UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Efecto de la altura de defoliación y la fertilización N sobre la estructura, la densidad de las plantas y el desempeño productivo de pasturas de Kikuyo *(Cenchrus clandestinus)*

Edgar Augusto Mancipe Muñoz

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia
Bogotá, Colombia
2024

Efecto de la altura de defoliación y la fertilización nitrogenada sobre la estructura y la calidad nutricional de pasturas de Kikuyo *(Cenchrus clandestinus)*

Edgar Augusto Mancipe Muñoz

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Producción Animal

Director:

Ph.D. Juan Evangelista Carulla Fornaguera

Codirector:

Ph.D. Yesid Avellaneda Avellaneda

Línea de Investigación:

Línea de investigación en nutrición animal

Grupo de Investigación:

Grupo de investigación en nutrición animal

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia

Bogotá, Colombia

2024

Dedico este trabajo de tesis a mi esposa por darme su amor y brindarme su voz de aliento, a mi hija Sofi por su cariño, comprensión y tiempo, a mi familia por su constante apoyo y a mi hermano de vida Andrés, por pasarla bueno.

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Edgar Augusto Mancipe Muñoz

Fecha 18/01/2024

Agradecimientos

Agradezco a Dios por brindarme la fortaleza para realizar y culminar mi trabajo de tesis.

A mi familia por sus palabras de apoyo y comprensión durante todo este proceso.

Al profesor Juan Carulla por brindarme la oportunidad de desarrollar la maestría en la Universidad Nacional, por su acompañamiento, exigencia, critica, sugerencias y dirección del trabajo de tesis.

A Yesid, por su confianza y amistad, tiempo compartido, consejos, apoyo durante este proceso y por permitirme avanzar en mi formación a través de mi participación en el macro de Kikuyo.

A Juan de Jesus, por su amistad, consejos, guía y apoyo.

A mis amigos Diana y Javier, por sus palabras de apoyo y colaboración durante el desarrollo del trabajo de tesis y por su amistad.

A Stella y Leo por su apoyo durante los muestreos y apoyo logístico.

A Agrosavia y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por los recursos para financiar el proyecto “Incremento de la rentabilidad de los sistemas de producción de leche del trópico soportados en Kikuyo” que permitió realizar los experimentos en campo y análisis de laboratorio para el presente trabajo de tesis.

Resumen

El trabajo evaluó como la intensidad de defoliación (altura residual, AR) y fertilización modifican el crecimiento, estructura, calidad y acumulación de C y N en pasturas de Kikuyo; mediante un diseño de parcelas divididas con tres repeticiones al defoliar a 5 hojas las parcelas. Defoliar a 6 cm vs 12 cm de AR redujo la relación hoja:tallo 2.5 veces ($p<0.001$) y aumentó el intervalo de defoliación (ID) (+8 d) y la tasa de crecimiento (TDC) (+19%). Además, aumentó la densidad de brotes (DB) y proporción de material muerto (PMM) (interacción, $p<0.05$), donde las pasturas más fertilizadas tuvieron menor DB y PMM. La calidad de la pastura fue similar entre AR. La cantidad de C fue inferior en la biomasa subterránea (BS) a 6 cm AR (11.2 vs 12.7 *t* ha^{-1}). Aumentar la fertilización redujo el ID (-2.4 d; $p<0.01$); incremento la altura de la pastura (+4.7 cm; $p<0.001$), la TDC (+13 *kgMS* ha^{-1}; $p<0.001$), la proteína en hojas y tallos ($p<0.001$) y la longitud de los estolones (141 vs 228 vs 480 cm; $p<0.01$). También, aumentó la acumulación de tallos al defoliar a 6 cm (6.4 vs 10.6 y 11.0 *kgMS* ha^{-1}) pero no a 12 cm de AR; interacción ($p<0.001$). La cantidad de C en la BS fue mayor para el nivel medio de fertilización (11.2 vs 13.4 vs 11.3; $p<0.05$). En conclusión, las pasturas de Kikuyo mantuvieron su productividad con una AR de 6 cm aumentando la DB, pero viéndose comprometidas la altura y la relación hoja:tallo. La fertilización aumento la productividad de las pasturas y compensó los efectos de la AR. Sin embargo, estas prácticas de manejo podrían tener impactos negativos sobre la BS.

Palabras clave: acumulación C, densidad brotes, estolón, intensidad defoliación, prácticas de manejo, rizoma.

Abstract

Effect of defoliation height and nitrogen fertilization on plant structure and nutritional quality of Kikuyu grass pastures *(Cenchrus clandestinus)*

The work evaluated how the intensity of defoliation (residual height, AR) and fertilization modify the growth, structure, quality and accumulation of C and N in Kikuyu pastures; through a divided plot design with three repetitions when defoliating the plots to 5 leaves. Defoliating at 6 cm vs 12 cm HR reduced the leaf-stem ratio 2.5 times ($p<0.001$) and increased the defoliation interval (DI) (+8 d) and growth rate (DGR) (+19%). In addition, tiller density (TD) and proportion of dead material (PDM) increased (interaction, $p<0.05$), where the most fertilized pastures had lower TD and PDM. Pasture quality was similar between HR. The amount of C was lower in the underground biomass (UB) at 6 cm HR (11.2 vs 12.7 t ha^{-1}). Increasing fertilization reduced DI (-2.4 d; $p<0.01$); increased pasture height (+4.7 cm; $p<0.001$), DGR (+13 kgDM ha^{-1}; $p<0.001$), protein in leaves and stems ($p<0.001$) and stolon length (141 vs 228 vs 480 cm; $p<0.01$). Also, stem accumulation increased when defoliating at 6 cm (6.4 vs 10.6 and 11.0 kgMS ha^{-1}) but not at 12 cm of HR; interaction ($p<0.001$). The amount of C in the UB was greater for the medium fertilization level (11.2 vs 13.4 vs 11.3; $p<0.05$). In conclusion, Kikuyu pastures maintained their productivity with an HR of 6 cm, increasing TD, but height and the leaf-stem ratio were compromised. Fertilization increased pasture productivity and offset the effects of HR. However, these management practices could have negative impacts on UB.

Keywords: Accumulation C, defoliation intensity, management practices, rhizome, shoot density, stolon.

Contenido

Pág.

Resumen ..... **IX**

Lista de figuras ..... **XIII**

Lista de Gráficas ..... **XIV**

Lista de tablas ..... **XV**

Lista de Símbolos y abreviaturas **17**

Introducción **18**
Bibliografía 20

1. Factores de manejo que modifican las características morfológicas, la producción de biomasa y la calidad nutricional del pasto Kikuyo **26**
1.1 Introducción 26
1.2 Características morfológicas y de crecimiento del pasto Kikuyo 30
1.3 Fertilización 35
1.4 Altura residual (post-defoliación) 38
1.5 Frecuencia de defoliación 41
1.6 Ambiente 41
1.7 Conclusiones 45
1.8 Referencias bibliográficas 46

2 Efecto de la altura de defoliación y la fertilización sobre la tasa de crecimiento, la estructura y la composición nutricional de las pasturas de Kikuyo *(Cenchrus clandestinus)* **59**
2.1 Resumen 59
2.2 Introducción 60
2.3 Materiales y métodos 62
2.3.1 Localización y lote experimental 62
2.3.2 Periodo y tratamientos experimentales 63
2.3.3 Manejo experimental 65
2.3.4 Variables medidas 66
2.3.5 Análisis estadístico 68
2.4 Resultados y discusión 70

2.4.1 Respuesta agronómica del pasto Kikuyo a dos alturas de corte y niveles crecientes de fertilización 70
2.4.2 Composición química de las hojas y tallos de pasto Kikuyo asociado al manejo y la fertilización 83
2.4.3 Efecto de la altura residual y la fertilización sobre la acumulación de materia seca y de nutrientes 92
1.9 Conclusiones 94
2.5 Bibliografía 95

3. Depósitos de C y N en la biomasa aérea y radical del pasto Kikuyo *(Cenchrus clandestinus)* asociado a la intensidad de la defoliación y la fertilización 107
3.1 Resumen 107
3.2 Introducción 108
3.3 Materiales y métodos 111
3.3.1 Localización 111
3.3.2 Tratamientos experimentales 111
3.3.3 Muestreo 112
3.3.4 Análisis composicional 115
3.3.4 Análisis estadístico 115
3.4 Resultados y discusión 116
3.4.1 Peso y distribución de los componentes de biomasa aérea y subterránea (radical) 116
3.4.2 Concentración, relación y existencia de C y N en los componentes de biomasa aérea y radical del pasto Kikuyo 121
3.4.2 Masa, longitud y grosor de estolones, rizomas y raíces finas 129
3.5 Conclusiones 133
3.6 Bibliografía 134

Conclusiones y recomendaciones 144
3.6 Conclusiones 144
3.7 Recomendaciones 146

A. Anexo: Interacciones entre el tiempo (días acumulados), la intensidad de defoliación y los niveles de fertilización 147

B. Anexo: Salidas del análisis estadístico 149

Lista de figuras

Pág.

Figura 1-1. Estolón (a) y rizoma (b) de una planta de Kikuyo. **30**

Figura 1-2. Estolón, hojas y brotes de una planta de Kikuyo. **31**

Figura 1-3. A: Organización de un fitómero y un macollo (Tomado y adaptado de Nelson and Moore, 2020). B: Ubicación del meristemos apical e intercalar en un macollo de una gramínea (Tomado y adaptado de Reyes *et al*., 2018). **32**

Figura 2-1. Distribución de precipitación, brillo solar y temperatura durante los 14 meses de experimentación. **63**

Figura 2-2. Identificación y marcación de un brote de pasto Kikuyo. **65**

Figura 3-1. Componentes definidos para el muestreo de biomasa aérea y raíces del pasto Kikuyo. A: de arriba a abajo: Biomasa aérea (BA): disponible (BAD), residual (BAR); Biomasa subterránea (BS): superficial (BSS) y profunda (BSP); B: BA disponible; C: BA residual; D: BS superficial y E: BS profunda. **114**

Lista de Gráficas

Pág.

Grafica 2-1: Producción de materia seca (A), kilogramos de proteína cruda (B) y digestibilidad de la materia seca (C) del pasto Kikuyo acumuladas por hectárea durante 12 meses, cortadas a 6 cm (•) y a 12 cm (▪)..... **93**

Grafica 2-2: Producción acumulada por hectárea de materia seca (A), proteína cruda (B) y componentes digestibles (C) del pasto Kikuyo durante 12 meses, para niveles bajo (•), medio (▪) y alto (♦) de fertilización. **94**

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1.1. Descripción de variables morfogenéticas y estructurales de la pastura. **33**

Tabla 2-1. Análisis de suelo del área experimental **63**

Tabla 2-2. Niveles de fertilización evaluados **64**

Tabla 2-3. Medias ajustadas y error estándar de la media de la respuesta morfométrica, el número de brotes e índice de área foliar del pasto Kikuyo *(Cenchrus clandestinus)* a dos alturas residuales (AR) y tres niveles de fertilización. **76**

Tabla 2-4. Medias ajustadas y error estándar de la media de la respuesta productiva y la proporción de componentes del pasto Kikuyo *(Cenchrus clandestinus)* al manejo con dos alturas residuales (AR) y tres niveles de fertilización. **82**

Tabla 2-5: Efecto de la altura residual (AR) y la fertilización N sobre la composición química de las hojas y tallos del pasto Kikuyo durante la época de lluvia (meses con precipitación >60 mm). **86**

Tabla 2-6. Efecto de la altura residual (AR) y la fertilización N sobre la composición química de las hojas y tallos del pasto Kikuyo durante la época seca (meses con precipitación <60mm). **91**

Tabla 3-1. Peso y distribución de la biomasa aérea (forraje disponible y residual) y de la biomasa subterránea (a 30 cm de profundidad) del pasto Kikuyo manejado con dos alturas residuales (AR) y tres niveles de fertilización. **120**

Tabla 3-2. Concentración de C y N en la biomasa aérea (forraje disponible y residual) y raíces (a 30 cm de profundidad) de pasto Kikuyo por efecto de dos alturas residuales (AR) y tres niveles de fertilización. **123**

Tabla 3-3. Relación de C y N en la biomasa aérea (forraje disponible y residual) y subterránea (a 30 cm de profundidad) de pasto Kikuyo por efecto de dos alturas residuales (AR) y tres niveles de fertilización. **124**

Tabla 3-4. Existencias de C y N en la biomasa aérea (forraje disponible y residual) y subterránea (a 30 cm de profundidad) de pasto Kikuyo por efecto de dos alturas residuales (AR) y tres niveles de fertilización. **128**

Tabla 3-5. Longitud, grosor y cantidad de estolones, rizomas y raíces finas del pasto Kikuyo asociados al manejo con diferente altura residual (AR) y nivel de fertilización. **131**

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
AR	Altura residual
BA	Biomasa aérea
BS	Biomasa subterránea
BAD	Biomasa aérea disponible
BAR	Biomasa aérea residual
BSS	Biomasa subterránea superficial
BSP	Biomasa subterránea profunda
C	Carbono
Ca	Calcio
CNE	Carbohidratos no estructurales
DIVMS	Digestibilidad *in vitro* de la materia seca
FDA	Fibra en Detergente Ácido
FDN	Fibra en Detergente Neutro
FD	Forraje disponible
FR	Forraje residual
ha	Hectárea
IAF	Índice de área foliar
MS	Concentración de materia seca
N	Nitrógeno
P	Fósforo
PC	Proteína cruda
PCS	Proteína cruda soluble
SP	Biomasa subterránea profunda
SS	Biomasa subterránea superficial
t	Tonelada
TAF	Tasa aparición foliar
TDC	Tasa diaria de crecimiento

Introducción

En Colombia, la superficie de uso del suelo en pastos y forrajes representan el 60.1% (24.564.237 ha) de la frontera agrícola (DANE-ENA, 2017). De estas, 2.538.290 hectáreas son aptas para la producción del pasto Kikuyo *(Cenchrus clandestinus)* (UPRA, 2019). Este pasto es una gramínea estolonífera e invasora que se adapta a diferentes altitudes (1800 a 2800 msnm) y condiciones agroecológicas (Giraldo-Cañas, 2011; Ortiz, 2015). El trópico alto contribuye al 42.5% de la producción de leche en el país (Carulla & Ortega, 2016), en donde el pasto Kikuyo es la gramínea más importante en los sistemas de producción de lechería especializada (Carulla & Ortega, 2016; Giraldo-Cañas, 2013) y representa la principal fuente alimenticia para los bovinos de trópico alto colombiano.

En los últimos años se ha incrementado la investigación con pasturas de Kikuyo en temas de morfología, crecimiento, productividad y calidad nutricional (Acero-Camelo *et al.*, 2021; Arango-Gaviria *et al.*, 2017; Avellaneda *et al*., 2020; Correa *et al*., 2018; Castillo Sierra *et al*., 2023; Escobar-Charry *et al.,* 2020; Mancipe-Muñoz *et al*., 2022), convirtiéndolo en un modelo importante de investigación en pasturas. El manejo de las pasturas (fertilización, periodos de descanso, severidad de defoliación) es empírica e involucra normalmente el uso de cuerda eléctrica en sistemas de pastoreo rotacional. La productividad del Kikuyo es altamente variable (5 a 25 *t* MS $ha^{-1}año^{-1}$) principalmente por efecto de factores ambientales (precipitación, suelo altitud) (Acero-Camelo *et al*, 2021; Escobar *et al.,* 2019; Vargas *et al*., 2018) y de manejo (Sánchez & Villaneda, 2009; Acero *et al.*, 2020). Los pastos son la principal fuente de alimento para los bovinos, siendo el alimento de menor costo para los animales bajo pastoreo (Ignatavičius *et al.*, 2013; Pembletona *et al.*, 2012).

Las prácticas de manejo de las pasturas (Frecuencia de defoliación, intensidad de defoliación, fertilización) han sido estudiadas y se conoce su efecto sobre el desempeño en varias especies forrajeras tanto de crecimiento por macollas y como estolonífero (Cruz & Boval, 2000; Dawson *et al*., 2000). En el caso del Kikuyo, hay evidencia de los impactos de la fertilización (Acero-Camelo *et al*., 2020; Fernandes *et al.*, 2017; Fulkerson *et al*.,

2010), la altura de pastoreo o forraje residual (Fulkerson *et al*., 1999; Gastal & Lemaire, 2015; Martins *et al.*, 2020) y la frecuencia de cosecha (Escobar-Charry *et al.*, 2020) sobre su productividad. Sin embargo, pocos trabajos han abordado la respuesta que pueda tener esta especie a cada una de estas herramientas de manejo cuando estas se usan de manera combinada. Además, la mayoría de estos trabajos han estudiado la respuesta de la biomasa aérea (hojas, tallos, material muerto, estolones) de la pastura descuidando el impacto de estas estrategias de manejo sobre la biomasa subterránea (Raíces, rizomas) que es un aspecto de especial relevancia para la subsistencia y productividad de la pastura.

Por último, existe un creciente interés por la capacidad de las pasturas para capturar C (Lal, 2007) y describir los ciclos de N y C en el suelo de estas. Este creciente interés está asociado al incremento de las concentraciones de CO_2 en la atmosfera debido a las actividades antropogénicas y el efecto de este sobre la temperatura atmosférica (Augustine *et al*., 2018). La fijación de carbono se considera un servicio ecosistémico importante para el futuro de la humanidad (Yaranga & Custodio, 2013), en donde se destaca la eficiencia fotosintética de algunos forrajes, lo que permite el secuestro de carbono atmosférico para su conversión en carbono orgánico (Figueroa *et al*., 2005), que es almacenado en el suelo en las raíces y en la biomasa aérea, en estructuras como hojas y tallos, mejorando la fertilidad y la capacidad de servicios ambientales (IPCC, 2003; Rojas-Solano *et al*., 2022). Esta capacidad de las pasturas no ha sido explorada ampliamente en todas las especies (Albrecht & Kandji, 2003) y no ha sido medida su contribución potencial para disminuir el impacto del cambio climático. En el caso del Kikuyo, apenas existen algunos trabajos sobre este aspecto (Giraldo *et al*., 2008; Pérez Atehortúa *et al*., 2019) y aún se requiere consolidar la información sobre la cantidad de C depositado en la biomasa subterránea de esta pastura.

Por lo tanto, esta tesis busca contribuir a la comprensión de la respuesta que las pasturas de Kikuyo tiene a la combinación de diferentes intensidades de corte (Altura residual) y niveles de fertilizante, considerando variables de respuesta asociadas a la biomasa aérea (Crecimiento, estructura, densidad, calidad nutricional, N, C) y algunas características de la biomasas subterránea, en particular la acumulación de C y N. Este estudio permitirá

ampliar el conocimiento de la respuesta de esta especie a las estrategias de manejo y mejorar la gestión de pasturas de esta especie que es una de las más utilizadas en los sistemas de producción del trópico alto colombiano. De esta manera, la hipótesis experimental es que la aplicación de fertilización y la mayor intensidad de corte resulta en plantas de Kikuyo con una mayor altura, proporción de hojas y menor proporción de material muerto sin sacrificar la producción de materia seca.

Este documento está dividido en tres capítulos. El capítulo uno corresponde a la revisión de literatura, en donde se describe los efectos de la intensidad de defoliación, fertilización y factores ambientales en el crecimiento y desarrollo radical del pasto Kikuyo. El capítulo dos presenta los resultados del efecto de la intensidad de defoliación (Altura de corte) y la fertilización sobre el crecimiento, densidad y calidad del pasto Kikuyo. El capítulo tres reporta los resultados del peso y distribución de la reserva de C y N de la biomasa aérea y subterránea del pasto Kikuyo por efecto de la intensidad de defoliación y la fertilización.

Bibliografía

Acero-Camelo, A., Pabón, ML., Fischer, G., & Carulla, JE. 2020. Optimum harvest time for Kikuyu Grass *(Cenchrus clandestinus)* according to the number of leaves per tiller and nitrogen fertilization. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellin, 73(3):9243-9253 doi:10.1546/rfnam.v73n3.82257

Acero-Camelo, RA., Molina, MRE., Coronado, AP., Fischer, G., & Fornaguera, JE. 2021. Base growth temperature and phyllochron for Kikuyu grass *(Cenchrus clandestinus; Poaceae).* Acta Biológica Colombiana, 26(2):160-169.

Albrecht, A., & Kandji, S. 2003. Carbon sequestration in tropical agro-forestry systems. Agriculture, Ecosystems and Environment, 99(1-3):15-27.

Arango-Gaviria, J., Cardona-Naranjo, FA., López-Herrera, A., Correa-Londoño, G., & Echeverri-Zuluaga, JJ. 2017. Variación de caracteres morfológicos del pasto Kikuyo *(Cenchrus clandestinus)* en el trópico alto de Antioquia. CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, 12(1):44-52.

Augustine, DJ., Blumenthal, DM., Springer, TL., Lecain, DR., Gunter, SA., & Derner, JD. 2018. Elevated CO_2 induces substantial and persistent decline in forage quality irrespective of warming in mixedgrass prairie. Ecological Society of America. Ecol. Appl., 28(3):721-735.

Avellaneda-Avellaneda, Y., Mancipe-Muñoz, EA., & Vargas-Martínez, JJ. 2020. 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 Medicina Veterinaria y Zootecnia, 15(2):23-37.

Bernal, J. 1998. Capitulo VII: Pastos mejorados. Guerrero R, (Ed). Fertilización de cultivos en clima frío. (278-328). Santafé de Bogotá, Monómeros Colombo Venezolanos S.A. ISBN: 958-96408-0-X

Carulla, E., & Ortega, E. 2016. Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, 24(2):83-87.

Castillo Sierra, J., Cerón-Souza, I., Avellaneda, Y., Mancipe Muñoz, EA., & Vargas Martínez, JJ. 2023. 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 Science, 75, CP22360. https://doi.org/10.1071/CP22360

Correa, HJ., Escalante, LF., & Jaimes, LJ. 2018. Efecto de la época del año y la altura remanente posterior al pastoreo sobre el crecimiento y calidad nutricional del pasto Kikuyo *(Cenchrus clandestinus)* en el norte de Antioquia. Livestock Research for Rural Development, 30(6). http://www.lrrd.org/lrrd30/6/hjcor30097.html

Cruz, P., & Boval, M. 2000. Effect of nitrogen on some morphogenetic traits of temperate and tropical perennial forage grasses. Chapter 8. In: Grassland Ecophysiology and grazing Ecology. Edited by Lemaire G, Hodgson J, Moraes A, Nabinger C, Carvalho PC. New York, USA. CABI International.

Dawson, LA., Grayston, SJ., & Paterson, E. 2000. Effects of grazing on the roots and rhizosphere of grasses. In: Lemaire G, Hodgson J, de Moraes A, Nabinger C, and de F Carvalho PC. Eds., Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology. CAB International, Wallingford, Oxfordshire, 61-84.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. 2017. Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), Boletin Técnico. https://www.agronet.gov.co/Documents/boletin_ena_2017.pdf

Escobar-Charry, MA., Cárdenas, EA., & Carulla, JE. 2020. Effect of altitude and defoliation frequency in the quality and growth of Kikuyu grass *(Cenchrus clandestinus)*. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín, 73(1):9121-9130 doi: 10.15446/rfnam.v73n1.77330

Fernandes Rodrigues, L., dos Santos, A., Silveira Junior, O., & Donizetti dos Santos, JG. 2017. Productivity of Urochloa brizantha “Marandú” influenced by strategic rest periods and nitrogen levels. Semina: Ciências Agrárias, 38(5):3203-3213 [fecha de Consulta 31 de octubre de 2020]. ISSN: 1676-546X. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4457/445753229031

Figueroa, N., Etchevers, B., Velásquez, M., & Acosta, M. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la sierra norte de Oxaca. Terra Latinoamericana, 23:57-64.

Fulkerson, WJ., Slack, K., & Havilah, E. 1999. The effect of defoliation Interval and height on growth and herbage quality of Kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*). Tropical Grasslands, 33:138-145.

Fulkerson, B., Griffiths, N., Sinclair, K., & Beale, P. 2010. Primefact 1068, Milk production from Kikuyu grass based pastures. Forage for milk production. Industry & Investment NSW. Disponible en https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0012/359949/Milk-production-from-kikuyu-grass-based-pastures.pdf

Gastal, F., & Lemaire, G. 2015. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilisation in pasture: Review of the underlying ecophysiological processes. Agriculture, 5:1146-1171. doi:10.3390/agriculture5041146

Giraldo-Cañas, D. 2011. Catálogo de la familia *Poaceae* en Colombia. Darwiniana, Nueva Serie. 49(2):139-247

Giraldo-Cañas, D. 2013. Las gramíneas en Colombia: riqueza, distribución, endemismo, invasión, migración, usos y taxonomías populares. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales. p. 382.

Giraldo, A., Zapata, M., & Montoya, E. 2008. Captura y flujo de carbono en un sistema silvopastoril de la zona Andina Colombiana. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, 16(4):241-245

Ignatavičius, G., Sinkevičius, S., & Ložytė, A. 2013. Effects of grassland management on plan communities. Ekologija, 59(2):99-110.

IPCC. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. 632 p. Institute for Global Environment Strategies, Kanagawa, Japan.

Lal, R., Reicosky, DC., & Hanson, JD. 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. Soil Tillage Res., 93:1-12.

Mancipe-Muñoz, EA., Castillo-Sierra, J., Avellaneda-Avellaneda, Y., & Vargas-Martinez, JDJ. 2022. Efecto de la frecuencia de cosecha y la aplicación de enmiendas en la productividad de *Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov Morrone. Pastos y Forrajes, 45:eE20. Recuperado el 1 de diciembre de 2023. Disponible en:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942022000100020&lng=es&nrm=iso

Martins, CDM., Schmitt, D., Duchini, PG., Miqueloto, T., & Sbrissia, AF. 2020. Defoliation intensity and leaf area index recovery in defoliated swards: implications for forage accumulation. Scientia Agricola, 78(2). doi: http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0095

Ortiz, AA. 2015. Respuesta del pasto Kikuyo a la inoculación: con hongos micorrícicos y a diferentes niveles de nitrógeno y fósforo. Colombia. MSc, Tesis. Universidad de Antioquia.

Pembletona, KG., Rawnsleya, RP., & Burkittb, LL. 2012. Environmental influences on optimum nitrogen fertiliser rates for temperate dairy pastures. European Journal of Agronomy, 45:132-141.

Pérez Atehortúa, M., Medina Aguirre, MF., Hurtado Granada, A., Arboleda Zapata, EM., & Medina Sierra, M. (2019). Reservas de carbono del pasto *Cenchrus clandestinus* (Poaceae) en los sistemas de manejo tradicional y silvopastoril, en diferentes relieves. Revista de Biología Tropical, 67(4):769-783. https://doi.org/10.15517/RBT.V67I4.34529

Pulido, JI. 2005. Caracterización de los sistemas de producción de leche del trópico de altura en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca. Informe técnico final. CORPOICA, Bogotá, 112p.

Rodriguez, F., & Bernal, J. 1991. Curso de pastos y forrajes. ICA. Biblioteca Agropecuaria de Colombia. p. 330.

Rojas-Solano, J., Brenes-Gamboa, S., & Abarca-Monge, S. 2022. Carbono en el suelo: comparación entre un área de pastos y un bosque. InterSedes, 23(47):184-205.

Sánchez, L., & Villaneda, E. 2009. Renovación y manejo de praderas de sistemas de producción de leche especializada en el trópico alto colombiano. AGROSAVIA

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria – UPRA, 2019. Noticias: Por primera vez en Colombia se identifican las áreas aptas para el cultivo de pastos. Zona UPRA, No. 8. https://www.upra.gov.co/documents/10184/0/Bolet%C3%ADn+Externo+Noviembre/6fd031ad-82ec-41b1-87f1-84cd17c98c15

Vargas, J., Sierra, A., Mancipe, E., & Avellaneda, Y. 2018. El Kikuyo, una gramínea presente en los sistemas de rumiantes en trópico alto colombiano. Rev. CES Med. Zootec., 13(2):137-156

Yaranga, RM., & Custodio, M. 2013. Almacenamiento de carbono en pastos naturales altoandinos. Scientia Agropecuaria, 4(4):313-319.

1. Factores de manejo que modifican las características morfológicas, la producción de biomasa y la calidad nutricional del pasto Kikuyo

1.1 Introducción

La disminución en la productividad en las pasturas de Kikuyo está relacionada con inadecuados esquemas de manejo que limitan la producción y la calidad de la biomasa (Vargas-Martínez *et al*., 2018), resultando en la degradación de las praderas, el aumento del acolchonamiento de la pastura, la alta invasión de arvenses y el daño en las propiedades físicas de los suelos, fenómenos asociados a la estacionalidad de la producción láctea (Pulido, 2005). Además, la aplicación de niveles elevados de fertilización química (por ejemplo, 400 kg de N ha^{-1} $año^{-1}$, (Bernal, 1998)) está asociado con la contaminación de acuíferos y la producción de gases efecto invernadero, desconociendo las dinámicas de los nutrientes en los sistemas de producción. Los programas de evaluación de la respuesta productiva de forrajes ante diferentes protocolos de fertilización se desarrollaron hasta la década de los 70, resultando en recomendaciones para gramíneas de trópico alto colombiano que varían entre 400-600 kg de N ha^{-1} $año^{-1}$, 150-300 kg de P_2O5 ha^{-1} $año^{-1}$ y 200-400 kg de K_2O kg ha^{-1} $año^{-1}$ (Chaverra *et al.*, 1967; Bernal,

1998, ICA; 1992). Sin embargo, no se reportan niveles de fertilización para nuevos esquemas de manejo del pasto Kikuyo (menos edad de rebrote, mayor altura residual) que sean rentables en condiciones ambientales variables.

Es importante comprender que los pastos al ser gramíneas y como toda planta realizan procesos de crecimiento, reproducción y senescencia de acuerdo con la ruta fotosintética (C_3 y C_4) y el hábito de crecimiento (Macollo o estolonifero) (Betancur & Ferrés, 2020). Mediante los puntos de crecimiento o unidades morfológicas básicas que tienen los pastos, conocidos como meristemo, se llevan a cabo los anteriores procesos. Esta, unidad básica da origen a nuevos tejidos y determina el número, tamaño y tipo de funcionamiento de los órganos a producir (Betancur & Ferrés, 2020; Hodgson, 1990). Además, el crecimiento de las pasturas está regulado por variables ambientales y de manejo, como nutrición y pastoreo los cuales afectan la fisiología y producción de tejido nuevo en las plantas (Millot *et al*., 1987; Parsons & Penning, 1988). En este sentido, la morfología de las especies es la relación entre el componente genético y del entorno siendo un aspecto clave el pastoreo, dado que las pasturas evolucionan para adaptarse a la defoliación (Betancur & Ferrés, 2020).

Como se mencionó previamente, la estructura de las plantas sufre modificaciones por efecto de la aplicación de prácticas de manejo, sobre todo por la defoliación causada por los animales o corte de la pastura (Gastal & Lemaire, 2015). Por lo tanto, es necesario describir que el termino morfogénesis reúne los cambios estructurales que se presentan a través del desarrollo de las plantas y de acuerdo con lo definido por Chapman & Lemarie (1993), se pueden definir a partir de los procesos de formación, crecimiento y muerte de los órganos. Dichos procesos son modificados por aspectos ambientales y de manejo, particularmente la defoliación por el pastoreo. Por otra parte, el enfoque ecofisiológico ha permitido generar adelantos para el manejo de pasturas. En este sentido, la ecofisiología como disciplina que relaciona la fisiología vegetal, la climatología y, el suelo, entre otras, permite integrar la incidencia del ambiente, la captura y uso de los recursos con la expresión plástica de las plantas para determinar cómo estos factores afectan la producción y calidad del forraje (Agnusdei, 2013). Por lo tanto, esta disciplina contribuye a la generación de estrategias de manejo que transforman de manera sustentable la

producción de forraje en producto final (leche). De esta manera, es importante reconocer que la respuesta productiva de las pasturas no está sujeta solamente a la aplicación de las diversas prácticas de manejo, es derivada de la adaptación o respuesta a la oferta ambiental sobre la cual se debe ahondar en la generación de conocimiento para especies estoloníferas como el pasto Kikuyo.

Además, la intensidad de defoliación y la fertilización como herramientas de manejo inciden sobre el desarrollo radical de la pastura (Guo *et al.*, 2012; Moot *et al.*, 2021) y afectan la cantidad de C capturado a través de la fotosíntesis y la cantidad disponible para movilizar a raíces y brotes (Chapman *et al*., 2014). De esta manera, en la literatura se ha reportado que una mayor intensidad de defoliación reduce el crecimiento de la biomasa subterránea (2 cm: 169.4 y 15 cm: 309.1 g m^{2-1}) (Guo *et al.*, 2012), lo que está asociado a que posterior a la defoliación la planta moviliza reservas hacia la parte superior para generar yemas que favorezcan el crecimiento de biomasa aérea limitando la disponibilidad de C para generar nuevas raíces (Moot *et al.*, 2021). Por otra parte, la respuesta de la fertilización sobre el desarrollo subterráneo (Radical) de las pasturas no es tan clara, como si lo es para la intensidad de defoliación. En la literatura se ha reportado que el incremento de la fertilización N puede tener un efecto lineal o cuadrático sobre el crecimiento de las raíces de diferentes especies de pasturas (Guertal & Evans, 2006; Snyder & Cisar, 2000; Trenholm *et al.*, 1998). De esta manera, en la literatura se encuentran reportes que al incrementar los niveles de fertilización sobre pasturas de bermudagrass *(Cynodon dactylon)* aumenta la tasa de extensión de las raíces (Wherley *et al*., 2011). Por otra parte, en el pasto Tanzania se ha reportado que al aplicar niveles medios de fertilización (100 kg N ha^{-1}) la biomasa radical aumenta, pero al ampliar la cantidad de fertilización a 150 kg N ha^{-1} se reduce la biomasa radical alrededor de un 32% (Soares Filho *et al*., 2013).

Los nutrientes de la pastura regresan al suelo por medio de los excrementos de los animales y por la hojarasca (Dubeux *et al*., 2007). De esta manera, el forraje que no es consumido por los animales o cosechado, se envejece y se deposita en el suelo, convirtiéndose en reserva de la materia orgánica del suelo (Siquiera da Silva *et al*., 2015).

Por lo tanto, el aporte de nutrientes que proviene de la descomposición de la hojarasca y de las raíces muertas es utilizado para mantener la biota del suelo y el crecimiento de las plantas (Dubeux *et al*., 2006; García-Pausas *et al*., 2012), siendo el recambio de las raíces un componente importante del ciclo del C. Además, las prácticas de manejo (Intensidad de defoliación y fertilización) influyen sobre la cantidad de hojarasca, la concentración de N y la relación C:N. De esta manera, de acuerdo con la literatura el sobrepastoreo disminuye la masa de la hojarasca, que es un indicador de la sostenibilidad de las pasturas (Boddey *et al*., 2004); y al aumentar la carga de 2 a 4 animales por hectárea en pastos de hábito rastrero se disminuye la cantidad de N devuelto al suelo a través de la hojarasca de 170 a 105 kg N ha^{-1} (Boddey *et al*., 2004). Por otra parte, el incremento de la fertilización N (50 a 250 kg N ha^{-1} $año^{-1}$) en pasturas de Tifton 85 aumenta la concentración de N de la hojarasca de 11.5 a 19.2 g kg^{-1}, respectivamente (Liu *et al*., 2011). Sin embargo, la respuesta de la fertilización sobre la relación C:N es controversial, algunos autores han reportado que, al presentarse un déficit de N en el sistema, se incrementa la relación C:N (Heal *et al.*, 1997); pero otros han observado relaciones C:N más bajas (43, 31 y 26) con el incremento del nivel de fertilización (50, 150 y 250 kg N ha^{-1}) (Liu *et al*., 2011). Por último, de acuerdo con Lambers *et al.* (2008) en las pasturas los procesos de mineralización de los nutrientes son favorecidos cuando la relación C:N es menor a 20:1 y los de inmovilización se generan cuando la relación es superior a 30:1.

En esta revisión de literatura se describen particularidades morfológicas y del crecimiento del pasto Kikuyo que hacen que difiera de especies que crecen por macollos. Además, se presenta el efecto de factores ambientales y de manejo como la intensidad de defoliación (altura residual), la fertilización y la carga animal sobre características morfométricas, producción de biomasa, de raíces y composición química del pasto Kikuyo.

1.2 Características morfológicas y de crecimiento del pasto Kikuyo

El pasto Kikuyo es una especie perenne, rastrera (León *et al*., 2018) con tallos horizontales aéreos (estolones) y subterráneos (rizomas) que crece rápidamente (Figura 1-1), con internudos cortos y cilíndricos, protegidos con vainas que se traslapan, brotes o tallos ramificados erectos que alcanzan hasta 60 cm que se producen desde los nudos, las hojas son delgadas (2.5 cm de ancho) y largas (hasta de 25 cm) provistas de pelos (Arango-Gaviria *et al.*, 2019) (Figura 1-2).

Figura 1-1. Estolón (a) y rizoma (b) de una planta de Kikuyo.

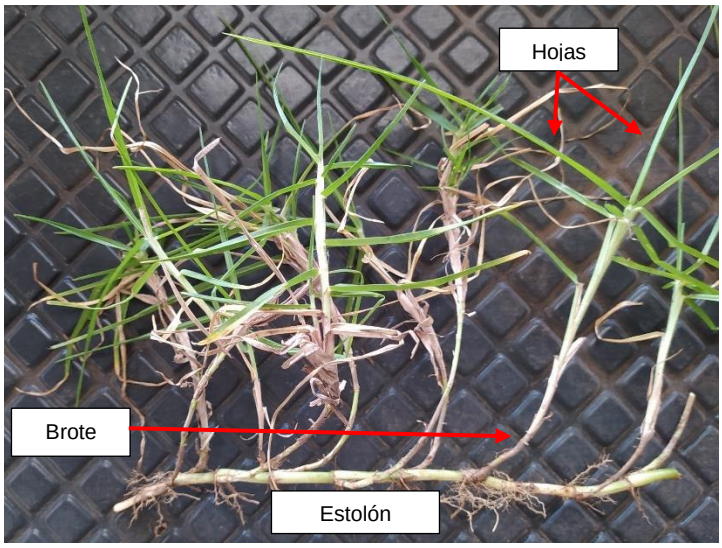


Figura 1-2. Estolón, hojas y brotes de una planta de Kikuyo.

El crecimiento de las plantas es el resultado de los procesos de la fotosíntesis (Fijar CO_2 en compuestos orgánicos) y la respiración (brindar energía para las funciones vitales a partir de la oxidación de carbohidratos; Millot *et al.*, 1987) que conllevan a que la planta acumule biomasa mediante la reserva de nutrientes en las raíces o tallos o movilice nutrientes a tejidos jóvenes para la formación de nuevas hojas y raíces. El tejido vegetal formado por la planta está expuesto a la defoliación, afectando la morfología de la planta, que es el producto del componente genético y la exposición al medio ambiente (Davies, 1988; Parsons & Penning, 1998), por lo que las defoliaciones periódicas son un punto importante en el crecimiento y rebrote de la pastura. En este sentido, al desarrollarse una planta se dan cambios estructurales que están definidos por procesos de formación, expansión y muerte de órganos, los cuales están dados dentro del concepto de morfogénesis, que define a partir de los procesos de formación, crecimiento y senescencia de los órganos los cambios estructurales que presenta un organismo al desarrollarse (Chapman & Lemaire, 1993).

La unidad morfológica básica de una pastura es el fitómero, que está conformado por una hoja (lámina, ligula y vaina), un nudo, entrenudo, un brote axilar y un meristema intercalar (Colabelli *et al*., 1998). Por lo que la unión de varios fitómeros comprende un macollo de la planta (Figura 1-3, A). A pesar de que, las plantas contienen el meristemo apical e

intercalar, el primero se encuentra en la punta del ápice de la raíz y del tallo, mientras que el intercalar está localizado en la base de la hoja y vaina (Vallentine, 2001) (Figura 1-3, B) y en las especies estoloníferas es el que genera nuevos brotes que se consideran secundarios y terciarios (Molina, 2018).

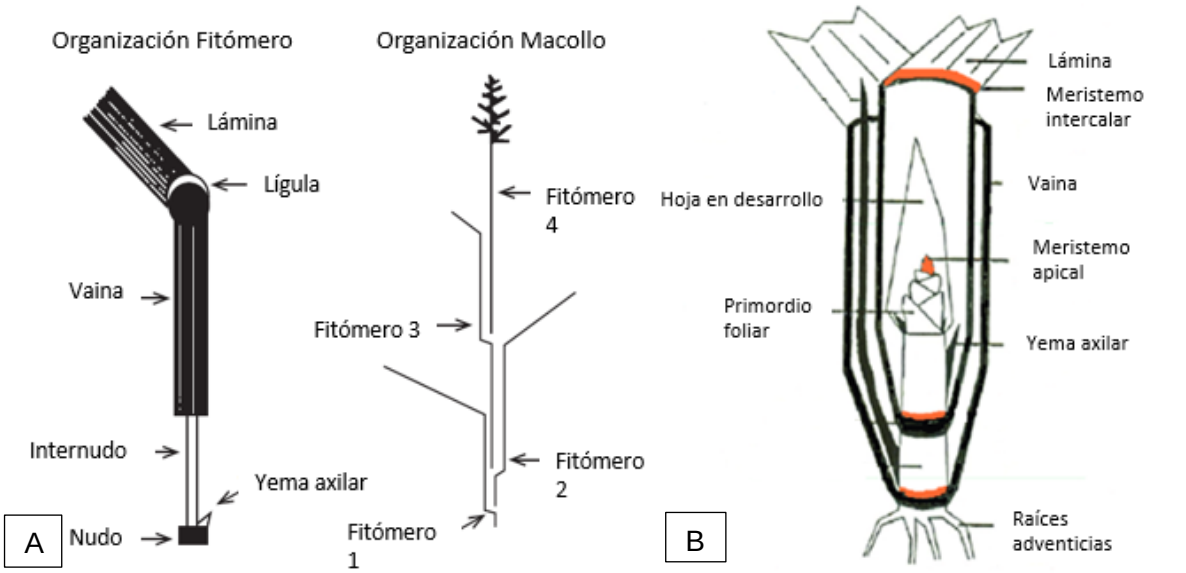


Figura 1-3. A: Organización de un fitómero y un macollo (Tomado y adaptado de Nelson & Moore, 2020). B: Ubicación del meristemos apical e intercalar en un macollo de una gramínea (Tomado y adaptado de Reyes *et al*., 2018).

De acuerdo con Chapman & Lemaire (1993) existe una relación importante entre las condiciones ambientales que influyen sobre las variables morfogenéticas (La tasa de aparición de las hojas, la tasa de elongación foliar y la vida media foliar), y estas a la vez conducen a cambios en la estructura de los macollos durante su crecimiento, modificando variables de la estructura de la pastura (Como el tamaño de las hojas, la densidad de macollos y el número de hojas por macollo) cuyas interacciones determinan la expansión del área foliar de la pastura y con ello la capacidad de capturar energía lumínica para la fotosíntesis y abastecer funciones de crecimiento (Agnusdei, 2013). En la tabla 1-1, se relaciona una descripción de las variables morfogenéticas y estructurales, estas últimas

permiten a la pastura restaurar y mantener el equilibrio interno hasta que alcance un óptimo crecimiento (Lemaire & Chapman, 1996).

