05$). La altura del forraje cambió estadísticamente con los GDCA ($p < 0,05$) presentándose interacción significativa entre GDCA y altura con tamaño de efecto alto (1). Por el contrario, el efecto de GDCA en relación con la masa total y masa de hojas fue bajo (0,178 y 0,318 respectivamente) (Tabla 3).

■ **Tabla 3.** Análisis de medidas repetidas

Variable	P valor	Eta parcial al cuadrado	Potencia Greenhouse-Geisser
Área foliar	< 0,001	1	1
Área foliar*GDCA	< 0,001	0,987	1
Número de hojas	< 0,001	0,935	1
Número de hojas*GDCA	0,079	0,443	0,626
Masa total	< 0,001	0,947	1
Masa total*GDCA	0,668	0,178	0,178
Masa hojas	< 0,001	0,950	1
Masa hojas*GDCA	0,369	0,280	0,318
Altura	< 0,001	0,993	1
Altura*GDCA	< 0,001	0,959	1

Fuente: autores.

Se encontró que el pasto kikuyo con defoliación a los 42 días presentó un crecimiento de ajuste exponencial según la respuesta de las variables evaluadas (Tabla 4), lo que se relaciona con la primera fase de crecimiento que según el modelo sigmoideal de Brougham para forrajes, ocurre cuando las plantas presentan la mayor

tasa de crecimiento celular en las raíces y en los puntos meristemáticos (Da-Silva *et al.*, 2015). En forrajes de pastoreo resulta difícil ver esta tendencia porque la altura de defoliación ocurre antes de la madurez del cultivo, debido a la relación inversa entre la calidad nutricional del forraje y la edad del rebrote (Rodríguez *et al.*, 2019).

■ **Tabla 4.** Ecuaciones de regresión que se ajustaron a las variables de crecimiento de pasto kikuyo fertilizado con diferente dosis de nitrógeno a intervalos de corte de 42 días

Parámetro	Tratamiento (kg N ha. ⁻¹)	Modelo	R ²
Masa total (g)	0	Y= 7.6721 ^{0.0042x}	0.98
	100	Y= 10.8012 ^{0.0037x}	0.98
	150	Y= 11.1386 ^{0.0039x}	0.99
Masa hojas (g)	0	Y=4.6058 ^{0.0042x}	0.98
	100	Y=6.5278 ^{0.0037x}	0.98
	150	Y=7.3526 ^{0.0039x}	0.99
Número de hojas	0	Y= 2.1634 ^{0.0038x}	0.99
	100	Y= 2.2628 ^{0.0049x}	0.99
	150	Y= 2.5834 ^{0.0047x}	0.97
Altura (cm)	0	Y= 9.9138 ^{0.0034x}	0.98
	100	Y= 10.1071 ^{0.0058x}	0.98
	150	Y= 11.9598 ^{0.0058x}	0.95
Clorofila (spad)	0	Y= 8.5753 ^{0.0058x}	0.99
	100	Y= 10.0493 ^{0.0067x}	0.98
	150	Y= 10.8934 ^{0.0066x}	0.98
Área foliar (cm²)	0	Y= 2.1406 ^{0.0158x}	0.99
	100	Y= 7.0545 ^{0.0130x}	0.97
	150	Y= 8.7627 ^{0.0127x}	0.97

Fuente: autores.

En este estudio, las plantas alcanzaron las mejores respuestas con la aplicación de 150 kg. N ha.⁻¹ en promedio 24.3 ± 0.8 g de MS planta, presentándose diferencias con la aplicación de 100 kg. N ha.⁻¹ con el que se obtuvo 22.5 ± 0.9 y con el forraje sin aplicación de urea con 17.9 ± 0.4 g (p<0.05) (Figura 1).

En promedio se alcanzó 2200 kg. MS ha.⁻¹ con 150 kg. N ha.⁻¹, respuesta productiva mayor a praderas con 100 kg. N ha.⁻¹ (1900

kg. MS ha.⁻¹) y sin fertilizar (1100 kg. MS ha.⁻¹) (p<0.05). Con la aplicación de 100 kg. N ha.⁻¹ se reporta la producción de 2600 kg. MS ha.⁻¹ (García *et al.*, 2014), 2000 kg. MS ha.⁻¹ y con 150 kg. N ha.⁻¹ entre 2000 y 2500 kg. N ha.⁻¹ (Acero *et al.*, 2020). Estos hallazgos son similares a lo observado en este estudio y coincide con lo encontrado en otras especies de gramíneas (Rushing *et al.*, 2019; Arteaga *et al.*, 2019; Benalcázar *et al.*, 2021).

