



Biomasa y bromatología del pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) con cinco períodos de rebrote¹

Biomass and bromatology of African Stargrass (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) with five regrowth stages

Adriel Jacoc Ferrufino-Suárez², David Mora-Valverde³, Luis A. Villalobos-Villalobos⁴

- ¹ Recepción: 15 de junio, 2021. Aceptación: 21 de octubre, 2021. Este trabajo formó parte del proyecto de investigación 739-B9-144 inscrito en Vicerrectoría de Investigación, denominado “Desarrollo y evaluación de metodologías instrumentales para nutrición de precisión en rumiantes con las principales especies de forrajes de uso en Costa Rica”. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- ² Universidad de Costa Rica, Programa de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, San José, Costa Rica. adrielferrufino_23@yahoo.com (<https://orcid.org/0000-0001-9949-6082>).
- ³ Universidad de Costa Rica, Escuela de Zootecnia, Estación Experimental Alfredo Volio Mata, Cartago, Costa Rica. david.mora@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-4183-8451>).
- ⁴ Universidad de Costa Rica, Escuela de Zootecnia, Centro de Investigaciones en Nutrición Animal, San José, Costa Rica. luis.villalobosvillalobos@ucr.ac.cr (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0001-5653-5678>).

Resumen

Introducción. Establecer el punto óptimo de cosecha del pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) es fundamental para obtener biomasa de alta calidad nutricional y máxima productividad. **Objetivo.** Evaluar la producción de nutrientes del pasto Estrella Africana con cinco períodos de rebrote integrando datos de biomasa y nutricionales para establecer ventanas de cosecha en sistemas de corte y acarreo. **Materiales y métodos.** El estudio se realizó de agosto a diciembre de 2018 en la Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata (EEAVM), Ochomogo, Cartago. Se evaluó el efecto de cinco edades de rebrote (tratamientos = 7, 14, 21, 28, y 35 días) sobre la producción de biomasa verde y seca, calidad nutricional y producción de nutrientes efectivos por hectárea de pasto Estrella Africana. Se obtuvo la producción de biomasa total de cada parcela y la calidad nutricional mediante los contenidos de materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (FDN) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS). El análisis de la producción total de nutrientes efectivos por hectárea se realizó al integrar los componentes nutricionales y la producción de biomasa. **Resultados.** La biomasa fresca y seca aumentaron conforme aumentó la edad de rebrote. La biomasa fresca mostró diferencias superiores a 4000,00 kg MF ha⁻¹ por ciclo entre el tratamiento mayor y menor. El rendimiento de materia seca a 35 días de rebrote fue diez veces mayor respecto a los siete días. El contenido de proteína cruda fue mayor en los tratamientos menores. No se encontró diferencias significativas en los contenidos de materia seca, fibra y digestibilidad entre tratamientos. **Conclusión.** El mayor aporte de nutrientes efectivos del pasto Estrella Africana cosechado a 35 días de rebrote evidenció la importancia de integrar la biomasa y la calidad nutricional para el manejo de pastos bajo sistemas de corte y acarreo.

Palabras claves: producción, valor nutricional, corte, eficiencia.



Abstract

Introduction. Establishing the optimal harvest stage of African Stargrass (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) is essential to obtain high nutritional quality biomass and maximum productivity. **Objective.** To evaluate the nutrient production of African Stargrass with five regrowth periods by integrating biomass and nutritional data to establish harvest periods in cut-and-carry systems. **Materials and methods.** The study was carried out from August through December 2018 at the Dairy Cattle Experimental Station Alfredo Volio Mata (EEAVM), Ochomogo, Cartago. The effect of five regrowth periods (treatments = 7, 14, 21, 28, and 35 days) on the green and dry biomass production, nutritional quality, and effective nutrients production per hectare of African Stargrass was evaluated. The total biomass was measured for each plot, and the nutritional quality was obtained through the contents of dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD). The analysis of total effective nutrients production per hectare was performed by integrating nutritional components and biomass production. **Results.** Fresh and dry biomass increased with increasing regrowth stage. The fresh biomass showed differences greater than 4000.00 kg fresh matter.ha⁻¹ per cycle between the highest and lowest treatments. Dry matter yield at 35 days' regrowth turned out 10 times higher than 7 days'. The crude protein content was greater in treatments with less days of regrowth. No significant differences were found in dry matter, fiber, and digestibility among treatments. **Conclusion.** The greatest supply of effective nutrients from African Stargrass harvested at 35 days evidenced the importance of integrating biomass and nutritional quality for pasture management under cut-and-carry systems.