Tabla 1.1. Descripción de variables morfogenéticas y estructurales de la pastura.

Tipo característica	Variable	Descripción
Morfogenética	Tasa de aparición de la hoja	Es el momento entre la aparición de una y otra hoja sucesiva en un macollo. Está relacionado con la temperatura ambiental, por lo tanto, puede ser calculado como la suma térmica (que es el producto entre el intervalo en días por la temperatura media diaria del intervalo) denominándose filocrono.
	Tasa de elongación de las hojas	Se define como el incremento en longitud de la lámina verde en un intervalo de tiempo. Esta en función de la longitud de la zona de crecimiento que está en la base de la hoja (Skinner and Nelson, 1995).
	Vida media de la hoja	Lapso transcurrido entre la aparición y el inicio de la senescencia de una hoja. Se puede expresar en días o °C días (Ferri *et al*., 2015).
Estructural	Tamaño de la hoja	Se presenta como la longitud promedio de las hojas, siendo el producto entre la tasa de elongación y el periodo (Duración) de elongación. El tamaño total foliar se determina al multiplicar la longitud foliar promedio por la cantidad de hojas verdes que tiene un macollo.
	Densidad de macollos o tallos	Esta en función del balance entre la generación y muerte de macollos o tallos. Durante el pastoreo se da la remoción de meristemos apicales lo que causa la muerte de los macollos.
	Número de hojas por macollo	El número de hojas se puede estimar mediante el producto entre la vida media foliar por la tasa de aparición foliar. Se supone que el número de hojas por macollo es constante para cada especie (Davies, 1988).

Adaptado de Colabelli *et al*., 1998; Lemaire & Chapman, 1996

Raíces- La interacción entre el suelo y las plantas se da por la presencia de las raíces, que son órganos subterráneos con crecimiento indefinido (Jiménez-Rodríguez & Arias-Aguilar, 2004). Las raíces son la estructura más importante de la planta, que cumplen diferentes funciones como, extraer nutrientes del suelo, servir como órganos de reserva de nutrientes, encargarse de la regulación fisiológica de la planta y fijar carbono (Arnáez & Moreira, 2002;

Morales, 1997). Las funciones de la raíces están asociadas al tejido que las conforman, el tamaño y características morfológicas. De esta manera, las raíces que presentan tejido secundario cumplen funciones de sostén, conducción de nutrientes y fijación de carbono bajo el suelo, por otra parte, las raíces que presentan tejido primario están relacionadas con la absorción de nutrientes y agua (Flores, 1999). Las raíces finas son una estructura dinámica y activa de la planta y son importantes por el almacenamiento de carbono (Burke & Raynal, 1994; Barreto & León, 2005).

La diferenciación entre raíces gruesas y finas es difícil de determinar en pastos estoloníferos, sin embargo, uno de los procedimientos más utilizados es mediante la medición del diámetro de las raíces utilizando como limites superiores 5 y 2 mm respectivamente (Jiménez-Rodríguez & Arias-Aguilar, 2004). La anterior diferenciación, se basa en la superficie de estas dos categorías que presentan trofoblastos que se encargan de la absorción de nutrientes y agua del suelo a la planta (Flores, 1999). Además, la biomasa radical expresa la cantidad de biomasa (gramos o toneladas de materia seca) en una unidad de área determinada en la profundidad de muestreo (g o t m^{2-1}). Por lo tanto, se puede tomar como parámetro para estimar la fijación de carbono en un ecosistema (Morales, 1997).

Asimilación de C en las plantas- Dentro de los procesos fisiológicos y bioquímicos de las plantas es importante comprender que el carbono (C) se une con el oxígeno para formar CO_2, que es absorbido por las plantas a través de los estomas y es transportado a los lugares en donde se lleva a cabo la fotosíntesis. De esta manera, la planta lo que logra fijar es convertido en carbohidratos para luego formar las raíces, tallos y hojas (Martínez *et al*., 2008). Luego de ser defoliada la pastura por los animales el material senescente (Hojas, tallos y raíces) son descompuestos por los microrganismos del suelo y estos tejidos que son ricos en C forman materia orgánica que incorpora el carbono orgánico del suelo (Ibrahim *et al*., 2006).

Dado que el C es el componente principal de los tejidos vegetales, la tasa de acumulación de biomasa en los organismos vegetales está determinada por la tasa de acumulación de C, siendo ésta última influenciada por el contenido de nitrógeno (N) en el tejido vegetal. Por lo tanto, la dinámica de los dos recursos está vinculado para el crecimiento de las plantas (Lemaire & Chapman, 1996). Además, la cantidad de C que fija una planta está asociada a la cantidad de radiación que absorbe para los procesos fotosintéticos. (Lemaire & Chapman, 1996). Por otra parte, cuando las plantas son defoliadas se presentan limitaciones en C por lo que asignan una mayor cantidad de este recurso a los brotes para favorecer la generación de área foliar; por el contrario, cuando hay limitaciones de agua y N se asigna mayor C a las raíces, por lo que los cambios en la relación raíz:brotes reflejan cambios en la partición de C y N (Moot *et al.*, 2021).

1.3 Fertilización

La producción de forrajes en sistemas pastoriles es esencial para suplir los requerimientos de los nutrientes por parte de los rumiantes (Waghorn & Clark, 2004). Sin embargo, el aumento en la productividad animal, el desbalance de nutrientes en el suelo, y la presión ejercida por la urbanización requieren desarrollar estrategias para potenciar la producción de forraje por unidad de área. De esta manera, la fertilización de suelos es considerada una estrategia para incrementar la oferta de biomasa y la calidad nutricional de los forrajes (Bernal, 1998). Los elementos más importantes son el nitrógeno, el fósforo y el potasio, los cuales manifiestan efectos relevantes en el rendimiento y valor nutritivo de los pastos (Kádar & Ragályi, 2012). A pesar de que todos los nutrientes son esenciales para el crecimiento de la planta, se ha dado más relevancia al N. De esta forma, el N es un macromineral que es muy dinámico en el suelo y la planta lo requiere en mayores cantidades para la síntesis de proteína y para mantener la productividad, especialmente en las gramíneas para los rumiantes, pero el uso excesivo puede llegar a tener efectos perjudiciales sobre el ambiente (Viljoen *et al*., 2020).

El pasto Kikuyo es una especie con características invasivas y se desarrolla adecuadamente en diferentes tipos de suelo (D´Antonio & Vitousek, 1992; Giraldo-Cañas,

2013). El efecto de la fertilización nitrogenada sobre la producción de biomasa del pasto Kikuyo presenta resultados contrastantes. García *et al*. (2014) reportaron que la producción de materia seca del pasto Kikuyo incrementó hasta alcanzar valores entre 25 a 30 tMS ha^{-1} $año^{-1}$ con la aplicación de la fertilización nitrogenada. La aplicación de 50 kg N ha^{-1} duplicó la producción de materia seca (Bernal, 1998). Sin embargo, aplicaciones crecientes de nitrógeno (20 a 40 kg N ha^{-1}) no presentaron diferencias en la producción de biomasa (21.7 tMS ha^{-1} $año^{-1}$) (Viljoen *et al*., 2020). Posiblemente, las características edáficas y ambientales, el balance de nutrientes y el estado fenológico de la pastura, explique las diferencias entre estudios. Por otro lado, la fertilización fosfatada tiene un efecto sobre la producción de biomasa, es así como en pasturas de *Brachiaria humidicola* al aplicar dosis de 100 kg P_2O_5 ha^{-1} se incrementa un 43% el rendimiento de materias seca (Romero & Márquez, 2002), y para incrementar la respuesta productiva del pasto Kikuyo se recomiendan niveles entre 14 a 20 kg ha^{-1} P y 40 a 65 kg ha^{-1} K dependiendo de la calidad del suelo (Holliday, 2007).

Una característica morfológica de las plantas es la tasa de elongación de las hojas, que en pasto Kikuyo permite mejorar la relación forraje vivo y muerto y la altura sin disturbar, lo cual permitiría reducir el periodo de descanso de la pradera (Acero-Camelo *et al*., 2020). En este mismo sentido, usando un modelo de simulación, Herrero (2000b) sugiere que el número de hojas en un estolón requeridas para alcanzar una adecuada biomasa para la defoliación es mucho mayor cuando no se fertiliza que cuando se usan 100 kg de N ha^{-1} (4 a 6 hojas). Además, la literatura reporta que la fertilización nitrogenada mejora la relación hoja:tallo del forraje (Fernandes *et al.*, 2017; Pastrana *et al*., 2011; Salvador *et al.*, 2016). Sin embargo, el efecto del N sobre este parámetro parece depender del hábito de crecimiento de las pasturas (Estolonifero vs macolla) (Cruz & Boval, 2000), ya que en el caso del pasto Kikuyo, los reportes de la literatura no permiten hacer ninguna conclusión porque, en condiciones de invernadero, Acero-Camelo *et al.* (2020) encontraron que la relación hoja:tallo fue constante, sin importar la edad de cosecha y no fue influenciada por la fertilización con nitrógeno. Mientras que Fulkerson *et al.* (2010), sugieren que un menor número de hojas por estolón mejora la relación hoja:tallo y recomiendan utilizar dosis de nitrógeno entre 150 a 200 kg N ha^{-1}. En especies estoloníferas la magnitud de la respuesta

al nitrógeno en la aparición de hojas es mayor que en especies cespitosas ya que el N provoca la elongación del estolón lo que además causa la elongación de los entrenudos y por ende la separación de una hoja en relación con la precedente (Cruz & Boval, 2000).

Respecto a la respuesta de la fertilización sobre la composición química del pasto Kikuyo, varios autores coinciden en que la aplicación de fertilización nitrogenada aumenta el contenido de proteína cruda del forraje (Bernal, 1998; Fulkerson *et al*., 2010; Mejía *et al*., 2014; Viljoen *et al*., 2020). Así mismo, Acero-Camelo *et al.* (2020), reportaron que la fertilización con nitrógeno mejora la calidad de la pastura, aumentando el contenido de PC y disminuyendo la concentración de lignina en hojas y el contenido de FDN y FDA en hojas y tallos.

En general, la producción de biomasa del pasto Kikuyo presenta una respuesta positiva a la aplicación de niveles crecientes de nitrógeno, modificando la morfología y la composición química de la planta. En este sentido, la aplicación de nitrógeno incrementa la longitud de las hojas y la relación hoja:tallo. Además, la concentración de proteína cruda aumenta y la de fibra disminuye cuando se aplica fertilización nitrogenada. Estos resultados sugieren que el Kikuyo que es fertilizado con nitrógeno puede ser pastoreado en edades más tempranas y presenta una mejor calidad nutricional, sin embargo, se desconocen las dosis o momentos de aplicación que optimizan su productividad.

Por otra parte, el manejo (Fertilización) realizado sobre la pastura tiene una incidencia sobre el desarrollo radical (Guo *et al.*, 2012; Moot *et al.*, 2021). La fertilización con nitrógeno estimula la actividad y síntesis de enzimas encargadas de fijar CO_2 (fosfoenolpiruvato carboxilasa en plantas C4) lo que causa que se dé un aumento en la eficiencia de captura de CO_2 atmosférico (Gurgel *et al*., 2020). Por otra parte, Jacques citado por Dodd *et al*. (2011) sugieren que la aplicación de fertilizantes en la superficie del suelo disminuye la asignación de recursos para el crecimiento y mayor exploración de las raíces a mayor profundidad del suelo (> 300 mm). Es decir, que cuando se fertiliza el crecimiento de las raíces es menor, dado que no deben explorar a mayor profundidad en busca de nutrientes.

Así mismo, Soares Filho *et al*. (2013), observaron una tendencia de la biomasa de raíces de pasto Tanzania la cual aumento con dosis de N de 100 kg N ha^{-1} (1.81 kg m^{3-1}) pero luego disminuyó (1.23 kg m^{3-1}) con dosis de 150 kg N ha^{-1}. Además, la fertilización fosfatada tiene un efecto sobre el crecimiento y distribución de las raíces, se ha encontrado que en suelos fertilizados con P cerca del 80% de la masa radical en cultivos de alfalfa se encuentra en los primeros 50 cm de profundidad, lo que genera mayor resistencia a la sequía (Sanderson & Jones, 1993).

1.4 Altura residual (post-defoliación)

La defoliación es el proceso de remoción parcial o total de la parte aérea de las plantas y es definido principalmente por la intensidad (Gastal & Lemaire, 2015). La intensidad de defoliación se refiere a la proporción de la planta que es extraída y se indica como la altura o la cantidad de forraje remanente posterior al corte (Ferri *et al*., 2015). La altura residual o la altura de la pradera posterior a la defoliación (Corte o pastoreo) inciden en la recuperación y productividad de las pasturas (Fulkerson & Michell, 1987).

El estolón del Kikuyo genera varios puntos de crecimiento y sus reservas estructurales se encuentran a nivel del suelo, lo que le permite tolerar alturas de defoliación muy bajas (Bernal & Espinosa, 2003). En países como Australia, Fulkerson *et al*. (1999) han reportado que el rendimiento de biomasa anual de pasto Kikuyo es afectado por la altura residual de la pradera. Donde, alturas residuales menores (3 cm) generan rebrotes con una mayor producción de material vivo, con mayores proporciones de hojas que de tallos comparado con alturas de 12 cm. Por otra parte, al revisar el efecto de la altura de defoliación, Molina (2018) reportó que la producción de MS total, la MS útil y la cantidad de material muerto fue menor ($P<0.05$), aumentó la densidad de brotes, pero la cantidad de hojas y tallos no varió para la altura de defoliación de 5 cm respecto a 10 y 15 cm.

La concentración de almidón y de carbohidratos solubles son afectadas por la altura residual. En ese sentido, Fulkerson *et al.* (1999) reportan que con alturas de 12 cm se acumula 30% más de estos carbohidratos, comparado con una altura de 3 cm. Así mismo, Molina (2018), reportó que el contenido de FDN y FDA fue mayor para la pastura con altura residual de 5 cm, respecto a 10 y 15 cm, pero no encontró diferencias en el contenido de PC y DIVMS de las alturas evaluadas. Contrariamente Fonseca *et al*., (2016) reportaron que a una altura residual de 5 cm los contenidos de fibras (FDN y FDA) no variaron con las frecuencias de defoliación evaluadas, pero el contenido de proteína cruda presentó una interacción con las frecuencias de defoliación de 3, 4, 5 y 6 hojas.

Carga animal- La carga animal es una de las variables más importante en el manejo de las pasturas y se determina como la relación entre la biomasa animal (Número de animales) y la unidad de superficie (Normalmente expresada en hectáreas); su efecto se da a través de los cambios que se producen en la disponibilidad y consumo de los pastos con una marcada influencia sobre la estructura, la tasa de crecimiento, la persistencia de la pastura, la disponibilidad de forraje, y la respuesta animal (Chacón, 2013). En algunos trabajos, se utiliza el termino intensidad de pastoreo que se refiere a la cantidad de material residual después del pastoreo, nivel de oferta del pasto y cantidad de animales que pastan durante una ocupación a la pastura, dado por la relación que tienen estos con el grado de intensidad con que se defolian las pasturas y la capacidad de rebrote de las plantas. Por lo tanto, el incremento de la intensidad de pastoreo disminuye el área foliar, el crecimiento de la pastura y una mayor movilización de las reservas (Del Pozo, 2002).

En otros estudios, Fales *et al*. (1995) con pasturas de *Dactylis glomerata* y *Poa pratensis* manejados con tres intensidades de pastoreo (39, 49 y 53 animales día^{-1} ha^{-1}) reportaron un efecto positivo sobre la tasa de crecimiento y la calidad, asociado a una reducción de la cantidad de material muerto y área rechazada durante el pastoreo de los animales al incrementar la intensidad de pastoreo en estas pasturas. Además, en *Cynodon nlemfuensis* se registró un mayor rendimiento de biomasa cuando se aumentó la intensidad de pastoreo de 150 a 450 UG día^{-1} ha^{-1} (Gonzáles & Yanes, 1995). Sin embargo, el efecto que tiene la defoliación sobre el crecimiento y estructura de la pastura debe ser

reestablecido por la capacidad fotosintética del pasto en sus hojas remanentes y en el crecimiento después del pastoreo (Lemaire & Chapman, 1996).

De esta manera, el pasto Kikuyo por su hábito de crecimiento estolonifero, con tallos modificados por encima y debajo del suelo (Estolones y rizomas, respectivamente) le permite producir una densa cobertura en la pastura que lo protege contra el estrés por sobrepastoreo (Cransberg, 1995). A pesar de esto, en la literatura no se encuentra un consenso acerca de cuál es la carga animal recomendada para manejar una pastura de Kikuyo que permita un adecuado crecimiento y persistencia. De esta manera, algunos autores recomiendan que al fertilizar con nitrógeno es necesario aumentar la carga animal para mantener el índice de área foliar de la pastura, lo que determina aumento en el consumo de forraje y en la frecuencia entre defoliaciones y se reduce las pérdidas por senescencia (Mazzanti & Lemaire, 1994). Sin embargo, Sprivulis (1978) recomienda una carga de 5.5 vacas ha^{-1} para pasturas de solo Kikuyo y Fulkerson *et al.* (2010) indican que cuando el pasto Kikuyo produce alrededor de 80 kg MS ha^{-1} $día^{-1}$ es posible manejar cargas de 7 u 8 vacas ha^{-1}; pero bajo condiciones de época seca recomiendan cargas más bajas entre 2 a 4 vacas ha^{-1}.

Por otra parte, en la literatura se ha reportado que el manejo (intensidad de defoliación) realizado sobre la pastura tiene una incidencia sobre el desarrollo radical (Arredondo & Johnson, 1998; Guo *et al.*, 2012; Moot *et al.*, 2021). De esta forma, al evaluar dos intensidades de defoliación menor y mayor, que corresponden a 1800 y 800 kg MS ha^{-1} de biomasa residual en pasturas raigrás *(Lolium perenne* L.*)*, se ha encontrado que el pastoreo severo causó una reducción en el crecimiento de las raíces y una disminución del 10% en la masa total; sin embargo, no se presentó cambios en la distribución de la profundidad de las raíces. (Matthew *et al*., 1991). Así mismo, en las estepas semiáridas al norte de China en donde predominan pasturas de *L. chinensis*, al evaluar cuatro intensidades de defoliación a 2, 5, 10 y 15 cm se encontró que, la biomasa radical al defoliar a 10 y 15 cm fue menor (222.9 y 169.4 g m^{2-1}, respectivamente) que cuando se hizo a 2 y 5 cm (349.5 y 309.1 g $m^{2-1,}$ respectivamente). Además, se ha reportado que con una intensidad de defoliación mayor (2 cm) la biomasa de los rizomas disminuyó de 40 a 7% a

profundidades del suelo de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm, respectivamente (Guo *et al*., 2012), por lo que si la defoliación es muy intensa se reduce la resiliencia de la pastura y se limita la disponibilidad de C para generar nuevas raíces (Moot *et al.*, 2021).

1.5 Frecuencia de defoliación

La defoliación de las plantas es también afectada por la frecuencia (Gastal & Lemaire, 2015), que corresponde al número de remociones parciales o totales de la biomasa área por unidad de tiempo de un área de la pastura (Ferri *et al*., 2015). Se han desarrollado trabajos con pasto Kikuyo para determinar el momento óptimo de cosecha (Acero-Camelo *et al*., 2020; Fulkerson *et al*.; 1999; Herrero, 2000b) al respecto, Fulkerson *et al*. (1999), reportó que se debe pastorear el Kikuyo cuando registre entre 3 y 4 hojas por brote en época de primavera y verano y entre 5 y 6 hojas en el periodo de otoño-invierno. En otro trabajo, Fulkerson *et al.* (2010), reportaron que cuando esta pastura tiene 4,5 hojas provee una mayor proporción de hojas y una mayor calidad nutricional. Así mismo, Fonseca *et al.* (2016), reportaron que la utilización de esta gramínea se debe realizar en un rango entre 4, 5 y 6 hojas por brote, momento en que se da una mayor relación hoja:tallo y un rendimiento de biomasa de 2322 y 2859 kg ha^{-1}. Por último, Escobar *et al*. (2020), reportaron que, de acuerdo con la altitud sobre el nivel del mar, los momentos adecuados de cosecha del Kikuyo son entre 4 a 5 hojas a 2500 m.s.n.m. y de 6 hojas a 2900 m.s.n.m.

1.6 Ambiente

Las pasturas sufren modificaciones o cambios en su morfología, rendimiento y calidad cuando se presentan variaciones en las condiciones climáticas (Del Pozo, 2002). El crecimiento y desarrollo de las pasturas está controlado principalmente por la temperatura, la disponibilidad de agua y la luz solar (Colabelli *et al.*, 1998).

Efecto de la temperatura

Los procesos de síntesis, transporte y degradación de las sustancias de las plantas que están vinculados a reacciones bioquímicas y fisiológicas se ven influenciados por la temperatura (Del Pozo, 2002). De esta manera, la temperatura se considera el factor principal que controla la velocidad de los procesos morfogenéticos y la oferta del sistema de asimilación, siendo proporcional al incremento de temperatura (Colabelli *et at*., 1998), lo que determina la tasa de crecimiento de la biomasa aérea (Guillet *et al*., 1984). Por lo tanto, altas temperaturas ocasionan una rápida expansión en un tiempo más corto, con una mayor longitud final, mayor longitud respecto al ancho y por ende mayor área de lámina (Robson *et al*., 1988). Además, se han reportado diferentes valores mínimos de temperatura ambiental a la cual las pasturas detienen su emergencia y crecimiento, de esta forma se ha definido una temperatura de 4 °C en pastos templados (Moot *et al*., 2000), en cultivares de *Panicum* spp. entre 7 a 15 °C (Moreno *et al*., 2014), para el pasto *Cynodon dactylon* de 15°C (Giolo *et al*., 2021) y, en el caso de pasto Kikuyo bajo condiciones ambientales de Colombia Acero *et al*. (2021) reportaron una temperatura base de 4 °C.

Sin embargo, la tasa de expansión está regulada por el uso de los asimilados de C y N, que como se mencionó anteriormente está determinado por la temperatura (Colabelli *et at*., 1998). Entonces, los meristemos foliares demandan estos asimilados para obtener energía y material para el tejido foliar en expansión, de tal forma, que cuando la cantidad de asimilados es alta se da el potencial máximo de crecimiento determinado por la temperatura, y el excedente de asimilados puede ser almacenado como reservas de carbohidratos por la planta (Lemaire & Agnusdei, 1999).

Por otro lado, la tasa de aparición de las hojas en especies C4 presenta una respuesta lineal con la temperatura con un umbral mínimo entre 8 y 9 °C; pero para la tasa de elongación, la respuesta encontrada ha sido exponencial entre un rango de temperatura de 12 a 20 °C (Lemaire & Agnusdei, 1999).

El impacto de la temperatura ambiental diaria sobre el crecimiento y aparición de las hojas es importante dado que con el incremento de las temperaturas se acelera la velocidad de aparición de las hojas, pero el tiempo de senescencia se acorta (vida media de las hojas), lo que lleva a que el recambio de tejido se acelere, acumulando forraje vivo en un macollo hasta que las hojas que senescen o mueren alcancen un tamaño igual al de las hojas nuevas (Colabelli *et al*., 1998).

Efecto del agua (precipitación)

Las medidas fisiológicas de las hojas (nivel de fotosíntesis y eficiencia de uso del agua) son afectadas principalmente por la precipitación (Brown. 1995; Connor & Hawkens, 2018). Es así como, la disminución de la disponibilidad del agua causa en las plantas una reducción en la expansión foliar, esto se traduce en una disminución de la elongación de las hojas (Munns *et al.*, 2000). Además, la deficiencia hídrica genera una disminución en la cantidad de macollos, en el número de hojas vivas por macollo, lo que aumenta la senescencia de la planta y causa que la vida media de las hojas sea más corta y las pasturas sean menos densas (Colabelli *et al*., 1998). De esta manera, la reducción en la cantidad de agua disponible para la pastura incide sobre el desarrollo del índice de área foliar de las plantas que la conforman, presentándose una reducción en la tasa de crecimiento debido a que se intercepta una menor cantidad de energía lumínica (Colabelli *et al*., 1998).

Por otro lado, como consecuencia de la baja disponibilidad hídrica se reduce la expansión del componente aéreo de la planta, debido a que se presenta un menor suministro de carbono hacia este componente de la planta. Sin embargo, se incrementa la distribución de carbono y nitrógeno hacia un mayor desarrollo radical , buscando explorar mayor área de suelo en búsqueda de agua (Nabinger, 1998). Contrario a esto, cuando hay un exceso de precipitación se causa anoxia en las raíces de las plantas afectando la respiración aeróbica y la absorción de minerales y agua (Pirela, 2005).

El pasto Kikuyo cuenta con una ventaja en el momento que se presenta una disminución de la disponibilidad de agua en el ambiente, se trata de su desarrollado sistema radical que le permite aprovechar de mejor manera el agua del suelo respecto a otras gramíneas (Marais, 2001; Neal *et al*., 2011). De esta manera, se ha reportado que el pasto Kikuyo requiere entre 600 a 800 ml de agua para producir un gramo de materia seca (García *et al*., 2008) y durante la época seca la eficiencia de uso del agua del pasto Kikuyo es el doble de alta comparado con el raigrás, ya que el primero produce 410 MJ EM vs 160 MJ EM mm^{-1} de agua (Fulkerson *et al.*, 2010) posiblemente por su sistema radical (estolonifero) que le permite una mejor exploración del suelo. A pesar de esto, es importante indicar que bajo periodos largos de sequía la producción del pasto Kikuyo se ve disminuida entre un 59.8 a 74.0% (Avellaneda-Avellaneda *et al*., 2020; Neal *et al*., 2011).

Efecto brillo solar

Por otra parte, el brillo solar (duración del periodo luminoso) es un elemento ambiental que está asociado a patrones de distribución de las lluvias y se relaciona con la síntesis de metabolitos para el crecimiento de las plantas y con cambios morfológicos en los pastos a medida que estos se desarrollan (Herrera, 2020; del Pozo, 2002). A pesar de que afecta la tasa fotosintética de las plantas, la restricción de la luz al pasto puede ocasionar cambios en los patrones de crecimiento y en la estructura de la pastura (Lopes *et al.*, 2017); pero según lo reportado por algunos autores, en condiciones de trópico pareciera que no es un factor determinante para explicar diferencias en el desarrollo y productividad de los pastos dado que la relación entre el rojo lejano y rojo cercano es más débil (Acero, 2019; Blanco-Váldes, 2019; Herrero *et al*., 2000a). De esta manera, bajo condiciones del trópico la variación de la radiación solar es pequeña y el 58% logra penetrar a la tierra, lo que se traduce en una ventaja para el crecimiento de las pasturas (Bernal & Espinosa, 2003).

Es importante mencionar que la radiación solar influye sobre procesos metabólicos que generan cambios en la composición química; por lo tanto, un aumento en la intensidad de la luz facilita la acumulación de carbohidratos solubles en la planta (Del Pozo, 2002).

1.7 Conclusiones

El pasto Kikuyo al ser una especie estolonifera, presenta pasturas densas con numerosos estolones y rizomas, acumula gran cantidad de carbohidratos no estructurales a nivel del suelo y tiene un desarrollado sistema radical que puede tolerar altas intensidades de defoliación.

El pasto Kikuyo es una especie que responde de forma positiva a la intensidad de defoliación y a la fertilización nitrogenada, generando ventajas en su estructura, producción de biomasa y calidad química. De esta manera, con mayores intensidades de defoliación la pastura de Kikuyo aumenta la densidad de brotes y aumenta la producción de biomasa de las plantas. La fertilización causa un efecto positivo sobre la elongación de las hojas, altura de las plantas y contenido de PC y digestibilidad. Sin embargo, se recomienda la aplicación de fuentes de P y K y buena disponibilidad de agua en el suelo.

El componente radical de las pasturas y en este caso del pasto kikuyo es susceptible a cambios en su desarrollo por efecto de la intensidad de defoliación y fertilización que modifica su biomasa y estructura. Una mayor intensidad de defoliación disminuye el crecimiento de las estructuras subterráneas. Sin embargo, la respuesta de la fertilización reportada en la literatura es controversial, ya que hay hallazgos de que la fertilización N tiene efectos positivos y negativos sobre la biomasa radical y aspectos morfométricos de las estructuras que conforman las raíces de las pasturas.

La oferta ambiental influye sobre el crecimiento y aspectos fisiológicos de las pasturas. De esta manera, la temperatura tiene un efecto positivo sobre la aparición de las hojas y tamaño de las plantas. El déficit de precipitación repercute en la elongación de las hojas y disminuye el crecimiento de las plantas que conforman una pradera.

1.8 Referencias bibliográficas

Acero, RA. 2019. Aspectos ambientales y de manejo que determinan el crecimiento del kikuyo *(Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone) en la Provincia de Ubaté. Tesis de Doctorado. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Acero-Camelo, A., Pabón, ML., Fischer, G., & Carulla, JE. 2020. Optimum harvest time for Kikuyu Grass *(Cenchrus clandestinus)* according to the number of leaves per tiller and nitrogen fertilization. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellin, 73(3):9243-9253 doi:10.1546/rfnam.v73n3.82257

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

Agnusdei, MG. 2013. Rol de la ecofisiología en el diseño de manejos especializados de pasturas. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, 21(1):63-78

Arango-Gaviria, J., Echeverri-Zuluaga, J., & López-Herrera, A. 2019. Diversity Kikuyu Grass (*Cenchrus clandestinus*): A review. Respuestas, 24(2):81-88

Arnáez, E., Moreira, I. 2002. Metodologías para el estudio de raíces. Cartago. CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Biología. 22 p. (Serie de lecturas complementarias No. 9).

Arredondo, JT., & Johnson, DA. 1998. Clipping effects on root architecture and morphology of 3 range grasses. Journal of Range Management, 51(2):207-214

Avellaneda-Avellaneda, Y., Mancipe-Muñoz, EA., & Vargas-Martínez, J de J. 2020. Efecto de la edad de rebrote sobre el desarrollo morfológico y la composición química del pasto Kikuyo (Cenchrus clandestinus) en el trópico alto colombiano. Rev. CES Med. Zootec., 15(2):23-37.

Barreto, L., & León, J. 2005. Masa total y contenido de nutrientes en raíces finas de ecosistemas forestales (*Pinus patula Schltdl* y *Cham*, *Cupressus lusitánica Mil* y *Quercus humboldtii* Bonpl.) de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. Facultad Nacional de Agronomía, 58(2):2907-2929.

Bernal, J. 1998. Capitulo VII: Pastos mejorados. Guerrero R, (Ed). Fertilización de cultivos en clima frío. (278-328). Santafé de Bogotá, Monómeros Colombo Venezolanos S.A. ISBN: 958-96408-0-X

Bernal, J., & Espinosa, J. 2003. Manual de nutrición y fertilización de pastos. Quito, Ecuador. International Plant Nutrition Institute. 94p.

Betancur, D., & Ferrés, L. 2020. Evaluación del efecto residual de la fertilización nitrogenada de campo natural en el periodo otoño-invernal bajo pastoreo vacuno. Tesis. Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica. Montevideo, Uruguay. p. 138.

Blanco-Váldes Y. 2019. Importancia de la calidad de la luz entre las plantas arvenses-cultivo. Cultivos tropicales 40(4):e09.

Boddey, RM., Macedo, R., Tarre, RM., Ferreira, E., Oliveira, OC., Rezende, CP., *et al*. 2004. Nitrogen cycling in Brachiaria pastures: The key to understanding the process of pasture decline. Agric. Ecosyst. Environ., 103:389–403. doi:10.1016/j.agee.2003.12.010

Brown, RW. 1995. The water relations of range plants: adaptions to water deficits. In: Bedunah DJ, Sosebbe R, eds. Wildland plants: physiological ecology and developmental morphology. Denver, Colorado, Society for Range Management. pp. 291-413.

Burke, M., & Raynal., D. 1994. Fine root growth phenology, production, and turnover in a northern hardwood forest ecosystem. Plant and soil, 162(1):135-146

Carvalho, PCF. (eds.). Grassland ecophysiology and grazing ecology. Cabi Wallingford, London, UK. p. 151-168

Chacón, EA. 2013. Principios de manejo y utilización de pasturas tropicales para la producción de leche y carne a pastoreo. En: Manejo de Pastos y Forrajes Tropicales. Cuadernos Científicos Girarz 13. Ed. Perozo Bravo A. Fundación Girarz. Ediciones Astro Data S.A. Maracaibo, Venezuela. pp. 21-32.

Chapman, D., McCarthy, S., & Kay, J. 2014. Hidden dollars in grazing management: Getting the most profit from your pastures. Proceedings of the 2014 SIDE Conference: 21-36.

Chapman, DF., & Lemaire, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: International Grassland Congress (17th., 1993, Palmerston) Proceedings. Wellington, SIR. pp. 95-104.

Chaverra, G., Dávila, S., Villamizar, R., & Bernal, J. 1967. El cultivo de los pastos en la Sabana de Bogotá. ICA. Bogotá, Colombia.

Colabelli, M., Agnusdei, M., Mazzanti, A., & Labreveux, M. 1998. El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. INTA. Boletin Técnico No. 148. 21 p.

Connor, EW., & Hawkes, CV. 2018. Effects of extreme changes in precipitation on the physiology of C4 grasses. Oecologia, 188:355-365 https://doi.org/10.1007/s00442-018-4212-5

Cransberg, L. 1995. Kikuyu the forgotten pasture?. Farm note No. 11/95. Department of Agriculture. Western, Australia.

Cruz, P., & Boval, M. 2000. Effect of nitrogen on some morphogenetic traits of temperate and tropical perennial forage grasses. Chapter 8. In: Grassland Ecophysiology and grazing Ecology. Edited by Lemaire, G., Hodgson, J., Moraes, A., Nabinger, C., Carvalho, PC. New York, USA. CABI International.

D´Antonio, CM., & Vitousek, PM. 1992. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. Annu. Rev. Ecol. Syst., 23:63-87

Del Pozo, PP. 2002. Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. Pastos: Revista de la Sociedad Española para el estudio de los pastos, 32(2):109-137.

Dodd, MB., Crush, JR., Mackay, AD., & Barker, DJ. 2011. The “root” to more soil carbon under pastures. Proceedings of the New Zealand Grassland Association, 73:43-50.

Dubeux, JCB., Sollenberger, LE., Interrante, SM., Vendramini, JMB., & Stewart, RL. 2006. Litter decomposition and mineralization in Bahiagrass pastures managed at different intensities. Crop Sci., 46:1305–1310. doi:10.2135/cropsci2005.08-0263

Dubeux, JCB., Sollenberger, LE., Mathews, BW., Scholberg, JM., & Santos, HQ. 2007. Nutrient cycling in warm-climate grasslands. Crop Sci., 47:915–928. doi:10.2135/cropsci2006.09.0581

Escobar-Charry, MA., Cárdenas, EA., & Carulla, JE. 2020. Effect of altitude and defoliation frequency in the quality and growth of kikuyu grass (Cenchrus clandestinus). Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín, 73(1):9121-9130 doi: 10.15446/rfnam.v73n1.77330

Fales, SL., Muller, LD., Ford, SA., O´Sallivan, M., Hoover, RJ., Holden, LA., Lanyon, LE., & Buckmaster, DR. 1995. Stocking rate affects production and profitability in a rotationally grazed Pasture System. Journal Production Agriculture, 8(1):88-96.

Fernandes Rodrigues, L., dos Santos, A., Silveira Junior, O., & Donizetti dos Santos, JG. 2017. Productivity of Urochloa brizantha “Marandú” influenced by strategic rest periods and nitrogen levels. Semina: Ciências Agrárias, 38(5):3203-3213 [fecha de Consulta 31 de

octubre de 2020]. ISSN: 1676-546X. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4457/445753229031

Ferri, CM., Sáenz, AM., & Jouve, VV. 2015. Términos de uso frecuente en producción y utilización de pasturas. Semiárida Rev. Fac. Agron. UNLPam, 25(1): 41-61

Fonseca, C., Balocchi, O., Keim, JP., & Rodriguez, C. 2016. Efecto de la frecuencia de la defoliación en el rendimiento y composicion nutricional de *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. Agro Sur, 44(3): 67-76 doi:10.4206/agrosur.2016.v44n3-07

Flores, E. 1999. La planta, estructura y función. Cartago, Costa Rica: Asociación de Editoriales Universitarias de América Latina y el Caribe. ISBN: 978-9968-801-02-7. 884 p.

Fulkerson, WJ., & Michell, PJ. 1987. The effect of height and frequency of mowing on the yield and composition of perennial ryegrass, white clover swards in the autumn to spring period. Grass and Forage Science, 42(2):169-174 https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1987.tb02104.x

Fulkerson, WJ., Slack, K., & Havilah, E. 1999. The effect of defoliation Interval and height on growth and herbage quality of Kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*). Tropical Grasslands, 33:138-145.

Fulkerson, B., Griffiths, N., Sinclair, K., & Beale, P. 2010. Primefact 1068, Milk production from Kikuyu grass based pastures. Forage for milk production. Industry & Investment NSW. Disponible en: https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0012/359949/Milk-production-from-kikuyu-grass-based-pastures.pdf

García, SC., Islam, MR., Clark, CEF., & Martin, PM. 2014. Kikuyu-based pasture for dairy production: a review. Crop and Pasture Science, 65: 787-797.

García, SC., Fulkerson, WJ., & Brookes, SU. 2008. Dry matter production, nutritive value and efficiency of nutrient utilization of a complementary forage rotation compared to a grass

pasture system. Grass and Forage Science, 63:284-300. Doi:10.1111/j.1365-2494.2008.00636.x

Garcia-Pausas, J., Casals, P., Rovira, P., Vallecillo, S., Sebastiá, MT., & Romanya, J. 2012. Decomposition of labelled roots and root-C and-N allocation between soil fractions in mountain grasslands. Soil Biol. Biochem., 49:61–69. doi:10.1016/j.soilbio.2012.02.015

Gastal, F., & Lemaire, G. 2015. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilisation in pasture: Review of the underlying ecophysiological processes. Agriculture, 5:1146-1171. doi:10.3390/agriculture5041146

Giolo M., Sallenave R., Pornaro C., Velasco-Cruz C., Macolino S., Leinauer B. 2021. Base temperatures affect accuracy of growing degree day model to predict emergence of bermudagrasses. Agronomy Journal 113(3):2960-2966. doi:10.1002/agj2.20660

Giraldo-Cañas, D. 2013. Las gramíneas en Colombia: riqueza, distribución, endemismo, invasión , migración, usos y taxonomías populares. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales. p. 382.

González, B., & Yanes, O. 1995. Efecto de la presión de pastoreo y fraccionamiento del nitrógeno sobre el rendimiento y el valor nutritivo de la materia seca del pasto estrella *(Cynodon nlemfuensis)* en la época húmeda. Revista Facultad de Agronomía *(Luz)*, 12:353-363.

Guertal, EA., & Evans, DL. 2006. Nitrogen rate and mowing height effects on TifEagle bermudagrass establishment. Crop Sci., 46:1772–1778. doi:10.2135/cropsci2006.01-0006

Guillet, M., Lemaire, G., & Gosse, G. 1984. Essai d´élaboration d´un schema global de la croissance des graminées fourragéres. Agronomie, 4(1):75-82.

Guo, YJ., Han, L., Li, GD., Han, JG., Wang, GL., Li, ZY., & Wilson, B. 2012. The effects of defoliation on plant community, root biomass and nutrient allocation and soil chemical properties on semi-arid steppes in northern China. Journal of Arid Environments, 78:128-134.

Gurgel, ALC., Difante G dos, S., Montagner, DB., de Araujo, AR., Días, AM., Santana, JCS., Rodrigues, JG., & Pereira, M de G. 2020. Nitrogen fertilisation in tropical pastures: What are the impacts of this practice? Australian Journal of Crop Science, 14(6):978-984. https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.339455489008340

Heal, OW., Anderson, JM., & Swift, MJ. 1997. Plant litter quality and decomposition: An historical overview. In: G. Cadisch, and K.E. Giller, editors, Driven by nature: Plant litter quality and decomposition. CAB Int., Wallingford, England. p. 3–30.

Herrero, M., Fawcett, RH., & Dent, JB. 2000b. Modelling the growth and utilisation of kikuyu grass *(Pennisetum clandestinum)* under grazing. 2. Model validation and analysis of management practices. Agricultural Systems, 65(2): 99-111

Herrera, RS. 2020. Relación entre los elementos climáticos y el comportamiento de los pastos y forrajes en Cuba. Avances en Investigación Agropecuaria, 24(2):23-38

Herrero, M., Fawcett, RH., Silveira, V., Busqué, J., Bernués, A., & Dent, JB. 2000a. Modelling the growth and utilisation of Kikuyu grass *(Pennisetum clandestinum)* under grazing. 1. Model definition and parameterization. Agricultural Systems, 65: 73-97

Hodgson, J. 1990. Grazing management: Science into practice. London, Longman. p. 203.

Holliday, J. 2007. Management of Kikuyu *(Pennisetum clandestinum)* for improved dairy production. Doctoral thesis Doctoral. Faculty of Science and Agriculture. University of Kwazulu-Natal. Pietermaritzburg, Sudáfrica.

Ibrahim, M., Mora, J., & Rosales, M. 2006. Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales: memorias de una conferencia electrónica realizada entre septiembre y diciembre de 2001. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Instituto Agropecuario Colombiano - ICA. 1992. Fertilización en diversos cultivos: quinta aproximación. Produmedios. Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12324/14124

Jiménez-Rodríguez, C., & Arias-Aguilar, D. 2004. Distribución de la biomasa y densidad de raíces finas en un gradiente sucesional de bosques en la Zona Norte de Costa Rica. Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 1(2):44-63

Kádar, I., & Ragályi, P. 2012. Mineral fertilization and grass productivity in a long-term field experiment. Archives of Agronomy and Soil Science, 58:127-131.

Lambers, H., Chapin, FS., & Pons, TL. 2008. Plant physiological ecology. 2nd ed. Springer Science, Berlin, Germany. p. 610. doi:10.1007/978-0-387-78341-3

Liu, K., Sollenberger, LE., Silveira, ML., Vendramini, JMB., & Newman, YC. 2011. Grazing intensity and nitrogen fertilization affect litter responses in 'Tifton 85' bermudagrass pastures: II. Decomposition and nutrient mineralization. Agron. J., 103:163–168. doi:10.2134/agronj2010.0320

Lemaire, G., & Chapman, D. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. In: Hodgson J, Illius AW eds. The ecology and management of grazing systems. Wallingford, CABI. p. 3-36.

Lemaire, G., & Agnusdei, MG. 1999. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization. In: International Symposium Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology (1st., 1999, Curitiba). Proceedings. Anais. Curitiba, Universidade Federal do Paraná. pp. 265-287.

León, R., Bonifaz, N., & Gutiérrez, F. 2018 Pastos y forrajes del Ecuador: siembra y producción de pasturas. 1ra Edición. Editorial Universitaria Abya-Yala. ISBN 9789978103180. 616 p.

Lopes, CM., Paciullo, DSC., Araújo, SA do C., Morenz, MJF., Gomide, CA de M., Maurício, RM., & Braz, TG do S. 2017. Plant morphology and herbage accumulation of signal Grass

with or without fertilization, under different light regimes. Ciência Rural, 47(2), 20160472. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160472

Marais, JP. 2001. Factors affecting the nutritive value of Kikuyu grass (Pennisetum clandestinum) – A review. Trop Grasslands, 35:65-84.