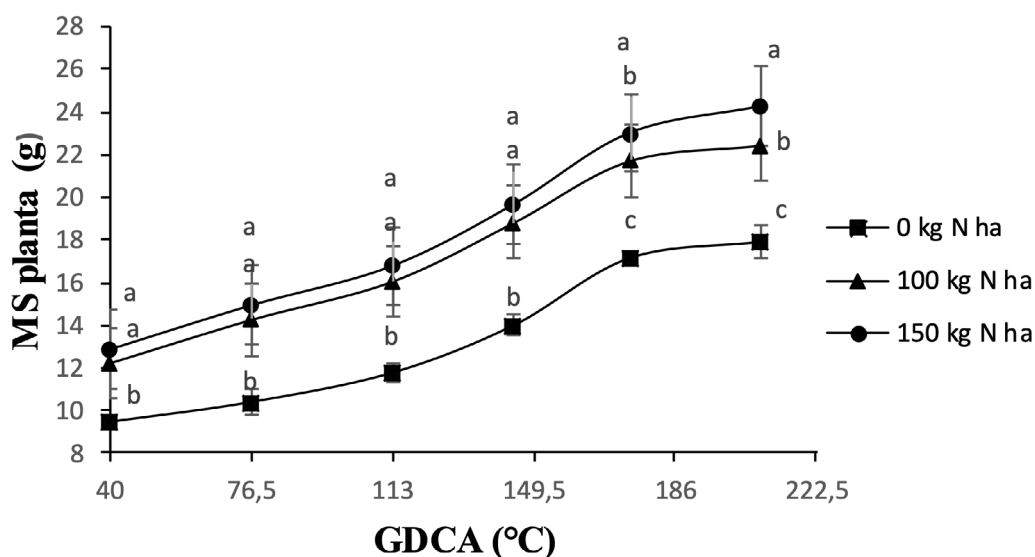


Figura 1. Comportamiento de la masa seca total del pasto kikuyo fertilizado con diferentes niveles de nitrógeno 0 (T0), 100 (T1) y 150 kg. N ha.⁻¹ (T2), en función de los grados de crecimiento acumulados después del corte

Fuente: autores.

Área foliar, número de hojas y altura

El área foliar del pasto kikuyo difirió significativamente entre tratamientos (p< 0.05) a partir de 76.5 GDCA (14 días)

hasta 208,5 GDCA (42 días) (Figura 2). La mayor área foliar se obtuvo en el T2 con 120 cm², seguido del T1 con 100 cm² y T0 con 60 cm², valores que corresponden al punto óptimo de corte (Acero-Camelo, 2019). Los valores más altos que se pue-

den lograr en área foliar sin la aplicación de N y con 100 y 150 kg. N ha.⁻¹ según las curvas de predicción son 165.4 cm.² (T2), 150.6 cm.² (T1) y 149.05 cm.² (T0) respec-

tivamente (datos no mostrados), valores que corresponden a los puntos de declive de los modelos con mayor ajuste (r²) (Fonseca *et al.*, 2019a).

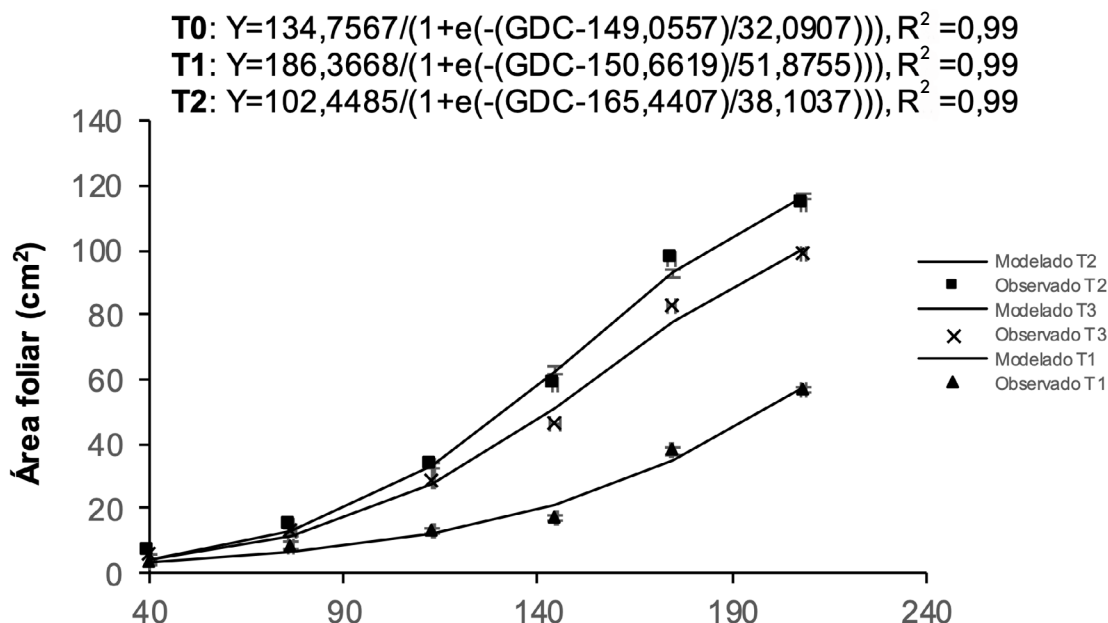


Figura 2. Comportamiento del área foliar de pasto kikuyo fertilizado con diferentes niveles de nitrógeno 0 (T1), 100 (T2) y 150 kg. N ha.⁻¹ (T3), en función de los grados acumulados después del corte

Fuente: autores.