Keywords: yield, nutritional value, cut, efficiency.

Introducción

El incremento poblacional mundial para el año 2050 exige un aumento en la demanda de alimentos; la producción de leche y carne, que se espera que aumente entre 73 y 58 % (Gerber et al., 2013). La necesidad de intensificación de los sistemas ganaderos tropicales, implica producir de forma eficiente, con menos recursos externos y optimizar aquellos disponibles en la finca. Los forrajes son económicos y se consideran el principal recurso de alimentación en rumiantes (César da Silva et al., 2014); su producción es influenciada por las condiciones edafo-climáticas, que determinan tanto la cantidad como la calidad de estos (Vélez & Berger, 2011).

La composición nutricional de los forrajes afecta la productividad de los sistemas ganaderos (Paris et al., 2016). Los componentes estructurales y del contenido intracelular afectan de manera significativa la digestibilidad, la cual tiene el mayor impacto en la productividad animal (Rodríguez-Zamora & Elizondo-Salazar, 2012; Miranda Valente et al., 2010). Dichos componentes también tienen un impacto directo sobre los niveles energéticos y el consumo de materia seca (Monção et al., 2016). La edad de corte en forrajes tiene efecto directo sobre la producción de biomasa y las características nutricionales (Maldonado Peralta et al., 2020; Patiño Pardo et al., 2018; Reimann Skonieski et al., 2011), con cambios en las proporciones de los componentes intracelulares y de la pared celular (estructurales) (Bassegio et al., 2013).

El proceso de defoliación (corte y acarreo) tiene efecto significativo sobre el desarrollo de la planta, que define en gran medida su crecimiento, calidad nutricional y, en consecuencia, la productividad de cada sistema ganadero (Tilahun et al., 2017). Conforme avanza la edad fisiológica de la planta, se incrementa la proporción fibrosa (fibra detergente neutra) de la planta y se reduce la proporción intracelular (Van Soest, 1994). La madurez fisiológica de los forrajes aumenta el estado de lignificación (Rojas-García et al., 2018) y reduce la degradación por parte de los microorganismos a nivel ruminal (Campos Paciullo et al., 2002). La disminución en nutrientes intracelulares (carbohidratos solubles, proteínas, ácidos grasos, minerales y vitaminas) acarrea menor digestibilidad de la materia seca y bajo aporte de nutrientes al animal (Reuter de Oliveira et al., 2014).

El balance entre los componentes de la pared celular y los componentes del contenido intracelular (Monção et al., 2016) conlleva a definir un punto óptimo de cosecha, por criterios como la altura de corte (Gelley et al., 2017; Rodrigues Andrade et al., 2018), el intervalo de cosecha (Arteaga et al., 2019; Bassegio et al., 2013; Donaghy & Fulkerson, 2002; Miranda Valente et al., 2010; Reuter de Oliveira et al., 2014) o la edad fenológica (Donaghy & Fulkerson, 2002; Villalobos & Arce, 2013). La selección por estos criterios tiene un efecto directo sobre la producción y calidad nutritiva del forraje (Patiño Pardo et al., 2018), que influye también en la estructura del dosel de la pastura (Rojas García et al., 2020), la relación hoja:tallo (Maldonado Peralta et al., 2019), la remoción de meristemas apicales, además de incidir en la longevidad y persistencia de la pastura (Ramírez Reynoso et al., 2020).

En sistemas de corte se debe buscar no solo máximos rendimientos de biomasa por unidad de área, sino también integrar las variables nutricionales del forraje con el fin de tener indicadores robustos que permitan definir el momento óptimo de cosecha, en términos de la producción y aporte de nutrientes (Cameron et al., 2018).

El pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) es una especie usada en Latinoamérica (Cook et al., 2005) por su alta producción de biomasa, valor nutricional, palatabilidad, resistencia a plagas y enfermedades, excelente cobertura y fácil establecimiento (Paris et al., 2016).

En el pasto Estrella Africana existe gran cantidad de estudios en sistemas de pastoreo que se enfocan en la productividad de biomasa por área, sin embargo, desde el enfoque en la producción de nutrientes, poco se ha evaluado su respuesta productiva bajo diferentes edades de cosecha.

La producción de biomasa y la calidad nutricional son los principales criterios utilizados para definir el momento de cosecha, por lo que el enfoque de este estudio propone definir indicadores integrales que permitan al productor manejar edades de cosecha que optimicen dicha producción de nutrientes. Los cortos intervalos de cosecha incluidos en el estudio, en comparación a la mayoría de investigaciones que incluyen intervalos extensos (mayor a 70 días), tienen el propósito de evaluar el potencial de rebrote del pasto estrella sometido a cosechas sucesivas en períodos cortos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción de nutrientes del pasto Estrella Africana con cinco períodos de recuperación por medio de la integración de información de biomasa y nutricional para establecer ventanas de cosecha en sistemas de corte. La hipótesis de este estudio consistió en que el pasto estrella se puede cosechar de forma intensiva sin sacrificar la biomasa ni el aporte de nutrientes, tal como ocurre al cosecharse con intervalos extensos.

Materiales y métodos

Cultivo forrajero, localidad y periodo experimental

El estudio se realizó entre agosto y diciembre de 2018 en la Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata (EEAVM) de la Universidad de Costa Rica, ubicada a 1542 m.s.n.m. en el Alto de Ochomogo, provincia de Cartago (latitud norte 9°54'41 y longitud oeste 83°57'16). La precipitación media anual es de 1500 mm (concentrada de mayo a noviembre) con una temperatura promedio de 17,9 °C (Instituto Meteorológico Nacional, 2020).

El área experimental se delimitó a 192 m² (15 m x 12,8 m) en un potrero ya establecido con pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst). Se realizó un corte de uniformización en agosto del 2018, previo a que las parcelas fueran delimitadas. El corte de uniformización se realizó con motosegadora auto impulsada a 5 cm de altura de la base del suelo y a partir de este corte de inició a contabilizar las edades de cosecha para los muestreos correspondientes a cada edad de rebrote.

Tratamientos

El área experimental fue dividida en cuatro bloques donde se asignaron de forma aleatoria cinco tratamientos (7, 14, 21, 28 y 35 días) correspondientes a las edades de cosecha (Cuadro 1), para un total de veinte parcelas, cada una con dimensiones de 2 x 3 m. Entre cada bloque se delimitó un pasillo de 1,60 m de ancho, también un pasillo de 1,50 m en el exterior del área experimental que fue cosechado de forma bimensual, estos pasillos se establecieron para facilitar las actividades de muestreo y mantenimiento del área experimental, así como reducir efecto borde y de competencia entre tratamientos.

Los muestreos se realizaron en la época lluviosa de agosto a diciembre del 2018, la cantidad de muestreos resultó diferente entre las edades evaluadas, debido a que el estudio fue realizado durante la época lluviosa posterior a la cosecha de uniformización, con un mínimo de cuatro cosechas para la mayor edad, durante los meses con disponibilidad de lluvia. En el estudio no se incluyeron edades de cosecha mayores, debido a que con edades mayores no se podría realizar los cuatro muestreos que permitía la ventana de tiempo de la época lluviosa (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos utilizados en la evaluación de las edades de rebrote en pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vandyerst.) en la Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata (EEAVM). Cartago, Costa Rica. Agosto – Diciembre 2018.

Table 1. Description of treatments used in the evaluation of regrowth ages in African Stargrass (*Cynodon nlemfuensis* Vandyerst.) at the Alfredo Volio Mata Dairy Cattle Experimental Station (EEAVM). Cartago, Costa Rica. August – December 2018.

| Tratamiento* | Descripción | No. de cosechas |
|--------------|----------------------|-----------------|
| 7 | Cosecha cada 7 días | Dieciséis |
| 14 | Cosecha cada 14 días | Ocho |
| 21 | Cosecha cada 21 días | Cinco |
| 28 | Cosecha cada 28 días | Cuatro |
| 35 | Cosecha cada 35 días | Cuatro |

*Edades de rebrote evaluadas. / *Evaluated regrowth ages.