Martínez, H., Fuentes, E., & Acevedo, H. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, 8:68-96.

Matthew, C., Xia, JX., Chu, ACP., Mackay, AD., & Hodgson, J. 1991. Relationship between root production and tiller appearance rates in perennial ryegrass *(Lolium perenne L.)* In: Plant root growth. Ed. Atkinson D. British Ecological Society, Oxford. pp. 281-290.

Mazzanti, AE., & Lemaire, G. 1994. Effect of nitrogen fertilization on herbage production of tall fescue swards continuously grazed with sheep. 2. Consumption and efficiency of herbage utilization. Graas and Forage Science, 49:352-359.

Mejía, AC., Ochoa, R., & Medina, M. 2014. Efecto de diferentes dosis de fertilizante compuesto en la calidad del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst . Ex Chiov.). Pastos y Forrajes, 37(1): 31–37.

Millot, JC., Methol, R., & Risso, D. 1987. Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos en áreas ganaderas del Uruguay, Montevideo. FUCREA. p. 199.

Molina, MRE. 2018. Altura de defoliación y recuperación de la pastura de Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en la provincia de Ubaté (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Colombia

Moot DJ,., Scott WR., Roy AM. and Nicholls AC. 2000. Base temperature and thermal time requirements for germination and emergence of temperate pasture species. New Zealand Journal of Agricultural Research, 43(1):15-25 doi: 10.1080/00288233.2000.9513404

Moot, D., Black, A., Lyons, EM., Egan, LM., & Hofmann, RW. 2021. Pasture resilience reflects differences in root and shoot responses to defoliation, and water and nitrogen deficits. New Zealand Grassland Association. Resilient Pastures Symposium, 17:71-80 https://doi.org/10.33584/rps.17.2021.3472

Morales, A. 1997. Apuntes metodológicos para el estudio de raíces en plantaciones forestales y bosques naturales. En: Simposio Internacional – Posibilidades del manejo forestal sostenible en America tropical. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. CATIE. 11 p.

Moreno LSB., Pedreira CGS., Boote KJ. and Alves RR. 2014. Base temperature determination of tropical *Panicum* spp. grasses and its effects on degree-day-based models. Agricultural and Forest Meteorology 186:26-33 https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.09.213

Munns, R., Passioura, JB., Guo, J., Chazen, O., & Cramer, GR. 2000. Water relations and leaf expansion: importance of time scale. Journal of Experimental Botany, 51(350):1495-1504.

Nabinger, C. 1998. Princípios de manejo e produtividade de pastagens. In; Ciclo de Palestras em Produção e Manejo de Bovinos de Corte (3ª., 1998, Canoas, RS). Ênfase, manejo e utilização sustentável de pastagens: anais. Canoas, s.e. pp. 54.

Pastrana, I., Reza, S., Espinosa, M., Suárez, E., & Díaz, E. 2011. Efecto de la fertilización nitrogenada en la dinámica del óxido nitroso y metano en *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickerdt. Revista Corpoica – Ciencia y tecnología Agropecuaria, 12(2):134-142

Neal, JS., Fulkerson, WJ., & Sutton, BG. 2011. Differences in water-use efficiency among perennial forages used by the dairy industry under optimum and deficit irrigation. Irrigation Science, 29:213-232.

Nelson, CJ., & Moore, KJ. 2020. Chapter 2: Grass Morphology. In: Forage: The Science of Grassland Agriculture. Moore, KJ., Collins, M., Nelson, CJ., Redfearn, DD. Eds., John Wiley & Sons Ltd. 23-49.

Parsons, AJ., & Penning, PD. 1988. The effect of the duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and the average rate of growth in a rationally grazed sward. Grass and Forage Science, 43:15-27.

Pirela, MF. 2005. Valor nutritivo de los pastos tropicales. En: Manual de ganadería Doble Propósito. C. González-Stagnaro, E. Soto-Belloso (eds.) Ediciones Astro Data, S.A. Maracaibo-Venezuela. VIII (1):176-181.

Reyes, C., Hepp, C., Naguil, A., & Solís, C. 2018. Guía de forrajeras para la zona intermedia de la Región de Aysén. Boletín Técnico No. 386. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro de Investigación INIA Tamel Aike, Coyhaique, Aysén-Patagonia, Chile. 70 p. ISSN 0717-4829.

Robson, M., Ryle, GJA., & Woldedge, J. 1988. The grass plant: its form and function. In: Jones MB, Lazenby A., eds. The grass crops: the physiological basis of production. New York, Chapman and Hall. pp. 25-83.

Romero, C., & Márquez, O. 2002. Efecto de la fertilización fosforada en pasto Brachiaria humidicola sobre la producción láctea de vacas doble propósito. Revista Científica, 12(2):578-580.

Salvador, PR., Pötter, L., Rocha, M., Hundertmarck, A., Sichonany, J., Amaral, LG., Negrini, M., & Moterle, P. 2016. Sward structure and nutritive value of Alexandergrass fertilized with nitrogen. Annals of the Brazilian Academy of Sciences, 88(1):385-395

Sanderson, M., Jones, J. 1993. Stand dynamics and yield components of alfalfa as affects by phosphorus fertility. Agron. J., 85:241-246.

Siqueira da Silva, HM., Batista Dubeux Jr, JC., Silveira, ML., Viana de Freitas, E., Ferreira dos Santos, MV., & de Andrade Lira, M. 2015. Stocking rate and nitrogen fertilization affect root decomposition of elephant grass. Agronomy Journal, 107(4):1331-1338.

Skinner, RH., Nelson, CJ. 1995. Elongation of the grass leaf and its relationship to the phyllochron. Crop Science, 35:4-10.

Snyder, GH., & Cisar, JL. 2000. Nitrogen/potassium fertilization ratios for bermudagrass turf. Crop Sci., 40:1719–1723. doi:10.2135/cropsci2000.4061719x

Soares Filho, CV., Cecato, U., Ribeiro, OL., Roma, CFDC., Jobim, CC., Beloni, T., & Perri, SHV. 2013 Root system and root and stem base organic reserves of pasture Tanzania grass fertilizer with nitrogen under grazing. Semina: Ciências Agrárias Londrina, 34(5):2415-2426. doi: 10.5433/1679-0359.2013v34n5p2415

Sprivulis, R. 1978. Kikuyu grass: establishment, management and utilisation in the southwest. Department of Primary Industries and Regional Development. Western Australia, Perth. Bulletin.

Trenholm, LE., Dudeck, AE., Sartain, JB. & Cisar, JL. 1998. Bermudagrass growth, total nonstructural carbohydrate concentration, and quality as influenced by nitrogen and potassium. Crop Sci., 38:168–174. doi:10.2135/cropsci1998.0011183X003800010028x

Vallentine, JF. 2001. Grazing management. Second Edition. Ebook ISBN: 9780080532592

Vargas, J., Sierra, A., Mancipe, E., Avellaneda, Y. 2018. El Kikuyo, una gramínea presente en los sistemas de rumiantes en trópico alto colombiano. Rev. CES Med. Zootec., 13(2):137-156

Viljoen, C., van der Colf, J., & Swanepoel, PA. 2020. Benefits are limited with high Nitrogen fertiliser rates in Kikuyu-Ryegrass Pasture Systems. Land, 9(6):173-. doi: 10.3390/land9060173

Waghorn, GC., & Clark, DA. 2004. Feeding value of pastures for ruminants, New Zealand Veterinary Journal, 52(6):320-331 doi:10.1080/00480169.2004.36448

Wherley, BG., Sinclair, TR., Dukes, MD., & Schreffler, AK. 2011. Nitrogen and cutting height influence root development during warm season turfgrass sod establishment. Agronomy Journal, 103(6):1629-1634. doi:10.2134/agronj2011.0146

2 Efecto de la altura de defoliación y la fertilización sobre la tasa de crecimiento, la estructura y la composición nutricional de las pasturas de Kikuyo *(Cenchrus clandestinus)*

2.1 Resumen

Las prácticas de manejo de las pasturas como la intensidad de defoliación y la fertilización definen su estructura, productividad y sostenibilidad. El objetivo de este trabajo fue determinar la respuesta a la intensidad de defoliación (alturas residuales, AR) y al nivel de fertilización sobre las tasas de crecimiento, estructura y composición nutricional de pasturas de *Cenchrus clandestinus* (Kikuyo) en el trópico alto colombiano. El diseño experimental fue de parcelas divididas con tres bloques (repeticiones), considerando como parcela principal la AR (6 o 12 cm) y como subparcela el nivel de fertilización (control, medio y alto), con el tiempo como factor continuo (días acumulados del ensayo). Cada parcela de Kikuyo (1.4 m^2) fue defoliada cuando alcanzó 5 hojas por brote durante un periodo de 14 meses incluyendo épocas secas y lluviosas. Se determinó el intervalo de defoliación (IF), longitud de las hojas (LH), cantidad de hojas muertas (NHM), altura de las plantas (ALTP), densidad de brotes (NB), cantidad (NBS) y longitud (LBS) de brotes secundarios, tasa diaria de crecimiento (TDC), índice de área foliar (IAF), proporción de hojas, tallos y material muerto, relación hoja:tallo y la calidad nutricional de hojas y tallos en muestreos realizados en cada época de lluvias. La respuesta estructural de la pradera fue afectada por la combinación AR y fertilización. En particular, el aumento en la fertilización redujo en mayor magnitud el NB y NBS y material muerto y disminuyó la proporción de hojas cuando el Kikuyo fue cortado a 6 cm. Además, las plantas que fueron defoliadas a 6 cm tardaron (+8 d) más para alcanzar 5 hojas, presentaron una disminución ($P<0,05$) en el NHM (-0.2) y en la LH (-1.5 cm), un aumento en TDC (+19%), mayor proporción de tallos y una menor (-46%) relación hoja:tallo, comparadas con las defoliadas a 12 cm. Por su parte, el incremento en la fertilización redujo el intervalo de defoliación (-

2.4 días) e incrementó la ALTP (+4.7 cm) y la TDC (+13 kg MS d^{-1}) en las plantas de Kikuyo. La concentración de CNE en las hojas cosechadas a 12 cm de altura se redujo (P<0.05) con el aumento de la fertilización. En conclusión, al manejar praderas de Kikuyo con una AR de 6 cm y con incrementó de la fertilización permite una mayor productividad de esta pastura asociada a cambios en la estructura de la pradera, dado por el incremento en la densidad de plantas que genera una mayor TDC, una mayor proporción de tallos, menor NHM y hojas más cortas. Además, con este manejo la composición química de las hojas durante la época seca presenta mayores contenidos de PC y menores concentraciones de FDN, lignina y digestibilidad al compararlo con la composición de los tallos. Cosechar a 12 cm y fertilizar la pastura de Kikuyo tiene efectos positivos sobre la ALTP mayor proporción hoja:tallo, impacto sobre la digestibilidad y bajo contenido de lignina.

Palabras clave: *Cenchrus clandestinus*, densidad de brotes, prácticas de manejo.

2.2 Introducción

El pasto Kikuyo *(Cenchrus clandestinus* Hochst. Ex Chiov*)* es una gramínea originaria de África, tolerante a suelos con pH ácido (Sidari *et al.*, 2004), adaptada a zonas del trópico alto colombiano y la principal especie utilizada para la producción bovina en este agroecosistema (Carulla & Ortega, 2016). Su hábito de crecimiento rastrero y estolonífero le facilitan formar pasturas densas tolerantes a pastoreos intensos (Bernal, 1994) y persistentes aún con bajos niveles de fertilización (Pulido, 2005). Su calidad nutricional puede considerarse superior a otras gramíneas C4 (proteína cruda entre 10 a 25%, fibra detergente neutro entre 50 a 66%, valores de energía neta de lactancia entre 1.12 a 1.49 Mcal kg^{-1} de MS, (Vargas *et al.*, 2018). Fulkerson *et al*. (1999), sugieren que una mayor intensidad de pastoreo permite obtener pasturas de Kikuyo de mejor calidad al mejorar la relación hoja:tallo y reducir la proporción de material muerto en la pastura.

La producción de materia seca y la calidad nutricional del pasto Kikuyo puede ser modificada por diferentes prácticas de manejo como la intensidad de defoliación (altura residual) entendida como la altura remanente luego del pastoreo o corte (Ferri *et al*., 2015) y la aplicación de nitrógeno (Acero *et al.*, 2020; Escobar-Charry *et al.*, 2020; García *et al.*, 2014; Martins *et al.*, 2020; Viljoen *et al.*, 2020). Aumentar la intensidad de defoliación (reducir la altura residual después del pastoreo) modifica la estructura de las pasturas reduciendo la altura de las plantas (Correa *et al*, 2018) y el tamaño de sus hojas, pero aumentando la densidad de los brotes. Estos cambios resultan en una pastura de mayor densidad de brotes de menor tamaño (Gastal & Lemaire, 2015; Molina, 2018). Algunos autores sugieren que la producción de materia seca no varía con la intensidad de la defoliación (altura residual) (Fulkerson *et al.* 1999; Martins *et al.*, 2020) y que los cambios que ocurren se manifiestan principalmente en la estructura de la pastura (población de macollos, número y tamaño (peso) de las hojas) (León *et al.*, 2018). Sin embargo, otros autores sugieren que la mayor intensidad de defoliación (menor altura residual) compromete el tiempo de aparición a la primera hoja y reduce la producción de materia seca (Correa *et al*, 2018; Molina, 2018). A su vez, en algunas pasturas la menor altura residual puede disminuir la cantidad de carbohidratos no estructurales, ya que muchas plantas los almacenan en su base (Fortes *et al*., 2004) y también puede disminuir la tasa de elongación de las hojas (Fulkerson & Donaghy, 2001). Además, defoliaciones intensas reducen el área foliar residual por lo cual la planta depende en mayor medida de los carbohidratos de reservas para producir brotes (Fulkerson *et al*., 1999). Por otra parte, con menores intensidades de defoliación (mayor altura residual) en pasturas de Brachiaria y Kikuyo se ha encontrado una disminución en el contenido de PC (Anis *et al.*, 2011; Benvenutti *et al*., 2020).

La intensidad de defoliación no solo modifica la estructura de la pastura, sino que aparentemente puede modificar la calidad de esta. Fulkerson *et al* (1999) encontraron que pasturas de Kikuyo defoliadas más intensamente (3, 6 vs 12 cm) tenían mejores relaciones hoja:tallo y Molina (2018) encontró que las defoliadas más intensamente (10 vs 15 cm) tenían una menor proporción de material muerto al momento de la cosecha. La mayoría de estos estudios han sido conducidos bajo niveles de fertilización similar entre los tratamientos y no es claro si la respuesta de la pastura a la defoliación se comporta igual

con diferentes niveles de fertilización. Se sabe que, así como la intensidad de pastoreo tiene efectos sobre la estructura de la pastura, la fertilización también resulta en cambios en la productividad, estructura y calidad. En especies estoloníferas como el Kikuyo y *Digitaria decumbens*, la fertilización nitrogenada incrementa el número de brotes y el crecimiento de las hojas y estolones, produciendo plantas de mayor tamaño (Cruz & Boval, 2000). Además, mejora la relación forraje vivo: forraje muerto, asociado a una mayor elongación de las hojas (Acero-Camelo *et al.,* 2020), incrementa la producción (Herrero *et al*., 2000b) y el contenido de proteína (Ortiz *et al*., 2021; Lopez & Villalobos, 2022). El efecto combinado de la altura residual y la fertilización sobre la estructura y calidad nutritiva del pasto Kikuyo no ha sido estudiado en Colombia, volviéndose un tema relevante para los sistemas productivos que basan su alimentación en pasturas.

Por lo tanto, el objetivo de este ensayo fue evaluar la respuesta de dos alturas residuales (6 y 12 cm) y tres niveles de fertilización (bajo, medio y alto) sobre las tasas de crecimiento, la estructura y la composición nutricional de las pasturas de Kikuyo en el trópico alto colombiano.

2.3 Materiales y métodos

2.3.1 Localización y lote experimental

El experimento se llevó a cabo en el Centro de Investigación (CI) Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), ubicado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca) a 2550 m.s.n.m. (latitud 4°35´56´´N y longitud 74°04´51´´O).

Se seleccionó un área de 0.1 ha dentro de un lote que tenía establecido hace 30 años pasto Kikuyo. Antes del inicio del experimento, se tomó una muestra de suelo para el análisis químico (Tabla 2-1). El suelo de textura franco limoso fue clasificado como

moderadamente ácido y muy ligeramente salino. El área experimental fue desbrozada 60 días antes del inicio del experimento para homogenizar la altura y edad de rebrote de la pradera.

Tabla 2-1. Análisis químico de suelo del área experimental

pH	MO	P	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Ca	Mg	K	Na	CIC
	%	mg/kg							cmol/kg				
5.60	8.64	73.8	38.3	609	20.0	48.1	3.1	0.60	12.8	4.2	2.1	1.3	20.4

MO: materia orgánica, P: fósforo, S: azufre, Fe: hierro, Mn: manganeso, Zn: zinc, Cu: cobre, B: boro, Ca: calcio, Mg: magnesio, K: potasio, Na: sodio, CIC: capacidad intercambio catiónico.

2.3.2 Periodo y tratamientos experimentales

El periodo de evaluación fue de 14 meses, comprendidos entre noviembre de 2020 y diciembre de 2021, tiempo en el que se registró una precipitación, brillo solar y temperatura promedio mensual de 107 mm, 122 horas de luz y 13.5 °C, respectivamente (Figura 2.1).

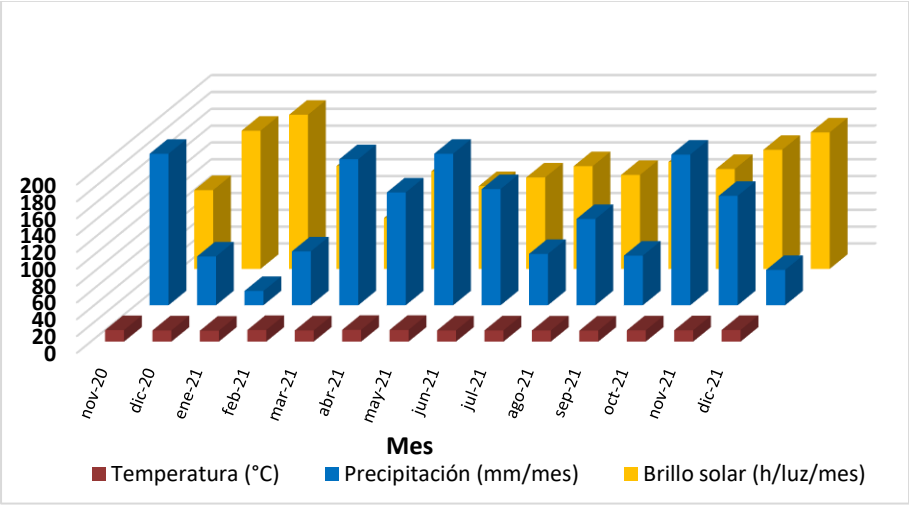


Figura 2-1. Distribución de la precipitación, brillo solar y temperatura durante los 14 meses de experimentación.

Los tratamientos fueron la combinación de dos alturas residuales (6 y 12 cm) y tres niveles de fertilización química (Tabla 2-2, control, medio y alto). En el área seleccionada se demarcó una subárea de 230 m^2 que fue dividida en 18 parcelas (2 Alturas residuales X 3 niveles de fertilización X 3 repeticiones) de 0.9 x 1.5 m, con una distancia entre parcelas de 1 m y de 3 m hacia los bordes.

Las parcelas fueron defoliadas cada vez que el 90% de sus brotes alcanzaba 5 hojas. En cada defoliación, la altura residual (6 y 12 cm) se obtuvo ajustando la altura de corte. Para esto, se utilizó un marco de 0.9 X 1.45 m con altura ajustable. Se removió la fitomasa presente por encima de la altura definida (tratamiento) usando tijeras.

Los niveles de fertilización anual a utilizar fueron calculados de acuerdo con el análisis de suelo y tasas de extracción de nutrientes esperadas del pasto Kikuyo para tres tasas de crecimiento (Control, media y alta), siguiendo la metodología de Pezo y García (2018). Se utilizó urea como fuente de nitrógeno (46%), fosfato diamónico como fuente de nitrógeno (18%) y fósforo (46%) (Tabla 2-2). Además, se utilizó sulfato de magnesio ($MgSO_4$) para balancear las bases catiónicas del suelo, aplicado en cada parcela a una misma cantidad de 350 kg ha^{-1} $año^{-1}$. La fertilización anual se fraccionó asumiendo 40 días de descanso entre una defoliación y otra; periodo estimado para que los brotes de Kikuyo alcancen 5 hojas en las condiciones ambientales del experimento (estudio preliminar). Sin embargo, debido a que los tratamientos afectaron los días de rebrote se hizo un ajuste en la dosis para asegurar la cantidad de fertilizante que se propuso inicialmente, actividad que se evalúo cada corte para realizar el ajuste dentro del periodo de medición (obteniéndose 9 y 11 rotaciones durante el tiempo experimental).

Tabla 2-2. Fertilización utilizada para los tres niveles de fertilización evaluados (valores por año)

Fertilización	Tasa de crecimiento proyectada (kg MS ha^{-1} $día^{-1}$)	N (kg ha^{-1})	P_2O_5 (kg ha^{-1})
Control	20	0	0

Media	40	274	6.8
Alta	60	461	60.3

N: nitrógeno, P_2O_5: pentóxido de fósforo.

2.3.3 Manejo experimental

Durante la fase experimental, en cada parcela se midió el número de hojas en 15 brotes cada tres días y cuando el 90% de estos alcanzaba 5 hojas se procedió a defoliar. En cada defoliación, se determinó la producción de biomasa y las variables estructurales de la pradera. Por otra parte, se identificaron y marcaron cinco brotes por parcela, utilizando ganchos clips y cable de color negro (calibre 8) para hacer el seguimiento de las variables estructurales en cada uno de ellos (Figura 2-2); cuando el brote seleccionado murió, fue reemplazado por otro de similares características.

Figura 2-2. Identificación y marcación de un brote de pasto Kikuyo.

2.3.4 Variables medidas

Proporción de hoja, tallo y material muerto: En cada defoliación y dentro de cada parcela, se seleccionó al azar un área de 0.25 m^2 que fue cosechada a la altura definida (tratamiento) usando tijeras. La fitomasa cosechada se pesó utilizando una balanza portátil (Ohaus, V11C6) y se separó en tres fracciones: hojas, tallos y material muerto. La cantidad total de forraje de cada fracción fue secada por 48 horas a 65°C en un horno de aire forzado (Marca: Grieve-Hendry Co., INC.) para determinar el porcentaje de MS, como la relación entre el peso seco y el peso fresco cosechado de cada fracción. Las muestras de cada fracción obtenidas con el marco de 0.25 m^2 se almacenaron para el posterior análisis NIRS bromatología en el laboratorio.

Producción de fitomasa: Toda la fitomasa remanente en cada parcela por encima de la altura residual definida (tratamiento) fue cosechada. Se utilizó un marco ajustable (con bases graduables para 6 y 12 cm) de 1.1 m^2 y se cortó el forraje con unas tijeras. La fitomasa cosechada se pesó utilizando una balanza portátil (Ohaus, V11C6). Posteriormente, se tomaron 500 g de muestra para determinar el porcentaje de MS de la parcela. A la fitomasa cosechada, se le sumo la cosechada en el marco de 0.25 m^2 para estimar la fitomasa total de cada parcela.

Estructura de las plantas: En los 5 brotes marcados en cada parcela, previo al corte, se determinó: a) la altura de la planta sin disturbar, b) el tamaño (Longitud) y número de los brotes secundarios, c) el número de hojas vivas y muertas, y d) la longitud de la lámina de las hojas. Para la altura sin disturbar y la longitud de los brotes secundarios y las láminas de las hojas se utilizó una regla. La primera se tomó desde el suelo hasta la parte más alta de la canopia. La longitud de los brotes secundarios desde su origen (Estolón) hasta el punto final en la canopia. La longitud de las hojas se midió desde la base de la lámina (Lígula) y hasta el ápice de la lámina. Cuando la punta de la hoja presentó coloración amarilla o café se registró la medida hasta el borde de la lámina. Se contó el número de hojas vivas y muertas (de abajo hacia arriba del brote), considerando como hoja muerta

aquella con más del 50% de la lámina foliar amarilla o café. Las hojas en la base del brote cuya lámina foliar estaba cortada no se incluyeron en esta conteo pues se asumió que eran producto del muestreo anterior.

Posteriormente, en cada parcela se hizo la medición del índice de área foliar (IAF) y la densidad de brotes. El IAF se midió sobre la fracción de hojas cosechadas en cada muestreo en un área de 0.25 m^2 utilizando un medidor portátil laser (CID Bio Science modelo CI-202). El índice de área foliar se calculó utilizando la ecuación (2.1) (Molina, 2018). La densidad de brotes se tomó en tres puntos aleatorios dentro de cada parcela y se cosecharon las plantas presentes en un marco de 10 x 10 cm para contar los brotes existentes en esa área. La tasa de aparición foliar (TAF) se calculó teniendo en cuenta el número de hojas vivas y la edad de rebrote alcanzados en cada parcela al momento de la cosecha.

$$\mathrm{IAF} = (\text{Area foliar}/\ \text{área del suelo}) \tag{2.1}$$

Contenido de clorofila (SPAD): Antes de la defoliación, el contenido de clorofila se midió, sobre las hojas de los cinco brotes marcados de cada parcela utilizando un medidor de clorofila (SPAD 502 Plus).

Composición química: Las variables de calidad nutricional fueron medidas en dos defoliaciones, una en la época de alta precipitación (Mayo, 2021) y otra en la época de baja precipitación (Enero 2021). Se midió en las hojas y tallos la concentración de proteína cruda (PC), proteína cruda soluble (PCS), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), carbohidratos no estructurales (CNE), calcio (Ca) y fósforo (P) a través de la metodología NIRS (Ariza *et al*., 2017). Además, se determinó la digestibilidad *in vitro* de la materia seca utilizando la metodología de Tilley & Terry (1963).

2.3.5 Análisis estadístico

Las variables morfométricas y productivas del pasto kikuyo medidas durante la evaluación de este estudio fueron analizadas a través de un diseño de parcelas divididas con medidas repetidas en el tiempo por medio del procedimiento MIXED de SAS® (2017). En donde, la parcela principal fue la altura residual y la sub-parcela los niveles de fertilizante, aleatorizados en tres bloques (repeticiones). Debido a que los tratamientos modificaron el tiempo para alcanzar 5 hojas por brote y por lo tanto el momento de la cosecha, los muestreos de las diferentes parcelas no se efectuaron en la misma fecha. Por esta razón, el muestreo no se pudo considerar como un factor discreto. Sin embargo, para poder estimar el efecto acumulado de los tratamientos en el tiempo se incluyó en el modelo los días acumulados al momento de cada cosecha (muestreo) como variable continua. Además, se incluyeron como covariables los promedios registrados de las variables ambientales (precipitación, brillo solar y temperatura), durante cada uno de los periodos de crecimiento de cada parcela. Finalmente, se probaron las interacciones entre los factores (tratamientos) y el tiempo (p.e. días acumulados * altura residual; días acumulados * fertilización; días acumulados * altura residual * fertilización), y cuando esta interacción con el tiempo no fue significativa (con una significancia del 5%), se retiraron para lograr un modelo más parsimonioso. Por último, se evaluaron los factores principales y la interacción por medio de la opción PDIFF para las medias ajustadas (LSMEANS) con un nivel de significancia de 5%. El modelo lineal se describe a continuación:

$$Y_{ijks} = \mu + \beta_l\left(X_{ij} - \bar{X}_{...}\right) + \rho_i + \tau_j + \eta_{ij/s} + \alpha_k + (\tau\alpha)_{jk} + (\alpha\eta)_{ijk/s} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde, i = 1,2,3; j = 1,2; k=1,2,3; s = intervalo de tiempo continuo ; Y_{ijk} son las variables de respuesta, μ es la media general, ρ_i es el efecto del i-ésimo bloque, τ_j es el efecto de la j-ésima altura residual, $\eta_{ij/s}$ es el error aleatorio de la parcela principal (bloque*altura residual) con el efecto del tiempo s en la parcela principal, α_k es el efecto del k -ésimo nivel de fertilizante, $(\tau\alpha)_{jk}$ es el efecto de la interacción entre las alturas residuales y los niveles de fertilizante, β_l es el coeficiente de regresión lineal correspondiente a las covariables precipitación, brillo solar y temperatura; siendo X_{ij} el valor de la covariable en el i -ésimo bloque, j-ésima parcela (altura residual), y $\bar{X}_{...}$ es el promedio general de la covariable,

$(\alpha\eta)_{ijk/s}$ es la interacción del s intervalo de tiempo con la parcela completa y ε_{ijk} es el error experimental de la sub-parcela (fertilizante).

Se evaluaron diferentes tipos de estructuras de covarianzas (componentes de varianza-CV, no estructurado-UN, simetría compuesta-SC, autorregresivo-AR, potencia espacial-PE y Toeplitz-TOEP) para el modelo mixto, y con base en el criterio de información bayesiano de Schwarz – BIC (menor valor), se seleccionó la estructura más adecuada para el conjunto de datos. Además, se realizaron las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises y Anderson-Darling, para determinar si los residuales se distribuyeron normalmente utilizando la opción PROC UNIVARIATE. Se construyeron gráficas de las variables en las que las interacciones entre los factores y el tiempo fueron significativas para determinar la homogeneidad de pendientes de la altura residual y la fertilización y la interacción, se realizó una ANCOVA, donde la covariable fueron los días acumulados. La diferencia entre pendientes se evaluó mediante la comparación de las pendientes de los factores fijos (ver Anexo A).

Las variables de composición química fueron analizadas a través de un diseño de parcelas divididas por medio del procedimiento GLM de SAS® (2017). En donde, la parcela principal fue la altura residual y la sub-parcela los niveles de fertilizante, aleatorizados en tres bloques (repeticiones), el modelo lineal se describe a continuación:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \delta_k + \eta_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde, i = 1,2; j = 1,2,3; k=1,2,3; Y_{ijk} son las variables de respuesta, μ es la media general, α_i es el efecto de la i-ésima altura residual, δ_k es el efecto del k-ésimo bloque, η_{ik} es el error aleatorio de la parcela principal (bloque*altura residual), β_j es el efecto del j -ésimo nivel de fertilizante, $(\alpha\beta)_{ij}$ es la interacción entre las alturas residuales y los niveles de fertilización y ε_{ijk} es el error experimental de la sub-parcela (fertilizante). Las medias de los tratamientos fueron comparadas a través de la prueba de Tukey con una significancia del 5%. Además, se evaluó la interacción por medio de la opción PDIFF para solicitar un

ajuste de comparación múltiple para los valores *P* y los límites de confianza para las diferencias mediante LS-MEANS.

La tasa de acumulación de biomasa (kg MS ha^{-1}) y de nutrientes (PC y DIVMS, (kg ha^{-1}) se calculó para un periodo de 12 meses, mediante la sumatoria de la multiplicación de la cantidad de forraje verde, el valor de MS y el correspondiente valor de PC y DIVMS para cada muestreo. Luego, para determinar la homogeneidad de pendientes de la altura residual y la fertilización y la interacción, se realizó una ANCOVA, donde la covariable fueron los días acumulados. La diferencia entre pendientes se evaluó mediante la comparación de las pendientes de los factores fijos.

2.4 Resultados y discusión

2.4.1 Respuesta agronómica del pasto Kikuyo a dos alturas de corte y niveles crecientes de fertilización

Respuesta morfométrica, número de brotes e índice de área foliar de las plantas de Kikuyo

Las principales herramientas de manejo que tiene un productor para moldear su pastura son la frecuencia e intensidad de la defoliación y la fertilización. Existen diferentes trabajos que exploran los efectos de estos factores sobre la morfofisiología de las pasturas (da Silva *et al.*, 2015; de Almeida *et al*., 2023; Dourado *et al*., 2015; Gastal & Lemaire, 2015; Martin *et al.*, 2020; Sbrissia *et al.*, 2018). Sin embargo, la mayoría se han hecho evaluando uno de los tres factores. Se ha reportado que la mayor intensidad en la defoliación conduce a pasturas más densas que tienen mayor número de brotes con plantas más pequeñas mientras que la fertilización con N aumenta el tamaño de las hojas.

En el presente trabajo, se estudió si los cambios en morfología de las pasturas de Kikuyo en respuesta a la intensidad de la defoliación eran similares cuando recibían diferentes aportes de nutrientes (fertilización). Estos factores fueron evaluados a una misma

frecuencia fisiológica de defoliación (5 hojas por brote), frecuencia bajo la cual estudios previos habían señalado se obtenían el mayor rendimiento de nutrientes (Acero *et al*., 2020; Escobar *et al*, 2019; Reeves y Fulkerson, 1996).

A pesar de que algunos trabajos sugieren que la tasa de aparición de hojas no es modificada por los nutrientes o la intensidad de defoliación (Grant *et al.*, 1981), en este trabajo, aumentar la fertilización y reducir la intensidad de defoliación (mayor altura residual) condujeron a tasas de aparición foliar más rápidas y por lo tanto a días a la cosecha más cortos. Las plantas más intensamente defoliadas (6 cm) tardaron en promedio 8 días más para llegar al momento de cosecha (5 hojas), se observó una disminución en la cantidad de hojas muertas de 0.2, en la longitud de las hojas de 1.5 cm y en la concentración de clorofila de 1.3%, cuando fueron defoliadas a una altura residual de 6 cm comparadas con las defoliadas a 12 cm (Tabla 2-3). Las plantas de Kikuyo fueron más sensibles a la altura residual que al nivel de fertilización para el intervalo de defoliación, pero no hubo interacción entre estos dos parámetros. Esto resultó en un mayor número de defoliaciones para los tratamientos con mayor altura residual y alta fertilización. Para aquellas parcelas con alta fertilización y mayor altura residual se realizaron 10 defoliaciones en un año mientras que para aquellas cosechadas a una menor altura residual y una baja fertilización fueron 7.7.

A pesar de estos cambios en la frecuencia de defoliación, como consecuencia de los tratamientos, la respuesta morfológica de las pasturas a la fertilización y altura residual fueron similares a lo reportado en la literatura donde mayores intensidades de defoliación ocasionan cambios en la estructura de la pastura, presentado un aumento en el número de macollos y una disminución de la tasa de elongación de la hoja lo que conlleva a una importante reducción en la longitud de la hoja (Avila *et al.*, 2011; Gastal & Lemaire, 2015). En nuestro estudio, una mayor intensidad en la defoliación condujo a pasturas más densas (mayor número de brotes), a plantas más cortas con hojas más pequeñas, a menor número de hojas muertas y hojas con menor concentración de clorofila. Por otra parte, aumentar el nivel de fertilización, resultó en plantas más altas y con un mayor nivel de clorofila (Tabla 2.3) como se ha reportado en otros trabajos (Miqueloto *et al.,* 2020; Sbrissia *et al.*, 2018).

Para algunas de las variables estructurales (Densidad de brotes y brotes secundarios en las plantas), la respuesta a la intensidad de la defoliación (6 y 12 cm) fue modulada por el nivel de fertilización (Interacción) (Tabla 2.3). Por ejemplo, la densidad de brotes aumentó al reducir la altura residual y se redujo como consecuencia de un aumento en la fertilización. Sin embargo, la magnitud de la reducción en el número de brotes fue mayor para la menor altura residual (26%) que para la mayor (18%). Además, mientras la densidad de brotes aumentó con el tiempo en aquellas parcelas defoliadas a una menor altura residual, disminuyó en aquellas defoliadas con una mayor altura residual. Por lo cual, la diferencia entre los tratamientos fue más evidentes al finalizar el periodo experimental.

Para los brotes secundarios (aéreos) en cada planta, la respuesta de las plantas de Kikuyo a los tratamientos fue menos clara, mientras para el mayor nivel de fertilización se redujo el número de brotes secundarios a las dos alturas residuales estudiadas, el número de brotes secundarios por planta fue similar para los menores niveles (control y medio) de fertilización (Tabla 3.2). El numeró de brotes secundarios varió con el tiempo aumentando rápidamente para los tratamientos cosechados a una menor altura residual y con fertilización control y media para luego descender hacia el final del experimento. Este comportamiento también se presentó en las plantas cosechadas a una mayor altura residual con control y media fertilización, pero el máximo número de brotes se presentó más tarde.

Existe poca información en la literatura que estudie la intensidad de la defoliación y la fertilización sobre la estructura de la pastura de Kikuyo. Se sabe que los puntos de crecimiento presentes en pastos estoloníferos están a nivel del suelo en el estolón por lo tanto son menos susceptibles a defoliaciones severas (Valentine, 2001). Sin embargo, Gastal & Lemaire (2015), señalan que a menores reservas de CNE genera una disminución en la cantidad de brotes. En el presente estudio, el número de macollos o brotes aumentó a menores alturas de cosecha lo que sugeriría que la altura residual de 6 cm no fue restrictiva para la multiplicación de plantas de Kikuyo como lo indica (Fulkerson *et al*., 1999). Mayel *et al*. (2021) han reportado que la intensidad del pastoreo (altura posterior al

corte) es una variable que puede afectar el periodo de tiempo requerido para reponer el equilibrio de carbono en toda la planta; lo anterior podría explicar la razón por la cual al cortar las plantas de Kikuyo a 6 cm tomaron más tiempo para recuperarse y crecer a pesar que presentan un mayor número de brotes pero estos brotes contienen hojas más pequeñas que hacen que la capacidad para tomar luz solar sea baja y por ende su crecimiento se ve ralentizado. Algunos autores sugieren que una mayor intensidad de defoliación (menor altura residual) reduce el tamaño de las hojas, por una modificación del largo del tubo de las vainas al realizar una defoliación más intensa, causando un efecto morfogénico que hace que las hojas sean más cortas (Avila, 2009), y posiblemente su peso se vea disminuido por el tamaño tal como se evidencio al aplicar la defoliación de 6 cm. Contrariamente, el corte a 12 cm hizo que la planta presentara mayor longitud de las hojas y una mayor acumulación de hojas muertas, así como plantas más altas, lo que evita que la luz pase hacia la base de las plantas y por ende no se estimule la generación de nuevos brotes (Fulkerson & Donaghy, 2001), esto sugeriría que las hojas más cercanas al suelo se envejezcan más rápido.

El mayor número de brotes en las pasturas cosechadas a una menor altura puede explicarse por el mayor paso de la luz a través de la canopia de la planta cuando esta es defoliada intensamente que estimula los puntos de crecimiento presentes en la pastura (Agnusdei, 2013; Gastal & Lemaire, 2015; Molina, 2018; Pascuet, 2000). Se ha reportado que la mayor intensidad de defoliación estimula el IAF incrementando la generación de nuevos brotes debido a la mejora de la calidad de la luz que llega a la base de la planta (Martin *et al.,* 2020). Además, se ha reportado que las pasturas responden de manera plástica a la intensidad de defoliación ajustando la relación entre el número de brotes y el tamaño de estos. Las pasturas defoliadas a una menor altura (mayor intensidad) se caracterizan por tener una mayor población de macollos (brotes en este estudio) pequeños mientras que las sometidas a una mayor altura de defoliación (menor intensidad) tienen una menor población de estos y son más grandes (Sbrissia *et al*., 2003). Este comportamiento es similar a lo encontrado en Kikuyo en este estudio y otros (Martins *et al*, 2020; Miqueloto *et al.,* 2020) donde se ha observado un incremento en la cantidad de brotes a mayores intensidades de defoliación. Además, Martins *et al*. (2020) reportaron que no solo a menores alturas residuales (7.5 vs 12 cm) aumentaba la densidad de brotes, sino que a menores intensidades de pastoreo (mayores alturas residuales) se aumentaba

la muerte de estos contribuyendo a una menor densidad de plantas. De manera similar, Sbrissia *et al.* (2018) encontraron un efecto lineal negativo entre la altura de corte (5, 7.5, 10 y 12.5 cm) sobre la población de brotes. Algunos autores han sugerido que la cantidad de brotes en una pastura se relacionan directamente con la tasa de aparición foliar (TAF) (Cruz & Boval, 2000). En nuestro estudio, la tasa de aparición de hojas y el IAF se relacionaron de manera inversa al número de brotes. Aquellos tratamientos mayores TAF e IAF tuvieron el menor número de brotes.

En el presente trabajo se encontró que la fertilización redujo la densidad de brotes en la pastura y el número de brotes secundarios en el nivel más alto de fertilización. La fertilización condujo a mayores IAF que se relacionaron negativamente con el número de brotes. Algunos autores sugieren que la fertilización nitrogenada disminuye la dinámica de las poblaciones de macollos de las plantas acelerando su aparición y muerte (Caminha *et al.*, 2010). Además, luego de la defoliación el nitrógeno interfiere con el rebrote de la planta al ser uno de los nutrientes que promueve la aceleración de los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas, activa las yemas y potencia la ocupación del espacio (Da Silva *et al.*, 2012; Matthew *et al.*, 2000). Sin embargo, en el caso de especies que crecen por macollas como la *Brachiaria brizantha* contrario a lo observado en el presente trabajo conlleva a una renovación de macollos al aumentar la velocidad de aparición y muerte de macollos y genera una mayor densidad de la pradera con mayor cantidad de macollo jóvenes lo que permite incrementos en la productividad (Caminha *et al.*, 2010).

Algunos autores sugieren que la fertilización con N estimula la productividad de la pastura e influye en características estructurales aumentando el tamaño de la hoja, la cantidad de hojas por macollo y en características morfogenéticas disminuyendo la tasa de aparición (36% con 100 kg N ha^{-1} vs sin fertilización) y aumentando la tasa elongación y la senescencia de las hojas (Da Silva *et al*., 2012). En este estudio, aumentar la tasa de fertilización, redujo el intervalo de defoliación (2.4 días menos), incrementó en 4.7 cm la altura de las parcelas y en 5% la concentración de clorofila en las plantas de Kikuyo (Tabla 2-3). Sobre estos aspectos la literatura refiere que el nitrógeno tiene un efecto sobre una mayor cantidad de reservas de CNE en la base de las plantas (Bernal & Espinosa, 2003;

León *et al*., 2018; Molina, 2018;) lo que podría inducir a que las plantas se recuperen más rápido luego de ser defoliadas. Además, el uso de diferentes niveles de fertilizantes promueve el crecimiento de las plantas (Borrajo & Alonso, 2014; Dourado *et al*. 2015) expresado en la altura y la elongación de las hojas de las plantas, más cuando se aplican mayores concentraciones de nitrógeno (100 y 150 kg N ha^{-1} $año^{-1}$) (Acero-Camelo *et al*. 2020). Por último, se podría sugerir que, si las plantas con mayor nivel de fertilización alcanzaron las 5 hojas por brote más prontamente, también estas senescerían más rápidamente como ha sido sugerido en otros estudios (Colabelli *et al*., 1998). Sin embargo, el número de hojas muertas en las plantas disminuyó con el aumento de la fertilización.