El área foliar del pasto kikuyo difirió significativamente entre tratamientos ($p < 0.05$) luego de 76.5 GDCA (14 días) ya que de acuerdo a Da-Silva *et al.* (2015), en la primera fase (0 a 14 días), la producción de forraje ocurre lentamente, asociado al bajo IAF residual remanente después del pastoreo y por el bajo aporte de las hojas no removidas, ya que en esta fase existe alta dependencia de las reservas orgánicas y del área foliar remanente. Luego de los 14 días la planta extrae en mayor me-

didada el N disponible en el suelo, lo que influye en el crecimiento, concordando con los resultados obtenidos a partir de 14 días hasta 208,5 GDCA a los 42 días (Figura 2).

El incremento en el área foliar se relaciona con el aporte de N debido a que favorece el crecimiento de los brotes y el desarrollo de hojas más anchas por un incremento en la proporción de células mesófilas, lo que da lugar a un mayor índice de área foliar y

área foliar específica (Irving, 2015; Villegas *et al.*, 2019; Dídimo *et al.*, 2019).

El número de hojas influye en el área foliar, en este estudio aunque no hubo diferencias significativas entre tratamientos para esta variable, el área de captación de luz incrementó con el nivel de N aplicado por la mayor altura alcanzada con 150 kg. N ha.⁻¹ (Figura 3). Estos resultados son su-

periores a lo reportado con esta misma dosis de N con la cual se ha observado hasta 23.9 cm de altura sin disturbar (Acero *et al.*, 2020; Avellaneda *et al.*, 2020). Sin embargo, en este ensayo la menor altura alcanzada puede deberse a que este forraje cultivado a mayores altitudes crece lentamente y acumula menos nutrientes independientemente del número de hojas por macollo (Escobar *et al.*, 2020; García *et al.*, 2014).

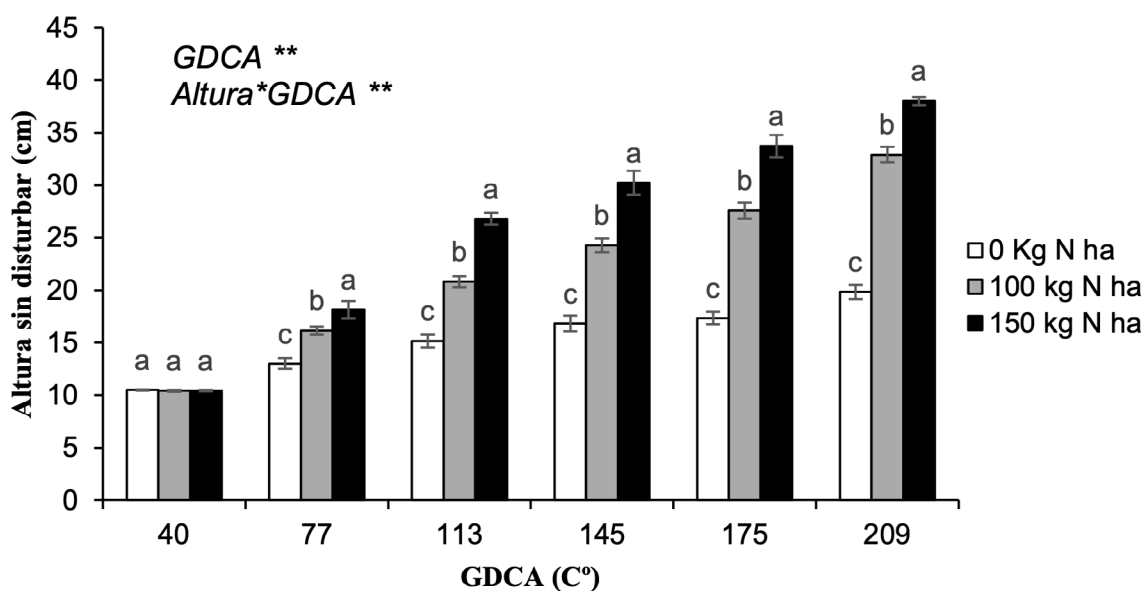


Figura 3. Altura de *Cenchrus clandestinus* fertilizado con diferentes niveles de nitrógeno 0 kg. N ha.⁻¹, 100 kg. N ha.⁻¹ y 150 kg. N ha.⁻¹. ** p<0,01

Fuente: autores.