VARIABLES DE RESPUESTA EVALUADAS

Producción de biomasa

La cosecha de las parcelas se realizó con tijeras de jardinería a una altura de corte de 5 cm de la base del suelo. La biomasa cosechada de cada parcela (6 m²) se colectó en bolsas plásticas y se pesó en fresco en una balanza digital (Marca SUPER-SS, Modelo 3S/New Su-30). Con la biomasa cosechada se estimó la variable biomasa fresca.

El contenido de materia seca de cada muestra se determinó con horno (Marca Oventec) a 60 °C durante 48 horas. Se estimó la producción de biomasa seca de cada tratamiento al multiplicar la biomasa fresca por el porcentaje de materia seca reportado en el análisis bromatológico. Con las estimaciones de biomasa fresca y materia seca se realizó la extrapolación para hacer las estimaciones de las variables biomasa fresca y seca por hectárea.

Valor nutricional

Se obtuvo una muestra representativa de 300 g de biomasa fresca que se envió al laboratorio de bromatología de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata (EEAVM) para los análisis en química húmeda para materia seca (MS), proteína cruda (PC) (Association of Official Analytical Chemists, 1990), contenido de pared celular (FDN) (Van Soest et al., 1991) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) (Van Soest & Robertson, 1985).

Producción de nutrientes

La producción de nutrientes por hectárea se estimó por medio de la integración de la producción de materia seca por hectárea ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$) con las variables nutricionales y se obtuvieron indicadores de producción por hectárea de materia seca digestible ($\text{kg MSDi ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$), proteína cruda ($\text{kg PC ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$) y fibra detergente neutra ($\text{kg FDN ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con cuatro repeticiones y cinco tratamientos. La información de producción de biomasa, calidad nutricional y producción efectiva de nutrientes se analizó mediante un modelo lineal generalizado, por la significancia de las variables se realizó una prueba de contrastes ($p \leq 0,05$) como prueba de separación de medias, se incluyó en el modelo los efectos del tratamiento (edades de corte). El análisis de los datos se realizó por medio del software RStudio® versión 1.4.1103 para Windows (RStudio Team, 2017).

Resultados

Producción de biomasa

La producción de materia fresca ($y = -444,77 + 137,67x$, $R^2 = 0,45$) y seca ($y = -138,34 + 32,23x$, $R^2 = 0,52$) aumentó con una tendencia lineal conforme aumentaron las edades de rebrote; ambas variables mostraron valores mayores a los 35 días, mientras que los valores menores se obtuvieron para la edad de 7 días. La producción de materia fresca y seca fue significativamente ($p < 0,05$) mayor a los 35 días con respecto a los demás tratamientos (Figura 1 y 2).

Los rendimientos de biomasa fresca y seca fueron similares ($p > 0,05$) para los tratamientos de 14 y 21 días. Las diferencias en producción de biomasa fresca (Figura 1) fueron superiores a $4000,00 \text{ kg MF ha}^{-1}$ por ciclo entre los extremos de los tratamientos evaluados. El rendimiento de materia seca, a la edad de 35 días de rebrote, resultó en promedio casi diez veces superior respecto al rendimiento producido a edades de 7 días (Figura 2).

De acuerdo con la información del experimento, la mayor edad es el punto óptimo de cosecha, ya que hizo posible una adecuada gestión en el manejo del forraje al tener un intervalo que permitió cosechar el pasto Estrella Africana de manera intensiva con el mayor aporte efectivo de nutrientes; además, para este estudio, fue la edad que permitió obtener las mayores producciones de materia fresca y seca, por corte y acumulada (Cuadro 2).