Por otra parte, se encontró que la respuesta morfométrica de las plantas de Kikuyo al manejo (Defoliación, fertilización) se acentuó con el tiempo (Días acumulados) para algunas variables. Por ejemplo, se observó un aumento en el índice de área foliar, la altura y la longitud de los brotes secundarios. Por el contrario, la cantidad de hojas muertas y brotes secundarios disminuyeron (Tabla 2-3). Además, para algunas variables, la respuesta de la planta al tiempo vario con el tratamiento. Por ejemplo, el IAF aumentó al aumentar los días para el tratamiento de nivel de alta fertilización, pero disminuyó para el control magnificando la diferencia entre los tratamientos entre el inicio y final del experimento. Para otras variables como la cantidad de brotes, altura de la planta, cantidad de brotes secundarios, longitud de las hojas y de los brotes y el contenido de clorofila el modelo estadístico sugiere que la planta de Kikuyo respondió a la combinación de estrategias de manejo (defoliación, fertilización) de manera diferente con el tiempo (Tabla 2-3). Sin embargo, las diferencias fueron poco claras al revisar las tendencias de estas variables en el tiempo (Anexos A). La mayoría de los estudios sobre el manejo de pasturas incluyen el tiempo como factor discreto (Fonseca *et al.*, 2016; Miqueloto *et al*., 2020) y no continuo como fue abordado en el presente trabajo. En estos estudios se observó que al hacer comparaciones entre estaciones se encontró que el pastoreo a una determinada altura en cada estación afecto la respuesta de la fitomasa, la cantidad de hojas, la expansión de las láminas de las hojas, la proporción de material muerto y la densidad de la población de macollos (Maranhão *et al*., 2019; Miqueloto *et al.*, 2019) señalando que no solo el tiempo sino las estaciones son elementos fundamentales para el análisis.

Tabla 2-3. Medias ajustadas y error estándar de la media de la respuesta morfométrica, el número de brotes e índice de área foliar del pasto Kikuyo *(Cenchrus clandestinus)* a dos alturas residuales (AR) y tres niveles de fertilización.

Variable[1]	Interacción[2]						Factores Principales[2]					Efectos[3]					Covariables[4]		
	AR (6 cm)			AR (12 cm)			AR (cm)		Fertilización										
	Control	Medio	Alto	Control	Medio	Alto	6	12	Control	Medio	Alto	AR	F	AR*F	DA	IDA	P	B	T
Intervalo defoliación, *(d)*	47.4 *(0.82)*	44.9 *(0.83)*	44.3 *(0.84)*	39.0 *(0.79)*	37.9 *(0.75)*	36.2 *(0.75)*	45.5^{a} *(0.49)*	37.7^{b} *(0.45)*	43.2^{a} *(0.57)*	41.4^{b} *(0.55)*	40.2^{b} *(0.56)*	***	**	ns	ns	ns	***	ns	ns
TAF,(h/d)	0.106 *(0.002)*	0.113 *(0.002)*	0,114 *(0.002)*	0,129 *(0.002)*	0,133 *(0.002)*	0,140 *(0.002)*	0.111^{b} *(0.001)*	0.134^{a} *(0.001)*	0.118^{b} *(0.002)*	0.123^{a} *(0.001)*	0,127^{a} *(0.002)*	***	**	ns	ns	ns	***	ns	ns
IAF[1], *(m^2 m^{-1})*	3.7 *(0.38)*	4.5 *(0.38)*	6.5 *(0.39)*	3.0 *(0.36)*	4.5 *(0.34)*	5.5 *(0.34)*	4.9 *(0.22)*	4.3 *(0.21)*	3.3 *(0.26)*	4.5 *(0.25)*	6.0 *(0.26)*	+	ns	ns	***	F (***)	*	ns	ns
Brotes, *(No. m^{2-1})*	16189^{aA} *(331)*	13759^{bA} *(333)*	12012^{cA} *(339)*	13179^{aB} *(316)*	11482^{bB} *(301)*	10882^{bB} *(302)*	13987 *(196)*	11848 *(180)*	14684 *(228)*	12620 *(222)*	11447 *(224)*	ns	***	*	+	AR (**)	ns	ns	ns
Altura planta, *(cm)*	13.6 *(0.49)*	15.7 *(0.50)*	17.4 *(0.50)*	17.2 *(0.48)*	19.5 *(0.46)*	22.8 *(0.46)*	15.6 *(0.35)*	19.9 (0.33)	15.4^{c} (0.34)	17.6^{b} (0.33)	20.1^{a} (0.34)	+	***	ns	***	AR	ns	***	ns
Hojas muertas, *(No. Planta^{-1})*	1.5 *(0.13)*	1.5 *(0.13)*	1.1 *(0.13)*	1.7 *(0.12)*	1.5 *(0.11)*	1.6 *(0.12)*	1.4^{b} *(0.08)*	1.6^{a} *(0.07)*	1.6 *(0.09)*	1.5 *(0.08)*	1.3 *(0.09)*	*	+	ns	***	ns	*	**	ns
Brotes secundarios, *(No. Planta^{-1})*	1.5^{a} *(0.14)*	1.7^{a} *(0.15)*	0.7^{b} *(0.15)*	1.6^{a} *(0.14)*	1.3^{a} *(0.13)*	0.9^{b} *(0.13)*	1.3 *(0.09)*	1.2 *(0.08)*	1.5 *(0.10)*	1.5 *(0.09)*	0.8 *(0.10)*	*	+	***	**	AR (*) AR*F(**)	ns	*	*
Longitud hoja, *(cm)*	5.2 *(0.33)*	6.4 *(0.96)*	7.5 *(0.34)*	6.7 *(0.32)*	8.1 *(0.30)*	9.0 *(0.30)*	6.4^{b} *(0.36)*	7.9^{a} *(0.18)*	5.9 *(0.23)*	7.3 *(0.50)*	8.2 *(0.22)*	**	ns	ns	ns	F (*)	ns	+	ns
Longitud brotes secundarios, *(cm)*	9.5 *(0.61)*	8.9 *(0.64)*	10.8 *(0.68)*	9.7 *(0.58)*	11.0 *(0.55)*	10.9 *(0.62)*	9.7 *(0.37)*	10.5 *(0.34)*	9.6 *(0.42)*	10.0 *(0.42)*	10.9 *(0.46)*	+	ns	ns	***	AR (**)	ns	*	ns
Clorofila, *(SPAD)*	27.6 *(0.36)*	30.9 *(0.36)*	32.8 *(0.37)*	29.2 *(0.46)*	31.9 *(0.44)*	34.0 *(0.37)*	30.4^{b} *(0.21)*	31.7^{a} *(0.25)*	28.4^{c} *(0.29)*	31.4^{b} *(0.28)*	33.4^{a} *(0.26)*	*	**	+	ns	F (*) AR*F(*)	ns	ns	ns

[a,b,c] Letras diferentes (minúsculas) para el efecto "interacción" representa diferencias significativas entre niveles de fertilización en cada altura residual, y para el efecto "Factores principales" representa diferencias significativas entre niveles de cada factor.

[A,B,C] Letras diferentes (mayúsculas) para el efecto "Interacción" representa diferencias significativas entre alturas residuales dentro de cada nivel de fertilización.

[1] TAF: tasa de aparición foliar. IAF: índice de área foliar.

[2] Valores entre paréntesis: error estándar de la media.

[3] DA: efecto del tiempo como factor continuo (días acumulados). IDA: efecto de la interacción entre días acumulados y los factores (solo se incluyen las que presentan significancia en el modelo). AR: efecto de la interacción entre DA y la altura residual. F: efecto de la interacción entre DA y la fertilización. AR*F: efecto de la interacción entre DA y la altura residual y la fertilización. +: p<0.1; *: p<0.05; **:p<0.01; ***: p<0.001; ns: no significativo.[4] Efecto de las covariables: P: precipitación media. B: brillo solar medio. T: temperatura ambiental media

Tasa de crecimiento (TDC) y distribución de las partes de la planta de Kikuyo

La intensidad de defoliación y la fertilización son factores que influyen en la acumulación de la biomasa de las pasturas (Da Silva *et al.*, 2012). La fertilización con N aumenta las tasas de acumulación (Sousa *et al.*, 2021) mientras una mayor intensidad puede comprometerla negativamente (Cruz-Hernández, *et al*., 2017). Además, la literatura reporta que factores ambientales como la lluvia y la temperatura pueden ser unos factores fundamentales para explicar la variación en la productividad de los pastos (Connor & Hawkes, 2018).

Uno de los propósitos de este trabajo fue determinar si los efectos de la intensidad de defoliación sobre las parcelas de Kikuyo eran independientes de aquellos debidos a la fertilización, o, si, por el contrario, la intensidad de defoliación modificaba la respuesta a la fertilización (interacciones). En la tabla 2-4 se puede observar que la intensidad de defoliación (altura residual) y la fertilización tuvieron efectos independientes uno del otro en la TDC y en la proporción de tallos. Las parcelas de Kikuyo más intensamente defoliadas (6 cm) tuvieron una TDC 19% más alta que aquellas defoliadas a 12 cm y presentaron una proporción mayor de tallos. Por otro lado, al aumentar la fertilización aumentó la TDC. Sin embargo, se presentaron interacciones entre los dos factores para otras variables. En particular, la respuesta de las parcelas de Kikuyo a la fertilización vario con la intensidad de defoliación para la proporción de hojas y material muerto. Mientras la proporción de hojas aumentó con la fertilización en las pasturas defoliadas a una mayor intensidad (6 cm) no vario en las pasturas defoliadas a una menor intensidad. De la misma forma, la proporción de material muerto disminuyó al aumentar la fertilización para aquellas parcelas más intensamente defoliadas (6 cm) pero no fue así para las menos intensamente (12 cm) defoliadas. En estas últimas, la fertilización ocasionó un aumento en la proporción de material muerto (Tabla 2.4). Por último, la tasa de acumulación de hojas verdes fue similar entre las dos alturas residuales, pero no la de los tallos. La tasa de acumulación de tallos fue menor para las parcelas defoliadas a una mayor altura residual (12 cm) resultando en una mayor proporción de hojas en este tratamiento y una menor acumulación total de materia seca (Tabla 2.4). Curiosamente, el número de hojas muertas medida en plantas individuales fue mayor para este manejo (12 cm) (Tabla 2.3).

Algunos autores sugieren que la producción de materia seca (MS) de una pastura se puede explicar por la densidad de plantas (cantidad de brotes por unidad de área) y del número de hojas vivas y del tamaño (peso) de estas (León, Bonifaz & Gutiérrez, 2018). En este trabajo, la densidad de plantas se redujo tanto por una menor intensidad de defoliación (12 cm) como por un aumento en la fertilización (Tabla 2.4). Sin embargo, la mayor productividad de la pastura se logró en pasturas más severamente defoliadas (6 cm) y con mayores niveles de fertilización que tuvieron una menor poblaciones de brotes que aquellas no fertilizadas indicando un aumento importante en el tamaño y peso de las hojas debido a la fertilización. De otra parte, las tasas de acumulación de hojas fueron similares en las dos intensidades de defoliación, no así la de los tallos que tuvieron una menor tasa de acumulación en las pasturas manejadas a una mayor altura residual de tallos, resultando en una menor producción de biomasa en las pasturas defoliadas a una AR de 12 cm (Tabla 2.4). En resumen, las pasturas con una mayor altura residual resultaron ser menos productivas, pero proporcionalmente más hojosas (mayor proporción de hojas).

Los hallazgos asociados a la respuesta de las pasturas de Kikuyo a la altura residual encontrados en este trabajo coinciden con trabajos reportados por otros autores donde una mayor intensidad de pastoreo incrementa la productividad de MS (Carnevalli *et al.*, 2006; Fulkerson *et al.* 1999). Sin embargo, otros autores han reportado un aumento en la TDC de pasto Kikuyo cuando incrementa la altura residual (de 5 cm a 15 cm) (Martins *et al.*, 2020; Molina, 2018). Además, Medeiros *et al.* (2020), reportaron TDC para alturas de defoliación de 7.5 y 12.5 cm de 97 y 147 kg ha^{-1} d^{-1}, respectivamente, superiores y contrarias (menor intensidad más producción) a las encontradas en el presente estudio. Las causas de respuestas diferentes a la intensidad de defoliación en pasturas de Kikuyo no es clara. Sin embargo, Fulkerson *et al*. (1999) observaron que la respuesta de esta planta a la intensidad de defoliación varió con las condiciones ambientales (estaciones). Además, algunos manejos experimentales fueron distintos. Por ejemplo, en el caso de Molina (2018) la medición de la biomasa se hizo a ras de piso, lo que incluía el forraje residual (todo aquel por debajo de la altura a la cual se aplicó el tratamiento) que incluye una gran cantidad de estolones, tallos y material muerto, así como rebrotes por debajo de la altura residual, mientras que en nuestro caso solo aquella disponible sobre la altura residual. A nuestro juicio este procedimiento sobre estima la producción de materia seca y

modifica sensiblemente las relaciones entre las partes hoja:tallo de los componentes disponibles para el animal que en teoría se encuentran por encima de la altura residual.

En este trabajo se encontró que la relación hoja:tallo mejoró al aumentar la altura residual al pasar de 3.9 y 9.6, para parcelas cosechadas a 6 o 12 cm (respectivamente) (Tabla 2.4). El efecto de pasturas menos hojosas (con menor proporción de hojas) al reducir la altura residual coincide con lo reportado por Fonseca *et al.* (2016), quienes, en el departamento de Boyacá, encontraron que a 5 cm las plantas de Kikuyo tenían una menor proporción de hojas. En el presente trabajo, la tasa de acumulación de tallos fue superior en las pasturas cosechadas a menor altura residual (6 cm) resultando en pasturas menos hojosas (Tabla 2.4). Este comportamiento ha sido reportado por otros autores que observaron que pasturas cosechadas a una mayor altura residual (10 cm) tenían una menor acumulación de estolones que en aquellas cosechadas a 5 cm favoreciendo la relación hoja:tallo (Sbrissia *et al.*, (2013). De la misma manera, Schmitt *et al.* (2019) encontraron que las pasturas de Kikuyo con mayores alturas residuales (9.4 vs 15 cm) presentaban una menor proporción de tallos y material muerto (36 vs 10.3%). Algunos autores sugieren que al defoliar más intensamente las pasturas se presenta una mayor cantidad de rebrotes que la hacen más densa y por ende se cierra el dosel de la pastura, lo que ocasiona que la cantidad de luz solar que penetra a los estratos bajos de la pastura es insuficiente y conlleva a que la proporción de hojas disminuya (Lemaire & Gastal, 1997). Lo anterior, indicaría que tanto la disminución en la proporción de hojas como el aumento del material muerto estarían asociados a una mayor acumulación de biomasa producto de una defoliación a 6 cm y con un mayor intervalo de defoliación respecto a las plantas que fueron cosechadas a una altura de 12 cm.

Por otra parte, el incremento en la fertilización aumentó 13.5 kg MS en el crecimiento diario del pasto Kikuyo, para los niveles medio y alto, comparado con el control. (Tabla 2-4). Además, la fertilización tiene un efecto positivo sobre la tasa de crecimiento de las gramíneas (Borrajo & Alonso, 2014), respuesta asociada a la producción de células más que a la elongación de estas (Gastal & Lemaire, 2002). Estos hallazgos indican que los resultados obtenidos en este trabajo sobre el crecimiento de las plantas por efecto del incremento de la fertilización estarían relacionados con un aumento en el crecimiento del

área foliar dado por cambios en el tamaño de las hojas, que las hacen más largas y posiblemente aumentan su peso.

Por último, se observó que la respuesta a la fertilización en la hojosidad de las pasturas estuvo mediada por la altura residual (interacción). Al incrementar los niveles de fertilización la proporción de hojas se aumentó y la proporción de material muerto se disminuyó a una altura residual de 6 cm, pero esta misma respuesta no se observó en las hojas de las plantas que fueron cortadas a 12 cm (Tabla 2.4). Se ha reportado que la fertilización con nitrógeno acelera los procesos de desarrollo y potencia la ocupación del espacio (Da Silva *et al*., 2012) y por ende aumenta la velocidad con que las estructuras de la pastura se envejecen. En el presente trabajo, la proporción de material muerto disminuyó en las pasturas cosechadas a 6 cm como consecuencia de la fertilización no así para aquellas cosechadas a 12 cm. De la misma manera, la proporción de tallos disminuyó como consecuencia de la fertilización en aquellas pasturas defoliadas a una menor altura residual pero no en aquellas defoliadas a una mayor altura (12 cm) (Tabla 2.4). Se ha sugerido que la fertilización con N conduce a pasturas más hojosas (Balocchi *et al*., 2021). Sin embargo, algunos autores sugieren que la fertilización nitrogenada no permite modificar las relaciones hoja:tallo en especies estoloníferas porque se estimula tanto la elongación de los estolones como la de las hojas manteniendo una misma proporción de hoja:tallo (Cruz & Boval, 2000). En este trabajo, la altura residual a la defoliación fue la herramienta de manejo que tuvo un mayor impacto sobre la relación hoja:tallo mientras que la magnitud de la respuesta a la fertilización fue menor y dependiente de la altura residual.

Por último, al manejar el pasto Kikuyo con una altura residual de 6 cm se obtiene una pastura más densa, con hojas pequeñas por una menor intercepción lumínica en su dosel y por consiguiente una mayor producción de biomasa, pero con una menor relación hoja:tallo. Además, partiendo de la consideración que los bovinos son selectivos y prefieren consumir más hojas que tallos (Santos *et al.*, 2013), la respuesta agronómica encontrada en el presente trabajo podría sugerir que al cosechar el pasto a 12 cm se ofrecería a los animales una pastura más alta, con una mayor proporción de hojas y menor cantidad de

tallos y material muerto, lo que podría tener un impacto positivo sobre el consumo de los animales bajo pastoreo (Marín Gómez *et al*., 2022).

En el presente estudio, además de los tratamientos, la precipitación fue la covariable que determinó la respuesta productiva y la distribución de las partes de las plantas de Kikuyo. De esta manera, las tasas de crecimiento y acumulación de hojas aumentaron con la precipitación mientras que la proporción de hojas fue negativamente modificada por la precipitación. Se sabe que la disminución de las precipitaciones modifica la distribución de la biomasa y la tasa de crecimiento de las plantas ya que disminuye el número de hojas vivas, se reduce la expansión celular y se aumenta la senescencia de la planta y muerte de las hojas (Colabelli, *et al* 1998; Pozo, 2004). Además, entre el inicio y el final del tiempo experimental se observó un aumento en la TDC y la proporción de tallos y una disminución en la proporción de las hojas.

Tabla 2-4. Medias ajustadas y error estándar de la media de la respuesta productiva y la proporción de componentes del pasto Kikuyo *(Cenchrus clandestinus)* al manejo con dos alturas residuales (AR) y tres niveles de fertilización.

Variable[1]	Interacción[3]						Factores Principales[3]					Efectos[4]					Covariables[5]		
	Altura residual 6 cm			Altura residual 12 cm			AR (cm)		Fertilización										
	Control	Medio	Alto	Control	Medio	Alto	6	12	Control	Medio	Alto	AR	F	AR*F	DA	IDA	P	B	T
TDC, *(kgMS ha^{-1} d^{-1})*	20.9 *(2.32)*	36.2 *(2.33)*	37.0 *(2.37)*	18.8 *(2.21)*	27.0 *(2.10)*	33.2 *(2.11)*	31.4^{a} *(1.37)*	26.3^{b} *(1.26)*	19.9^{b} *(1.59)*	31.6^{a} *(1.55)*	35.1^{a} *(1.56)*	**	***	ns	***	ns	*	**	ns
Acumulación hojas verdes, *(kg MS ha^{-1} d^{-1})*	12.6 *(1.47)*	22.9 *(1.47)*	24,4 *(1.50)*	14.1 *(1.40)*	22.0 *(1.33)*	26.4 *(1.34)*	20.0 *(0.87)*	20.9 *(0.79)*	13.4^{c} *(1.01)*	22.5^{b} *(0.99)*	25.4^{a} *(0.99)*	ns	***	ns	***	ns	*	**	ns
Acumulación tallos, *(kg MS ha^{-1} d^{-1})*	6.4^{bA} *(0.91)*	10.6^{aA} *(0.91)*	11.0^{aA} *(0.93)*	3.8^{B} *(0.87)*	3.9^{B} *(0.82)*	5.3^{B} *(0.83)*	9.4 *(0.54)*	4.3 *(0.49)*	5.1 *(0.62)*	7.3 *(0.61)*	8.2 *(0.61)*	***	**	*	**	ns	*	+	ns
Hojas, *(% seco[2])*	63.0^{bB} *(1.77)*	66.0^{abB} *(1.78)*	70.8^{aB} *(1.82)*	80.7^{A} *(1.69)*	82.2^{A} *(1.61)*	80 .6^{A} *(1.62)*	66.5 *(1.05)*	81.2 *(0.96)*	71.9 *(1.22)*	74.1 *(1.19)*	75.7 *(1.20)*	***	+	*	***	ns	*	ns	ns
Tallos, *(% seco)*	29.5 *(1.53)*	27.3 *(1.54)*	24.7 *(1.57)*	15.6 *(1.46)*	13.6 *(1.39)*	15.1 *(1.39)*	27.2^{a} *(0.90)*	14.7^{b} *(0.83)*	22.5 *(1.05)*	20.5 *(1.03)*	19.9 *(1.03)*	***	ns	ns	***	ns	***	ns	ns
Material muerto, *(% seco)*	7.5^{aA} *(0.59)*	6.7^{aA} *(0.59)*	4.5^{bA} *(0.60)*	3.5^{B} *(0.76)*	4.2^{B} *(0.53)*	4.2^{A} *(0.53)*	6.2^{a} *(0.35)*	4.0^{b} *(0.36)*	5.5 *(0.48)*	5.4 *(0.39)*	4.4 *(0.40)*	***	ns	*	ns	Ns	***	**	ns
Hoja:tallo	3.1 *(1.45)*	3.5 *(1.46)*	4.9 *(1.49)*	9.6 *(1.39)*	11.2 *(1.32)*	8.1 *(1.32)*	3.9^{b} *(0.86)*	9.6^{a} *(0.79)*	6.3 *(1.00)*	7.3 *(0.97)*	6.5 *(0.98)*	***	ns	ns	***	AR (***)	***	**	ns

[a,b,c] Letras diferentes (minúsculas) para el efecto "interacción" representa diferencias significativas entre niveles de fertilización en cada altura residual, y para el efecto "Factores principales" representa diferencias significativas entre niveles de cada factor.

[A,B,C] Letras diferentes (mayúsculas) para el efecto "Interacción" representa diferencias significativas entre alturas residuales dentro de cada nivel de fertilización.

[1] TDC: tasa diaria de crecimiento.

[2] Porcentaje seco de material cosechado.

[3] Valores entre paréntesis: error estándar de la media.

[4] DA: efecto del tiempo como factor continuo (días acumulados). IDA: efecto de la interacción entre días acumulados y los factores (solo se incluyen las que presentan significancia en el modelo). AR: efecto de la interacción entre DA y la altura residual. F: efecto de la interacción entre DA y la fertilización. AR*F: efecto de la interacción entre DA y la altura residual y la fertilización. +: p<0.1; *: p<0.05; **:p<0.01; ***: p<0.001; ns: no significativo.

[5] Efecto de las covariables: P: precipitación media. B: brillo solar medio. T: temperatura ambiental media.

2.4.2 Composición química de las hojas y tallos de pasto Kikuyo asociado al manejo y la fertilización

En el presente trabajo, los efectos de la altura residual y la fertilización sobre la composición química y nutricional se presentan de acuerdo con la época del año y la parte de la planta que se cosecho (hoja y tallo) pues la literatura reporta que en época de lluvias tiende a haber mejor calidad (mayor contenido de PC y mejor digestibilidad) de los forrajes (Avellaneda *et al*., 2020; Lyons *et al*., 1999).

Época de lluvias

En este estudio, el efecto de la altura de defoliación o la fertilización sobre la calidad nutricional de las hojas y tallos durante la época de lluvias fue independiente una de la otra y no se presentaron interacciones (Tabla 2-5).

Para la mayoría de las variables de calidad, defoliar la pastura hasta 6 o 12 cm no modificó la calidad de las hojas o los tallos con excepción de la materia seca y la proporción de proteína soluble de las hojas (Tabla 2-5). Las hojas de las parcelas cosechadas a una mayor altura presentaron una mayor proporción de materia seca y una menor de proteína soluble.

En ese sentido, al observar la información (Tabla 2-5) de las concentraciones de proteína total en las hojas estas no cambiaron y por el contrario fueron ligeramente superiores en aquellas plantas defoliadas a mayor altura. Lo que sugeriría que el tipo de proteínas (solubles o no solubles) y no la concentración fue la que cambio. En la literatura son pocos los trabajos en los que comparan las alturas de defoliación y la calidad de las pasturas. De esta forma, Pavlů *et al*. (2021) reportaron que con una mayor intensidad de defoliación (5 cm) el contenido de proteína fue superior que con una ligera intensidad de defoliación (10 cm), asociado al estado de madurez y distribución de las plantas de *Agrostis capillaris*, *Festuca rubra* y *Taraxacum officinale*. Además, Anis *et al.* (2011) y Benvenutti *et al*. (2020) también encontraron que a mayor altura de corte el contenido de PC disminuyó en pasturas

de Brachiaria y Kikuyo. Sin embargo, estudios más antiguos reportaron que no se presentaron diferencias en los contenidos de proteína de las pasturas al ser cosechadas a diferentes alturas de corte (Clark *et al.*, 1974 y Reid, 1967; citados por Motazedian & Sharrow, 1990).

De otra parte, aumentar la fertilización incrementó el contenido de proteína cruda (PC) y redujo los contenidos de fibra (FDN), de carbohidratos no estructurales (CNE) exportables, de lignina, de ceniza y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de las hojas. Por último, la fertilización solo aumentó la PC y PCS en los tallos (Tabla 2-5).

El efecto de la fertilización con N sobre la calidad de las pasturas ha sido ampliamente estudiado no así la fertilización compuesta (N, P) como la usada en este estudio. Sin embargo, la respuesta en la calidad nutricional de hojas y tallos debido a la fertilización coincide con lo observado en otros estudios para la fertilización con N. En Kikuyo, Acero *et al*. (2020) reportaron que la fertilización nitrogenada aumenta la concentración de PC en las hojas y Viljoen *et al.* (2020) reportaron, en su trabajo realizado en Sudáfrica, que al aplicar diferentes dosis de nitrógeno (0, 20, 40, 60 y 80 kg ha^{-1}) en pasto Kikuyo se incrementaba el contenido de PC entre 3-8%. Así mismo, en el actual trabajo, el contenido de MS disminuyó con dosis de fertilizante alto tanto en hojas como en tallos, este mismo efecto fue encontrado por Mejía *et al*. (2014), al usar una dosis de 200 kg N ha^{-1} de fertilizante líquido, de acuerdo con estos autores, estos hallazgos pueden ser explicados por la relación inversa que existe entre los contenidos de MS y PC, relación que en este estudio también se observa en las hojas. Además, en el presente estudio con el incremento de la fertilización se encontró una disminución en las concentraciones de FDN, CNE y ceniza. Los anteriores resultados coinciden con lo reportado por Soto *et al*. (2005), quienes al evaluar la aplicación de 50 kg N ha^{-1} $corte^{-1}$ en parcelas de Kikuyo encontraron una disminución en la concentración de cenizas al ser cortado a los 60 días. Por último, en este trabajo la DIVMS de las hojas cosechadas durante la época de lluvias disminuyó con la aplicación del mayor nivel de fertilización. En este sentido, en la literatura se ha reportado que la digestibilidad de las láminas disminuye con el aumento del largo foliar (Avila *et al.,* 2010; Insua *et al*.,2012). Sin embargo, Cruz & Boval (2000) sugieren que la fertilización

nitrogenada puede tanto aumentar la digestibilidad y la concentración de PC en pasturas estoloníferas. Estos autores sugieren que en este tipo de especies la digestibilidad de la pastura estaría mediada por la tasa de elongación de los estolones que aumenta con la fertilización con N y que normalmente tienen una menor digestibilidad que las hojas. Esta última característica no fue observada en este estudio donde la digestibilidad de los estolones (tallos) fue ligeramente superior a la de las hojas mientras que la PC fue muy inferior (Tabla 2-5).

Tabla 2-5: Efecto de la altura residual (AR) y la fertilización N sobre la composición química de las hojas y tallos del pasto Kikuyo durante la época de lluvia (meses con precipitación >60 mm).

Variable[1]	Interacción						Factores Principales					EEM[2]			Efectos[3]		
	Altura residual 6 cm			Altura residual 12 cm			AR		Fertilización								
	Control	Medio	Alto	Control	Medio	Alto	6	12	Control	Medio	Alto	AR*F	AR	F	AR	F	AR*F
Hojas																	
MS, *(%)*	17.0	17.6	15.4	22.3	24.0	19.1	16.7[b]	21.8[a]	19.7[a]	20.8[a]	17.3[b]	*1.09*	*0.82*	*0.15*	*	*	ns
PC, *(%)*	16.6	17.0	18.1	16.9	17.6	20.1	17.2	18.2	16.8[b]	17.3[b]	19.1[a]	*0.40*	*0.70*	*0.28*	ns	*	ns
PCS, *(%)*	36.0	36.3	37.1	33.3	33.7	34.6	36.5[a]	33.9[b]	34.7	35.0	35.9	*0.42*	*0.47*	*0.30*	***	+	ns
FDN, *(%)*	58.1	57.5	56.7	57.1	56.8	55.6	57.4	56.5	57.6[a]	57.1[ab]	56.1[b]	*0.45*	*0.31*	*0.32*	ns	*	ns
FDA, *(%)*	31.5	30.7	30.5	31.4	30.8	29.1	30.9	30.4	31.5	30.7	29.8	*1.07*	*0.79*	*0.76*	ns	ns	ns
CNE, *(%)*	6.7	6.6	6.3	6.9	5.9	5.5	6.5	6.1	6.8[a]	6.2[ab]	5.9[b]	*0.28*	*0.14*	*0.20*	ns	*	ns
Lignina, *(%)*	6.8	6.3	6.0	6.5	6.3	6.0	6.4	6.3	6.7[a]	6.3[ab]	6.0[b]	*0.20*	*0.03*	*0.14*	ns	*	ns
Ceniza, *(%)*	10.8	9.5	9.6	10.5	10.1	9.5	9.9	10.0	10.6[a]	9.8[b]	9.5[b]	*0.24*	*0.13*	*0.17*	ns	**	ns
Ca, *(%)*	0.34	0.33	0.33	0.32	0.32	0.27	0.33	0.30	0.33	0.32	0.30	*0.01*	*0.01*	*0.01*	ns	ns	ns
P, *(%)*	0.35	0.35	0.35	0.36	0.36	0.39	0.35	0.37	0.36	0.36	0.37	*0.01*	*0.02*	*0.01*	ns	ns	ns
DIVMS, *(%)*	73.1	75.5	71.7	74.0	74.2	72.0	73.4	73.4	73.6[ab]	74.8[a]	71.9[b]	*0.82*	*1.34*	*0.58*	ns	*	ns
Tallos																	
MS, *(%)*	17.0	22.6	16.3	18.3	20.0	20.1	18.6	19.4	17.7[b]	21.3[a]	18.2[b]	*1.20*	*0.82*	*0.85*	ns	*	+
PC, *(%)*	10.8	12.2	13.6	12.9	13.9	14.7	12.2	13.8	11.8[b]	13.0[ab]	14.2[a]	*0.64*	*1.00*	*0.45*	ns	*	ns
PCS, *(%)*	42.9	44.4	45.9	41.3	45.1	47.1	44.4	44.5	42.1[b]	44.7[ab]	46.5[a]	*0.42*	*0.43*	*0.90*	ns	*	ns
FDN, *(%)*	60.1	60.1	59.9	59.7	59.6	57.9	60.0	59.0	59.9	59.8	58.9	*0.87*	*0.76*	*0.62*	ns	ns	ns
FDA, *(%)*	32.6	31.7	29.9	32.5	32.4	32.3	31.4	32.4	32.5	32.0	31.1	*1.50*	*0.91*	*1.06*	ns	ns	ns
CNE, *(%)*	10.6	9.7	9.5	12.1	10.9	10.2	9.9	11.1	11.3	10.3	9.9	*0.90*	*0.68*	*0.64*	ns	ns	ns
Lignina, *(%)*	7.0	7.0	6.6	6.8	6.9	7.1	6.9	6.9	6.9	6.9	6.8	*0.25*	*0.16*	*0.17*	ns	ns	ns
Ceniza, *(%)*	8.5	7.9	7.3	8.8	8.5	8.4	7.9	8.6	8.6	8.2	7.9	*0.39*	*0.20*	*0.28*	ns	ns	ns
Ca, *(%)*	0.15	0.10	0.24	0.16	0.20	0.12	0.16	0.16	0.15	0.15	0.18	*0.05*	*0.02*	*0.03*	ns	ns	ns
P, *(%)*	0.33	0.35	0.30	0.36	0.34	0.39	0.33	0.36	0.34	0.34	0.35	*0.02*	*0.01*	*0.02*	ns	ns	ns
DIVMS, *(%)*	75.7	75.9	78.2	78.1	74.0	75.3	76.6	75.8	76.9	75.0	76.8	*1.17*	*0.86*	*0.82*	ns	ns	ns

[a,b,c] Letras diferentes (minúsculas) para el efecto "factores principales", representa diferencias significativas entre niveles de cada factor.[1] MS: Materia seca; PC: Proteína cruda; PCS: Proteína cruda soluble; FDN: Fibra en detergente neutro; FDA: Fibra en detergente acido; CNE: Carbohidratos no estructurales; Ca: Calcio; P: Fósforo; DIVMS: Digestibilidad *in vitro* de la materia seca. [2] EEM: error estándar de la media. [3] AR: efecto de la altura residual. F: efecto de la fertilización. AR*F: efecto de la fertilización y la altura residual. +: p<0.1; *: p<0.05; **:p<0.01; ***: p<0.001; ns: no significativo.

Época seca

A diferencia de la época lluviosa, los efectos de los tratamientos (altura residual y fertilización) sobre la calidad composicional de las hojas y tallos presentaron interacciones para algunas de las variables de calidad (Tabla 2-6). Para las hojas, se encontró que en las plantas defoliadas a 12 cm de altura residual se disminuían las concentraciones de CNE y aumentaban las de P al aumentar la fertilización, mientras que para aquellas plantas defoliadas a 6 cm la concentración de estos no variaba con la fertilización (Tabla 2-6). Además, la concentración de lignina en hojas fue menor ($P<0.05$) conforme aumentaba la fertilización cuando el Kikuyo fue cortado a 6 cm, pero fue similar entre los diferentes niveles de fertilización cuando el Kikuyo se cortó a 12 cm. Por último, solamente los tallos de aquellas plantas defoliadas a una mayor altura residual (12 cm) disminuyeron la concentración de cenizas y aumentaron su DIVMS (%) al aumentar la fertilización (Tabla 2-6).

Al igual que para la época de lluvias, la altura residual hasta la cual se defoliaron las plantas tuvo un impacto menor sobre la calidad de hojas y tallos (Tabla 2-6) y solamente la FDN de las hojas disminuyó ligeramente para las plantas defoliadas a una mayor altura residual. Por último, con el aumento en los niveles de fertilización aumentaron los niveles de PC en tallos y hojas independientemente de la altura de corte (Tabla 2-6). Además, en los tallos, aumentar el nivel de fertilización redujo la MS, la FDN y aumento la proporción de la proteína soluble (Tabla 2-6).

Como se mencionó anteriormente, el impacto de la combinación de los tratamientos presento ligeros cambios en la calidad de las hojas durante la época de menor precipitación. De esta forma, en la literatura se reporta que los CNE se acumulan en altas concentraciones en los puntos de crecimiento (meristemos intercalares) de las hojas (Gastal & Lemaire, 2015), y participan en el suministro de C y N para promover el crecimiento y elongación de las hojas posterior a la defoliación (De Visser *et al.*, 1997; Morvan-Bertrand *et al.*, 2001). El contenido de CNE disminuyó con la fertilización en el pasto Kikuyo (Soto *et al*., 2005), esta misma respuesta se observa en el presente trabajo en la composición de las hojas aunado a la intensidad de defoliación, lo que indicaría que la promoción del crecimiento vía elongación de las hojas, en el tratamiento de la altura

residual de 12 cm, agota las reservas de CNE. Además, en las hojas de Kikuyo la concentración de lignina presentó cambios (disminuyó) producto de la cosecha a 6 cm y del incremento de la fertilización, sin embargo, a 12 cm no se presenta esta tendencia en la respuesta (Tabla 2-6). Este resultado fue contrario a lo reportado por Difante *et al*., (2009), quienes al cosechar pasturas de *Panicum maximum* encontraron mayor contenido de lignina al defoliar a 25 cm, comparado con una menor intensidad de defoliación (50 cm), debido a un mayor porcentaje de tejido de hojas presente en la menor intensidad de defoliación, lo que para el presente estudio se observó cuando se cosecho a una menor intensidad de defoliación (12 cm) y no a una mayor intensidad (6 cm). Aunado a esto, Delevatti *et al.*, (2019), en pasturas de Marandú *(Brachiaria brizantha)* encontraron que la fertilización no afectó el contenido de lignina, pero si disminuyo la cantidad de FDN, estos autores asociaron esta respuesta al hecho que el forraje utiliza carbono para sintetizar proteínas, reduciendo la producción de carbohidratos estructurales. Así mismo, en la literatura se reportó valores promedio de lignina de 4.3% para días de baja precipitación en planta entera (Correa *et al.*, 2018), los cuales son más bajos a los encontrados en este trabajo (6.5 y 7.8%, respectivamente) para los hojas y tallos en época seca.

Por otra parte, el contenido de FDN de las hojas cortadas a 12 cm fue menor ($P<0.05$). Al respecto, algunos trabajos en gramíneas no reportan diferencias en el contenido de FDN de las hojas al ser cortadas a diferentes alturas (Carvalho *et al*., 2017; Mocelin *et al*., 2022), respuesta asociada al hecho de que manejaron una misma altura y edad de las plantas para los tratamientos de corte. Por otra parte, Avila (2009) indica que cuando se alcanza el máximo tamaño de las hojas no se dan más cambios morfológicos ni deposición de tejidos, por eso las variaciones en FDN no reflejan cambios absolutos en el contenido de tejido estructural sino variaciones que no afectarían la distribución de la fibra. Lo que indicaría en este trabajo que al cortar las plantas a 12 cm estas alcanzaron el momento de corte (5 hojas) en menos días y por lo tanto una menor cantidad de tejido fibroso en las hojas. Por otra parte, similar a lo encontrado en las hojas cosechadas durante la época de lluvias y a lo reportado en la literatura (Acero *et al.*, 2020; Mejía *et al.*, 2014; Viljoen *et al.*, 2020) el contenido de PC se incrementó cuando se aplicó una mayor cantidad de fertilización.

Por otro lado, los tallos cortados durante la época seca presentaron una interacción significativa para el contenido de ceniza y digestibilidad de la materia seca (DIVMS). A pesar de que en la literatura no se han encontrado reportes asociados al efecto de la altura residual sobre el contenido de ceniza de tallos. Los resultados encontrados en la calidad de los tallos durante la época seca muestran que estos absorbieron el nitrógeno aplicado dependiendo de la altura de corte, ya que con una menor intensidad de defoliación (12 cm) el contenido de cenizas disminuye al aumentar la fertilización, pero con una mayor defoliación los valores de cenizas son similares sin importar el nivel de fertilización; esta respuesta es similar a lo encontrado por Soto *et al.*, (2005) y Peni *et al.*, (2022) quienes también reportaron disminución en el contenido de cenizas por fertilización. Pero, otros autores han reportado que al evaluar diferentes niveles de fertilización nitrogenada esta no causa cambios significativos en el contenido de ceniza del pasto Kikuyo (Mejía *et al.*, 2014). Por otra parte, Cunha *et al.* (2022) encontraron que los contenidos de MS y ceniza disminuyen linealmente por efecto del aumento de la fertilización en la producción de pasto Massai, estos autores indican que esta reducción está dada por el aumento en la tasa de aparición de hojas lo que provoca que el material recolectado sea joven con mayor humedad. Esto es similar a lo encontrado en el presente trabajo en donde la mayor altura residual alcanzó el momento de corte con 5 hojas a los 36.7 días, con plantas más jóvenes cuya cantidad de cenizas fue menor con el aumento de la fertilización, además, es interesante observar que al ser plantas jóvenes se presentó un gran impacto de la fertilización nitrogenada sobre la MS de los tallos.

La digestibilidad de los tallos presentó una interacción que indica que al cortar a 6 cm no hay diferencias por la fertilización, mientras que a 12 cm hay una mayor DIVMS en los tallos por el incremento de la fertilización. La digestibilidad disminuye de arriba hacia abajo de la pastura (Benvenutti *et al.*, 2015) coincidiendo con la respuesta encontrada en este trabajo en donde los tallos de plantas cortadas a 12 cm presentaron mejor digestibilidad que aquellos que fueron cortados a 6 cm. Además, la fertilización estimula el crecimiento de nuevos tejidos que contienen altos niveles de PC y valores reducidos de FDN, razón por la cual influye positivamente sobre la digestibilidad de la MS de las gramíneas (Vitor *et al.*, 2009). De esta manera, al cortar a 12 cm y fertilizar se tienen plantas con menor cantidad de tallos y con rebrotes más largos que son más digestibles, por lo tanto, los

valores de FDN y ceniza disminuyeron y los de PC se incrementaron por el efecto de la fertilización, lo que indica que los tallos cortados a 12 cm durante esta época presenten un mejor valor nutricional. Además, en las dos alturas de corte, a pesar de no encontrarse diferencias en el contenido de lignina de los tallos, los valores encontrados a 12 cm son más bajos y la fibra disminuye ($P<0.05$) por efecto de la fertilización. Lo que ocasiona que los tallos de plantas cortadas a 12 cm presenten una mejor DIVMS.

Finalmente, en la literatura se encuentran hallazgos para planta entera de Kikuyo (Apráez & Moncayo, 2003; Mejía *et al.,* 2014; Ortiz *et al.*, 2021) y para pastos del género *Cynodon (*Solano-Lopez & Villalobos-Villalobos, 2022), en los que se reporta un efecto positivo de la fertilización nitrogenada sobre los contenidos de PC y una disminución en MS y FDN en estos pastos. Estos autores indicaron que la disminución de la MS puede estar relacionada con un aumento de la humedad retenida en los tejidos vegetales, el aumento de la PC podría deberse a que el nitrógeno incrementa la cantidad de aminoácidos y proteínas solubles que afectan positivamente el crecimiento de la planta y sus partes, además reportan un alto contenido de FDN en las parcelas sin fertilizar. Estos hallazgos permitirían dar claridad a la respuesta encontrada en el presente trabajo, donde el incremento de la fertilización causo una disminución en los contenidos de MS y FDN y un aumento en la PC y PCS de los tallos cosechados durante la época seca. Así mismo, el contenido de FDN disminuye debido a un incremento en la PC y otros contenidos solubles, los cuales se almacenan en la célula y producen una dilución de la pared celular (Delevatti *et al.*, 2019; Peyraud & Astigarraga, 1998). Lo que es similar a lo ocurrido en la concentración de FDN de los tallos cosechados en este trabajo, donde posiblemente la disminución de la fibra está asociada a una dilución de la pared celular causada por un incremento en los contenidos solubles del tejido.