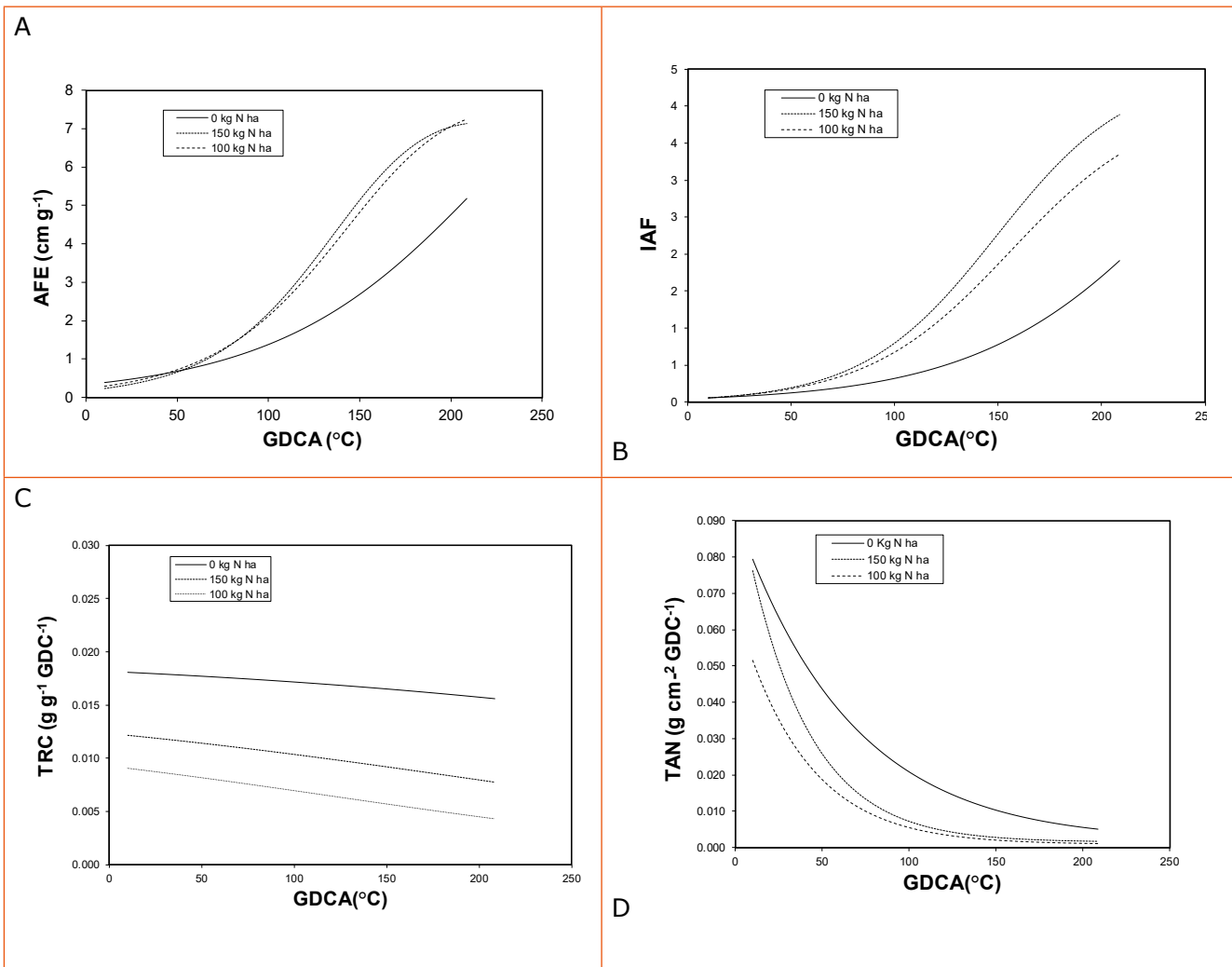
Durante el crecimiento de *pasto kikuyo* se ha observado una relación hoja tallo de 0.5 (Acero *et al.*, 2020). Pero, en condiciones de competencia por luz la proporción y longitud de los tallos incrementa respecto al número de hojas como una forma

de optimizar la captación de luz, patrón de crecimiento que favorece la acumulación de material muerto en la base de las plantas cuando se supera el índice crítico de área foliar (Da-Silva *et al.*, 2004; Carnevalli, 2021). Este comportamiento es mo-

dulado principalmente por la altura de pastoreo, de modo que defoliación a 10 cm con frecuencias de corte a 208.5 GDCA parece mantener un equilibrio entre el desarrollo de las hojas y tallos, conforme se observó con el comportamiento de las tasas de crecimiento (Figura 4).

Tasas de crecimiento

El IAF, AFE y la RAF presentaron una curva sigmoïdal (Figura 5), estas tasas de crecimiento representan el incremento del tamaño de la hoja respecto al espacio que ocupan, la masa seca de las hojas y la masa seca total respectivamente (Carranza *et al.*, 2009).