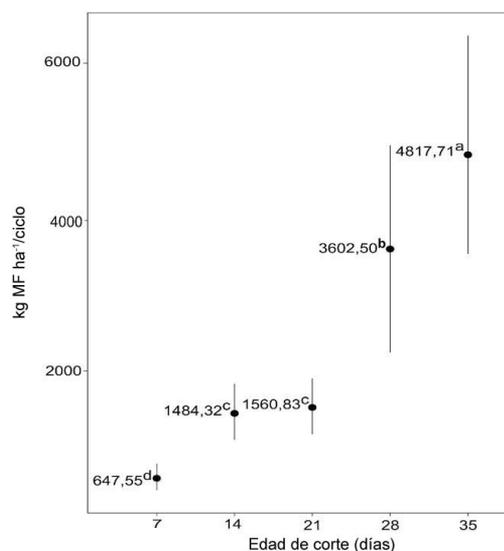


Figura 1. Producción de materia fresca (kg ha⁻¹/corte) de pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst.) a cinco edades de rebrote. Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata (EEAVM), Cartago, Costa Rica. Agosto – diciembre 2018. Medias con letras diferentes difieren entre sí. Datos comparados mediante modelo lineal generalizado seguido de una prueba de contrastes ($p \leq 0,05$) como prueba de separación de medias.

Figure 1. Fresh matter production (kg ha⁻¹/cut) of African Stargrass (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst.) at five regrowth ages. Alfredo Volio Mata Dairy Experimental Station (EEAVM), Cartago, Costa Rica. August – December 2018.

Means with different letters differ from each other. Data compared using generalized linear model followed by a contrast test ($p \leq 0.05$) as a means comparison test.

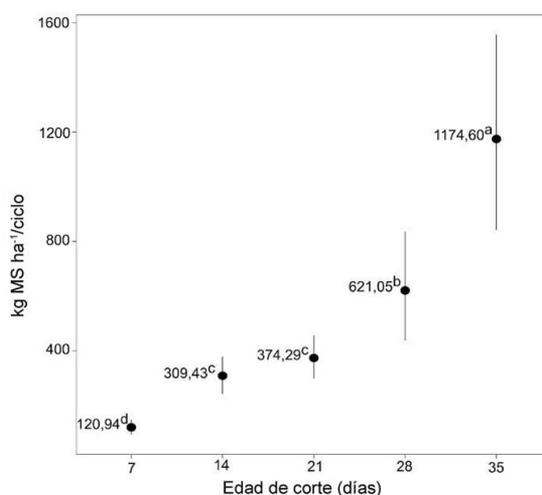


Figura 2. Producción de materia seca (kg MS ha⁻¹/corte) en pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst.) a cinco edades de rebrote. Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata (EEAVM), Cartago, Costa Rica. Agosto – diciembre 2018. Medias con letras diferentes difieren entre sí. Datos comparados mediante modelo lineal generalizado seguido de una prueba de contrastes ($p \leq 0,05$) como prueba de separación de medias.

Figure 2. Dry matter yield (kg MS ha⁻¹/cut) in African Stargrass (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst.) at five regrowth ages. Alfredo Volio Mata Dairy Experimental Station (EEAVM), Cartago, Costa Rica. August – December 2018.

Means with different letters differ from each other. Data compared using a generalized linear model followed by a contrast test ($p \leq 0.05$) as a means comparison test.

Cuadro 2. Biomasa fresca acumulada ($t\ ha^{-1}$) y biomasa seca acumulada ($t\ ha^{-1}$) del pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst.) a cinco edades de corte. Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata (EEAVM), Cartago, Costa Rica. Agosto – diciembre 2018.

Table 2. Accumulated fresh biomass ($t\ ha^{-1}$) and accumulated dry biomass ($t\ ha^{-1}$) of African Stargrass (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst.) at five regrowth ages. Alfredo Volio Mata Dairy Experimental Station (EEAVM), Cartago, Costa Rica. August – December 2018.

| Edad de corte (días) | Biomasa fresca acumulada** ($t\ ha^{-1}$)* | Biomasa Materia seca acumulada** ($t\ ha^{-1}$)* |
|----------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 7 | 16,93 | 3,16 |
| 14 | 19,40 | 4,04 |
| 21 | 13,60 | 3,26 |
| 28 | 23,54 | 4,06 |
| 35 | 25,19 | 6,14 |

** Producción estimada para cada edad de cosecha según la climatología de la zona [periodo de lluvias (junio-diciembre)]. / ** Estimated production for each harvest age according to the climatology of the zone [rainy season (June-December)].