Tabla 2-6. Efecto de la altura residual (AR) y la fertilización N sobre la composición química de las hojas y tallos del pasto Kikuyo durante la época seca (meses con precipitación <60mm).

Variable[1]	Interacción						Factores Principales					EEM[2]			Efectos[3]		
	Altura residual 6 cm			Altura residual 12 cm			AR		Fertilización								
	Control	Medio	Alto	Control	Medio	Alto	6	12	Control	Medio	Alto	*AR*F*	*AR*	*F*	AR	F	AR*F
								Hojas									
MS, *(%)*	22.7	20.4	21.7	27.0	29.1	27.0	21.6	27.7	24.9	24.8	24.4	*2.27*	*1.20*	*1.60*	+	ns	ns
PC, *(%)*	15.5	17.1	18.1	15.5	16.6	18.7	16.9	16.9	15.5[c]	16.8[b]	18.4[a]	*0.32*	*0.48*	*0.23*	ns	***	ns
PCS, *(%)*	36.1	35.8	37.9	35.3	36.7	36.9	36.6	36.3	35.7	36.2	37.5	*0.77*	*0.52*	*0.54*	ns	ns	ns
FDN, *(%)*	57.4	57.1	56.1	56.7	56.7	54.9	56.9[a]	56.1[b]	57.1	56.9	55.5	*0.68*	*0.13*	*0.48*	*	ns	ns
FDA, *(%)*	31.8	31.2	30.2	31.6	30.3	30.0	31.1	30.7	31.7	30.7	30.1	*0.96*	*0.56*	*0.68*	ns	ns	ns
CNE, *(%)*	8.7	8.5	8.1	9.3[a]	10.7[a]	6.2[b]	8.4	8.7	9.0	9.6	7.2	*0.68*	*0.31*	*0.48*	ns	*	*
Lignina, *(%)*	6.9[a]	6.2[b]	6.0[b]	6.8	6.2	6.6	6.4	6.5	6.9	6.2	6.3	*0.14*	*0.11*	*0.10*	ns	**	*
Ceniza, *(%)*	10.7	10.0	9.5	11.8	10.8	10.2	10.1	10.9	11.3	10.4	9.8	*0.64*	*0.16*	*0.45*	ns	ns	ns
Ca, *(%)*	0.30	0.33	0.34	0.37	0.35	0.30	0.32	0.34	0.33	0.34	0.32	*0.02*	*0.01*	*0.01*	ns	ns	ns
P, *(%)*	0.34	0.35	0.34	0.32[b]	0.34[ab]	0.38[a]	0.34	0.35	0.33	0.35	0.36	*0.01*	*0.01*	*0.01*	ns	ns	+
DIVMS, *(%)*	70.6	68.9	67.2	73.0	72.1	71.3	68.9	72.1	71.8	70.5	69.3	*0.97*	*2.32*	*0.68*	ns	ns	ns
								Tallos									
MS, *(%)*	29.4	26.5	19.4	34.0	29	21.9	25.1	28.3	31.7[a]	27.8[a]	20.7[b]	*2.90*	*1.79*	*2.05*	ns	*	ns
PC, *(%)*	9.8	10.7	12.2	8.7	10.6	12.1	10.9	10.4	9.2[b]	10.7[ab]	12.1[a]	*0.67*	*0.36*	*0.47*	ns	**	ns
PCS, *(%)*	39.7	39.9	42.8	38.2	40.8	41.1	40.8	40.0	38.9[b]	40.3[ab]	41.9[a]	*0.72*	*0.19*	*0.51*	ns	*	ns
FDN, *(%)*	62.8	61.3	60.0	63.5	61.1	60.1	61.4	61.6	63.2[a]	61.2[ab]	60.0[b]	*0.96*	*0.30*	*0.68*	ns	*	ns
FDA, *(%)*	33.5	35.8	33.7	36.2	34.2	34.1	34.4	34.8	34.8	35.0	33.9	*1.28*	*1.14*	*0.90*	ns	ns	ns
CNE, *(%)*	13.4	13.4	12.9	13.2	13.7	11.4	13.2	12.8	13.3	13.5	12.1	*1.30*	*1.06*	*0.92*	ns	ns	ns
Lignina, *(%)*	8.2	8.0	7.7	7.6	7.7	7.6	7.9	7.6	7.9	7.8	7.7	*0.37*	*0.20*	*0.24*	ns	ns	ns
Ceniza, *(%)*	8.3	8.3	7.8	9.2[a]	7.9[ab]	6.3[b]	8.1	7.8	8.8	8.1	7.0	*0.39*	*0.51*	*0.27*	ns	**	*
Ca, *(%)*	0.19	0.27	0.23	0.20	0.22	0.27	0.23	0.23	0.20	0.24	0.24	*0.02*	*0.01*	*0.02*	ns	ns	ns
P, *(%)*	0.31	0.31	0.32	0.29	0.32	0.27	0.31	0.29	0.30	0.31	0.29	*0.01*	*0.01*	*0.01*	+	ns	ns
DIVMS, *(%)*	73.1	70.1	71.7	68.3[b]	75.1[a]	75.8[a]	71.6	73.1	70.7	72.6	73.7	*0.96*	*2.48*	*0.67*	ns	+	*

[a,b,c] Letras diferentes (minúsculas) para el efecto "interacción" representa diferencias significativas entre niveles de fertilización en cada altura residual, y para el efecto "Factores principales" representa diferencias significativas entre niveles de cada factor. [A,B,C] Letras diferentes (mayúsculas) para el efecto "Interacción" representa diferencias significativas entre alturas residuales dentro de cada nivel de fertilización. [1] MS: Materia seca; PC: Proteína cruda; PCS: Proteína cruda soluble; FDN: Fibra en detergente neutro; FDA: Fibra en detergente acido; CNE: Carbohidratos no estructurales; Ca: Calcio; P: Fósforo; DIVMS: Digestibilidad *in vitro* de la materia seca. [2] EEM: error estándar de la media. [3] AR: efecto de la altura residual. F: efecto de la fertilización. AR*F: efecto de la fertilización y la altura residual. +: p<0.1; *: p<0.05; **:p<0.01; ***: p<0.001; ns: no significativo.

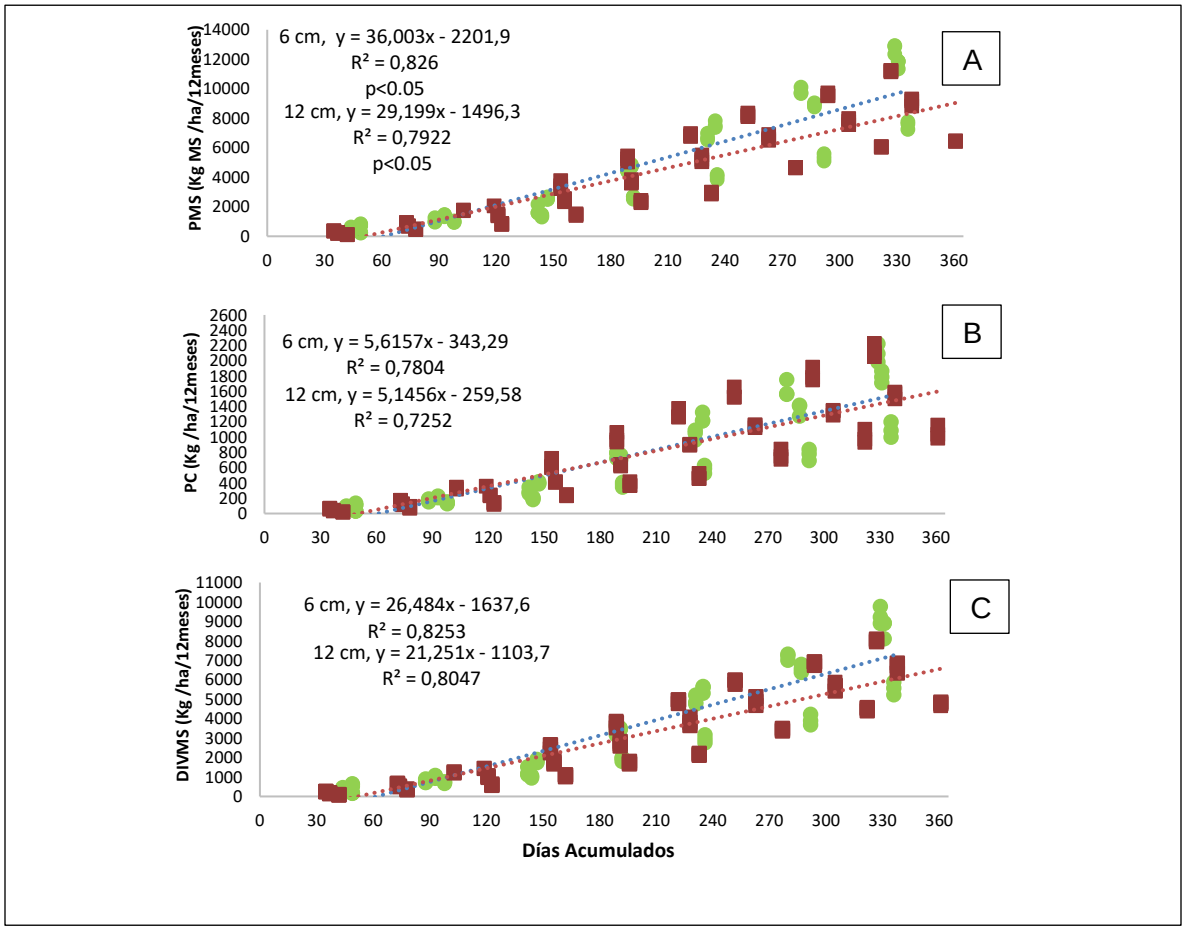
2.4.3 Efecto de la altura residual y la fertilización sobre la acumulación de materia seca y de nutrientes

Debido a que no se presentó interacción entre los factores (altura residual y fertilización) y los días acumulados, se presentan las gráficas para los efectos principales. El pasto Kikuyo que fue cortado a 6 cm de altura residual tuvo la mayor ($P<0.05$) producción de materia seca y digestibilidad acumulada durante 365 días, respecto al Kikuyo que fue cortado a una altura de 12 cm (Gráfica 2-1).

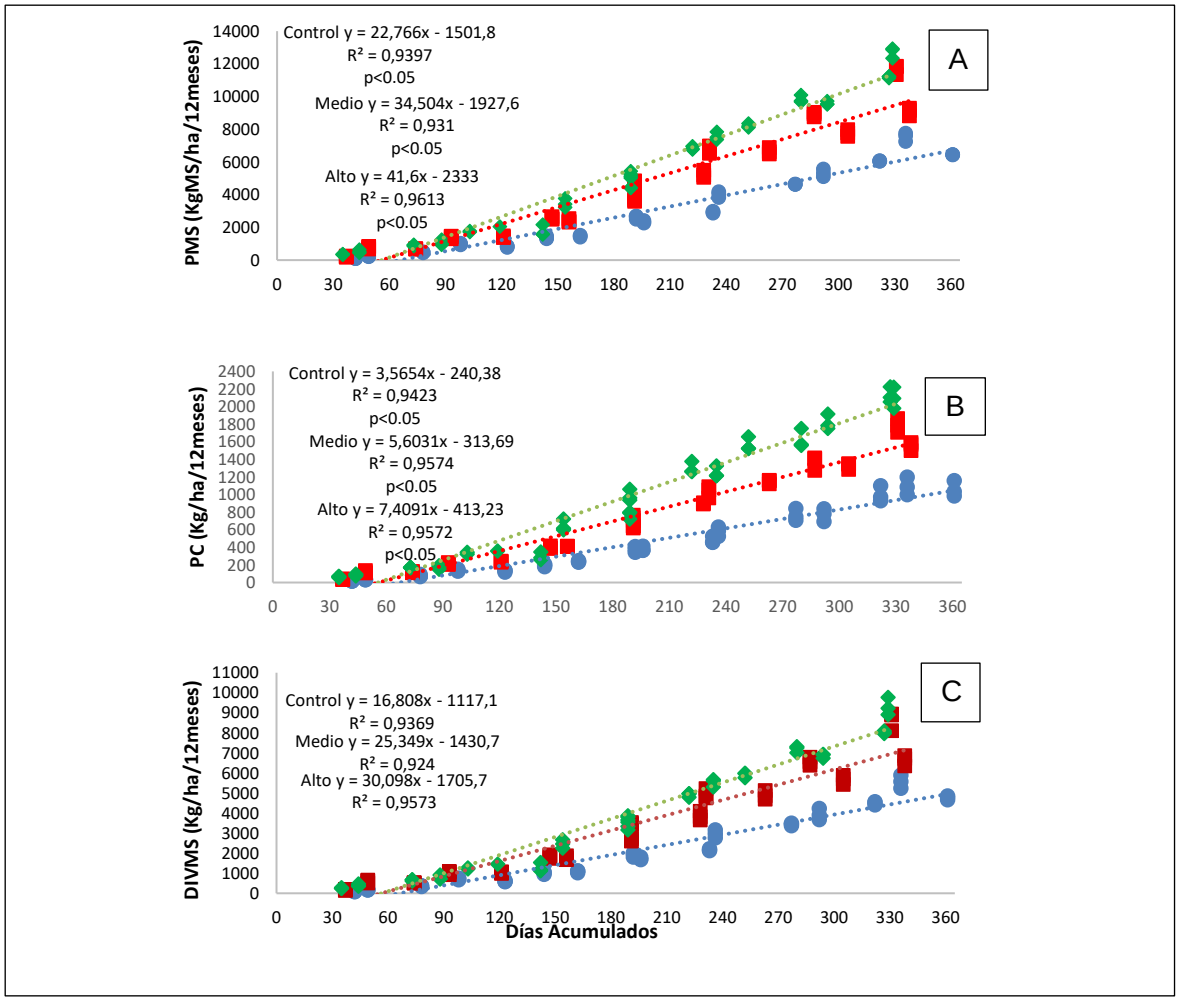
Cosechar las plantas a una altura de 6 cm resultó en una pradera con mayor densidad de plantas lo que llevo a registrar mayor producción de materia seca y digestibilidad acumulada. De acuerdo con lo anterior, al cosechar el pasto Kikuyo a una menor altura de corte se obtuvo un 23% más de acumulación de MS. A esta altura residual la pastura presentó una menor altura de las plantas cuyas hojas son más pequeñas, pero con más proporción de tallos, material muerto y mayor densidad de tallos que aquellas que fueron cortadas a 12 cm. Contrario a lo encontrado por Sbrissia *et al*. (2018), quienes reportaron en Brasil que las pasturas de Kikuyo al ser cosechadas a menores alturas (5 cm) presentaron una acumulación de forraje menor (2270 kg MS ha^{-1}) que al ser cosechadas a 10 y 12.5 cm (5755 kg MS ha^{-1}), pero la densidad poblacional de tallos fue mayor (7000 tallos m^{2-1}), siendo esto último similar a la tendencia encontrada en este trabajo en la densidad de tallos.

Por otra parte, no solamente la cantidad de materia seca que se acumuló en el pasto Kikuyo fue mayor ($P<0.05$) con la aplicación del nivel de fertilizante medio y alto, sino también, el nivel de proteína cruda y la digestibilidad, comparado con las plantas de Kikuyo que no recibieron aplicación de fertilizante (Gráfica 2-2). Además, se observó que el ajuste es mayor para el efecto de la fertilización ($R^2 > 0.93$) que para la AR.

Grafica 2-1. Producción de materia seca (A), kilogramos de proteína cruda (B) y digestibilidad de la materia seca (C) del pasto Kikuyo acumuladas por hectárea durante 12 meses, cortadas a 6 cm (•) y a 12 cm (▪).



Grafica 2-2. Producción acumulada por hectárea de materia seca (A), proteína cruda (B) y componentes digestibles (C) del pasto Kikuyo durante 12 meses, para niveles control (•), medio (▪) y alto (♦) de fertilización.



1.9 Conclusiones

Los resultados indican que al manejar praderas de pasto Kikuyo con una altura de corte de 6 cm y aplicar una fertilización completa se obtiene una mayor productividad de esta pastura bajo condiciones de trópico alto. Este incremento en productividad se relaciona

con cambios en la estructura de la pradera, dado el incremento en la densidad de plantas que genera un mayor crecimiento (TDC). Además, con este manejo se registra una mayor proporción de tallos, menos hojas muertas y hojas más cortas. Por otra parte, los factores (AR y fertilización) no tienen influencia importante en la calidad composicional. Sin embargo, la composicion química de las hojas es mejor durante la época seca ya que presenta mayores contenidos de PC y menores valores en las concentraciones de FDN, lignina. CNE, y en términos generales menor digestibilidad al compararlo con la composición de los tallos.

Cosechar a 12 cm y fertilizar la pastura de kikuyo tiene efectos positivos sobre la altura de las plantas, una mayor proporción hoja:tallo, un impacto positivo sobre la digestibilidad y una reducción en el contenido de lignina.

La intensidad de defoliación tuvo un mayor impacto sobre la estructura de las plantas, en particular sobre la densidad de brotes, la cantidad de hojas muertas y la longitud de las hojas; y la fertilización sobre la altura de las plantas, acumulación de hojas verdes, la calidad de los tallos durante la época seca y la acumulación final de biomasa y proteína de la pastura de Kikuyo.

La intensidad de defoliación fue la herramienta de manejo que tuvo mayor impacto sobre la relación hoja:tallo, en donde con una mayor altura de corte la hojosidad de la pastura fue un 46% mejor que al cosechar a 6 cm.

2.5 Bibliografía

Acero-Camelo, A., Pabón, ML., Fischer, G., & Carulla JE. 2020. Optimum harvest time for kikuyu Grass (*Cenchrus clandestinus*) according to the number of leaves per tiller and

nitrogen fertilization. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellin, 73(3): 9243-9253 doi:10.1546/rfnam.v73n3.82257

Agnusdei, MG. 2013. Rol de la ecofisiología en el diseño de manejos especializados de pasturas. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, 21(1):63-78

Anis, SD., Chozin, MA., Hardjosoewignyo, S., Ghulamahdi, M., & Sudradjat. 2011. The effects of cutting heights and intervals of defoliation on productivity and nutrient content of *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. Indonesian Journal of Agronomy, 39(3):217-222 doi:10.24831/jai.v39i3.13482

Apráez, JE., & Moncayo, AO. 2003. Caracterización agronómica y bromatológica de una pradera de kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hoechst ex Chiov. Morrone) sometida a rehabilitación mediante labranza y fertilización orgánica y/o mineral. Colombia Lead, 10:25-35

Acero, RA. 2019. Aspectos ambientales y de manejo que determinan el crecimiento del kikuyo *(Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone) en la Provincia de Ubaté. Tesis de Doctorado. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Ariza-Nieto, C., Mayorga, OL., Mojica, B., Parra, D., & Afanador, G. 2017. Use of LOCAL algorithm with near infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems in Colombia. J Near Infrared Spec., 26:44-52. doi:10.1177/0967033517746900

Avellaneda Avellaneda, Y., Mancipe Muñoz, EA.,& Vargas, JJ. 2020. 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 Medicina Veterinaria y Zootecnia, 15(2):23.37

Avila, RE. 2009. Contenido y digestibilidad in vitro de la fibra de láminas de *Chloris gayana* Kunth con relación a la edad y tamaño foliar (Tesis de Maestría). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

Avila, RE., Di Marco, O., & Agnusdei, M. 2011. Calidad nutritiva de láminas de *Chloris gayana* en estado vegetativo. Efecto de la reducción del tamaño foliar y envejecimiento. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, 20(1-2):17-27

Balocchi, O., Niklitschek, M., & Loaiza, P. 2021. Dinámica de crecimiento y calidad nutritiva de una pradera de *Lolium perenne L*. sometida a dos frecuencias de defoliación y dosis crecientes de nitrógeno. Agro sur, 49(2):7-20.

Benvenutti, MA., Pavetti, DR., Poppi, DP., Gordon, IJ., & Cangiano, CA. 2015. Defoliation patterns and their implications for the management of vegetative tropical pastures to control intake and diet quality by cattle. Grass and Forage Science, 71(3):424-436. doi: 10.1111/gfs.12186

Benvenutti, MA., Findsen, C., Savian, JV., Mayer, DG., & Barber, DG. 2020. The effect of stage of regrowth on the physical composition and nutritive value of the various vertical strata of Kikuyu *(Cenchrus clandestinus)* pastures. Tropical Grasslands, 8(2):141-146. doi: 10.17138/TGFT(8)141-146

Bernal, J. 1994. Pastos y forrajes Tropicales. Producción y manejo. 3ª Edición. Bogotá, Colombia: Banco Ganadero. 575p.

Bernal, J., & Espinosa, J. 2003. Manual de nutrición y fertilización de pastos. Quito, Ecuador. International Plant Nutrition Institute. 94p.

Borrajo, I., & Alonso, S. 2014. Tasa de elongación foliar en materiales de Agropiro Alargado: efecto de la fenología y el agregado de nitrógeno. En: 37° Congreso AAPA – 2nd Joint Meeting ASAS-AAPA – XXXIX Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal. Octubre 20, 21 y 22 de 2014.

Caminha, FO., da Silva, SC., Paiva, AJ., Pereira, LET., de Mesquita, P., & Guarda, VD. 2010. Estabilidade da população de perfilhos de capim-marandu sob lotação contínua e abudação nitrogenada. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 45(2):213-220

Carnevalli, RA., Da Silva, SC., Bueno, ADO., Uebele, MC., Bueno, FO., Hodgson, J., & Morais, JPG. 2006. Herbage production and grazing losses in *Panicum máximum* cv. Mombaça under four grazing managements. Tropical Grasslands, 40(3), 165-176.

Carulla, JE., & Ortega, E. 2016. Sistemas de producción lechera en Colombia: Retos y oportunidades. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, 24(2):83-87

Carvalho, ALS., Martuscello, JA., Almeida, OGD., Braz, TGDS., Cunha, DDNFVD., & Jank, L. 2017. Production and quality of Mombaça grass forage under different residual heights. Acta Scientiarum. Animal Sciences, 39(2):143-148

Colabelli, M., Agnusdei, M., Mazzanti, A., & Labreveux, M. 1998. El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. INTA. Boletin Técnico No. 148. 21 p.

Correa, HJ., Escalante, LF., & Jaimes, LJ. 2018. Efecto de la época del año y la altura remanente posterior al pastoreo sobre el crecimiento y calidad nutricional del pasto Kikuyo *(Cenchrus clandestinus)* en el norte de Antioquia. Livestock Research for Rural Development, 30(6). http://www.lrrd.org/lrrd30/6/hjcor30097.html

Cunha, AMQ., Macedo, VHM., de Oliveira, JKS., Melo, DDM., Domingues, FN., Cândido, EP., Fatury, C., & do Rêgo, AC. 2022. Nitrogen fertilisation as a strategy for intensifying production and improving the quality of Massai Grass grown in a humid tropical climate. Journal of Plant Nutrition, 45(14):2213-2227. https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2046078

Cruz-Hernández, A., Hernández-Garay, A., Vaquera-Huerta, H., Chay-Canul, A., Enríquez-Quiroz, J., & Ramírez-Vera, S. 2017. Componentes morfogenéticos y acumulación del pasto mulato a diferente frecuencia e intensidad de pastoreo. Revista mexicana de Ciencias Pecuarias, 8(1):101-109.

Da Silva, TC., Perazzo, AF., Macedo, CHO., Batista, ED., Pinho, RMA., Bezerra, HFC., & Santos, EM. 2012. Morfogênese e estructura de *Brachiaria decumbens* em resposta ao

corte e adubaçâo nitrogenada. Archivos de Zootecnia, 61(233):91-102. https://doi.org/10.4321/S0004-05922012000100010

Da Silva, SC., Sbrissia, AF. & Pereira, LET. 2015. Ecophysiology of C4 forage grasses-understanding plant growth for optimising their use and management. Agriculture, 5(3):598-625

Delevatti, LM., Cardoso, AS., Barbero, RP. *et al*. 2019. Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. Scientific Reports, 9:7596. https://doi.org/10.1038/s41598-019-44138-x

De Almeida, OG., Pedreira, CGS., de Assis, JA., Pedreira, BC., Gomes, FJ., & Nave, RLG. 2023. Defoliation management and nitrogen fertiliser rate affect canopy structural traits of grazed guineagrass *(Megathyrsus maximus)* cv Zuri under rotational stocking. Crop and Pasture Science, 74(12):1201-1209 https://doi.org/10.1071/CP22388

De Visser, R., Vianden, H., & Schnyder, H. 1997. Kinects and relative significance of remobilized and current C and N incorporation in leaf and root growth zones of *Lolium perenne* after defoliation: Assessment by ^{13}C and ^{15}N steady-state labelling. Plant Cell Environment, 20:37-46.

Del Pozo, PP. 2002. Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. Pastos: Revista de la Sociedad Española para el estudio de los pastos, 32(2):109-137.

Difante, GDS., Nascimento Júnior, DD., Euclides, VPB., Silva, SCD., Barbosa, RA., & Gonçalves, WV. 2009. Sward structure and nutritive value of Tanzania guineagrass subjected to rotational stocking managements. Revista Brasileira de Zootecnia, 38(1):9-19 https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000100002

Dourado, RL., Souza, AL., Zanine, AM., Toral, FLB., Ferreira, DJ., & Abreu, JG. 2015. Structural and production characteristics of Piatã grass Forage submitted to levels of Nitrogen. American Journal of Plant Sciences, 6:693-701 http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2015.65075

Escobar-Charry, MA., Cárdenas, EA., & Carulla, JE. 2020. Effect of altitude and defoliation frequency in the quality and growth of kikuyu grass (Cenchrus clandestinus). Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín, 73(1): 9121-9130 doi: 10.15446/rfnam.v73n1.77330

Ferri, CM., Saenz, AM., & Jouve, VV. 2015. Términos de uso frecuente en producción y utilización de pasturas. Semiárida Rev. Fac. Agron. UNLPam, 25(1): 41-61

Fonseca, C., Balocchi, O., Keim, JP., & Rodriguez, C. 2016. Efecto de la frecuencia de la defoliación en el rendimiento y composicion nutricional de *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. Agro Sur, 44(3): 67-76 doi:10.4206/agrosur.2016.v44n3-07

Fortes, D., Herrera, RS., & Gonzáles, S. 2004. Estrategias para la resistencia de las plantas a la defoliación. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 38(2): 111-119

Fulkerson, WJ., & Donaghy, DJ. 2001. Plant-soluble Carbohydrate reserves and senescence – key criteria for developing an effective grazing management System for ryegrass-based pastures: a review. Aust J Esp Agr., 41:261-275.

Fulkerson, WJ., Slack, K., & Havilah, E. 1999. The effect of defoliation Interval and height on growth and herbage quality of Kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*). Tropical Grasslands, 33:138-145.

Gastal, F., & Lemaire, G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. Journal of Experimental Botany. Inorganic Nitrogen Assimilation Special Issue, 53(370): 789-799.

Gastal, F., & Lemaire, G. 2015. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilisation in pasture: Review of the underlying ecophysiological processes. Agriculture, 5:1146-1171. doi:10.3390/agriculture5041146

Giraldo-Cañas, D. 2013. Las gramíneas en Colombia. Riqueza, distribución, endemismo, invasión, migración, usos y taxonomías populares. [E-book]. Availabe at: http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad_de_Ciencias/Publicaciones/Archivo

s_Libros/Serie_Biblioteca_Jose_Jeronimo_Triana/Las-gramineas-POACEAE-en-Colombia-2013-Giraldo-Canas.pdf. Consultado: 9 noviembre de 2022.

Grant, SA., Barthram, GT., & Torvell, L. 1981. Components of regrowth in grazed and cut Lolium perenne swards. Grass and Forage Science, 36(3):155-168. Doi:10.1111/j.1365-2494.1981.tb01552.x

Herrero, M., Fawcett, RH., Silveira, V., Busqué, J., Bernués, A., & Dent, JB. 2000a. Modelling the growth and utilisation of Kikuyu grass *(Pennisetum clandestinum)* under grazing. 1. Model definition and parameterization. Agricultural Systems, 65: 73-97

Instituto Agropecuario Colombiano - ICA. 1992. Fertilización en diversos cultivos: quinta aproximación. Produmedios. Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12324/14124

Insua, JR., Agnusdei, MG., & Di Marco, ON. 2012. Calidad nutritiva de láminas de dos cultivares de festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb) Revista de Investigaciones Agropecuarias, 38(2):190-195 [Fecha de consulta 27 de noviembre de 2022] Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86423631015

Lemaire, G., & Gastal, F. 1997. N uptake and distribution in plant canopies. In: Lemaire, G. (Ed.) Diagnosis on the nitrogen status in crops. Springer-Verlag Heidelberg. p. 3-43.

León, R., Bonifaz, N., & Gutiérrez, F. 2018 Pastos y forrajes del Ecuador: siembra y producción de pasturas. 1ra Edición. Editorial Universitaria Abya-Yala. ISBN 9789978103180. 616 p.

Liu, Y., Yang, X., Tian, D., Cong, R., Zhang, X., Pan, Q., & Shi, Z. 2018. Resource reallocation of two Grass species during regrowth after defoliation. Frontiers in Plant Science, 9:1767. doi:10.3389/fpls.2018.01767

López, MS., & Villalobos, LV. 2022. Fertilización nitrogenada en pastos del género Cynodon. Nutrición animal tropical, 16(1):82-104.

Lyons, RK., Manchen, R., & Forbes, TD. 1999. ¿Por qué cambia la calidad del forraje de los pastizales?. AgriLife Extension, 1-8

Maranhão, SR., Ponpeu, RCFF., de Souza, HA., de Araújo, RA., Fontinele, RG., & Cândido, MJD. 2019. Morphophysiology of buffel Grass grown under different water supplies in the dry and dry-rainy seasons. Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental, 23(8):566-571 https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n8p566-571

Marín Gómez, A., Laca, EA., Baldissera, TC., Pinto, CE., Garagorry, FC., Zubieta, AS., et al. 2022. Determining the pre-grazing sward height of Kikuyu Grass (*Cenchrus clandestinus* - Hochst. Ex Chiov.) for optimizing nutrient intake rate of dairy heifers. PLoS ONE, 17(7):e0269716. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269716

Martins, CDM., Schmitt, D., Duchini, PG., Miqueloto, T., & Sbrissia, AF. 2020. Defoliation intensity and leaf area index recovery in defoliated swards: implications for forage accumulation. Scientia Agricola, 78(2). doi: http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0095

Matthew, C., Assuero, SG., Black, CK., Sackville Hamilton, NR. 2000. Tiller dynamics of grazed swards. In: Lemaire, G., Hodgson, J., Moraes, A., de Carvalho, PC., Nabinger, C. (Ed). Grassland ecophysiology and grazing ecology. Wallingford: CABI. p. 127-150

Mayel, S., Jarrah, M., & Kuka, K. 2021. How does grassland management affect physical and biochemical properties of temperate grassland soils? A review study. Grass and forage science, 76(2):215-244

Mejía, AC., Ochoa, R., & Medina, M. 2014. Efecto de diferentes dosis de fertilizante compuesto en la calidad del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst . Ex Chiov.). Pastos y Forrajes, 37(1): 31–37.

Miqueloto, T., Winter, Fl., Bernardon, A., Cavalcantu, HS., de Medeiros, C., Mederios, CD., & Sbrissia, AF. 2019. Canopy structure of mixed kikuyugrass-tall fescue pasture in response to grazing management. Crop Science, 1-8. Doi:10.1002/csc2.20005

Miqueloto, T., Bernardon, A., Winter, FL., & Fischer Sbrissia, A. 2020.Population Dynamics in mixed canopies composed of Kikuyu-grass and Tall Fescue. Agronomy, 10(5): 684. doi:10.3390/agronomy10050684

Mocelin, NG., Schmitt, D., Zanini, GD., Camacho, PAG., & Sbrissia, AF. 2022. Grazing management targets for Tangolagrass pastures. Agriculture, 12(2),279. https://doi.org/10.3390/agriculture12020279

Molina, MRE. 2018. Altura de defoliación y recuperación de la pastura de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en la provincia de Ubaté (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Colombia

Morvan-Bertrand, A., Boucaud, J., Le Saos, J., & Prud´homme, MP. 2001. Roles of the fructans form leaf sheaths and from the elongating leaf bases in the regrowth following defoliation of *Lolium perenne* L. Planta, 213:109-120

Motazedian, I., & Sharrow, SH. 1990. Defoliation frequency and intensity effects on pasture forage quality. Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives, 43(3):198-201.

Ortiz, A., Arboleda, E., & Medina, M. 2021. Calidad bromatológica del pasto kikuyo en respuesta a la inoculación con hongos micorrícicos y fertilización química. Rev. Investig. Vet. Perú., 32(3): e17645. https://dx.doi.org/10.15381/ripev.v32i3.17645

Pascuet, ML. 2003. Dinámica del pastoreo de bovinos sobre pasturas de agropiro alargado *(Thinopyrum ponticum)* mantenidas a diferentes alturas en primavera y otoño (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias. Unidad integrada Balcarce, Argentina. 83 p.

Pavlů, K., Kassahun, T., Pavlů, VV., Pavlů, L., Blazek, P., & Homolka, P. 2021. The effects of first defoliation and previous management intensity on forage quality of a semi-natural species-rich grasslands. Plos one, 16(3):e0248804. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248804

Peni, D., Stolarski, MJ., & Debowski, M. 2022. Green biomass quality of perennial herbaceous crops depending on the species, type and level of fertilization. Industrial Crops and Products, 184,115026

Peyraud, J., & Astigarraga, L. 1998. Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: Consequences on animal nutrition and N balance. Animal Feed Science Technology, 72:235-259

Pulido, JI. 2005. Caracterización de los sistemas de produccion de leche de trópico de altura en los Departamentos de Boyacá Cundinamarca. Informe técnico final. CORPOICA, Bogotá. 112p.

Reeves, M., & Fulkerson, WJ. 1996. Establishment of an optimal grazing time of kikuyu pastures for dairy cows. In: Proceedings of the 8th Australian Agronomy Conference; 1996 enero 30 – febrero 2, Toowoomba, Queesland. 4p.

Santos, MER., Silveira, MCT., Gomes, VM., Da Fonseca, DM., Sousa, BML., & Santos, AD. 2013. Pasture height at the beginning of deferment as a determinant of signal grass structure and potential selectivity by cattle. Acta Scientiarum Animal Sciences, 35(4): 379-385. doi: 10.4025/actascianimsci.v35i4.20421

SAS, Institute Inc. Online Doc 9.4. SAS Institute Inc., NC, USA. 2014

Sbrissia, AF., da Silva, SC., Matthew, C., de Carvalho, CAB., Carnevalli, RA., Pinto, LF., Fagundes, JL., & Pedreira, CGS. 2003. Tiller size/density compensation in grazed Tifton 85 bermudagrass swards. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 38(12): 1459-1468. https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2003001200013

Sbrissia, AF., Euclides, V., Barbosa, RA., Montagner, DB., Padilha, DA., Santos, GT., Zanini, GD., Duchini, PG., & Da Silva, SC. 2013. Grazing management flexibility in pastures subjected to rotational stocking management: herbage production and chemical

composition of kikuyu-grass swards. Procedings of the 22nd International Grassland Congress. The Ecology of Grassland and Forage Ecosystems, 22(1):1038-1040

Sbrissia, AF., Duchini, PG., Zanini, GD., Santos, GT., Padilha, DA., & 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, 58:945-954. doi: 10.2135/cropsci2017.07.0447

Schmitt, D., Padilha, DA., Medeiros-Neto, C., Ribeiro, HMN., Sollenberger, LE. & Sbrissia, AF. 2019. Herbage intake by catlte in kikuyugrass pastures under intermittent stocking method. Revista Ciência Agronômica, 50(3):493-501

Sidari, M., Panuccio, MR., & Muscolo, A. 2004. Influence of acidity on growth and biochemistry of Pennisetum clandestinum. Biol Plantarum, 48:133-136

Soto, C., Valencia, A., Galvis, RD., & Correa, HJ. 2005. 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

Sousa, CCC,. Montagner, DB., de Araújo, AR., Euclides, VPB., dos Santos Difante, G., Gurgel, ALC., & de Souza, DL. 2021. La interfaz suelo-planta en *Megathyrsus maximus* cv. Mombasa sometida a diferentes dosis de nitrógeno en pastoreo rotacional. Rev Mex Cienc Pecu., 12(4):1098-1116.

Tilley, JMA., & Terry, RA. 1963. A Two-Stage Technique for in vitro digestion of forage crops. Grass and forage Science, 18 (2):104-111. doi: 10.1111/j.1365-2494-1963.tb00335.x

Vallentine, JF. 2001. Grazing management. Second Edition. E-book ISBN: 9780080532592

Vargas, J., Sierra, A., Mancipe, E., & Avellaneda, Y. 2018. El kikuyo, una gramínea presente en los sistemas de rumiantes en trópico alto colombiano. Rev. CES Med. Zootec., 13(2):137-156

Viljoen, C., van der Colf, J & Swanepoel, PA. 2020. Benefits are limited with high Nitrogen fertiliser rates in Kikuyu-Ryegrass Pasture Systems. Land, 9(6):173-. doi: 10.3390/land9060173

Vitor, CMT., Da Fonseca, DM., Cóser, AC., Martins, CE., Nascimento Júnior, D., & Ribeiro Júnior, JI. 2009 Produção de materia seca e valor nutritive de pastagem de capim-e-lefante sob irrigação e adubação nitrogenada. Revista Brasileira de Zootecnia, 38(3):435-442. doi:10.1590/S1516-35982009000300006

3. Depósitos de C y N en la biomasa aérea y radical del pasto Kikuyo *(Cenchrus clandestinus)* asociado a la intensidad de la defoliación y la fertilización

3.1 Resumen

El objetivo de este trabajo fue determinar la respuesta a la intensidad de defoliación (alturas residuales) y al nivel de fertilización sobre la biomasa, la acumulación de C y N del componente aéreo y subterráneo y la longitud y diámetro de estolones y rizomas de pasturas de *Cenchrus clandestinus* en el trópico alto colombiano. Se utilizó un diseño de parcelas divididas con tres bloques (repeticiones), considerando como parcela principal la intensidad de defoliación (ID, 6 o 12 cm) y como subparcela el nivel de fertilización. Las mediciones del trabajo se realizaron en diciembre de 2021 en parcelas sometidas a tratamientos de manejo durante un año, siendo defoliadas cuando las plantas alcanzaban 5 hojas por brote. En cada parcela se determinó la biomasa aérea (BA, dividida en disponible (BAD) y residual (BAR)) y la biomasa subterránea (BS, dividida en superficial (BSS) y profunda (BSP)). En cada componente se determinó el peso, la composición, relación y acumulación de C y N, y en la BS la longitud y diámetro de los rizomas y raíces finas. La información se analizó como un diseño de parcelas divididas por medio del procedimiento GLM de SAS®, en donde, las medias fueron comparadas a través de la prueba de Tukey con una significancia del 5%. El peso de BAD, la proporción de la BSP, la relación C:N del BAR, la acumulación de C en la BSP, el diámetro del estolón verde en la BAR y la longitud de los rizomas muertos de la BSP fue afectada por la combinación ID y fertilización ($P<0.05$). En particular, el incremento de la fertilización aumentó el peso de

BAD cuando el pasto Kikuyo se cortó a 6 cm. La aplicación de un nivel medio de fertilización aumentó (+43%) la acumulación de C en la BSP y disminuyó (-42%) el diámetro de los estolones verdes cuando se cortó a 6 cm. Los rizomas muertos presentes en la BSP al ser cosechados a 6 cm y con un nivel medio de fertilización se extendieron 329 cm más que cuando se cortaron a 12 cm con el mismo nivel de fertilización. Además, como efecto independiente de la ID se encontró que al cortar a 6 cm la pastura presentó una disminución (-17.7%) en el peso de la BSS. Defoliar el Kikuyo a una menor ID (12 cm), aumentó en la BS total las existencias de C (+14.1%) y de N (+15.3%). Por otra parte, en la BS de la planta con un nivel medio y alto de fertilización se presentó una mayor acumulación de C (+19.4%) y de N (+22.9%), respectivamente. Los estolones verdes se extendieron 296 cm más con el incremento de la fertilización. En conclusión, al manejar el pasto Kikuyo con una ID de 6 cm y aplicar niveles crecientes de fertilización se obtiene un aumento en el peso de BAD. La defoliación a 12 cm y el incremento de la fertilización contribuyen en la acumulación de C y N en la BS del pasto Kikuyo. La fertilización N es importante en la elongación de los estolones y ante una defoliación más intensa (6 cm) y sin fertilización aumenta el diámetro de los estolones de tal forma que la planta de Kikuyo reserva los nutrientes para protegerse ante defoliaciones más intensas.

Palabras clave: Acumulación C y N, estolón, raíces, relación C:N, rizoma.

3.2 Introducción

El crecimiento demográfico ha causado un aumento en la demanda de alimentos que ha llevado a que zonas de bosques sean transformados a la producción agropecuaria (aumento de la frontera agrícola), lo que asociado a malas prácticas de manejo (sobre todo en pasturas y cultivos) ha sido causante del 68% de la degradación de los suelos en América Latina (FAO & GTIS, 2015). Por lo tanto, como el suelo es el principal reservorio de carbono (C) en los ecosistemas terrestres, si se da un cambio en su uso por procesos de degradación, el suelo pierde su función como sumidero porque se reduce el contenido

de C dentro de este, lo que resulta en un aumento en las emisiones de CO_2 hacia la atmósfera (Céspedes *et al.*, 2012).

El crecimiento y la renovación de las raíces son aspectos importantes para la dinámica de reciclaje de nutrientes de los pastos y el secuestro del C atmosférico fijado por las plantas (Rao *et al*., 2001). Estos dos aspectos son modificados por el manejo (fertilización, estrategias de pastoreo) (Céspedes *et al.*, 2012; Keller *et al*., 2022), la presión ejercida por los animales (pisoteo) y condiciones de fertilidad y humedad del suelo (León *et al*. 2018). Por otra parte, el desarrollo radical, medido como la longitud de las raíces, está asociado a la capacidad que tiene una planta para absorber el agua y los nutrientes desde el suelo (Bloom *et al*., 2003).

El pasto Kikuyo *(Cenchrus clandestinus)* es una gramínea C4 que predomina en el trópico alto colombiano. Esta especie tiene vía fotosintética C_4 que es una ruta metabólica más eficiente en la captura del CO_2 que aquellas gramíneas cuya vía fotosintética es C_3 (Pérez Atehortúa *et al*., 2019). Actualmente, existe un interés creciente por conocer la cantidad de C acumulado en las pasturas, así como su capacidad para capturar C adicional debido a la importancia que tiene el C del suelo como una alternativa para mitigar (sumidero de C) las emisiones de CO_2 a la atmosfera (Figueroa *et al.*, 2005; Yaranga & Custodio, 2013).