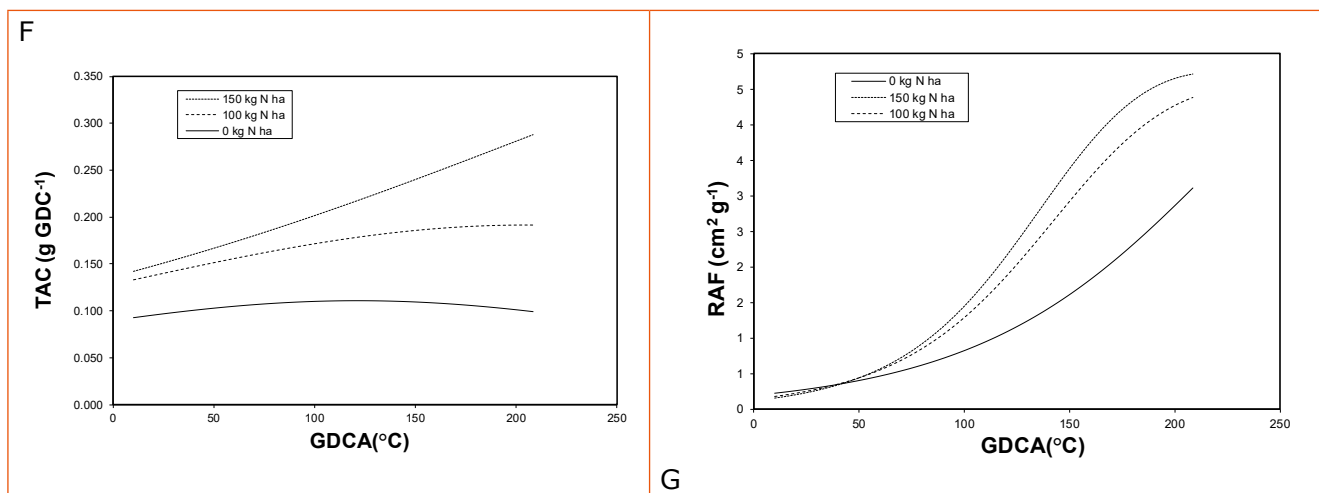


Figura 4. Tasas e índices de crecimiento de pasto kikuyo sembrado con diferentes niveles de fertilización nitrogenada 0, 150, 100 kg. N ha.⁻¹, tasa absoluta de crecimiento (TAC), tasa relativa de crecimiento (TRC), índice de área foliar (IAF), tasa de asimilación neta (TAN), área foliar específica (AFE), relación de área foliar (RAF)

Fuente: autores.

El AFE disminuye al incrementar la edad de rebrote y se relaciona con la dureza y grosor de las hojas (Garay *et al.*, 2019). En este estudio AFE mantuvo un comportamiento similar entre tratamientos, pero los valores más altos se observaron con 150 kg. N ha.⁻¹, lo que muestra que este nutriente favorece la acumulación de materia seca del forraje y el crecimiento de hojas tiernas. Igualmente, hay especial atención en el IAF de las pasturas, debido a que valores altos se relacionan con una mayor área de captación de luz en el cultivo, condición que se presenta porque el desarrollo de los macollos y el tamaño y cantidad de sus hojas se encuentran en un punto de máximo crecimiento, lo que

sucede al final de la fase exponencial del modelo sigmoideal de Brougham (Da-Silva *et al.*, 2015).

Existe una relación inversa entre la intensidad de defoliación y el IAF, reportándose valores de 2.7 y 2.6 con defoliaciones a 10 cm. y 7.6 cm. respectivamente (Medeiros *et al.*, 2021) pero, en este ensayo a defoliación de 10 cm se observaron valores más altos con variación significativa ($p < 0.05$), según el nivel de N aplicado. Lo que muestra que el N disponible para la planta favorece el incremento del tamaño de las hojas.

En general, a menor intensidad de defoliación se obtiene mayor cantidad de forraje, por ello, intensidades superiores

al 50% no son recomendables para maximizar la acumulación de forraje (Medeiros *et al.*, 2021), aunque se aceptan rangos de defoliación entre 40 y 60% de la altura inicial para garantizar la recuperación de la pradera (Da-Silva *et al.*, 2015). El mecanismo de recuperación de IAF en defoliaciones superiores al 50% consiste en un incremento en la densidad de población de macollos mientras que en defoliación del 50% la recuperación se realiza a través de incremento en el área foliar del macollo (Medeiros *et al.*, 2021), tal como se observó en este estudio. Lo anterior a su vez favorece la masa seca acumulada en relación con la materia seca residual, razón por la que la TRC disminuyó con el tiempo, principalmente en la mayor dosis de N, lo que corresponde a un comportamiento normal (Carranza *et al.*, 2009), debido a que dicha dosis generó la mayor materia seca.

La TAN disminuyó con el crecimiento de las plantas, observándose el mayor valor con la menor dosis de N, esto se explica por el crecimiento erecto del forraje en el cual a medida que se desarrollan hojas nuevas hay sombreamiento por superposición, lo que disminuye la tasa de asimilación neta (Carranza *et al.*, 2009), aunque

también puede ser porque en los tratamientos con N se estimuló mayor incremento del área foliar con relación a la producción de materia seca. La TAC aumentó con el tiempo y fue mayor con la aplicación de 150 kg. N ha.⁻¹. Se considera que con esta dosis de N se acumula materia seca a mayor velocidad (Huamán y Vásquez, 2019; Lascano *et al.*, 2019; Fulkerson y Jennings, 2020; Ramírez *et al.*, 2020).

Conductancia estomática y clorofila

Hubo diferencia significativa en el valor de conductancia estomática inicial (40 GDCA) y los valores observados con mayor grado de desarrollo de las plantas (113 GDCA, 114,5 GDCA y 174,5 GDCA) ($p < 0,05$). La conductancia estomática cambió significativamente ($p < 0,05$) en plantas fertilizadas con 150 kg. N ha.⁻¹ respecto a plantas sin fertilizar (Figura 5A). Este comportamiento se relaciona con un incremento en la capacidad fotosintética de las hojas por efecto del N aplicado y por la regulación del agua en la apertura y cierre de las estomas, respuesta que coincide con lo publicado por Acero *et al.* (2020).