Valor nutricional

El contenido de materia seca no mostró diferencias significativas ($p>0,05$) entre las edades de corte evaluadas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Contenido de materia seca (MS), fibra detergente neutra (FDN) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) del pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst.) a cinco edades de rebrote. Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata (EEAVM), Cartago, Costa Rica. Agosto – Diciembre 2018.

Table 3. Dry matter (MS) content, neutral detergent fiber (FDN), and *in vitro* dry matter digestibility (DIVMS) of African Stargrass (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst.) at five regrowth ages. Alfredo Volio Mata Dairy Experimental Station (EEAVM), Cartago, Costa Rica. August – December 2018.

| Edad de corte (días) | Materia seca ^{ns} (%) | FDN ^{ns} (%) | DIVMS ^{ns} (%) |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 7 | 26,40 | 54,85 | 75,30 |
| 14 | 21,60 | 55,20 | 75,85 |
| 21 | 23,79 | 54,96 | 75,99 |
| 28 | 19,39 | 57,36 | 75,45 |
| 35 | 24,81 | 57,09 | 73,88 |

^{ns} no significativo. Datos comparados mediante modelo lineal generalizado seguido de una prueba de contrastes ($p\leq 0,05$) como prueba de separación de medias. / ^{ns} non-significant Data compared using generalized linear model followed by a contrast test ($p\leq 0.05$) as a mean separation test.

No hubo diferencias significativas ($p<0,05$) en el contenido de fibra detergente neutra (FDN) entre las edades de rebrote evaluadas. Las edades de 28 y 35 días mostraron contenidos de FDN mayores respecto a las otras edades (Cuadro 2).

La variable digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) no mostró diferencias significativas ($p>0,05$) entre las edades de rebrote evaluadas, con una leve disminución numérica en dicha variable para la edad de corte mayor (Cuadro 2).

El contenido de proteína cruda fue mayor a edades menores y estadísticamente diferente a 7 y 14 días respecto a 35 días ($p<0,05$). El contenido proteico a edades de 21 y 28 días mostró valores intermedios respecto a las edades menores (7 y 14) y la edad mayor (35 días) (Figura 3).

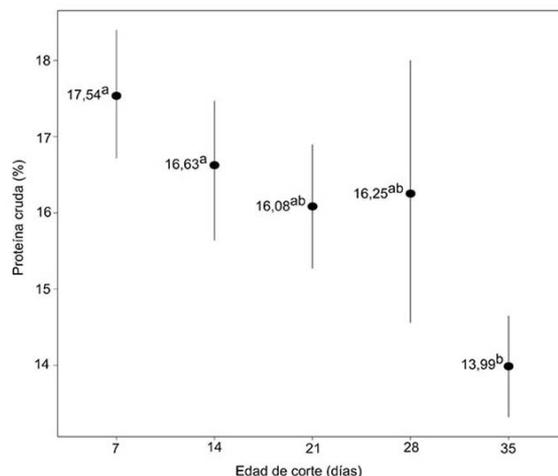


Figura 3. Contenido de proteína cruda del pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst.) a cinco edades de rebrote. Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata (EEAVM), Cartago, Costa Rica. Agosto – diciembre 2018.

Medias con letras diferentes difieren entre sí. Datos comparados mediante modelo lineal generalizado seguido de una prueba de contrastes ($p\leq 0,05$) como prueba de separación de medias.

Figure 3. Crude protein content of African Stargrass (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst.) at five regrowth ages. Alfredo Volio Mata Dairy Experimental Station (EEAVM), Cartago, Costa Rica. August – December 2018.

Means with different letters differ from each other. Data compared using a generalized linear model followed by a contrast test ($p\leq 0,05$).