El Kikuyo es una gramínea perenne que permite establecer pasturas persistentes que son depósitos de C (Pérez Atehortúa *et al.*, 2019). Se han reportado cantidades apreciables de C en pasturas de Kikuyo con más de 15 años de establecidas de 4, 3.5 y 8 t ha^{-1} en los compartimientos de hojas, biomasa muerta y raíces gruesas, respectivamente (Medina *et al*., 2022). La comprensión del impacto de las estrategias de manejo sobre las respuestas fisiológicas y de estas sobre los depósitos de C y N en las pasturas ha sido poco estudiada (Zhang *et al*., 2022). Sin embargo, es muy probable que estas conduzcan a diferencias en la acumulación de C y N en los diferentes componentes de las pasturas (biomasa aérea y radical). Sin embargo, se sabe poco sobre el efecto que las prácticas de manejo (intensidad de defoliación y fertilización) puedan tener sobre el desarrollo radical y la acumulación de C y N en pasturas de Kikuyo. En otras especies, se ha reportado que una mayor intensidad

del pastoreo reduce el C capturado (Chapman *et al*., 2014) y disminuye el peso de las raíces (Thornton & Millard,1996; Céspedes *et al*., 2012). Por el contrario, una menor intensidad de la defoliación (mayor altura de corte) promueve una extensión más rápida de las raíces (Wherley *et al*., 2011) que sugeriría una mayor retención de C. El rol de la fertilización y en particular de N sobre la captura de carbono es aún controversial; mientras el aumento en el contenido de N del suelo producto de la fertilización puede aumentar la producción de biomasa forrajera y por ende el ingreso de C al suelo, también puede aumentar o disminuir la tasa de descomposición de la materia orgánica proveniente de residuos de las plantas y exudados de las raíces resultando en un pérdida neta de C (Finn *et al*., 2015). Por ejemplo, se ha reportado que la aplicación de fertilización N disminuye la relación C:N de la hojarasca en pasturas de *Brachiaria decumbens*. (Apolinário *et al.*, 2013). Así mismo, se ha reportado que en el pasto bermuda que es otra especie C4, al aumentar la fertilización (73.5 kg N ha^{-1}) incrementan las tasas de extensión de las raíces (Wherley *et al*., 2011) y queda más C en los brotes lo que conduce a una disminución en la asignación de C hacia las raíces (Wang *et al*., 2005; Kuzyakov *et al*., 2002) y disminuye el contenido de C en el suelo (Finn *et al.*, 2015).

En el caso de las pasturas perenes, una gran parte de los depósitos de C se encuentran en las raíces (Rojas-Solano *et al*., 2022). Por lo cual, entender la respuesta asociada a las estrategias de manejo de las pasturas es un aspecto relevante. El pasto Kikuyo es una especie estolonifera que posee estructuras horizontales denominadas estolones (sobre el suelo) y rizomas (subterráneas) cuyas raíces ayudan a la planta a obtener agua y nutrientes (Collins & Newman, 2018). En estas especies estoloníferas, la intensidad de defoliación determina la densidad de estolones sobre la superficie del suelo. Mayor intensidad de defoliación conduce a una mayor densidad de estolones (Avila *et al*., 2011; Gastal & Lemaire, 2015; Molina, 2018) y menor proporción de C en los rizomas (Zhang *et al*., 2022). Además, la intensidad de defoliación en pastos que son tolerantes al pastoreo causa una reducción en la masa de las raíces y un aumento en la disponibilidad de nutrientes para la generación de rebrotes (Guo *et al*., 2012). Así mismo, realizar una mayor defoliación (4 cm) sobre pasturas de Festuca resultó en una reducción de la biomasa de las raíces y una menor producción de nuevas raíces, sin embargo, no hubo cambios en el diámetro de las raíces (Leslie *et al.*, 2010). Por otro lado, a pesar de que se sabe que la fertilización nitrogenada estimula la aparición de rebrotes y el tamaño de las hojas, la

respuesta sobre el desarrollo radical de los pastos no es clara. Mientras algunos trabajos sugieren que la fertilización con N reduce el crecimiento radical (Soares Filho *et al*., 2013); otros reportan que esta no afecta la longitud o la biomasa de las raíces (Silva *et al*., 2019) y otros han observado aumentos en la cantidad de biomasa aérea y mejoras en la producción de raíces (Leslie *et al*., 2010).

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de las prácticas de manejo como el control de la intensidad de defoliación y la fertilización sobre el desarrollo radical y la acumulación de C y N en pasturas de Kikuyo.

3.3 Materiales y métodos

3.3.1 Localización

Las mediciones del trabajo se realizaron en el Centro de Investigación Tibaitatá perteneciente a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), ubicado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca), a 4°35´56´´N y 74°04´51´´O, a una altitud de 2560 m.s.n.m, con una temperatura promedio de 13.8 °C y una precipitación anual de 511 mm. Dentro de áreas designadas para investigación del centro se utilizó el lote 65, en un potrero con Kikuyo establecido hace más de 30 años. Las mediciones se realizaron en 18 parcelas sometidas a tratamientos experimentales durante 14 meses. El muestreo tuvo lugar en diciembre de 2021 al finalizar la aplicación de los tratamientos.

3.3.2 Tratamientos experimentales

El manejo experimental de las parcelas fue descrito en el capítulo 2 de esta tesis. Brevemente,18 parcelas de pasto Kikuyo fueron asignadas a un diseño experimental de parcelas divididas (dos alturas de corte, tres niveles de fertilización y tres repeticiones). Las intensidades de defoliación (alturas de corte, 6 y 12 cm) fueron las parcelas principales

que a su vez se dividieron al azar en tres niveles de fertilización química (control, medio y alto; Tabla 2-2). Después de aplicar estos tratamientos durante un año y de realizar defoliaciones periódicas cuando el 90% de las plantas en una parcela alcanzaban 5 hojas por brote se realizó la toma de muestras de biomasa aérea y de raíces. Para la fertilización, se utilizó DAP (18%) y urea (46%) como fuente de nitrógeno, así mismo, DAP (46%) como fuente de fosforo y sulfato de magnesio para mejorar la relación de bases catiónicas (ICA, 1992). La cantidad de fertilizante se aplicó a cada parcela después de cada corte, con un ajuste por tiempo de aceleración o retraso en el tiempo de rebrote para asegurar la cantidad de fertilizante inicialmente programada por año.

3.3.3 Muestreo

Biomasa aérea- En cada parcela y al azar, se recolectó el forraje disponible por encima de la altura de corte (6, o 12 cm) en un área de 0.04 m^2. En la misma área (0.04 m^2), se recolectó la biomasa residual (Remanente de biomasa sobre el suelo después del corte) mediante un corte a ras de piso, incluyendo estolones y material en descomposición.

Biomasa subterránea- En área previamente muestreada para los componentes aéreos de la pastura (0.04 m^2), se realizó el muestreo de la biomasa subterránea del pasto Kikuyo en las parcelas mediante una calicata a una profundidad de 30 cm, punto hasta donde se observó una cantidad de raíces representativa (hasta donde visualmente se observó la presencia de raicillas). El bloque o columna ($0.04m^2$*0.30m) de suelo se subdividió en dos secciones; un bloque de transición que contenía principalmente material muerto, rizomas y raíces se denominó biomasa subterránea superficial (10 cm aprox) y otro más profundo (10-30 cm) donde se encontró principalmente rizomas y raíces y se denominó biomasa subterránea profunda. Estos fueron separados uno del otro cortando el horizonte del suelo mediante el uso de un palín en el punto donde la densidad de rizomas bajo la pastura disminuía (ver figura 3-1). El palín fue lavado entre cortes. Los bloques de suelo se empacaron y se identificaron debidamente con el número de la parcela y el nombre del componente. Luego, se separó la biomasa subterránea superficial y profunda del suelo con ayuda de un tamiz circular con malla de 5 mm y lavado con agua hasta retirar el excedente de suelo (Pérez Atehortúa *et al*., 2019). Posteriormente, se secaron en horno de aire

forzado a 65 °C durante 48 horas para determinar el contenido de materia seca y en las fracciones subterránea superficial y profundas se separaron rizomas y raíces finas.

De esta forma, se tomó muestras de los siguientes componentes (figura 3-1 A):

- Biomasa aérea (BA): correspondió a la cantidad de forraje cortado por encima del nivel del suelo.
  - i) Disponible (BAD), correspondió a la cantidad de biomasa por encima de la altura residual (6 o 12 cm) definida para cada una de las parcelas, que está compuesto por hojas y tallos (figura 3-1 B).
  - ii) Residual (BAR), correspondió a la cantidad de forraje cosechado a nivel de suelo y hasta los respectivos 6 o 12 cm de altura residual. Está compuesto por estolones vivos, brotes, tallos y hojas (vivas y muertas) (figura 3-1 C).

- Biomasa subterránea (BS): correspondió a la biomasa ubicada a ras del suelo y hasta 30 cm de profundidad y fue dividida en:
  - i) Superficial (BSS): este horizonte se definió como la zona ubicada entre la biomasa residual y las raíces profundas (figura 3-1 D). La altura de esta parte se midió desde el punto en el que se hizo el corte para delimitar el forraje residual (a nivel del suelo) y se profundizo hasta donde se observó un cambio en la estructura radical (menor cantidad de rizomas) del perfil cortado. conformada por rizomas, raíces finas y material en descomposición (figura 3-1 D).
  - ii) Profunda (BSP): A partir del punto de corte de la fracción superficial y midiendo hasta 30 cm más de profundidad, se tomó la muestra del componente de biomasa subterránea profunda, debido a que no se observó una cantidad de rizomas y raíces finas significativas a mayor profundidad, conformada por rizomas y raíces finas (figura 3-1 E).

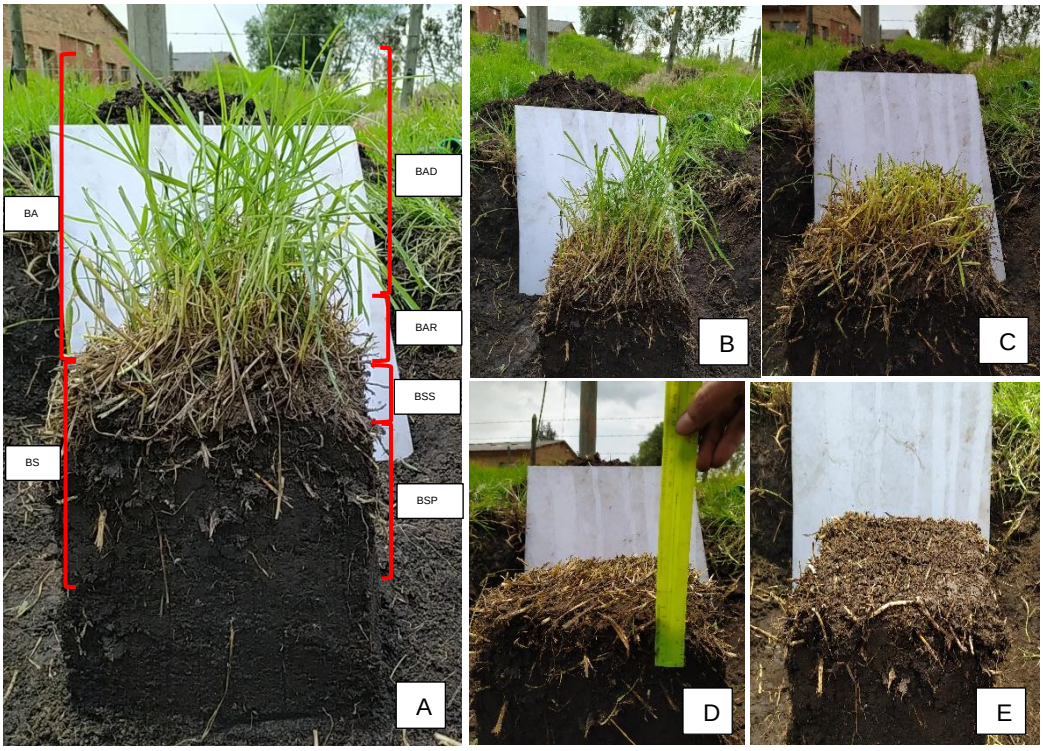


Figura 3-1. Componentes definidos para el muestreo de biomasa aérea y raíces del pasto Kikuyo. A: de arriba a abajo: Biomasa aérea (BA): disponible (BAD), residual (BAR); Biomasa subterránea (BS): superficial (BSS) y profunda (BSP); B: BA disponible; C: BA residual; D: BS superficial y E: BS profunda.

Biomasa aérea: la biomasa aérea (disponible y residual) fue cosechada y se pesó utilizando una balanza portátil (Ohaus, V11C6). Posteriormente, el forraje cosechado de cada componente fue secado por 48 horas a 65 °C en un horno de aire forzado (Marca: Grieve-Hendry Co., INC.), para determinar el porcentaje de materia seca (MS), el contenido de N y C.

Biomasa subterránea: cada componente (fracción subterránea superficial y profunda) fue pesado utilizando una balanza portátil y se separaron los rizomas y las raíces finas del suelo por medio de extracción con un tamiz circular con malla de 5 mm y lavado con agua hasta retirar el excedente de suelo. Posteriormente, se secaron en horno de aire forzado a 65 °C durante 48 horas para determinar su contenido de materia seca.

Longitud y grosor de estolones y rizomas: para esto, la cantidad de biomasa de los componentes subterráneos superficial y profundo colectado se clasificó en estolones verdes (solo en el componente residual), rizomas vivos y muertos. Se midió y sumo la longitud de los estolones verdes, rizomas vivos y muertos mediante el uso de una regla. El grosor de los estolones verdes y rizomas vivos se midió con un pie de rey digital (Calibrador Lcd 6 pulgadas).

3.3.4 Análisis composicional

En el forraje disponible y residual se determinó la concentración de nitrógeno (N) a partir del contenido de proteína cruda obtenido mediante la metodología NIRS (Ariza *et al*., 2017). Para esto, el valor de PC fue dividió entre el factor 6.25 (bajo el supuesto que la proteína promedio, contiene alrededor de 16% de nitrógeno por unidad de peso) (Salazar, 2020). En las raíces profundas se determinó el contenido de nitrógeno mediante el método de Kjeldahl-volumetría (Método 960.52, AOAC, 2016). El contenido de carbono (C) de la biomasa aérea y de raíces profundas se determinó mediante combustión seca en un analizador elemental Thermo Scientific modelo FLASH 2000. Los análisis fueron realizados en el laboratorio de química analítica de AGROSAVIA (Mosquera, Cundinamarca) al terminar el ensayo.

3.3.4 Análisis estadístico

Las variables fueron analizadas a través de un diseño de parcelas divididas por medio del procedimiento GLM de SAS® (2017). En donde, la parcela principal fue la altura residual y la sub-parcela los niveles de fertilizante, aleatorizados en tres bloques (repeticiones), el modelo lineal se describe a continuación:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \delta_k + \eta_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde, i = 1,2; j = 1,2,3; k = 1,2,3; Y_{ijk} son las variables de respuesta, μ es la media general, α_i es el efecto de la i-ésima altura residual, δ_k es el efecto del k-ésimo bloque, η_{ik} es el error aleatorio de la parcela principal (bloque*altura residual), β_j es el efecto del j -ésimo nivel de fertilizante, $(\alpha\beta)_{ij}$ es la interacción entre las alturas residuales y los niveles de fertilización y ε_{ijk} es el error experimental de la sub-parcela (fertilizante).

Las medias fueron comparadas a través de la prueba de Tukey con una significancia del 5%. Además, se evaluó la interacción por medio de la opción PDIFF para solicitar un ajuste de comparación múltiple para los valores *P* y los límites de confianza para las diferencias mediante LS-MEANS. Para el modelo propuesto, se probaron los supuestos relacionados con homogeneidad y normalidad para los residuales estandarizados.

3.4 Resultados y discusión

Dado que en el desarrollo del capítulo 2 de este trabajo se dio una mayor descripción y discusión de los efectos de la intensidad de defoliación y fertilización sobre los resultados en la producción de biomasa cosechada por encima de las alturas de corte evaluadas, en el presente capitulo la discusión enfatizará los hallazgos en el componente subterráneo de la pastura.

3.4.1 Peso y distribución de los componentes de biomasa aérea y subterránea (radical)

Varios trabajos sugieren que la intensidad de defoliación y la fertilización no solo modifican la estructura y productividad de la pastura (da Silva *et al.*, 2015; de Almeida *et al.*, 2023; Gastal & Lemaire, 2015; Sbrissia *et al.*, 2018) sino que además modifican las proporciones y cantidades de biomasa por encima y por debajo del suelo (Dawson *et al.*, 2000). La defoliación (cosecha) reduce en las plantas el área foliar, las reservas de carbohidratos y el crecimiento de las raíces (Richards, 1993).

En este trabajo, la combinación de la intensidad de defoliación (altura residual) y la fertilización modificaron la cantidad de biomasa aérea disponible y la distribución de la biomasa subterránea profunda del pasto Kikuyo (Tabla 3-1). En las parcelas defoliadas a 6 cm, la fertilización aumentó (69%) la biomasa aérea disponible (forraje por encima del corte) (Tabla 3-1). Además, defoliar las pasturas a 6 cm independientemente de la fertilización redujo 17.7% el peso de la biomasa subterránea superficial (Tabla 3-1) sugiriendo un detrimento sobre el desarrollo radical con defoliaciones más severas como lo han reportado varios autores (Guo *et al*., 2012).

La mayoría (proporción) de la biomasa de las parcelas se encontró en el forraje residual, y en los componentes subterráneos de la pastura mientras que el forraje disponible representó entre el 2 y 3% de esta. Defoliar las pasturas a una menor altura (6 cm) aumentó la proporción de la biomasa aérea disponible. Por otro lado, fertilizar solo modificó la proporción subterránea profunda pero el efecto fue modulado por la altura de defoliación (Interacción). A una menor altura de defoliación (6 cm), la proporción de biomasa subterránea profunda aumentó (10.1%) para el nivel medio de fertilización comparado con los niveles control y alto de fertilización. Sin embargo, a una mayor altura de defoliación (12 cm), la proporción de rizomas y raíces finas (componente subterráneo profundo) disminuyó al aumentar la fertilización (Tabla 3-1).

Los reportes en productividad del pasto Kikuyo, señalan que a mayor intensidad de defoliación la producción de MS se incrementa (Carnevalli *et al.*, 2006; Fulkerson *et al.* 1999) lo que coincidiría con los resultados obtenidos en el presente trabajo en donde al cortar a 6 cm la biomasa disponible (hojas y tallos) fue mayor que al cortar a 12 cm. Contrario a lo observado en el presente estudio, Ma *et al*. (2020) encontraron que con una intensidad de defoliación a 3 cm se ocasionó una disminución en la producción de biomasa aérea al compararla con una defoliación a 7 cm, en pastizales naturalizados del norte del continente americano. Estas respuestas diferenciadas, probablemente explicadas por las características de crecimiento de las especies en el caso de pastos estoloníferos como el Kikuyo, toleraría mayores intensidades de pastoreo.

En nuestro trabajo, la respuesta a la fertilización estuvo modulada por la altura residual y solo fue positiva cuando la pastura fue sometida a una mayor intensidad de defoliación (6 cm) y se observó únicamente para la biomasa aérea disponible mientras las demás porciones de la pastura (Biomasa aérea residual, biomasa subterránea) se modificaron poco (Tabla 3-1). La mayoría de la literatura reporta que la fertilización con N aumenta el crecimiento y el rendimiento de biomasa de las gramíneas (Borrajo & Alonso, 2014; Kering *et al*., 2012). Sin embargo, es poco clara en señalar si la respuesta a la fertilización puede ser modulada por la intensidad de defoliación.

Además, al revisar en la literatura los valores reportados de biomasa aérea, en un trabajo realizado bajo condiciones de trópico alto, se encontraron producciones de biomasa aérea (que incluye hojas, tallos y colchón vivo y muerto) en pasto Kikuyo de 4.2 *t* MS ha^{-1} (Pérez *et al*., 2019), siendo inferiores a los encontrados en el presente trabajo por efecto de la intensidad de defoliación y fertilización (19.6 *t* MS ha^{-1}), así mismo, se han reportado valores de biomasa disponible superiores 3.0 a 3.5 *t* MS ha^{-1} en pasturas de estrella *(Cynodon nlemfuensis)* cortadas a 10 cm de altura (Borges *et al*., 2012; Rojas-Solano *et al.*, 2022), siendo superiores a las encontradas en el presente trabajo. Lo anterior podría aportar a la generación de conocimiento acerca de la alta productividad que tienen las pasturas que cuentan con tallos modificados aéreos para su crecimiento.

La literatura reporta que la biomasa de las raíces a profundidades de 0 a 10 cm es mayor cuando las pasturas con gramíneas son defoliadas con menores intensidades de pastoreo (Dai *et al*., 2019; Dawson *et al*., 2000; Mawdsley & Bardgett, 1997; Thornton & Millard, 1996), atribuido a una menor asignación de C al sistema radical (Dawson *et al*., 2000). En el caso del Kikuyo, esta fracción subterránea incluye además los rizomas que son tallos subterráneos y se consideran órganos de almacenamiento de reservas orgánicas (Nelson & Moore, 2020). En el presente trabajo, la fracción de biomasa subterránea superficial (0 a 10 cm) y la cantidad de C acumulado allí se redujo con defoliaciones más intensas (6 cm) (Tabla 3-1,Tabla 3-4) confirmando los reportes de la literatura que sugieren que mayores intensidades de pastoreo sacrifican el desarrollo radical que en este caso incluiría los rizomas probablemente por una menor asignación de C a estas estructuras de las

plantas. El impacto del menor desarrollo del componente subterráneo (>2 *t* MS ha^{-1})) en la producción de materia seca superficial no fue evidente pero seguramente podrían comprometer la productividad de la pastura en el largo plazo. Además, representó un sacrificio en la acumulación de C en el componente subterráneo de un poco más a 1 *t* en un periodo de 14 meses (Tabla 3-4).

Distribución de la biomasa -la distribución de las cantidades y proporciones de la MS de una pastura (parcela) de Kikuyo de forma vertical se encontró que la fracción de biomasa aérea disponible representó el 2.4%, la residual el 39%, la biomasa subterránea superficial el 29.4% y profunda el 29.2%. De esta manera, la biomasa aérea conforma el 41.4% y la biomasa subterránea el 58.5% del total del peso de las plantas de Kikuyo. De acuerdo con lo reportado en la literatura, cerca de la mitad de la biomasa de las pasturas existe bajo tierra (Titlyanova *et al*., 1999), pero esta proporción varia por factores como el tipo de suelo y características del tipo de raíz de acuerdo con la especie de gramínea (Ramos-Hernández & Martínez-Sánchez, 2020). Algunos autores han reportado que en pastos tropicales la biomasa subterránea es mayor y puede representar entre el 70 y 80% de la biomasa total (Saraiva *et al*., 2014; Silva *et al*., 2019).

De manera general, las estrategias de manejo influyeron poco en las proporciones que cada segmento de la pastura tuvo sobre la biomasa total. Sin embargo, la proporción de la biomasa disponible fue mayor en la pastura cosechada a 6 cm que a 12 cm y la proporción de la biomasa profunda varió con la fertilización, pero de manera distinta en las plantas cosechadas a 6 cm o 12 cm. Para las plantas cosechadas a 12 cm la proporción de biomasa subterránea profunda disminuyó con la fertilización, no fue así para las de 6 cm donde el nivel medio de fertilización tuvo la mayor proporción de biomasa subterránea (Tabla 3-1).

Tabla 3-1. Peso y distribución de la biomasa aérea (forraje disponible y residual) y de la biomasa subterránea (a 30 cm de profundidad) del pasto Kikuyo manejado con diferente altura residual (AR) y nivel de fertilización.

Variable[1]	Interacción						Factores Principales					EEM[1]			Efectos[2]		
	Altura residual 6 cm			Altura residual 12 cm			AR (cm)		Fertilización								
	Control	Medio	Alto	Control	Medio	Alto	6	12	Control	Medio	Alto	AR*F	AR	F	AR	F	AR*F
								t FS ha^{-1}									
Biomasa Aérea																	
Disponible	0.8^{b}	1.5^{a}	1.2^{a}	0.9	1.0	1.2	1.2	1.0	0.8	1.2	1.2	*0.09*	*0.04*	*0.06*	+	**	*
Residual	18.1	18.1	17.5	15.4	21.7	20.5	17.9	19.2	16.7	19.9	18.9	*2.24*	*3.16*	*1.58*	ns	ns	ns
Biomasa subterránea																	
Superficial	12.1	12.9	12.4	13.0	17.3	15.3	12.5^{b}	15.2^{a}	12.6	15.1	13.8	*1.34*	*0.34*	*0.95*	*	ns	ns
Profunda	11.3	18.4	10.6	15.6	13.3	13.5	13.4	14.1	13.5	15.8	12.1	*1.57*	*2.48*	*1.11*	ns	ns	+
Biomasa Total	**42.4**	**50.9**	**41.7**	**44.9**	**53.3**	**50.5**	**45.0**	**49.5**	**43.6**	**52.1**	**46.1**	*3.23*	*3.86*	*2.28*	ns	+	ns
								%									
Biomasa aérea																	
Disponible	2.0	2.9	3.0	2.0	1.9	2.4	2.7^{a}	2.1^{b}	2.0	2.4	2.7	*0.26*	*0.23*	*0.18*	*	+	ns
Residual	42.7	35.6	42.1	33.8	40.6	39.5	40.1	37.9	38.2	38.1	40.8	*2.60*	*4.99*	*1.84*	ns	ns	ns
Biomasa subterránea																	
Superficial	28.5	25.6	30.1	29.0	32.6	30.6	28.1	30.7	28.7	29.1	30.3	*2.75*	*1.72*	*1.94*	ns	ns	ns
Profunda	26.7^{b}	35.8^{a}	24.7^{b}	35.2^{a}	24.8^{b}	27.5^{b}	29.1	29.2	30.9	30.3	26.1	*2.90*	*4.93*	*2.05*	ns	ns	*
Biomasa aérea total	44.7	38.5	45.1	35.7	42.5	41.9	42.8	40.0	40.2	40.5	43.5	*2.48*	*4.95*	*1.75*	ns	ns	ns
Biomasa subterránea total	55.2	61.5	54.8	64.2	57.5	58.1	57.1	59.9	59.7	59.5	56.5	*2.48*	*4.95*	*1.75*	ns	ns	ns

[a, b, c] Letras diferentes (minúsculas) para el efecto "interacción" representa diferencias significativas entre niveles de fertilización en cada altura residual, y para el efecto "Factores principales" representa diferencias significativas entre niveles de cada factor. [1]EEM: error estándar de la media. [2]AR: efecto de la altura residual. F: efecto de la fertilización. AR*F: efecto de la fertilización y la altura residual. +: p<0.1; *: p<0.05; **:p<0.01; ***: p<0.001; ns: no significativo

3.4.2 Concentración, relación y existencia de C y N en los componentes de biomasa aérea y radical del pasto Kikuyo

Concentración de C y N y relación C:N

El componente principal de los tejidos vegetales es el C y su acumulación esta influenciada por la disponibilidad de N en las plantas (Jaramillo, 2004). La dinámica del C y el N están vinculadas en el crecimiento y acumulación de biomasa de las plantas. (Lemaire & Chapman, 1996). Por lo tanto, para aportar en el desarrollo de futuros trabajos de investigación se planteó incluir la concentración de C, N y la relación C:N de los componentes de las plantas de Kikuyo, los cuales fueron agrupados en biomasa aérea (conformada por el forraje disponible y el forraje residual) y biomasa subterránea (conformada por raíces superficiales y profundas) a pesar de que en los reportes de la literatura no es común encontrarlos separados. En muchos casos, se reporta solamente la biomasa aérea residual y subterránea superficial, donde la residual hace referencia a la hojarasca (litter) y la subterránea incluye solamente material en descomposición (Molinar *et al*., 2001) y no incluyen estructuras vivas (estolones verdes y rizomas vivos) como se reporta en el presente trabajo, siendo importante presentar los componentes determinados y asociados a factores de manejo como la intensidad de defoliación y la fertilización (Tabla 3-2 y tabla 3-3).

En el presente estudio, una menor intensidad de defoliación (12 cm) condujo a un aumento (0.9%) en el contenido de carbono de la biomasa aérea disponible (conformado por hojas y tallos), comparado con aquellas sometidas a una mayor intensidad de defoliación (6 cm) (Tabla 3-2). Además, al aumentar la fertilización aumentó la concentración de C y N (+1 y 0.4%, respectivamente) en la biomasa aérea disponible (Tabla 3-2). En la biomasa aérea residual con el incremento de la fertilización disminuyó (-2.6%) la concentración de C y aumentó (0.3%) la concentración de N. (Tabla 3-2). Además, en esta misma fracción la magnitud de la respuesta sobre la relación C:N fue distinta a 6 y 12 cm, pero en ambos casos disminuyó con la fertilización (Tablas 3.3). De manera similar, He *et al*. (2019) encontraron que una mayor intensidad de defoliación (más del 50% de las plantas) conduce a una disminución en la relación C:N. Estos cambios en la relación C:N en respuesta a la fertilización han sido reportados por otros (Li *et al*., 2014) quienes al fertilizar

con dosis de 5 y 10 g m^{2-1} $año^{-1}$ de N observaron una disminución en la relación C:N en gramíneas.

En particular, con el incremento de la fertilización disminuyó (18.5 vs 16.2) la relación C:N comparada cuando no se aplicó N en la fertilización. Además, el incremento de la fertilización aumenta el contenido de N en el forraje disponible y residual, lo que conlleva a que en el conjunto de la biomasa aérea la relación C:N disminuya por la relación inversa con el C presente en los componentes, lo que implica que las plantas tengan mayor contenido de N disponible en la base y en los tallos y hojas para su posterior crecimiento (Soares Filho *et al.*, 2013; Volenec *et al.*, 1996).

Por otra parte , la fertilización aumentó el N en la biomasa subterránea superficial, pero la respuesta fue modulada por la intensidad de defoliación (6 y 12 cm) (interacción) (Tabla 3-2). También, en la biomasa subterránea superficial la mayor altura residual (12 cm) aumentó la relación C:N de 37.4 a 41.9 (+12%) comparado con 6 cm; y con el incrementó de la fertilización se redujo de 48.1 a 35.4 (-26.4%) la relación C:N de la biomasa subterránea superficial (Tabla 3-3).

Tabla 3-2. Concentración de C y N en la biomasa aérea (forraje disponible y residual) y subterránea (a 30 cm de profundidad) de pasto Kikuyo por efecto de la altura residual (AR) y la fertilización.

Variable	Interacción						Factores Principales					EEM[1]			Efectos[2]		
	Altura residual 6 cm			Altura residual 12 cm			AR (cm)		Fertilización								
	Control	Medio	Alto	Control	Medio	Alto	6	12	Control	Medio	Alto	AR*F	AR	F	AR	F	AR*F
								Carbono, %									
Biomasa aérea																	
Disponible	45.4	44.7	45.6	46.1	45.5	46.6	45.2^{b}	46.1^{a}	45.7^{ab}	45.1^{b}	46.1^{a}	*0.288*	*0.105*	*0.203*	**	*	ns
Residual	44.1	43.9	41.7	45.0	44.0	41.6	43.2	43.5	44.5^{a}	43.9^{a}	41.6^{b}	*0.491*	*0.419*	*0.347*	ns	***	ns
Biomasa subterránea																	
Superficial	44.0	42.5	44.0	45.0	44.7	44.3	43.5	44.7	44.5	43.6	44.1	*0.966*	*0.410*	*0.683*	ns	ns	ns
Profunda	41.5	43.7	41.3	41.3	41.7	43.4	42.2	42.1	41.4	42.7	42.3	*1.016*	*0.409*	*0.718*	ns	ns	ns
								Nitrógeno, %									
Biomasa Aérea																	
Disponible	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	3.1	2.5	2.8	2.5^{b}	2.6^{b}	2.9^{a}	*0.091*	*0.123*	*0.064*	ns	**	ns
Residual	0.8^{b}	1.1^{aA}	1.1^{a}	0.7^{b}	0.8^{bB}	1.1^{a}	0.9	0.8	0.8^{c}	0.9^{b}	1.1^{a}	*0.051*	*0.039*	*0.036*	ns	**	+
Biomasa subterránea																	
Superficial	1.0^{bA}	1.2^{a}	1.3^{a}	0.9^{bB}	1.2^{a}	1.2^{a}	1.2	1.1	0.9^{b}	1.2^{a}	1.2^{a}	*0.022*	*0.037*	*0.016*	ns	***	*
Profunda	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	*0.050*	*0.043*	*0.035*	ns	ns	ns

[a, b, c] Letras diferentes (minúsculas) para el efecto "interacción" representa diferencias significativas entre niveles de fertilización en cada altura residual, y para el efecto "Factores principales" representa diferencias significativas entre niveles de cada factor.
[A,B,C] Letras diferentes (mayúsculas) para el efecto "Interacción" representa diferencias significativas entre alturas residuales dentro de cada nivel de fertilización.
[1] EEM: error estándar de la media
[2]AR: efecto de la altura residual. F: efecto de la fertilización. AR*F: efecto de la fertilización y la altura residual. +: p<0.1; *: p<0.05; **:p<0.01; ***: p<0.001; ns: no significativo

Tabla 3-3. Relación de C y N en la biomasa aérea (forraje disponible y residual) y subterránea (a 30 cm de profundidad) de pasto Kikuyo por efecto de la altura residual (AR) y la fertilización.

Variable	Interacción						Factores Principales					EEM[1]			Efectos[2]		
	Altura residual 6 cm			Altura residual 12 cm			AR (cm)		Fertilización								
	Control	Medio	Alto	Control	Medio	Alto	6	12	Control	Medio	Alto	AR*F	AR	F	AR	F	AR*F
								Relación C:N									
Biomasa aérea																	
Disponible	19.6	18.4	17.4	17.4	16.4	15.0	18.5	16.3	18.5[a]	17.4[ab]	16.2[b]	*0.57*	*0.80*	*0.40*	ns	*	ns
Residual	53.3[a]	41.3[ab]	38.6[b]	60.4[a]	54.2[a]	38.3[b]	44.3	50.9	56.9	47.8	38.4	*2.86*	*2.77*	*2.02*	ns	***	*
Biomasa subterránea																	
Superficial	43.4	33.8	34.9	52.9	37.9	35.2	37.4[b]	41.9[a]	48.1[a]	35.8[b]	35.0[b]	*1.70*	*1.52*	*1.20*	*	***	+
Profunda	48.3	51.7	48.6	47.2	42.9	48.3	49.5	46.1	47.8	47.3	48.4	*3.51*	*2.55*	*2.48*	ns	ns	ns

[a, b, c] Letras diferentes (minúsculas) para el efecto "interacción" representa diferencias significativas entre niveles de fertilización en cada altura residual, y para el efecto "Factores principales" representa diferencias significativas entre niveles de cada factor.
[A,B,C] Letras diferentes (mayúsculas) para el efecto "Interacción" representa diferencias significativas entre alturas residuales dentro de cada nivel de fertilización.
[1] EEM: error estándar de la media
[2]AR: efecto de la altura residual. F: efecto de la fertilización. AR*F: efecto de la fertilización y la altura residual. +: p<0.1; *: p<0.05; **:p<0.01; ***: p<0.001; ns: no significativo

Existencias de C y N

Las pasturas pueden actuar como depósito de C de acuerdo con la gestión del manejo que se realice sobre estas (Saraiva *et al*., 2014). Una parte importante de este C se acumula en las raíces, mientras que el C de la biomasa aérea se utiliza como alimento o deposito transitorio de C (hojarasca y forraje residual) (Basile-Doelscht *et al.* 2020). En la literatura hay pocos trabajos en los que se ha estudiado la variación de los depósitos de C por efecto del manejo en las pasturas en ensayos de corta duración pues se consideran que estas ocurren en periodos relativamente largos de tiempo (Follett *et al*., 2020; Prieto & Ernst, 2010). En este segmento, se presentan los hallazgos que sobre la acumulación de C (biomasa aérea y subterránea) se dieron en las pasturas de Kikuyo en el corto plazo (14 meses de experimentación) en respuesta a las estrategias de manejo (fertilización e intensidad de defoliación). La discusión se centró a los resultados de la biomasa subterránea y en algunos casos para complementarla al no encontrar reportes asociados a prácticas de manejo (Intensidad de defoliación y fertilización) para el Kikuyo se referenció valores de acumulación encontrados para otras especies de pasturas.

En este trabajo, la mayor cantidad de C se encontró en la biomasa subterránea y represento más del 50% del C total de la pastura independientemente del tratamiento. En donde, la cantidad de C fue mayor (1.58 *t* C ha^{-1}) para aquellos tratamientos defoliados a 12 cm de altura residual (Tabla 3-4). El efecto de la fertilización no fue claro para esta variable y la mayor cantidad de C se encontró en el nivel intermedio de fertilización. La cantidad de C en la biomasa aérea fue similar entre tratamientos, pero el C en el forraje disponible se modificó por la combinación de los tratamientos (Interacción). En particular, cuando se cortó a 6 cm y se fertilizó con un nivel medio de fertilización aumento 42% la acumulación de C, comparado con niveles bajos de fertilización. Además, cuando se fertilizó con un nivel medio y se aplicó la mayor intensidad de defoliación la cantidad de C fue mayor, comparado con una menor intensidad de defoliación (0.66 vs 0.45 *t* C ha^{-1}, respectivamente).

Se ha reportado que la eliminación del área foliar debido a la defoliación estimula las movilizaciones de reservas de C para el crecimiento de nuevas hojas (Gastal & Lemaire,

2015). Al defoliar la pastura de Kikuyo a una mayor altura residual (12 cm) las existencias de C en la biomasa subterránea superficial aumentaron en 1.4 *t* C ha^{-1} (+25.5%) comparada cuando se cortó a 6 cm (Tabla 3-4). Además, la acumulación de C en las raíces profundas vario como consecuencia de la fertilización, pero solo en las parcelas defoliadas a 6 cm (Interacción) (Tabla 3-4). En esta intensidad de defoliación (6 cm), la acumulación de C aumentó en un 43% para la fertilización media. En el conjunto de la biomasa subterránea del pasto Kikuyo la cantidad de carbono existente aumentó un 14.1% cuando se defolió a 12 cm comparado con la defoliación a 6 cm y superior para el nivel medio de fertilización (Tabla 3-4). Jin *et al*. (2021) observaron resultados similares en praderas de estepas (crecimiento por macollas) cuando manejaron intensidades de pastoreo ligero e intenso (0.0 y 0.92 UA ha^{-1}). Estos autores reportaron existencias de C en las raíces vivas y muertas a una profundidad de 0 a 30 cm mayores para la baja intensidad (6.25 *t* C ha^{-1}) que las de mayor intensidad (4.52 *t* C ha^{-1}. Los autores indican que el aumento en la acumulación de C en las pasturas defoliadas a una baja intensidad se relaciona con aumentos en el crecimiento de la canopia debido a una disminución en la defoliación. Lo anterior sugiere que las pasturas defoliadas a 12 cm tuvieron una mayor IAF que le permitió capturar más C que fue en parte movilizado a la biomasa subterránea (rizomas, raíces, raicillas). Sin embargo, el efecto de la intensidad de defoliación sobre la biomasa subterránea no siempre ha mostrado ventajas en la acumulación de C. Por ejemplo, Ma *et al*. (2021) no encontraron diferencias en la acumulación de C en mezclas de gramíneas templadas al evaluar dos intensidades de defoliación (bajo y alto) de la biomasa subterránea medida hasta los 30 cm (25 y 24 *t* C ha^{-1}, respectivamente). Varios trabajos realizados en Colombia han determinado las existencias de C en pasturas de Kikuyo bajo sistemas tradicionales. Por ejemplo, Giraldo *et al*. (2008) reportaron acumulaciones de C en la parte aérea y radical de 1.6 y 13.6 *t* C ha^{-1}, respectivamente y Pérez-Atehortúa *et al*. (2019) de 2.62 *t* C ha^{-1} en la biomasa aérea, 5.23 *t* C ha^{-1} en el colchón y 6.95 *t* C ha^{-1} en las raíces y nosotros observamos existencias de C en la biomasa aérea de 8.55 *t* C ha^{-1} y de 11.9 *t* C ha^{-1} en la biomasa subterránea. En todos los estudios, la cantidad de C subterráneo fue alto, aunque vario sugiriendo que esta especie es una buena alternativa para almacenamiento de C en el suelo y la biomasa subterránea de la pastura.

Por otra parte, la existencia de N en el forraje disponible y en la biomasa subterránea superficial aumentó 59 y 45% (respectivamente) cuando se aplicó un nivel alto de

fertilización sobre las plantas de Kikuyo (Tabla 3-4). En la biomasa aérea del pasto Kikuyo con el incremento de la fertilización aumentó un 50% la existencia de N comparado con el nivel control de fertilización. Similar a lo reportado en pastos perennes como el *Panicum virgatum* donde con el incremento de la fertilización nitrogenada (0 vs 196 kg N ha^{-1}) aumento la existencia de N (0.10 vs 0.19 *t* ha^{-1}) (Valdez *et al*., 2017). La fertilización con nitrógeno aumenta la concentración de este elemento (Gastal & Durand, 2000), la producción de biomasa total de las plantas y mejora el ciclo de nutrientes (Dubeux *et al*., 2007) que para el caso del pasto Kikuyo le aportaría para que se movilice N y se recuperen las plantas luego de la defoliación. La defoliación menos intensa (12 cm) aumento un 15% las existencias de N en la biomasa subterránea comparada con la defoliación a 6 cm. Además, con el incremento de la fertilización aumentó (33.3%) la cantidad de N por unidad de área de la biomasa subterránea comparado con el nivel bajo de fertilización.

Tabla 3-4. Existencias de C y N en la biomasa aérea (forraje disponible y residual) y subterránea (a 30 cm de profundidad) de pasto Kikuyo por efecto de la altura residual (AR) y la fertilización.