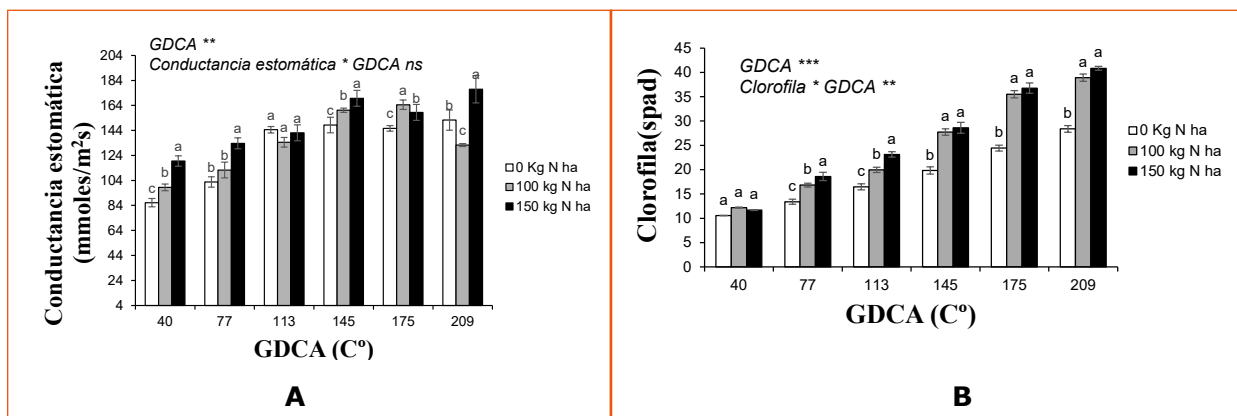


Figura 5. Comportamiento de la conductancia estomática (A) y del índice de clorofila (B) en pasto kikuyo sometido a diferentes dosis de N. Barras verticales en cada columna indican el error estándar (n=4). ns: interacción no significativa. ** $p < 0,01$ *** $p < 0,001$

Fuente: autores.

El valor de clorofila fue significativamente diferente durante el desarrollo del forraje en todos los GDCA acumulados ($p < 0,05$), presentándose interacción significativa entre clorofila y GDCA con un tamaño de efecto alto (0,990). El nivel de N aplicado también influyó significativamente ($p < 0,05$) en el contenido de clorofila de las hojas, los valores más altos se observaron con la aplicación de 150 kg. N ha.¹ (Figura 5B). Este resultado pudo deberse a

que cada molécula de clorofila está compuesta por 4 átomos de N, por tanto, a mayor N es de esperarse mayor contenido de clorofila (Irving, 2015). Esto puede relacionarse con mayor captación de luz por el incremento en el contenido de los pigmentos de las hojas lo que favorece la capacidad fotosintética y la fijación de carbono en las hojas, logrando un mayor incremento en la acumulación de materia seca y en la altura de las plantas de kikuyo.

4 CONCLUSIONES

En praderas de pasto kikuyo cultivadas a 2900 m.s.n.m. con la aplicación de 150 kg. N ha.⁻¹ se presentó un crecimiento

exponencial, obteniéndose las mejores tasas de crecimiento a los 208.5 GDCA (42 días). Basados en las curvas de regresión

que se ajustaron un modelo de crecimiento sigmoideal ($R^2=0.99$), la mayor producción de forraje con la aplicación de 150 kg. N ha.⁻¹ se presentó por incremento en el área foliar pudiéndose obtener hasta 165.4 cm.². Mayor captación de luz está relacionada con incremento en la capacidad

para fijar carbono en tejido vegetal, lo que favorece los índices de área foliar y área foliar específica. La mayor disponibilidad de N incrementó la altura de la pradera en 38 ± 0.9 cm y la producción de forraje que en promedio fue de 2200 kg.MS ha.⁻¹

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Dania Fonseca-López: adquisición de recursos, metodología, investigación, conceptualización. **Carlos Eduardo Rodríguez-Molano**: escritura, revisión y edición. **Nelson Vivas-Quilla**: logística, revisión y edición. **Pedro Almanza-Merchán**: análisis de datos. **Helber Balaguera-López**: administrador del proyecto, supervisión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresamos agradecimiento al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación convocatoria 779/2017, a la Gobernación del departamento de Boyacá y a la Universidad del Cauca ID 5150, a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC y al Grupo de Investigación en Bioquímica y Nutrición Animal GIBNA.

LITERATURA CITADA

Acero-Camelo, A. (2019). *Aspectos ambientales y de manejo que determinan el crecimiento del kikuyo (Cenchrus clandestinus Hochst. ex Chiov. Morrone) en la Provincia de Ubaté*. [Tesis para optar al título de Doctor en ciencias en Producción Animal]. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Acero-Camelo, A., Molina, E., Parra-Coronado, A., Fischer, G. y Carulla-Fornaguera, J.E. (2021). Base growth temperature and *phyllochron* for kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*; *Poaceae*). *Acta Biol Colomb*, 26(2), 160-169. <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v26n2.83199>

- Acero-Camelo, A., Pabón, M. L., Fischer, G., and Carulla, J. E. (2020). Optimum harvest time for Kikuyo grass (*Cenchrus clandestinum*) according to the number of leaves per tiller and nitrogen fertilization. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n3.82257>
- Álvarez-Herrera, J. G., Balaguera-López, H. E. y Pardo, E. C. (2010). Efecto de la aplicación de diversas láminas y frecuencias de riego en la propagación del romero (*Rosmarinus officinalis* L.). *Revista Ingeniería e Investigación*, 30(1), 86–90. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v30n1.15213>
- Arango-Gaviria, J., Echeverri-Zuluaga, J. y López, A. (2019). Diversidad del pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinum*): Una revisión. *Respuestas*, 24(2), 82-90. <https://doi.org/10.22463/0122820X.1834>
- Arteaga, D. E. V., García, G. a. C., Cedeño-García, G., Chávez, J. E. C. y Lugo, M. T. (2019). Eficiencia agronómica de nitrógeno y producción de *Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg. en función de dos frecuencias de corte. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Science*, 35(3). <https://doi.org/10.4067/s0719-38902019005000405>
- Avellaneda, Y., Muñoz, E. y Vargas, D. J. (2020). Efecto de la edad de rebrote sobre el desarrollo morfológico y la composición química del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinum*) en el trópico alto colombiano. *CES Medicina Veterinaria Y Zootecnia*, 15(2), 23–37. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.15.2.2>
- Benalcázar-Carranza, B.P., López-Caiza, V.C., Gutiérrez-León, F.A., Alvarado-Ochoa, S., and, Portilla-Narváez, A.R. (2021). Effect of nitrogen fertilization on the growth of five perennial pastures. *Ecuador, Pastos y Forrajes*, 44, eE05.
- Bernal, J. B., y Espinosa, J. (2003). *Manual de nutrición y fertilización de pastos*. International Plant Nutrition Institute (IPNI).
- Carnevalli, R. A., De Souza Congio, G. F., Sbrissia, A. F., and Da Silva, S. C. (2021). Growth of *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça as affected by grazing strategies and environmental seasonality. II. Dynamics of herbage accumulation. *Crop & Pasture Science*, 72(1), 66. <https://doi.org/10.1071/cp20199>
- Carranza, C. F. C., Lancho, O., Miranda, D., y Chávez, B. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) “Batavia” cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 27(1), 41–48. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180314730006.pdf>
- Da Silva, S. C., Sbrissia, A. F., and Pereira, L. V. (2015). Ecophysiology of C4 Forage Grasses—Understanding Plant Growth for Optimising Their Use and Management. *Agriculture*, 5(3), 598–625. <https://doi.org/10.3390/agriculture5030598>

- Dídimo-Vera, A., Cedeño-García, G., Cedeño-García, G., Cargua-Chávez, J. y Garay-Lugo, M. (2019). Eficiencia agronómica de nitrógeno y producción de *Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg. en función de dos frecuencias de corte. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(3), 251-260. <https://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000405>
- Escobar-Charry, M., Cárdenas-Rocha, E.A. y Carulla-Fornaguera, J.E. (2020). Effect of altitude and defoliation frequency in the quality and growth of Kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 73(1), 9121-9130. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n1.77330>
- Fonseca-López, D., Bohórquez-Masmela, I. A., Molano, C. E. R., y Quila, N. J. V. (2020). Efecto del periodo de recuperación en la producción y calidad nutricional de algunas especies forrajeras. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 18(2), 135. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(18\)135-144](https://doi.org/10.18684/bsaa(18)135-144)
- Fonseca-López, D., Monroy-Fonseca, L. y Molano, C. E. R. (2019a). Efecto del método de extracción del almidón de *Canna indica* L. sobre sus propiedades físico-químicas. *Revista Lasallista de Investigación*. <https://doi.org/10.22507/rli.v16n2a4>
- Fonseca-López, D., Quila, N. J. V. y Balaguera-López, H. E. (2019b). Técnicas aplicadas en la investigación agrícola para cuantificar la fijación de nitrógeno: una revisión sistemática. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(1), 1–19. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num1_art:1342
- Fulkerson, W. J., and Jennings, N. R. (2020). Urea applied as a foliar spray or in granular form to subtropical dairy pastures of kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) in eastern Australia. *Crop & Pasture Science*, 71(12), 1067. <https://doi.org/10.1071/cp20193>
- Garay-Martínez, S. Joaquín-Cancino, B. Estrada-Drouaillet, J.C. Martínez-González, A.G. Limas-Martínez, J. Hernández-Meléndez, A.R. (2019). Producción y cambios morfológicos de *Pennisetum ciliare* cv. H-17 en función de la edad de rebrote y altura de pradera. *Acta universitaria*, 29, e2306, 2019. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2306>
- García, S. C., Islam, M. S., Clark, C. R., and Martin, P. M. (2014). Kikuyu-based pasture for dairy production: a review. *Crop & Pasture Science*, 65(8), 787. <https://doi.org/10.1071/cp13414>
- Huaman, L., Vásquez, H. C., y Oliva, M. F. R. (2019). Fertilizantes orgánicos en la producción de pastos nativos en Molinopampa, Amazonas-Perú. *Revista De Investigación En Agroproducción Sustentable*. <https://doi.org/10.25127/aps.20183.399>
- Irving, L. J. (2015). Carbon Assimilation, Biomass Partitioning and Productivity in Grasses. *Agriculture*, 5(4), 1116–1134.