Variable	Interacción						Factores Principales					EEM[1]			Efectos[2]		
	Altura residual 6 cm			Altura residual 12 cm			AR (cm)		Fertilización								
	Control	Medio	Alto	Control	Medio	Alto	6	12	Control	Medio	Alto	AR*F	AR	F	AR	F	AR*F
								t C ha^{-1}									
Biomasa aérea																	
Disponible	0.38^{bA}	0.66^{aA}	0.56^{abA}	0.40^{A}	0.45^{B}	0.56^{A}	0.53	0.47	0.39	0.55	0.56	*0.039*	*0.017*	*0.028*	+	*	*
Residual	8.03	7.95	7.29	6.90	9.57	8.59	7.75	8.35	7.46	8.76	7.93	*0.104*	*1.364*	*0.738*	ns	ns	ns
Total	***8.41***	***8.60***	***7.84***	***7.29***	***10.02***	***9.14***	***8.29***	***8.82***	***7.85***	***9.31***	***8.49***	*1.034*	*1.368*	*0.731*	ns	ns	ns
Biomasa subterránea																	
Superficial	5.32	5.48	5.44	5.88	7.73	6.76	5.41^{b}	6.79^{a}	5.60	6.60	6.10	*0.554*	*0.217*	*0.385*	*	ns	ns
Profunda	4.68^{b}	8.09^{a}	4.47^{b}	6.44	5.51	5.88	5.75	5.94	5.56	6.80	5.18	*0.718*	*1.111*	*0.508*	ns	ns	*
Total	***10.01***	***13.57***	***9.92***	***12.32***	***13.24***	***12.65***	***11.16^{b}***	***12.74^{a}***	***11.17^{b}***	***13.40^{a}***	***11.28^{b}***	*0.696*	*1.114*	*0.490*	*	*	ns
								t N ha^{-1}									
Biomasa aérea																	
Disponible	0.020	0.035	0.032	0.023	0.028	0.037	0.029	0.029	0.021^{b}	0.032^{a}	0.035^{a}	*0.003*	*0.002*	*0.002*	ns	**	ns
Residual	0.15	0.19	0.19	0.12	0.17	0.22	0.18	0.17	0.14^{b}	0.18^{ab}	0.20^{a}	*0.022*	*0.035*	*0.016*	ns	*	ns
T*otal*	**0.17**	**0.23**	**0.22**	**0.14**	**0.20**	**0.26**	**0.21**	**0.20**	**0.16^{b}**	**0.21^{ab}**	**0.24^{a}**	*0.022*	*0.034*	*0.015*	ns	*	ns
Biomasa subterránea																	
Superficial	0.12	0.16	0.15	0.11	0.20	0.19	0.15	0.17	0.12^{b}	0.18^{a}	0.17^{a}	*0.015*	*0.0001*	*0.010*	ns	**	ns
Profunda	0.10	0.15	0.09	0.14	0.13	0.12	0.11	0.13	0.12	0.14	0.10	*0.016*	*0.017*	*0.011*	ns	ns	ns
total	**0.22**	**0.31**	**0.24**	**0.25**	**0.33**	**0.31**	**0.26^{b}**	**0.30^{a}**	**0.24^{b}**	**0.32^{a}**	**0.27^{ab}**	*0.018*	*0.017*	*0.013*	*	**	ns

[a, b, c] Letras diferentes (minúsculas) para el efecto "interacción" representa diferencias significativas entre niveles de fertilización en cada altura residual, y para el efecto "Factores principales" representa diferencias significativas entre niveles de cada factor.
[A,B,C] Letras diferentes (mayúsculas) para el efecto "Interacción" representa diferencias significativas entre alturas residuales dentro de cada nivel de fertilización.
[1] EEM: error estándar de la media. [2]AR: efecto de la altura residual. F: efecto de la fertilización. AR*F: efecto de la fertilización y la altura residual. +: p<0.1; *: p<0.05; **:p<0.01; ***: p<0.001; ns: no significativo

3.4.2 Masa, longitud y grosor de estolones, rizomas y raíces finas

La aplicación de nutrientes (fertilización nitrogenada) y el corte o defoliación son prácticas de manejo importantes que afectan la proliferación de las raíces y su extensión (Wherley *et al*., 2011). En el presente trabajo se evaluó el efecto de la intensidad de defoliación y la fertilización sobre el peso, la longitud y el diámetro de las estructuras (estolones y rizomas) que están presenten en cada uno de los componentes definidos en el estudio. Los resultados presentan una gran dispersión dentro de un mismo tratamiento probablemente debido a la dificultad en la separación física de cada una de las estructuras. Por esta razón, es posible que para algunas variables como la longitud de los rizomas vivo y muertos en la biomasa subterránea superficial que presentaron diferencias numéricas muy grandes entre las medias de los tratamientos no se presentaran diferencias estadísticas. A pesar de esto, se presentaron diferencias debido a estas estrategias de manejo para algunas de las características medidas (Tabla 3-5).

Primero, la fertilización tuvo un efecto positivo sobre la longitud de los estolones verdes. Estos tuvieron 296 cm más comparado con el nivel control de fertilización. Lo anterior indicaría que la fertilización tiene un gran impacto sobre la colonización que esta pastura hace sobre la superficie del suelo y, de acuerdo con lo reportado por Cruz & Boval (2000) se ratifica el efecto positivo que hace la fertilización sobre la elongación de los estolones en las pasturas de especies estoloníferas. Además, estolones más largos le daría ventajas para la propagación y crecimiento de esta especie. Sin embargo, el diámetro de los estolones se redujo como consecuencia de la fertilización en aquellas parcelas defoliadas a 6 cm. (Tabla 3-5).

El diámetro de la raíz es un carácter importante que afecta la proliferación de raíces y la adquisición de recursos, principalmente este parámetro está fuertemente correlacionado con la asimilación de N (en forma de nitrato o amonio) (Anderson *et al*., 2007). Los estolones y los rizomas son tallos modificados que crecen horizontalmente y no se consideran raíces. Estos son estructuras que almacenan CNE para el rebrote de las plantas y son esenciales para la persistencia de pasturas estoloníferas (García *et al*.,

2014). Los hallazgos encontrados en el pasto Kikuyo y relacionados con que a una mayor intensidad de defoliación (6 cm) y sin fertilización los estolones verdes presentaron un mayor diámetro, indican que esta especie al ser defoliada a esta intensidad podría reservar nutrientes en sus estructuras como medida para reducir el gasto para crecimiento foliar. Así mismo, los rizomas muertos presentes en la biomasa subterránea profunda del pasto Kikuyo cosechado a 6 cm y con un nivel medio de fertilización fueron 329 cm más largos comparados con la defoliación a 12 cm y con el mismo nivel de fertilización (Interacción). Además, se observó que la longitud de los rizomas muertos de las parcelas defoliados a una menor altura residual disminuyó con el nivel alto de fertilización comparado con el nivel medio. Además, como consecuencia de una mayor defoliación se puede presentar una degeneración de las raíces que conlleva a su muerte (Endo, 1967), lo que podría explicar una tendencia a una mayor masa de rizomas muertos en la biomasa subterránea profunda. Por último, Guo *et al*. (2012), reportaron que a una profundidad de 10 a 20 cm del suelo la longitud de las raíces de pasturas de *L. chinensis* en estepas semiáridas al norte de China que fueron cosechadas con una intensidad de defoliación severa (2 cm) fueron más cortas comparado con una menor intensidad de defoliación (15 cm) (1.88 vs 3.67 m m^{2-1}).

Tabla 3-5. Longitud, grosor y cantidad de estolones, rizomas y raíces finas del pasto Kikuyo asociados al manejo con diferente altura residual (AR) y nivel de fertilización.

Variable[1]	Interacción						Factores Principales					EEM[1]			Efectos[2]		
	Altura residual 6 cm			Altura residual 12 cm			AR (cm)		Fertilización								
	Control	Medio	Alto	Control	Medio	Alto	6	12	Control	Medio	Alto	AR*F	AR	F	AR	F	AR*F
								Aérea Superficial									
Estolones verdes																	
Masa, (*gMS/m²*)	42.7	42.2	126.1	63.1	80.0	110.2	70.3	84.4	52.9	61.1	118.1	*41.0*	*28.6*	*27.8*	ns	ns	ns
Longitud, *(cm)*	40.7	168.0	426.0	242.3	288.1	534.7	211.5	355.1	141.5[b]	228.1[b]	480.4[a]	*75.3*	*102.8*	*53.2*	ns	**	ns
Diámetro *(mm)*	4.12[aA]	2.38[b]	3.12[ab]	2.62[B]	2.88	2.76	3.21	2.75	3.37	2.63	2.94	*0.247*	*0.196*	*0.174*	ns	*	*
								Subterránea superficial									
Rizoma vivo																	
Masa, (*gMS/m²*)	565.3	522.7	442.7	666.7	624.0	784.0	510.2	691.5	616.0	573.3	613.3	*103.5*	*135.0*	*73.2*	+	ns	ns
Longitud, *(cm)*	1247	1213	1087	1624	1032	2272	1182	1642	1436	1122	1679	*338.4*	*280.1*	*239.3*	ns	ns	ns
Diámetro, *(mm)*	2.84	2.73	2.73	2.81	2.45	2.37	2.76	2.54	2.82	2.59	2.55	*0.166*	*0.089*	*0.117*	ns	ns	ns
Rizoma muerto																	
Masa, (*gMS/m²*)	122.7	74.7	80.0	133.3	80.0	85.3	92.4	99.5	128.0	77.3	82.7	*34.9*	*11.9*	*24.7*	ns	ns	ns
Longitud, *(cm)*	405.4	332.8	199.0	604.2	250.5	525.8	312.4	460.2	504.8	291.7	362.4	*137.3*	*29.7*	*97.1*	+	ns	ns
Raíces finas, (*gMS/m²*)	352.0	298.7	314.7	282.7	325.3	368.0	321.7	325.3	317.3	312.0	341.3	*63.0*	*77.8*	*44.3*	ns	ns	ns
								Subterránea Profunda									
Rizoma vivo																	
Masa, (*gMS/m²*)	146.6	417.6	271.7	223.6	124.6	478.8	278.6	275.7	185.1	271.1	375.3	*140.1*	*99.7*	*99.1*	ns	ns	ns
Longitud, *(cm)*	699.4	548.9	454.2	318.8	121.2	637.7	567.5	359.2	509.1	335.0	545.9	*232.2*	*196.0*	*164.2*	ns	ns	ns
Diámetro, *(mm)*	2.37	3.20	3.03	3.12	3.24	3.29	2.87	3.22	2.74	3.22	3.16	*0.222*	*0.153*	*0.157*	ns	ns	ns
Rizoma muerto																	
Masa, (*gMS/m²*)	134.2	207.7	87.9	51.5	35.2	46.0	143.2	44.2	92.8	121.5	66.9	*46.0*	*60.3*	*32.4*	+	ns	ns
Longitud, *(cm)*	227.5[ab]	382.8[a A]	154.9[b]	178.1	54.3[B]	113.7	255.1	115.4	202.8	218.6	134.3	*48.5*	*51.2*	*34.3*	ns	ns	*
Raíces finas, (*gMS/m²*)	260.8	357.5	332.4	254.1	278.0	271.7	316.9	268.0	257.5	317.8	302.0	*66.1*	*32.4*	*46.8*	ns	ns	ns

[a, b, c] Letras diferentes (minúsculas) para el efecto "interacción" representa diferencias significativas entre niveles de fertilización en cada altura residual, y para el efecto "Factores principales" representa diferencias significativas entre niveles de cada factor.

[A,B,C] Letras diferentes (mayúsculas) para el efecto "Interacción" representa diferencias significativas entre alturas residuales dentro de cada nivel de fertilización.

[1] EEM: error estándar de la media

[2]AR: efecto de la altura residual. F: efecto de la fertilización. AR*F: efecto de la fertilización y la altura residual. +: p<0.1; *: p<0.05; **:p<0.01; ***: p<0.001; ns: no significativo

3.5 Conclusiones

Las pasturas de Kikuyo acumulan altas cantidades de biomasa (>42 *t* ha^{-1}) y C (>18 *t* ha^{-1}). La mayor parte de esta (55.2 a 64.2%) se encuentra en el componente de biomasa subterránea (Rizomas, raíces, raicillas) y solamente una pequeña proporción (<3%) está disponible para el animal ya que gran parte del componente aéreo (33.8 a 42.7%) se encuentra en el residuo (Estolones, hojas, material muerto). Las estrategias de manejo (Fertilización, altura residual) no modificaron las cantidades totales de biomasa o C acumuladas, aunque hubo una tendencia a que la cantidad acumulada fuera mayor con la fertilización. Además, las pasturas defoliadas 12 cm acumularon más materia seca y C en la biomasa subterránea superficial que aquellas defoliadas a 6 cm. Por último, el forraje disponible y la acumulación de C aumentaron con la fertilización en aquellas pasturas defoliadas a 6 cm.

La fertilización redujo la concentración C en la biomasa aérea y aumentó la de N en la mayoría de los componentes de la pastura con excepción de la biomasa subterránea profunda disminuyendo las relaciones C:N en ellos. Por último, la porción aérea de las pasturas defoliadas a 6 cm tuvo menores proporciones de C y de N que las de 12 cm resultando en relaciones C:N inferiores.

La densidad de estolones (g mm^{2-1}) no se modificó con los tratamientos de altura residual o fertilización. Sin embargo, los estolones aumentaron su longitud con la fertilización y su diámetro se redujo en aquellas parcelas fertilizadas y cosechadas a una altura residual de 6 cm. Los rizomas vivos fueron más abundantes en la capa superficial del suelo (0-10 cm) que en la profunda y su densidad fue mayor en aquellas parcelas defoliadas a 12 cm.

Los hallazgos de este estudio sugieren que las estrategias de manejo evaluadas modificaron poco la biomasa y C acumulados. Sin embargo, si modificaron algunas características de la pastura como fue la biomasa aérea disponible, la biomasa subterránea

superficial (0-10 cm) y algunos aspectos asociados a morfología de los estolones y masa de los rizomas. Los primeros fueron más largos y delgados cuando se aumentó la fertilización, mientras en los segundos su masa aumentó cuando la pastura se defolio a 12 cm. Las implicaciones de estos cambios en la sobrevivencia, productividad y acumulación de C de la pastura en el largo plazo deberán ser evaluados en estudios adicionales. Sin embargo, es evidente, que la fertilización reduce la relación entre el C:N que podría acelerar los proceso de descomposición de la MO en el suelo mientras que una mayor intensidad de defoliación reduciría la acumulación de C en la capa superficial del suelo.

3.6 Bibliografía

Anderson, TM., Starmer, WT., & Thorne, M. 2007. Bimodal root diameter distributions in Serengeti grasses exhibit plasticity in response to defoliation and soil texture: implications for nitrogen uptake. Functional Ecology, 21:50-60.

AOAC. 2016. Official Methods of Analysis of AOAC International. 20th Edition. Editor: George W Latimer, Jr. Rockville, Maryland, USA

Apolinário, VXO., Dubeux, JCB., Mello, ACL., Vendramini, JMB., Lira, MA., Santos, MVF., & Muir, JP. 2013. Deposition and decomposition of signal grass pasture litter under varying nitrogen fertilizer and stocking rates. Crop Ecology & Physiology, 105(4):999-1004

Avila, RE., Di Marco, O., & Agnusdei, M. 2011. Calidad nutritiva de láminas de *Chloris gayana* en estado vegetativo. Efecto de la reducción del tamaño foliar y envejecimiento. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, 20(1-2):17-27

Basile-Doelsch, I., Balesdent, J., & Pellerin, S. 2020. Reviews and syntheses: The mechanisms underlying carbon storage in soil. Biogeosciences, 17(21):5223-5242 https://doi.org/10.5194/ bg-17-5223-2020

Bloom, AJ., Meyerhoff, PA., Taylor, AR., & Rost, TL. 2003. Root development and absorption of ammonium and nitrate from the rhizosphere. Journal of Plant Growth Regulation, 21:416-431.

Borges, JA., Barrios, M., & Escalona, O. 2012. Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica sobre variables agroproductivas y composición química del pasto estrella *(Cynodon nlemfuensis)*. Zootecnia Tropical, 30(1):17-25.

Borrajo, I., & Alonso, S. 2014. Tasa de elongación foliar en materiales de Agropiro Alargado: efecto de la fenología y el agregado de nitrógeno. En: 37° Congreso AAPA – 2nd Joint Meeting ASAS-AAPA – XXXIX Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal. Octubre 20, 21 y 22 de 2014.

Carnevalli, RA., Da Silva, SC., Bueno, ADO., Uebele, MC., Bueno, FO., Hodgson, J., & Morais, JPG. 2006. Herbage production and grazing losses in Panicum máximum cv. Mombaça under four grazing managements. Tropical Grasslands, 40(3),165-176.

Chapman, D., McCarthy, S., Kay, J. 2014. Hidden dollars in grazing management: Getting the most profit from your pastures. Proceedings of the South Island Dairy Event – SIDE, Conference. Invercargill, New Zealand, 21-36.

Céspedes, F., Fernández, JA., Gobbi, JA., & Bernardis, AC. 2012. Reservorio de carbono en suelo y raíces de un pastizal y una pradera bajo pastoreo. Revista Fitotecnia Mexicana, 35(1):79-86.

Collins, M., & Newman, Y. 2018. Chapter 2: Structure and Morphology of Grasses. In Colllins, M., Nelson, CJ., Moore, KJ., & Barnes, RF. (Eds.) Forages: Volume 1: An introduction to grassland agriculture, (Vol. 269, 7th ed). Wiley-Blackwell.

Dai, L., Guo, X., Ke, X., Zhang, F., Li, Y., Peng, C., Shu, K., Li, Q., Lin, L., Cao, G., & Dy, Y. 2019. Moderate grazing promotes the root biomass in *Kobresia* meadow on the northern Qinghai-Tibet Plateau. Ecology and evolution, 9:9395-9406. doi.10.1002/ece3.5494

Da Silva, TC., Perazzo, AF., Macedo, CHO., Batista, ED., Pinho, RMA., Bezerra, HFC., & Santos, EM. 2012. Morfogênese e estructura de *Brachiaria decumbens* em resposta ao corte e adubação nitrogenada. Archivos de Zootecnia, 61(233):91-102.

Da Silva, SC., Sbrissia, AF., & Pereira, LET. 2015. Ecophysiology of C4 forage grasses-understanding plant growth for optimising their use and management. Agriculture, 5(3):598-625.

Dawson, LA., Grayston, SJ., & Paterson, E. 2000. Effects of grazing on the roots and rhizosphere of grasses. In: Lemaire, G., Hodgson, J., de Moraes, A., Nabinger, C., & de F Carvalho, PC. Eds., Grassland Ecophysiology and grazing Ecology. CAB International, Wallingford, Oxfordshire, 61-84. http://dx.doi/10.1079/9780851994529.0015

De Almeida, OG., Pedreira, CGS., de Assis, JA., Pedreira, BC., Gomes, FJ. & Nave, RLG. 2023. Defoliation management and nitrogen fertiliser rate affect canopy structural traits of grazed guineagrass *(Megathyrsus maximus)* cv Zuri under rotational stocking. Crop and Pasture Science, 74(12):1201-1209 https://doi.org/10.1071/CP22388

Dubeux, JCB., Sollenberger, LE., Mathews, BW., Scholberg, JM., & Santos, HQ. 2007. Nutrient cycling in warm-climate grasslands. Crop Science, 47(3):915. Doi: 10.2135/cropsci2006.09.0581

Endo, RM. 1967. Root tip degeneration of turf grasses, natural and induced. California Turfgrass Culture, 17(3):17-18.

FAO - Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y GTIS - Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo. 2015. Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS) - Resumen Técnico. Organizaciones de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo. Roma, Italia. http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf

Figueroa, N., Etchevers, B., Velásquez, M., Acosta, M. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la sierra norte de Oxaca. Terra Latinoamericana, 23:57-64.

Finn, D., Page, K., Catton, K., Strounina, E., Kienzle, M., Robertson, F., Armstrong, R., & Dalal, R. 2015. Effect of added nitrogen on plant litter descomposition depends on initial soil carbon and nitrogen stoichiometry. Soil Biology & Biochemistry, 91:160-168. https://dx.doi.org/10.1016./j.soilbio.2015.09.001

Follett, RF., Stewart, CE., Bradford, J., Pruessner, EG., Sims, PL., & Vigil, MF. 2020. Long-term pasture management impacts on eolian sand soils in the southern mixed-grass prairie. Quaternary International, 565:84-93.

Fulkerson, WJ., Slack, K., & Havilah, E. 1999. The effect of defoliation Interval and height on growth and herbage quality of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*). Tropical Grasslands, 33:138-145.

García, SC., Islam, MR., Clark, CEF., Martin, PM. 2014. Kikuyu-based pasture for dairy production: a review. Crop and Pasture Science, 65: 787-797.

Gastal, F., & Durand, JL. 2000. Effects of Nitrogen and water supply on N and C fluxes and partitioning in defoliated swards. In: Lemaire, G., Hodgson, J., de Moraes, A., Nabinger, C., & de F Carvalho, PC. Eds., Grassland Ecophysiology and grazing Ecology. CAB International, Wallingford, Oxfordshire, 15-39.

Gastal, F., & Lemaire, G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. Journal of Experimental Botany. Inorganic Nitrogen Assimilation Special Issue, 53(370): 789-799.

Gastal, F., & Lemaire, G. 2015. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilisation in pasture: Review of the underlying ecophysiological processes. Agriculture, 5:1146-1171. doi:10.3390/agriculture5041146

Giraldo, A., Zapata, M., & Montoya, E. 2008. Captura y flujo de carbono en un sistema silvopastoril de la zona Andina Colombiana. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, 16(4):241-245

Guo, YJ., Han, L., Li, GD., Han, JG., Wang, GL., Li, ZY., & Wilson, B. 2012. The effects of defoliation on plant community, root biomass and nutrient allocation and soil chemical properties on semi-arid steppes in northern China. Journal of Arid Environments, 78:128-134.

He, M., Zhou, G., Yuan, T., Groenigen, KJ., Shao, J. & Zhou, X. 2019. Grazing intensity significantly changes the C:N:P stoichiometry in grassland ecosystems. Global Ecology and Biogeography, 29(2):355-369. doi: 10.1111/geb.13028

Hernández-Garay, A., Matthew, C., & Hodgson, J.1999. Tiller size/density compensation in perennial ryegrass miniature swards subject to different defoliation heights and a proposed productivity index. Grass Forage Science, 54:347-356.

Hodgson, J. 1990. Grazing Management. Science into Practice. Longman Scientific & Technical, Harlow, England. 240 p.

Holland, JN., Cheng, WX., Crossley, DA. 1996. Herbivore induced changes in plant carbon allocation: assessment of belowground C fluxes using C^{14}. Oecologia, 107:8794.

Jaramillo, VJ. 2004. El ciclo global del carbono. En: Cambio climático: una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, DF. p. 77-85.

Jin, D., Yan, R., Li, L., Qi, J., Chen, J., Xu, H., Yan, Y., & Xin, X. 2021. Variation of livestock grazing intensity modified the magnitude of Carbon sequestration and flow within the plant-soil system of a meadow steppe ecosystem. Preprint. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-353876/v1

Keller, AB., Walter, CA., Blumenthal, DM., Borer, ET., Collins, SL., Delancey, LC., Fay, PA., Hofmockel, KS., Knops, JMH., Leakey, ADB., Mayes, MA., Seabloom, EW., & Hobbie, SE. 2022. Stronger fertilization effects on aboveground versus belowground plant properties across nine U.S. grasslands. Ecology, 104(2), e3891. https://doi.org/10.1002/ecy.3891

Kering, MK., Butler, TJ., Biermacher, JT. & Guretzky JA. 2012. Biomass yield and nutrient removal rates of perennial grasses under nitrogen fertilization. Bioenergy Research, 5:61-70.

Kuzyakov, Y., Siniakina, SV., Ruehlmann, J., Domanski, G., Stahr, K. 2002. Effect of nitrogen fertilisation on below-ground carbon allocation in lettuce. J. Sci. Food Agric., 82(13):1432-1441.

León, R., Bonifaz, N., & Gutiérrez, F. 2018 Pastos y forrajes del Ecuador: siembra y producción de pasturas. 1ra Edición. Editorial Universitaria Abya-Yala. ISBN 9789978103180. 616 p.

Lemaire, G. 2001. Ecophysiology of grasslands: dynamic aspects of forage plant population in grazed swards. Proc. XIX International Grassland Congress. Sao Paulo, Brasil. pp: 29-37.

Lemaire, G., & Chapman, D. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. In: Hodgson, J., Illius, AW. eds. The ecology and management of grazing systems. Wallingford, CABI. p. 3-36.

Leslie, EM., Evelyn, HM., James, FC., Noorallah, GJ. 2010. *Festuca campestris* alters root morphology and growth in response to simulated grazing and nitrogen form. Functional Ecology, 24:283-294.

Li, JH., Yang, YJ., Li, BW., Li, WJ., Wang, G., & Knops, JMH. 2014 Effects of Nitrogen and Phosphorus fertilization on soil Carbon fractions in Alpine meadows on the Qinghai-Tibetan Plateau. PLoS ONE, 9(7): e103266. doi:10.1371/journal.pone.0103266

López, SB., Garay, AH., Moya, EG., Pérez, JP., Shibata, JK., Haro, JGH., & Muñoz, SSG. 2005. Efecto de la altura y frecuencia de corte en el crecimiento y rendimiento del pasto Buffel *(Cenchrus ciliaris L.)* en un invernadero. Agrociencia, 39(2):137-147.

Ma, Z., Chang, SX., Bork, EW., Steinaker, DF., Wilson, SD., White, SR., & Cahill, JF. 2020. Climate change and defoliation interact to affect root length across northern temperate grasslands. Functional Ecology, 34:2611-2621. https://doi.org/10.1111/1365-2435.13669

Ma, Z., Bork, EW., Li, J., Chen, G., & Chang, SX. 2021. Photosynthetic carbon allocation to live roots increases the year following high intensity defoliation across two ecosites in a temperate mixed grassland. Agriculture, Ecosystem & Environment, 316:107450. doi:10.1016/j.agee.2021.107450

Mawdsley, JL., & Bardgett, RD. 1997. Continuous defoliation of perennial ryegrass *(Lolium perenne)* and white clover *(Trifolium repens)* and associated changes in the microbial population of an upland grassland soil. Biology and Fertility of Soils, 24:52-58.

Medina, S., Barahona, R., Velásquez, A., Acevedo, J., & Cerón, M. 2022. Existencias de carbono orgánico en suelos cultivados con pasto kikuyo en el norte de Antioquia. Acta Agronómica, 71(2): 119-129.

Molina, MRE. 2018. Altura de defoliación y recuperación de la pastura de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en la provincia de Ubaté (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Colombia.

Molinar, F., Galt, D., & Holechek, J. 2001. Managing for mulch. Rangelands, 23:3-7.

Nelson, CJ., & Moore, KJ. 2020. Chapter 2: Grass Morphology. In: Forage: The Science of Grassland Agriculture. Moore, KJ., Collins, M., Nelson, CJ., Redfearn, DD. Eds., John Wiley & Sons Ltd. 23-49.

Pérez Atehortúa, M., Medina Aguirre, MF., Hurtado Granada, A., Arboleda Zapata, EM., & Medina Sierra, M. 2019. Reservas de carbono del pasto *Cenchrus clandestinus* (Poaceae)

en los sistemas de manejo tradicional y silvopastoril, en diferentes relieves. Revista de Biología Tropical, 67(4):769-783. https://doi.org/10.15517/RBT.V67I4.34529

Prieto, GS., & Ernst, O. 2010. Manejo del suelo y rotación con pasturas. Efecto sobre la calidad del suelo, el rendimiento de los cultivos y el uso de insumos. Informaciones Agronómicas del Cono Sur, 45:22-26

Ramos-Hernández, E., & Martínez-Sánchez, L. 2020. Almacenes de biomasa y carbón aéreo y radical en pastizales de *Urochloa decumbens* y *Paspalum notatum* (Poaceae) en el sureste de México. Revista de Biología Tropical, 68(2):440-451.

Rao, I., Rippstein, G., Escobar, G., & Ricaurte, J. 2001. Producción de biomasa vegetal epígea e hipógea en las sábanas nativas. En: Agroecología y biodiversidad de las sábanas en los Llanos Orientales de Colombia. CIAT, CIRAD. ISBN: 958-694-033-0

Richards, JH. 1993. Physiology of plants recovering from defoliation. Proc. XVII International Grassland Congress. Palmerston North, New Zealand pp: 95-104.

Rojas-Solano, J., Brenes-Gamboa, S., & Abarca-Monge, S. 2022. Carbono en el suelo: comparación entre un área de pastos y un bosque. InterSedes, 23(47):184-205. https://dx.doi.org/10.15517/isucr.v23i47.47695

Salazar, JAE. 2020. Estimación del suministro de proteína metabolizable en una ración para ganado de leche. Nutrición Animal Tropical, 14(2): 85-100 https://doi.org/10.15517/nat.v14i2.44256

Saraiva, FM., Dubeux Jr, JCB., Lira, MA., de Mello, ACL., dos Santos, MVF., Cabral, FA., &Teixeira, VI. 2014. Root development and soil carbon stocks of tropical pastures managed under different grazing intensities. Tropical Grasslands, 2:254-261 https://doi.org/10.17138/TGFT(2)254-261

Sbrissia, AF., Duchini, PG., Zanini, GD., Santos, GT., Padilha, DA., & 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, 58:945-954. doi:10.2135/cropsci2017.07.0447

Da Silva, HMS., Dubeux Jr, JCB., Silveira, ML., dos Santos, MVF., de Freitas, EV., & Lira, MA. 2019. Root descomposition of grazed signal grass in response to stocking and nitrogen fertilization rates. Crop Science, 59:811-818. https://doi.org/10.2135/cropsci2018.08.0523

Soares Filho, CV., Cecato, U., Ribeiro, OL., Roma, CFDC., Jobim, CC., Beloni, T., & Perri, SHV. 2013. Root system and root and stem base organic reserves of pasture Tanzania grass fertilizer with nitrogen under grazing. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, 34(5):2415-2426. doi: 10.5433/1679-0359.2013v34n5p2415

Thornton, B., & Millard, P. 1996. Effects of severity of defoliation on root functioning in grasses. Journal of Range Management, 49(5):443-447

Titlyanova, A., Romanova, I., Kosykh, N., & Mironycheva-Tokareva, N. 1999. Pattern and process in above-ground and belowground components of grassland ecosystems. Journal of vegetation Science, 10(3):307-320. https://doi.org/10.2307/3237060

Valdez, ZP., Hockaday, WC., Masiello, CA., Gallagher, ME., & Philip Robertson, G. 2017. Soil Carbon and nitrogen responses to nitrogen fertilizer and harvesting rates in switchgrass cropping systems. BioEnergy Research, 10:456-464.

Volenec, JJ., Ourry, A., Joern, BCA. 1996. A role to nitrogen reserves in the regrowth of forages and tolerance for stress. Physiology Plantarum, 97(1):185-193.

Wang, WY., Wang, QJ., Wang, CY., Shi, HL., Li, Y., Wang, G. 2005. The effect of land management of carbon and nitrogen status in plants and soils of alpine meadows on the Tibetan plateau. Land Degrad. Dev., 16:405-415.

Wherley, BG., Sinclair, TR., Dukes, MD., & Schreffler, AK. 2011. Nitrogen and cutting height influence root development during warm season turfgrass sod establishment. Agronomy Journal, 103(6):1629-1634. doi:10.2134/agronj2011.0146

Yaranga, RM., & Custodio, M. 2013. Almacenamiento de carbono en pastos naturales altoandinos. Scientia Agropecuaria, 4(4):313-319.

Zhang, L., Yang, L., Zhou, H., Ren, L., Li, W., Bai, W., & Zhang, WH. 2022. Carbon allocation patterns in forbs and grasses differ in responses to mowing and nitrogen fertilization in a temperate grassland. Ecological Indicators, 135,108588. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108588

Conclusiones y recomendaciones

3.6 Conclusiones

Los resultados indican que la combinación de las prácticas de manejo como lo son la intensidad de defoliación y la fertilización en el tiempo generan cambios en variables estructurales como la densidad de brotes, cantidad de brotes secundarios y la proporción de hojas de las pasturas de Kikuyo. Por lo anterior, al manejar las plantas de Kikuyo con una fertilización completa y con una mayor intensidad de defoliación se logra una mayor productividad, que está asociada a incrementos en la densidad de las plantas que generan un mayor crecimiento diario de las praderas, sin embargo, las praderas con este manejo presentan plantas con una menor longitud de hojas y cantidad de hojas muertas.

La gestión de las pasturas con herramientas de manejo como la intensidad de defoliación genera un mayor impacto sobre la estructura de las plantas, en particular sobre la densidad de brotes, la cantidad de hojas muertas y la longitud de las hojas y el crecimiento (TDC) de las plantas; y la fertilización sobre la altura de las plantas, acumulación de hojas verdes, la calidad de los tallos durante la época seca y la acumulación final de biomasa y proteína de la pastura de Kikuyo.

Cosechar las pasturas de Kikuyo cuando alcanzan las 5 hojas vivas y a 12 cm resultó en un menor crecimiento (-19% TDC), pero causa un mayor impacto sobre la relación hoja:tallo, siendo la hojosidad de la pastura un 46% mejor que al cosechar a 6 cm.

La composición química de las hojas y tallos de las plantas de Kikuyo durante la época lluviosa presentaron una respuesta diferenciada de los tratamientos, mientras que en la época seca su efecto se combinó para las hojas en los contenidos de ceniza y lignina y para los tallos en la digestibilidad. Además, durante ambas épocas la altura residual hasta la que se defoliaron las plantas tuvo un menor impacto sobre la calidad de las hojas y tallos,

pero el efecto del incremento de la fertilización fue mayor durante los momentos de altas y bajas precipitaciones en los contenidos de PC de las hojas y tallos de las plantas. En este sentido, la composición química de las hojas es mejor durante la época seca, porque presentó mayores valores de PC y menores contenidos de FDN y lignina, pero menor digestibilidad comparadas con la de los tallos. Además, cuando la pastura de Kikuyo se cosecha a 12 cm y se fertiliza se logra un efecto positivo sobre la digestibilidad y se reduce el contenido de lignina de las plantas.

Las pasturas de Kikuyo establecidas por largos periodos de tiempo (>30 años) acumulan altas cantidades de biomasa (>42 *t* ha-1) y de carbono (>18 *t* ha^{-1}), aunque menor cantidad de N (<0.57 t ha^{-1}). La mayor parte de la distribución de la biomasa (55.2 a 64.2%) se encuentra en el componente de biomasa subterránea (conformada por Rizomas, raíces, raicillas) y una pequeña proporción (<3%) está disponible para el animal (hojas y tallos), ya que gran parte del componente aéreo (33.8 a 42.7%) se encuentra en el residuo (conformado por estolones, hojas, material muerto).

Los hallazgos de este estudio sugieren que la intensidad de defoliación y la fertilización como estrategias de manejo no modificaron las cantidades totales de biomasa o C acumuladas, aunque hubo una tendencia por la fertilización a que fuera superior la cantidad acumulada. Las pasturas acumularon más MS y C en la biomasa subterránea superficial cuando fueron defoliadas 12cm, que a 6 cm. Sin embargo, en las pasturas defoliadas a 6 cm la biomasa aérea conformada por hojas y tallos acumuló mayor C al aumentar la fertilización. La porción aérea de las pasturas defoliadas a 6cm tuvieron menores proporciones de C y de N que las de 12 cm resultando en relaciones C:N inferiores. Además, la fertilización redujo la relación entre el C:N que podría acelerar los proceso de descomposición de la MO en el suelo.

La intensidad de defoliación y la fertilización, si modificaron algunas características asociadas a la morfología de los estolones y los rizomas. Los estolones fueron más largos y delgados al aumentar la fertilización y su diámetro se redujo en aquellas parcelas fertilizadas y cosechadas a una altura residual de 6 cm. Los rizomas vivos fueron más

abundantes en la capa superficial del suelo y su masa (g MS m^{2-1}) aumentó al defoliar la pastura a 12 cm.

3.7 Recomendaciones

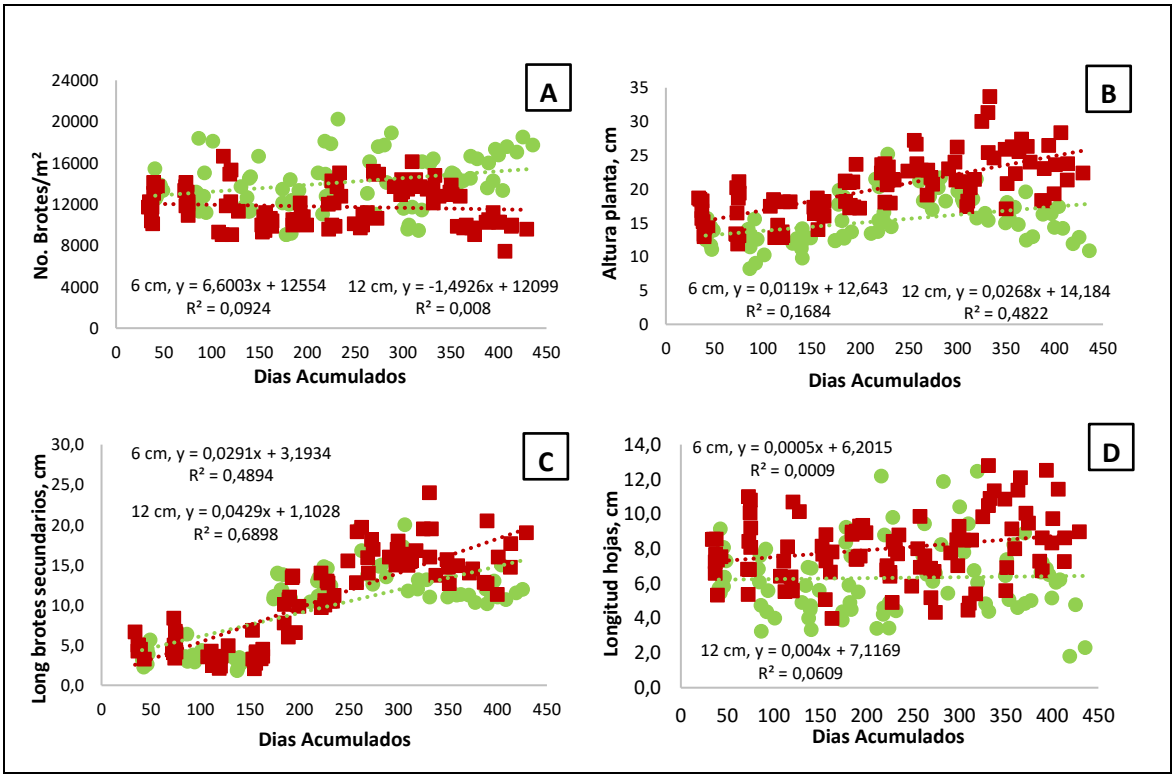
En la medida en que se utilicen las pasturas de Kikuyo defoliadas a 12 cm y con aplicación de niveles de 274 y 461 kg N ha^{-1} $año^{-1}$ se obtendrán plantas con una mayor relación hoja:tallo, y con un intervalo de defoliación más rápido lo que permitirá ampliar la capacidad productiva en comparación a sistemas de producción que utilicen el Kikuyo de manera tradicional.

El presente trabajo proporciona una buena base e introducción acerca de la composición y acumulación de C y N en la biomasa aérea y subterránea del pasto Kikuyo, siendo el aporte de las praderas un insumo para estimar el “stock” de C en el suelo. Además, en futuros trabajos permitirán estimar o crear modelos de predicción de emisiones de GEI a partir de diferentes tasas de aplicación de fertilización con N e intensidades de defoliación. Además, sería interesante estimar las entradas y salidas totales de C y N utilizando un enfoque del ciclo de vida de las plantas de Kikuyo, dentro de un sistema de producción, e incluir aspectos económicos a este enfoque, de esta manera se podría aportar determinando la eficiencia ambiental de los sistemas de producción pastoriles de trópico alto colombiano.

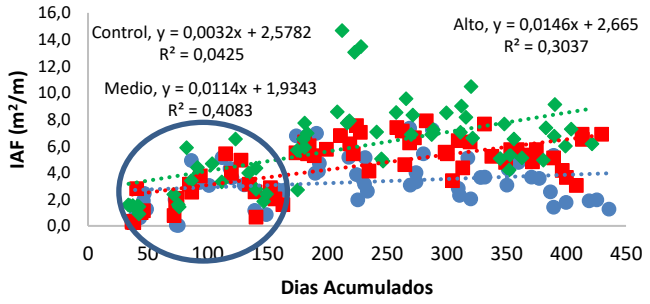
Se sugiere que, para futuros experimentos, en donde se evalué el efecto de la defoliación (corte) y fertilización sobre mediciones de composición de las estructuras aéreas y subterráneas de pasto Kikuyo la duración del montaje sea a más largo plazo (> 14 meses), con el fin de conocer los cambios en la sobrevivencia, productividad y acumulación de C en estas estructuras.

A. Anexo: Interacciones entre el tiempo (días acumulados), la intensidad de defoliación y los niveles de fertilización

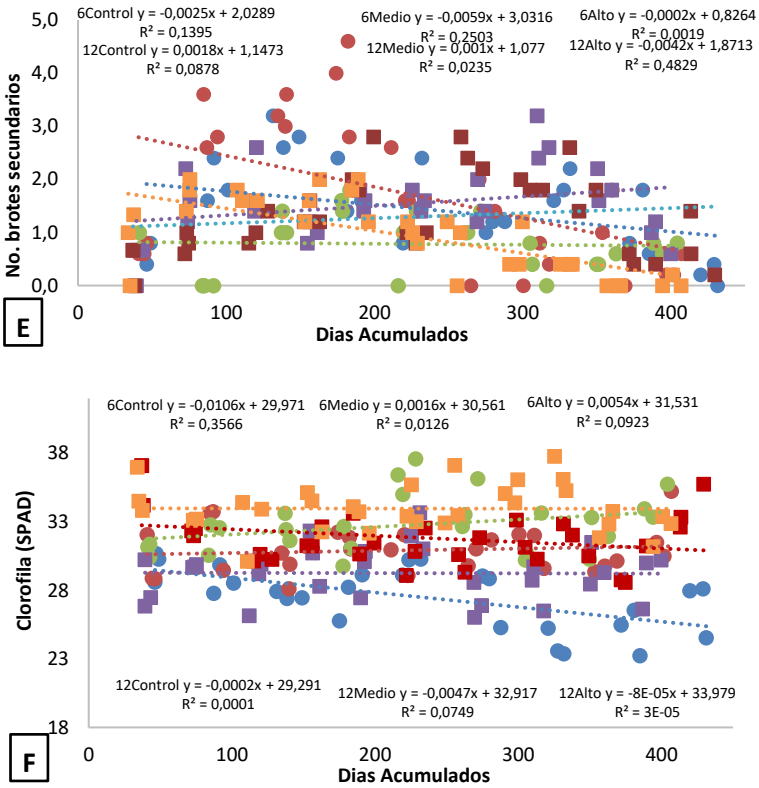
Se presentan las gráficas de las interacciones entre el tiempo (días acumulados) y la intensidad de defoliación (altura residual) significativas (*P*<0.05) dentro del modelo para las variables morfométricas densidad de brotes (A), altura de la planta (B), longitud de brotes secundarios (C) y longitud de las hojas (D) del pasto Kikuyo, cortadas a 6 cm (▪) y a 12 cm (▪).



Se presentan las gráficas de las interacciones entre el tiempo (días acumulados) y los niveles de fertilización significativas (*P*<0.05) dentro del modelo para la variable índice de área foliar del pasto Kikuyo, para los niveles control (•), medio (▪) y alto (♦) de fertilización.



Se presentan las gráficas de las interacciones entre el tiempo (días acumulados), la intensidad de defoliación y los niveles de fertilización significativas (*P*<0.05) dentro del modelo para la cantidad de brotes secundarios (E) y contenido de clorofila (F) del pasto Kikuyo, para las combinaciones de los tratamientos 6Control (•), 6Medio (•), 6Alto (•), 12Control (▪), 12Medio (▪) y 12Alto (▪).



B. Anexo: Salidas del análisis estadístico

A continuación , se presentan las salidas estadísticas (tablas con la significancia de cada efecto) para las variables evaluadas en el capítulo 2: agronómicas, estructurales (incluye para ambas el efecto de las covariables - ambientales y del tiempo como factor continuo - días acumulados) y de calidad. En el capítulo 3: para la biomasa aérea y subterránea (producción de biomasa, acumulación C y N, relación C:N); así como, morfometría en la biomasa aérea residual de los estolones (masa, longitud y diámetro) y en la biomasa subterránea (masa, longitud y diámetro) de rizomas vivos, rizomas muertos y raíces finas (solo masa).