<https://doi.org/10.3390/agricultu-re5041116>

Lascano-Armas, P., Arcos-Álvarez, C., Guevara-Viera, R., Atzori, A., Molina-Molina, E., Torres-Inga, C., Carmilema-Asmal, J., Serpa-García, G., Aguirre-Juana, A., García-Zumalacarregui, J., Guevara-Viera, G. (2019). Ganancias de peso vivo en novillas que pastan Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, Ex Chiov) fertilizado con pollinaza, *Revista ecuatoriana de ciencia animal*, 3(1), 1 – 11.

Lowe, K., Bowdler, T., Holton, T. A., and Skabo, S. (2010). Phenotypic and genotypic variation within populations of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) in Australia. *Tropical Grasslands*, 44(2), 84–94. [http://era.daf.qld.gov.au/2166/1/Lowe Phenotypic and genotypic-sec.pdf](http://era.daf.qld.gov.au/2166/1/Lowe%20Phenotypic%20and%20genotypic-sec.pdf)

Medeiros-Martins, C., Schmitt, D., Duchini, P., Miqueloto, T. y Fischer A. (2021). Defoliation intensity and leaf area index recovery in defoliated swards: implications for forage accumulation. *Scientia agricola*, 78(2), 1-8. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0095>

Méndez-Soto, C. (2015). *Edad fisiológica de los cultivos: el uso de Grados Día*. Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola bajo ambientes Protegidos ProNAP. APB-094. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/av-1816.pdf>

Morrón, O. N. (2010). *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.). Tropicos. <https://www.tropicos.org/name/100359340>

Muscolo, A., Panuccio, M. R., and Eshel, A. (2013). Ecophysiology of *Pennisetum clandestinum*: a valuable salt tolerant grass. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.009>

Neal, W. Fulkerson, B. Sutton. (2011). Differences in water-use efficiency among perennial forages used by the dairy industry under optimum and deficit irrigation. *Irrigation science*, 29(3), 213-232. <https://doi-org.acceso.unicauca.edu.co/10.1007/s00271-010-0229-1>

Perera, R. S., Cullen, B., and Eckard, R. (2019). Using Leaf Temperature to Improve Simulation of Heat and Drought Stresses in a Biophysical Model. *Plants*, 9(1), 8. <https://doi.org/10.3390/plants9010008>

Ramírez-Meléndez, J. E., Hernández-Guzmán, F. J., López-Castañeda, C., Miranda-Jiménez, L., De Jesús Carrillo-Llanos, M. y Quero-Carrillo, A. R. (2020). Crecimiento de plántulas de nueve genotipos de *bouteloua curtipendula* con dos tamaños de cariósipide. *Revista Fito-tecnia Mexicana*, 43(2), 171. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.2.171>

Rodríguez-Molano, C.E., Fonseca-López, D., Niño-Monroy, L.E., Salamanca-López, A.E., Hoyos-Concha, J.L., Otero-Ramírez, I.D., Torres-Lagos, N.R. (2019). Caracterización nutricional y de producción de biomasa de *Sambucus peruviana*, *Sambucus nigra* y *Morus alba* en un banco forrajero. *Ciencia en Desarrollo*, 10(2), 23-32. <https://doi.org/10.15446/cien.10.2.171>

[tps://doi.org/10.19053/01217488.v10.n2.2019.9098](https://doi.org/10.19053/01217488.v10.n2.2019.9098)

Sbrissia, A. F., Duchini, P. G., Zanini, G. D., Santos, G. W., Padilha, D. A., and Schmitt, D. (2018). Defoliation Strategies in Pastures Submitted to Intermittent Stocking Method: Underlying Mechanisms Buffering Forage Accumulation over a Range of Grazing Heights. *Crop Science*, 58(2), 945–954. <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.07.0447>

Schmitt, D., Padilha, D. A., De Medeiros-Neto, C., Filho, H. O., Sollenberger, L. E., and Sbrissia, A. F. (2019). Herbage intake by cattle in kikuyugrass pastures under intermittent stocking method. *Revista Ciencia Agronómica*,

50(3). <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20190058>

Villegas, D. A., Torres, N. a. D., Pino, M. E. M., Terán, Y., Pérez, Y. P., Rivas, S. V., Camacho, W. R. y Guerrero, Á. L. (2019). Comparación de modelos para estimar el área foliar en pasto Cayman (*Brachiaria hybrido*). *Revista De Investigación En Agroproducción Sustentable*. <https://doi.org/10.25127/aps.20192.492>

Vistoso, E., Martínez. J. (2021). Temperatura: limitante clave en el crecimiento de cultivos y praderas de la Región de Los Ríos. *Instituto De Investigaciones Agropecuarias - Informativo Inia Remehue*, 284.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.