CAPITULO 2
Variables agronómicas y estructurales

Variable: Tasa diaria de crecimiento (TDC)

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
Precipitación	1	165	3,66	0,0576
Brillo	1	165	11,29	0,0010
Temperatura	1	165	0,24	0,6228
Bloque	2	165	0,13	0,8774
Altura	1	165	6,91	0,0094
Fertilizante	2	165	25,22	<.0001
Altura*Fertilizante	2	165	1,37	0,2567
Días Acumulados	1	165	24,39	<.0001

Variable: Hojas muertas por planta (HMP)

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
Precipitación	1	165	5,94	0,0158
Brillo	1	165	7,2	0,0080
Temperatura	1	165	0,72	0,3963
Bloque	2	165	0,1	0,9073
Altura	1	165	5,02	0,0263
Fertilizante	2	165	2,8	0,0638
Altura*Fertilizante	2	165	2,29	0,1048
Días Acumulados	1	165	300,47	<.0001

Variable: Altura de las plantas (ALT)

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
Precipitación	1	163	2,44	0,1205
Brillo	1	163	33,07	<.0001
Temperatura	1	162	0,01	0,9412
Bloque	2	1,98	0,2	0,8313
Altura	1	17	3,39	0,0830
Fertilizante	2	162	60,73	<.0001
Altura*Fertilizante	2	162	2,97	0,0541
Días Acumulados	1	162	102,41	<.0001
Días Acumulados*Altura	1	162	18,02	<.0001

Variable: Longitud de hojas

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
Precipitación	1	161	0	0,9621
Brillo	1	161	3,38	0,0678
Temperatura	1	161	0,15	0,7023
Bloque	2	99,7	0,21	0,8086
Altura	1	31,8	14,08	0,0007
Fertilizante	2	159	2,18	0,1168
Altura*Fertilizante	2	21,8	0,01	0,9903
Días Acumulados	1	131	1,29	0,2576
Días Acumulados*Fertilizante	2	110	3,27	0,0419

Variable: Cantidad brotes secundarios

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
Precipitación	1	159	0,14	0,7111
Brillo	1	159	5	0,0268
Temperatura	1	158	6,73	0,0104
Bloque	2	65,2	0,18	0,8374
Altura	1	158	5,33	0,0222
Fertilizante	2	158	2,35	0,0992
Altura*Fertilizante	2	158	10,27	<.0001
Días Acumulados	1	156	19,7	<.0001
Días Acumulados*Altura	1	147	5,37	0,0218
Días Ac*Altura*Fertilizante	4	127	5,69	0,0003

Variable: Longitud brotes secundarios

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
Precipitación	1	146	1,37	0,2441
Brillo	1	146	6,72	0,0105
Temperatura	1	146	0	0,9534
Bloque	2	146	0,23	0,7962
Altura	1	146	3,3	0,0713
Fertilizante	2	146	2,19	0,1160
Altura*Fertilizante	2	146	1,76	0,1755
Días Acumulados	1	146	167,15	<.0001
Días Acumulados*Altura	1	146	8,02	0,0053

Variable: Densidad de brotes

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
Precipitación	1	164	0,42	0,5168
Brillo	1	164	1,51	0,2209
Temperatura	1	164	0,48	0,4902
Bloque	2	164	0,24	0,7884
Altura	1	164	1,37	0,2438
Fertilizante	2	164	52,03	<.0001
Altura*Fertilizante	2	164	4,42	0,0135
Días Acumulados	1	164	3,44	0,0656
Días Acumulados*Altura	1	164	8,82	0,0034

Variable: Indice de área foliar (IAF)

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
Precipitación	1	163	6,03	0,0151
Brillo	1	163	1,01	0,3172
Temperatura	1	163	1,6	0,2078
Bloque	2	163	0,19	0,8271
Altura	1	163	3,54	0,0617
Fertilizante	2	163	0,74	0,4773
Altura*Fertilizante	2	163	1,06	0,3489
Días Acumulados	1	163	42,22	<.0001
Días Acumulados*Fertilizante	2	163	7,49	0,0008

Variable: Clorofila

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
Precipitación	1	155	0,20	0,6590
Brillo	1	156	0,59	0,4433
Temperatura	1	154	0,87	0,3522
Bloque	2	25,6	0,60	0,5554
Altura	1	122	5,01	0,0271
Fertilizante	2	96,1	7,65	0,0008
Altura*Fertilizante	2	95,2	2,90	0,0601
Días Acumulados	1	143	0,23	0,6352
Días Acumulados*Fertilizante	2	107	3,87	0,0239
Días Acumulados*Alt*Fert	3	99,9	3,50	0,0182

Variable: Porcentaje de Hojas

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
Precipitación	1	165	5.07	0.0256
Brillo	1	165	0.07	0.7870
Temperatura	1	165	2.03	0.1557
Bloque	2	165	0.55	0.5802
Altura	1	165	100.02	<.0001
Fertilizante	2	165	2.51	0.0845
Altura*Fertilizante	2	165	3.04	0.0506
Días Acumulados	1	165	15.26	0.0001

Variable: Porcentaje de tallos

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
Precipitación	1	165	20,9	<.0001
Brillo	1	165	2,56	0,1115
Temperatura	1	165	1,38	0,2413
Bloque	2	165	1,17	0,3142
Altura	1	165	96,84	<.0001
Fertilizante	2	165	1,77	0,1738
Altura*Fertilizante	2	165	1,44	0,2390
Días Acumulados	1	165	16,71	<.0001

Variable: Porcentaje de material muerto

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
Precipitación	1	163	23,85	<.0001
Brillo	1	164	9,44	0,0025
Temperatura	1	163	1,43	0,2334
Bloque	2	71,8	0,3	0,7452
Altura	1	65,9	19,66	<.0001
Fertilizante	2	38,3	2,42	0,1024
Altura*Fertilizante	2	34,6	4,69	0,0158
Días Acumulados	1	154	1,39	0,2399

Variable: Intervalo defoliación (Días rebrote)

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
Precipitación	1	165	23,38	<.0001
Brillo	1	165	0,79	0,3766
Temperatura	1	165	0,2	0,6564
Bloque	2	165	0,15	0,8586
Altura	1	165	132,85	<.0001
Fertilizante	2	165	7,14	0,0011
Altura*Fertilizante	2	165	0,43	0,6520
Días Acumulados	1	165	0,65	0,4208

Variable: Tasa de aparición foliar (TAF)

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
Precipitación	1	165	23.66	<.0001
Brillo	1	165	0.52	0.4736
Temperatura	1	165	0.16	0.6898
Bloque	2	165	0.18	0.8344
Altura	1	165	136.18	<.0001
Fertilizante	2	165	7.94	0.0005
Altura*Fertilizante	2	165	1.22	0.2975
Días Acumulados	1	165	0.58	0.4490

Variable: Acumulación de hojas

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
Precipitación	1	165	4.30	0.0398
Brillo	1	165	12.51	0.0005
Temperatura	1	165	0.00	0.9812
Bloque	2	165	0.18	0.8335
Altura	1	165	0.54	0.4638
Fertilizante	2	165	38.77	<.0001
Altura*Fertilizante	2	165	0.61	0.5432
Días Acumulados	1	165	22.65	<.0001

Variable: Acumulación de tallos

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
Precipitación	1	165	5.71	0.0180
Brillo	1	165	3.08	0.0812
Temperatura	1	165	0.52	0.4704
Bloque	2	165	0.33	0.7187
Altura	1	165	44.79	<.0001
Fertilizante	2	165	6.39	0.0021
Altura*Fertilizante	2	165	2.88	0.0589
Días Acumulados	1	165	15.62	0.0001

Variable: Relación Hoja:Tallo

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
Precipitación	1	164	15.70	0.0001
Brillo	1	164	5.48	0.0167
Temperatura	1	164	1.08	0.3000
Bloque	2	164	0.41	0.6670
Altura	1	164	32.88	<.0001
Fertilizante	2	164	0.29	0.7459
Altura*Fertilizante	2	164	1.36	0.2590
Días Acumulados	1	164	11.72	0.0008
Días Acumulados*Altura	1	164	15.03	0.0002

CALIDAD NUTRICIONAL
EPOCA LLUVIA
PARTE: HOJA

Variable: MS

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	1.5211111	0.7605556	0.21	0.8149
Altura	1	118.0672222	118.0672222	32.61	0.0004
Fertilización	2	38.3544444	19.1772222	5.30	0.0343
Bloque*Altura	2	12.1877778	6.0938889	1.68	0.2454
Altura*Fertilización	2	5.3611111	2.6805556	0.74	0.5070

Variable: PC

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.18831111	0.09415556	0.19	0.8279
Altura	1	4.54008889	4.54008889	9.33	0.0157
Fertilización	2	18.04071111	9.02035556	18.53	0.0010
Bloque*Altura	2	8.97604444	4.48802222	9.22	0.0084
Altura*Fertilización	2	2.34004444	1.17002222	2.40	0.1522

Variable: PCS

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	3.86310000	1.93155000	3.49	0.0815
Altura	1	30.49805000	30.49805000	55.03	<.0001
Fertilización	2	4.29453333	2.14726667	3.87	0.0666
Bloque*Altura	2	3.99370000	1.99685000	3.60	0.0766
Altura*Fertilización	2	0.03893333	0.01946667	0.04	0.9656

Variable: FDN

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.78617778	0.39308889	0.63	0.5594
Altura	1	3.99502222	3.99502222	6.35	0.0358
Fertilización	2	6.70734444	3.35367222	5.33	0.0337
Bloque*Altura	2	1.75791111	0.87895556	1.40	0.3015
Altura*Fertilización	2	0.09874444	0.04937222	0.08	0.9252

Variable: FDA

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	2.94280000	1.47140000	0.42	0.6703
Altura	1	1.05608889	1.05608889	0.30	0.5976
Fertilización	2	8.60213333	4.30106667	1.23	0.3422
Bloque*Altura	2	11.33497778	5.66748889	1.62	0.2565
Altura*Fertilización	2	1.97991111	0.98995556	0.28	0.7607

Variable: CNE

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.11373333	0.05686667	0.23	0.8020
Altura	1	0.83635556	0.83635556	3.34	0.1052
Fertilización	2	2.18963333	1.09481667	4.37	0.0522
Bloque*Altura	2	0.35391111	0.17695556	0.71	0.5219
Altura*Fertilización	2	0.82954444	0.41477222	1.65	0.2503

Variable: Lignina

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.22903333	0.11451667	0.92	0.4385
Altura	1	0.02960556	0.02960556	0.24	0.6397
Fertilización	2	1.23563333	0.61781667	4.94	0.0401
Bloque*Altura	2	0.02514444	0.01257222	0.10	0.9055
Altura*Fertilización	2	0.09694444	0.04847222	0.39	0.6908

Variable: Ceniza

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.86410000	0.43205000	2.43	0.1499
Altura	1	0.02568889	0.02568889	0.14	0.7138
Fertilización	2	3.86230000	1.93115000	10.86	0.0053
Bloque*Altura	2	0.34707778	0.17353889	0.98	0.4177
Altura*Fertilización	2	0.79067778	0.39533889	2.22	0.1708

Variable: Ca

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.00173333	0.00086667	1.08	0.3845
Altura	1	0.00435556	0.00435556	5.43	0.0482
Fertilización	2	0.00323333	0.00161667	2.01	0.1957
Bloque*Altura	2	0.00617778	0.00308889	3.85	0.0675
Altura*Fertilización	2	0.00167778	0.00083889	1.04	0.3952

Variable: P

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.00147778	0.00073889	0.67	0.5390
Altura	1	0.00200556	0.00200556	1.81	0.2149
Fertilización	2	0.00081111	0.00040556	0.37	0.7040
Bloque*Altura	2	0.00414444	0.00207222	1.87	0.2150
Altura*Fertilización	2	0.00081111	0.00040556	0.37	0.7040

Variable: DIVMS

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	18.58829646	9.29414823	5.22	0.0486
Altura	1	0.00734712	0.00734712	0.00	0.9509
Fertilización	2	20.51457018	10.25728509	5.76	0.0402
Bloque*Altura	2	26.07114384	13.03557192	7.32	0.0246
Altura*Fertilización	2	2.65261230	1.32630615	0.74	0.5142

EPOCA LLUVIA
PARTE: TALLO

Variable: MS

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	9.00000000	4.50000000	1.03	0.4011
Altura	1	3.04222222	3.04222222	0.69	0.4291
Fertilización	2	45.64000000	22.82000000	5.20	0.0357
Bloque*Altura	2	12.11111111	6.05555556	1.38	0.3054
Altura*Fertilización	2	31.16444444	15.58222222	3.55	0.0786

Variable: PC

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.84991111	0.42495556	0.35	0.7179
Altura	1	12.18533889	12.18533889	9.91	0.0136
Fertilización	2	16.08001111	8.04000556	6.54	0.0208
Bloque*Altura	2	18.18537778	9.09268889	7.39	0.0152
Altura*Fertilización	2	0.76341111	0.38170556	0.31	0.7416

Variable: PCS

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	4.94807778	2.47403889	0.50	0.6250
Altura	1	0.04302222	0.04302222	0.01	0.9281
Fertilización	2	58.64701111	29.32350556	5.91	0.0265
Bloque*Altura	2	3.47614444	1.73807222	0.35	0.7147
Altura*Fertilización	2	6.63707778	3.31853889	0.67	0.5387

Variable: FDN

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.06167778	0.03083889	0.01	0.9868
Altura	1	4.03280000	4.03280000	1.75	0.2229
Fertilización	2	3.61674444	1.80837222	0.78	0.4892
Bloque*Altura	2	10.40223333	5.20111667	2.25	0.1676
Altura*Fertilización	2	2.29623333	1.14811667	0.50	0.6259

Variable: FDA

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	9.15773333	4.57886667	0.67	0.5361
Altura	1	4.12802222	4.12802222	0.61	0.4579
Fertilización	2	6.29003333	3.14501667	0.46	0.6450
Bloque*Altura	2	15.19871111	7.59935556	1.12	0.3726
Altura*Fertilización	2	4.58367778	2.29183889	0.34	0.7231

Variable: CNE

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	7.93884444	3.96942222	1.64	0.2538
Altura	1	6.17175556	6.17175556	2.54	0.1495
Fertilización	2	6.94274444	3.47137222	1.43	0.2944
Bloque*Altura	2	8.25657778	4.12828889	1.70	0.2424
Altura*Fertilización	2	0.48054444	0.24027222	0.10	0.9068

Variable: Lignina

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.70870000	0.35435000	1.89	0.2131
Altura	1	0.00802222	0.00802222	0.04	0.8414
Fertilización	2	0.01773333	0.00886667	0.05	0.9541
Bloque*Altura	2	0.46534444	0.23267222	1.24	0.3398
Altura*Fertilización	2	0.38191111	0.19095556	1.02	0.4041

Variable: Ceniza

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.67453333	0.33726667	0.73	0.5110
Altura	1	2.09442222	2.09442222	4.54	0.0657
Fertilización	2	1.60463333	0.80231667	1.74	0.2360
Bloque*Altura	2	0.68817778	0.34408889	0.75	0.5047
Altura*Fertilización	2	0.53674444	0.26837222	0.58	0.5810

Variable: Ca

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.02203333	0.01101667	1.39	0.3033
Altura	1	0.00005000	0.00005000	0.01	0.9386
Fertilización	2	0.00430000	0.00215000	0.27	0.7691
Bloque*Altura	2	0.01263333	0.00631667	0.80	0.4834
Altura*Fertilización	2	0.03583333	0.01791667	2.26	0.1666

Variable: P

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.00221111	0.00110556	0.49	0.6274
Altura	1	0.00605000	0.00605000	2.71	0.1386
Fertilización	2	0.00017778	0.00008889	0.04	0.9612
Bloque*Altura	2	0.00310000	0.00155000	0.69	0.5277
Altura*Fertilización	2	0.00760000	0.00380000	1.70	0.2426

Variable: DIVMS

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	15.42820959	7.71410479	2.32	0.1941
Altura	1	1.80981610	1.80981610	0.54	0.4941
Fertilización	2	10.87965968	5.43982984	1.63	0.2845
Bloque*Altura	2	11.25995845	5.62997923	1.69	0.2749
Altura*Fertilización	2	17.40126926	8.70063463	2.61	0.1672

EPOCA SECA
PARTE: HOJA

Variable: MS

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	7.2144444	3.6072222	0.23	0.7978
Altura	1	170.5088889	170.5088889	10.99	0.0106
Fertilización	2	0.7811111	0.3905556	0.03	0.9752
Bloque*Altura	2	26.1411111	13.0705556	0.84	0.4657
Altura*Fertilización	2	16.0411111	8.0205556	0.52	0.6151

Variable: PC

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	2.9451000	1.47255000	4.57	0.0475
Altura	1	0.02067222	0.02067222	0.06	0.8065
Fertilización	2	25.72690000	12.86345000	39.90	<.0001
Bloque*Altura	2	4.31911111	2.15970556	6.70	0.0195
Altura*Fertilización	2	1.05027778	0.52513889	1.63	0.2550

Variable: PCS

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.38047778	0.19023889	0.11	0.9007
Altura	1	0.37555556	0.37555556	0.21	0.6596
Fertilización	2	9.96714444	4.98357222	2.78	0.1214
Bloque*Altura	2	4.90607778	2.45303889	1.37	0.3087
Altura*Fertilización	2	3.37181111	1.68590556	0.94	0.4302

Variable FDN

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.74790000	0.37395000	0.26	0.7737
Altura	1	2.74560556	2.74560556	1.95	0.206
Fertilización	2	8.95690000	4.47845000	3.17	0.0967
Bloque*Altura	2	0.32201111	0.16100556	0.11	0.8936
Altura*Fertilización	2	0.51934444	0.25967222	0.18	0.8354

Variable: FDA

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	4.56943333	2.28471667	0.81	0.4778
Altura	1	0.7487222	0.74827222	0.27	0.6202
Fertilización	2	7.73173333	3.86586667	1.37	0.3073
Bloque*Altura	2	5.75401111	2.87700556	1.02	0.4027
Altura*Fertilización	2	0.42737778	0.21368889	0.08	0.9276

Variable: CNE

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	1.96334444	0.98167222	0.70	0.5231
Altura	1	0.42627222	0.42627222	0.31	0.5956
Fertilización	2	19.21201111	9.60600556	6.88	0.0182
Bloque*Altura	2	1.73734444	0.86867222	0.62	0.5607
Altura*Fertilización	2	12.87741111	6.43870556	4.61	0.0465

Variable: Lignina

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.26574444	0.13287222	2.16	0.1779
Altura	1	0.11520000	0.11520000	1.87	0.2085
Fertilización	2	1.59741111	0.79870556	12.98	0.0031
Bloque*Altura	2	0.23243333	0.11621667	1.89	0.2129
Altura*Fertilización	2	0.55223333	0.2761667	4.49	0.0494

Variable: Ceniza

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	1.03441111	0.51720556	0.42	0.6680
Altura	1	3.29388889	3.29388889	2.70	0.1387
Fertilización	2	6.46107778	3.23053889	2.65	0.1308
Bloque*Altura	2	0.43801111	0.21900556	0.18	0.8388
Altura*Fertilización	2	0.11187778	0.05593889	0.05	0.9554

Variable: Ca

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.00187778	0.00093889	0.46	0.6478
Altura	1	0.00142222	0.00142222	0.69	0.4287
Fertilización	2	0.00057778	0.00028889	0.14	0.8705
Bloque*Altura	2	0.00167778	0.00083889	0.41	0.6770
Altura*Fertilización	2	0.00964444	0.00482222	2.36	0.1589

Variable: P

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.00203333	0.00101667	2.82	0.1187
Altura	1	0.00013889	0.00013889	0.38	0.5524
Fertilización	2	0.00213333	0.00106667	2.95	0.1095
Bloque*Altura	2	0.00114444	0.00057222	1.58	0.2632
Altura*Fertilización	2	0.00231111	0.00115556	3.20	0.0953

Variable: DIVMS

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	82.87411719	41.43705859	16.69	0.0035
Altura	1	36.90431063	36.90431063	14.86	0..0084
Fertilización	2	16.78339813	8.39169906	3.38	0.1040
Bloque*Altura	2	77.98191169	38.99095585	15.70	0.0041
Altura*Fertilización	2	1.70399214	0.85199607	0.34	0.7226

EPOCA SECA
PARTE: TALLO

Variable: MS

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	151.7433333	75.8716667	2.99	0.1071
Altura	1	46.0800000	46.0800000	1.82	0.2146
Fertilización	2	376.2300000	188.1150000	7.42	0.0151
Bloque*Altura	2	58.0633333	29.0316667	1.14	0.3654
Altura*Fertilización	2	4.0033333	2.0016667	0.08	0.9248

Variable: PC

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	17.07503333	8.53751667	6.24	0.0233
Altura	1	0.92933889	0.92933889	0.68	0.4337
Fertilización	2	25.52093333	12.76046667	9.33	0.0081
Bloque*Altura	2	2.36581111	1.18290556	0.86	0.4571
Altura*Fertilización	2	0.90897778	0.45446669	0.33	0.7267

Variable: PCS

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	3.17467778	1.58733889	1.01	0.4048
Altura	1	2.80055556	2.80055556	1.79	0.2176
Fertilización	2	26.35374444	13.17687222	8.42	0.0107
Bloque*Altura	2	0.65154444	0.32577222	0.21	0.8162
Altura*Fertilización	2	5.91434444	2.95717222	1.89	0.2126

Variable: FDN

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	3.25387778	1.62693889	0.58	0.5834
Altura	1	0.24035556	0.24035556	0.09	0.7777
Fertilización	2	29.83787778	14.91893889	5.29	0.0344
Bloque*Altura	2	1.66787778	0.83393889	0.30	0.7518
Altura*Fertilización	2	0.41541111	0.20770556	0.07	0.9296

Variable: FDA

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	6.65831111	3.32915556	0.67	0.5365
Altura	1	0.88888889	0.88888889	0.18	0.6826
Fertilización	2	4.15434444	2.07717222	0.42	0.6705
Bloque*Altura	2	23.67271111	11.83635556	2.40	0.1530
Altura*Fertilización	2	14.42314444	7.21157222	1.46	0.2881

Variable: CNE

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	9.96520000	4.98260000	0.98	0.4174
Altura	1	0.97533889	0.97533889	0.19	0.6735
Fertilización	2	6.79630000	3.39815000	0.67	0.5401
Bloque*Altura	2	20.30204444	10.15102222	1.99	0.1989
Altura*Fertilización	2	2.64361111	1.32180556	0.26	0.7780

Variable: Lignina

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.15308889	0.07654444	0.22	0.8082
Altura	1	0.41316327	0.41316327	1.19	0.3124
Fertilización	2	0.16150222	0.08075111	0.23	0.7991
Bloque*Altura	2	0.34347556	0.17173778	0.49	0.6307
Altura*Fertilización	2	0.14914222	0.07457111	0.21	0.8125

Variable: Ceniza

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	1.11814444	0.55907222	1.23	0.3410
Altura	1	0.52020000	0.52020000	1.15	0.3151
Fertilización	2	9.23781111	4.61890556	10.20	0.0063
Bloque*Altura	2	4.69563333	2.34781667	5.18	0.0360
Altura*Fertilización	2	4.44443333	2.22221667	4.91	0.0407

Variable: Ca

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.00063333	0.00031667	0.18	0.8394
Altura	1	0.00000556	0.00000556	0.00	0.9567
Fertilización	2	0.01003333	0.00501667	2.84	0.1173
Bloque*Altura	2	0.00361111	0.00180556	1.02	0.4030
Altura*Fertilización	2	0.00681111	0.00340556	1.92	0.2078

Variable: P

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.00287778	0.00143889	2.44	0.1485
Altura	1	0.00222222	0.00222222	3.77	0.0880
Fertilización	2	0.00137778	0.00068889	1.17	0.3584
Bloque*Altura	2	0.00167778	0.00083889	1.42	0.2957
Altura*Fertilización	2	0.00271111	0.00135556	2.30	0.1623

Variable: DIVMS

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	123.4158901	61.7079450	27.23	0.0021
Altura	1	7.1087239	7.1087239	3.14	0.1367
Fertilización	2	20.2243868	10.1121934	4.46	0.0773
Bloque*Altura	2	92.0573060	46.0286530	20.31	0.0040
Altura*Fertilización	2	59.4119741	23.7059870	13.11	0.0103

CAPITULO 3
Peso y distribución de los componentes
BIOMASA AÉREA DISPONIBLE

Variable: *t* FS ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.05459128	0.02729564	1.10	0.3772
Altura	1	0.11465567	0.11465567	4.64	0.0634
Fertilización	2	0.56025158	0.28012579	11.33	0.0046
Bloque*Altura	2	0.02675929	0.01337965	0.54	0.6019
Altura*Fertilización	2	0.21886490	0.10943245	4.43	0.0508

Variable: Distribución (%)

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.39060764	0.19530382	0.96	0.4236
Altura	1	1.36014070	1.36014070	6.67	0.0325
Fertilización	2	1.46404172	0.73202086	3.59	0.0771
Bloque*Altura	2	1.01610461	0.50805230	2.49	0.1441
Altura*Fertilización	2	0.66663626	0.33331813	1.64	0.2539

BIOMASA AÉREA RESIDUAL

Variable: *t* FS ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	14.9835694	7.4917847	0.49	0.6274
Altura	1	7.5416923	7.5416923	0.50	0.5006
Fertilización	2	32.0546102	16.0273051	1.06	0.3913
Bloque*Altura	2	180.5644598	90.2822299	5.96	0.0260
Altura*Fertilización	2	38.0052415	19.0026207	1.25	0.3360

Variable: Distribución (%)

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	19.1029775	9.5514888	0.47	0.6426
Altura	1	21.8297768	21.8297768	1.07	0.3315
Fertilización	2	28.3120747	14.1560373	0.69	0.5278
Bloque*Altura	2	449.3084280	224.6542140	11.00	0.0051
Altura*Fertilización	2	145.9827478	72.9913739	3.57	0.0778

BIOMASA SUBTERRÁNEA SUPERFICIAL

Variable: *t* FS ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	17.06040466	8.53020233	1.58	0.2650
Altura	1	33.77584535	33.77584535	6.24	0.0371
Fertilización	2	19.07660481	9.53830241	1.76	0.2323
Bloque*Altura	2	3.86313655	1.93156827	0.36	0.7106
Altura*Fertilización	2	8.94242595	4.47121297	0.83	0.4721

Variable: Distribución (%)

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.30600449	0.15300224	0.01	0.9933
Altura	1	32.34663077	32.34663077	1.42	0.2677
Fertilización	2	8.22794889	4.11397445	0.18	0.8382
Bloque*Altura	2	53.85977252	26.92988626	1.18	0.3552
Altura*Fertilización	2	43.07884438	21.53942219	0.94	0.4281

BIOMASA SUBTERRÁNEA PROFUNDA

Variable: *t* FS ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	36.6507807	18.3253903	2.47	0.1459
Altura	1	2.2572398	2.2572398	0.30	0.5962
Fertilización	2	44.0894236	22.0447118	2.97	0.1082
Bloque*Altura	2	11.5387023	55.7693512	7.52	0.0145
Altura*Fertilización	2	77.7849917	38.8924959	5.25	0.0350

Variable: Distribución (%)

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	19.8838185	9.9419093	0.39	0.6868
Altura	1	0.0228238	0.0228238	0.00	0.9767
Fertilización	2	83.7407960	41.8703980	1.66	0.2496
Bloque*Altura	2	439.1584385	219.5792193	8.70	0.0098
Altura*Fertilización	2	302.2859249	151.1429624	5.99	0.0257

BIOMASA AÉREA TOTAL

Variable: *t* FS ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	24.9566773	12.4783386	0.68	0.5352
Altura	1	34.0879114	34.0879114	1.85	0.2111
Fertilización	2	39.7194765	19.8597383	1.08	0.3854
Bloque*Altura	2	441.4838275	220.7419137	11.97	0.0039
Altura*Fertilización	2	127.0434286	63.5217143	3.44	0.0834

BIOMASA SUBTERRÁNEA TOTAL

Variable: *t* FS ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	24.9566773	127.0434286	0.68	0.5352
Altura	1	34.0879114	34.0879114	1.85	0.2111
Fertilización	2	39.7194765	19.8597383	1.08	0.3854
Bloque*Altura	2	441.4838275	220.7419137	11.97	0.0039
Altura*Fertilización	2	127.0434286	63.5217143	3.44	0.0834

Concentración y relación de C y N
BIOMASA AÉREA
Disponible

Variable: %C

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.05847033	0.02923517	0.12	0.8907
Altura	1	2.97680000	2.97680000	11.96	0.0086
Fertilización	2	2.99527233	1.49763617	6.02	0.0254
Bloque*Altura	2	0.20188233	0.10094117	0.41	0.6796
Altura*Fertilización	2	0.05058233	0.02529117	0.10	0.9045

Variable: %N

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.02073636	0.01036818	0.41	0.6741
Altura	1	0.63017530	0.63017530	25.19	0.0010
Fertilización	2	0.44933978	0.22466989	8.98	0.0090
Bloque*Altura	2	0.27623265	0.13811632	5.52	0.0311
Altura*Fertilización	2	0.02150336	0.01075168	0.43	0.6648

Variable: Relación CN

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	1.68238743	0.84119371	0.85	0.4612
Altura	1	21.08597751	21.08597751	21.40	0.0017
Fertilización	2	16.13682306	8.06841153	8.19	0.0116
Bloque*Altura	2	11.75698270	5.87849135	5.97	0.0259
Altura*Fertilización	2	0.14755037	0.07377519	0.07	0.9285

Residual

Variable: %C

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	1.09739211	0.54869606	0.76	0.4995
Altura	1	0.30472022	0.30472022	0.42	0.5346
Fertilización	2	28.16102578	14.08051289	19.45	0.0008
Bloque*Altura	2	3.16620011	1.58310006	2.19	0.1747
Altura*Fertilización	2	0.69590711	0.34795356	0.48	0.6351

Variable: %N

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.00464242	0.00232121	0.30	0.7517
Altura	1	0.05537792	0.05537792	7.06	0.0290
Fertilización	2	0.25486194	0.12743097	16.24	0.0015
Bloque*Altura	2	0.02770176	0.01385088	1.77	0.2317
Altura*Fertilización	2	0.05634304	0.02817152	3.59	0.0771

Variable: Relación CN

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	18.512434	9.256217	0.37	0.6989
Altura	1	195.986318	195.986318	7.94	0.0226
Fertilización	2	1024.311204	512.155602	20.74	0.0007
Bloque*Altura	2	138.785546	69.392773	2.81	0.1190
Altura*Fertilización	2	132.365862	66.182931	2.68	0.1285

BIOMASA SUBTERRÁNEA
Superficial

Variable: %C

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	1.52554444	0.76277222	0.27	0.7687
Altura	1	5.88245000	5.88245000	2.10	0.1856
Fertilización	2	2.32617778	1.16308889	0.41	0.6740
Bloque*Altura	2	3.03363333	1.51681667	0.54	0.6022
Altura*Fertilización	2	2.65373333	1.32686667	0.47	0.6395

Variable: %N

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.02463611	0.01231806	7.81	0.0132
Altura	1	0.03217339	0.03217339	20.40	0.0020
Fertilización	2	0.36889144	0.18444572	116.94	<.0001
Bloque*Altura	2	0.02498211	0.01249106	7.92	0.0127
Altura*Fertilización	2	0.02383878	0.01191939	7.56	0.0144

Variable: Relación CN

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	23.0524994	11.5262497	1.32	0.3205
Altura	1	96.2996315	96.2996315	11.00	0.0106
Fertilización	2	649.5998008	324.7999004	37.09	<.0001
Bloque*Altura	2	42.1057826	21.0528913	2.40	0.1522
Altura*Fertilización	2	64.2262907	32.1131453	3.67	0.0741

Profunda

Variable: %C

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	5.71581111	2.85790556	0.92	0.4363
Altura	1	0.01227222	0.01227222	0.00	0.9514
Fertilización	2	5.01854444	2.50927222	0.81	0.4786
Bloque*Altura	2	3.02221111	1.51110556	0.49	0.6314
Altura*Fertilización	2	12.78401111	6.39200556	2.06	0.1897

Variable: %N

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.01852978	0.00926489	1.19	0.3518
Altura	1	0.01754689	0.01754689	2.26	0.1711
Fertilización	2	0.00494044	0.00247022	0.32	0.7362
Bloque*Altura	2	0.03410711	0.01705356	2.20	0.1735
Altura*Fertilización	2	0.01074311	0.00537156	0.69	0.5281

Variable: Relación CN

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	27.7877127	13.8938564	0.37	0.6992
Altura	1	50.8922127	50.8922127	1.37	0.2753
Fertilización	2	3.9595234	1.9797617	0.05	0.9484
Bloque*Altura	2	117.1801072	58.5900536	1.58	0.2643
Altura*Fertilización	2	66.3212546	33.1606273	0.89	0.4465

Existencias de C y N
BIOMASA AÉREA DISPONIBLE

Variable: *t* C ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.01151715	0.00575858	1.20	0.3495
Altura	1	0.01787818	0.01787818	3.73	0.0894
Fertilización	2	0.11362941	0.05681470	11.86	0.0040
Bloque*Altura	2	0.00569540	0.00284770	0.59	0.5744
Altura*Fertilización	2	0.04391371	0.02195685	4.58	0.0471

Variable: *t* N ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.00002934	0.00001467	0.63	0.5570
Altura	1	0.00000001	0.00000001	0.00	0.9813
Fertilización	2	0.00061100	0.00030550	13.12	0.0030
Bloque*Altura	2	0.00005451	0.00002726	1.17	0.3582
Altura*Fertilización	2	0.00014120	0.00007060	3.03	0.1047

BIOMASA AÉREA RESIDUAL

Variable: *t* C ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	2.00068190	1.00034095	0.27	0.7687
Altura	1	1.56387348	1.56387348	0.42	0.5327
Fertilización	2	4.36582606	2.18291303	0.59	0.5751
Bloque*Altura	2	37.65067281	18.82533641	5.12	0.0371
Altura*Fertilización	2	5.68696460	2.84348230	0.77	0.4934

Variable: *t* N ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.00073713	0.00036857	0.21	0.8177
Altura	1	0.00017079	0.00017079	0.10	0.7650
Fertilización	2	0.01237664	0.00618832	3.47	0.0824
Bloque*Altura	2	0.02442483	0.01221241	6.84	0.0185
Altura*Fertilización	2	0.00403988	0.00201994	1.13	0.3693

BIOMASA SUBTERRÁNEA SUPERFICIAL

Variable: *t* N ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.00437953	0.00218977	3.21	0.0949
Altura	1	0.00210787	0.00210787	3.09	0.1170
Fertilización	2	0.01500396	0.00750198	10.98	0.0051
Bloque*Altura	2	0.00000007	0.00000003	0.00	1.0000
Altura*Fertilización	2	0.00297494	0.00148747	2.18	0.1757

Variable: *t* C ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	3.72714762	1.86357381	2.09	0.1857
Altura	1	8.50446614	8.50446614	9.55	0.0149
Fertilización	2	3.01666268	1.50833134	1.69	0.2434
Bloque*Altura	2	0.85183684	0.42591842	0.48	0.6364
Altura*Fertilización	2	2.13566098	1.07283049	1.21	0.3487

BIOMASA SUBTERRÁNEA PROFUNDA

Variable: *t* C ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	8.12212148	4.06106074	2.62	0.1332
Altura	1	0.17330770	0.17330770	0.11	0.7466
Fertilización	2	8.63270720	4.31635360	2.79	0.1207
Bloque*Altura	2	22.24176803	11.12088402	7.18	0.0164
Altura*Fertilización	2	17.41686185	8.70843093	5.62	0.0299

Variable: *t* N ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.00456823	0.00228412	2.78	0.1213
Altura	1	0.00112659	0.00112659	1.37	0.2755
Fertilización	2	0.00456616	0.00228308	2.78	0.1214
Bloque*Altura	2	0.00579200	0.00289600	3.52	0.0800
Altura*Fertilización	2	0.00423550	0.00211775	2.58	0.1370

BIOMASA AÉREA TOTAL

Variable: *t* N ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.00147232	0.00073616	0.49	0.6274
Altura	1	0.00019763	0.00019763	0.13	0.7251
Fertilización	2	0.02186537	0.01093269	7.34	0.0155
Bloque*Altura	2	0.02102246	0.01051123	7.06	0.0171
Altura*Fertilización	2	0.00484528	0.00242264	1.63	0.2553

Variable: *t* C ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	3.13771398	1.56885699	0.49	0.6305
Altura	1	1.27674143	1.27674143	0.40	0.5458
Fertilización	2	6.41295666	3.20647833	1.00	0.4098
Bloque*Altura	2	33.70648789	16.85324395	5.25	0.0349
Altura*Fertilización	2	6.16649997	3.08324998	0.96	0.4227

BIOMASA SUBTERRÁNEA TOTAL

Variable: *t* N ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.01787688	0.00893844	8.65	0.0100
Altura	1	0.00631646	0.00631646	6.11	0.0386
Fertilización	2	0.02396591	0.01198296	11.59	0.0043
Bloque*Altura	2	0.00578305	0.00289153	2.80	0.1200
Altura*Fertilización	2	0.00259599	0.00129799	1.26	0.3356

Variable: *t* C ha^{-1}

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	24.73433056	12.36716528	8.50	0.0105
Altura	1	11.19716140	11.19716140	7.69	0.0241
Fertilización	2	19.73774930	9.86887465	6.78	0.0189
Bloque*Altura	2	27.42145837	13.71072919	9.42	0.0079
Altura*Fertilización	2	6.96025292	3.48012646	2.39	0.1534

Longitud, diámetro, y cantidad de estolones, rizomas y raíces finas
AEREA SUPERFICIAL
Estolones verdes

Variable: Masa (g MS m^{2-1})

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	4938.11440	2469.05720	0.70	0.5479
Altura	1	445.21000	445.21000	0.13	0.7400
Fertilización	2	8912.50384	4456.25192	1.27	0.3748
Bloque*Altura	2	11286.75512	5643.37756	1.60	0.3079
Altura*Fertilización	2	1524.01768	762.00884	0.22	0.8141

Variable: Longitud

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	35117.5828	17558.7914	1.03	0.3991
Altura	1	92657.9501	92657.9501	5.45	0.0478
Fertilización	2	371981.7535	185990.8767	10.94	0.0051
Bloque*Altura	2	190112.6611	95056.3306	5.59	0.0303
Altura*Fertilización	2	7697.9481	3848.9741	0.23	0.8024

Variable: Diámetro

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.79086650	0.39543325	2.16	0.1780
Altura	1	0.93103030	0.93103030	5.08	0.0542
Fertilización	2	1.65386829	0.82693414	4.51	0.0487
Bloque*Altura	2	0.69333110	0.34666555	1.89	0.2124
Altura*Fertilización	2	3.05098137	0.52549068	8.33	0.0111

BIOMASA SUBTERRANEA SUPERFICIAL
Rizoma Vivo

Variable: Masa (g MS m^{2-1})

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	19313.7778	9656.8889	0.30	0.7486
Altura	1	147968.0000	147968.0000	4.60	0.0643
Fertilización	2	6855.1111	3427.5556	0.11	0.9001
Bloque*Altura	2	328277.3333	164138.6667	5.10	0.0373
Altura*Fertilización	2	57600.0000	28800.0000	0.90	0.4457

Variable: Longitud

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	379820.800	189910.400	0.55	0.5959
Altura	1	954837.624	954837.624	2.78	0.1341
Fertilización	2	934884.084	467442.042	1.36	0.3101
Bloque*Altura	2	1412287.505	706143.753	2.05	0.1905
Altura*Fertilización	2	1414009.856	707004.928	2.06	0.1901

Variable: Diámetro

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.32287978	0.16143989	1.94	0.2056
Altura	1	0.22964429	0.22964429	2.76	0.1352
Fertilización	2	0.26258968	0.13129484	1.58	0.2644
Bloque*Altura	2	0.14385635	0.07192817	0.86	0.4571
Altura*Fertilización	2	0.08762312	0.04381156	0.53	0.6097

Rizoma Muerto

Variable: Masa (g MS m$^{2-1}$)

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	2133.333333	1066.666667	0.29	0.7545
Altura	1	227.555556	227.555556	0.06	0.8093
Fertilización	2	9301.333333	4650.666667	1.27	0.3313
Bloque*Altura	2	2588.444444	1294.222222	0.35	0.7123
Altura*Fertilización	2	28.444444	14.222222	0.00	0.9961

Variable: Longitud

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	115381.7701	57690.8851	1.02	0.4031
Altura	1	98275.1778	98275.1778	1.74	0.2239
Fertilización	2	141349.9705	70674.9853	1.25	0.3371
Bloque*Altura	2	15870.6688	7935.3344	0.14	0.8712
Altura*Fertilización	2	131365.1452	65682.5726	1.16	0.3607

Raíces Finas

Variable: Masa (g MS m$^{2-1}$)

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	17095.1111	8547.5556	0.72	0.5136
Altura	1	56.8889	56.8889	0.00	0.9463
Fertilización	2	2929.7778	1464.8889	0.12	0.8848
Bloque*Altura	2	108913.7778	54456.8889	4.62	0.0464
Altura*Fertilización	2	12487.1111	6243.5556	0.53	0.6082

BIOMASA SUBTERRANEA PROFUNDA
Rizoma Vivo

Variable: Masa (g MS m$^{2-1}$)

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	86436.4915	43218.2457	0.73	0.5097
Altura	1	39.7769	39.7769	0.00	0.9799
Fertilización	2	108768.1835	54384.0917	0.92	0.4355
Bloque*Altura	2	178748.3367	89374.1684	1.52	0.2761
Altura*Fertilización	2	201936.6478	100968.3239	1.72	0.2400

Variable: Longitud

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	512937.6133	256468.8067	1.58	0.2631
Altura	1	195166.6939	195166.6939	1.21	0.3040
Fertilización	2	152260.2700	76130.1350	0.47	0.6409
Bloque*Altura	2	691646.1911	345823.0956	2.14	0.1805
Altura*Fertilización	2	347030.8011	173515.4006	1.07	0.3867

Variable: Diámetro

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.14090829	0.07045415	0.47	0.6390
Altura	1	0.54051155	0.54051155	3.64	0.0930
Fertilización	2	0.80486699	0.40243350	2.71	0.1265
Bloque*Altura	2	0.42668741	0.21334370	1.43	0.2934
Altura*Fertilización	2	0.39646966	0.19823483	1.33	0.3164

Rizoma Muerto

Variable: Masa (g MS m^{2-1})

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	1934.81599	967.40800	0.19	0.8340
Altura	1	27148.19838	27148.19838	5.28	0.0699
Fertilización	2	7136.92156	3568.46078	0.69	0.5418
Bloque*Altura	2	11392.63115	5696.31557	1.11	0.3994
Altura*Fertilización	2	10638.31091	5319.15545	1.04	0.4205

Variable: Longitud

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	6335.65351	3167.82676	0.45	0.6535
Altura	1	87830.78720	87830.78720	12.44	0.0078
Fertilización	2	24069.08991	12034.54496	1.70	0.2417
Bloque*Altura	2	47235.60053	23617.80027	3.35	0.0879
Altura*Fertilización	2	80268.76493	40134.38247	5.69	0.0291

Raíces Finas

Variable: Masa (g MS m^{2-1})

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	2	23603.09179	11801.54589	0.90	0.4443
Altura	1	10784.39242	10784.39242	0.82	0.3911
Fertilización	2	11746.33545	5873.16773	0.45	0.6542
Bloque*Altura	2	18941.54980	9470.77490	0.72	0.5150
Altura*Fertilización	2	4283.53578	2141.76789	0.16	0.8522