Producción efectiva de nutrientes

Las tres variables nutricionales incluidas en el análisis presentaron un comportamiento similar respecto a las diferencias significativas encontradas, la edad de 35 días fue la de mayor ($p<0,05$) producción efectiva de nutrientes (Figura 4, 5 y 6). La producción por hectárea de materia seca digestible (Figura 4), proteína cruda (Figura 5) y fibra detergente neutra (Figura 6) no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p>0,05$) entre las edades de 14 y 21 días, mientras que la edad de 7 días reportó una producción de nutrientes efectivos significativamente ($p<0,05$) menor al resto de edades evaluadas.

La producción de nutrientes acumulada acorde a la estacionalidad climática de la zona o periodo de lluvias (junio – diciembre), incrementó hasta la edad de rebrote de 21 días, momento en el que se dio una leve disminución para todas las variables incluidas; posterior a esa edad la producción de nutrientes se incrementó conforme la edad de rebrote fue mayor. La edad de 35 días produjo la mayor cantidad de nutrientes acumulada (Cuadro 4).

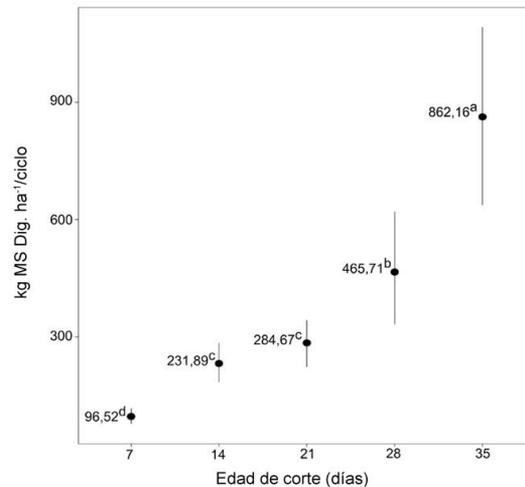


Figura 4. Producción por hectárea de materia seca digestible (kg MS Dig. ha⁻¹/ciclo) a cinco edades de rebrote en pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst). Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata (EEAVM), Cartago, Costa Rica. Agosto – diciembre 2018.

Medias con letras diferentes difieren entre sí. Datos comparados mediante modelo lineal generalizado seguido de una prueba de contrastes ($p \leq 0,05$) como prueba de separación de medias.

Figure 4. Production per hectare of digestible dry matter (kg MS Dig. ha⁻¹/cycle) at five regrowth ages in African Stargrass (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst). Alfredo Volio Mata Dairy Experimental Livestock Station (EEAVM), Cartago, Costa Rica. August - December 2018.

Means with different letters differ from each other. Data compared using a generalized linear model followed by a contrast test ($p \leq 0.05$) as a means separation test.

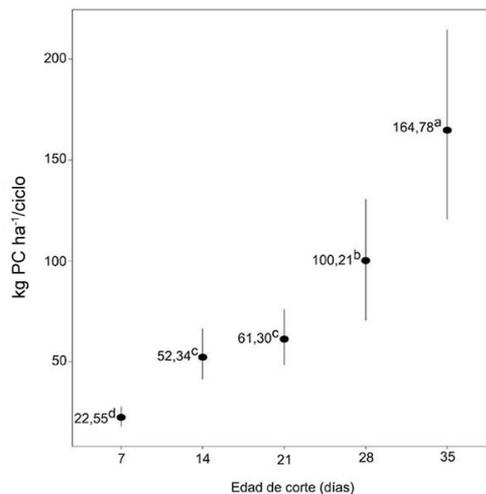


Figura 5. Producción por hectárea de proteína cruda (kg PC ha⁻¹/ciclo) a cinco edades de rebrote en pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst.). Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata (EEAVM), Cartago, Costa Rica. Agosto – Diciembre 2018.

Medias con letras diferentes difieren entre sí. Datos comparados mediante modelo lineal generalizado seguido de una prueba de contrastes ($p \leq 0,05$) como prueba de separación de medias.

Figure 5. Production per hectare of crude protein (kg PC ha⁻¹/cycle) at five regrowth ages in African Stargrass (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst). Alfredo Volio Mata Dairy Experimental Livestock Station (EEAVM), Cartago, Costa Rica. August - December 2018.

Means with different letters differ from each other. Data compared using a generalized linear model followed by a contrast test ($p \leq 0.05$) as a means separation test.

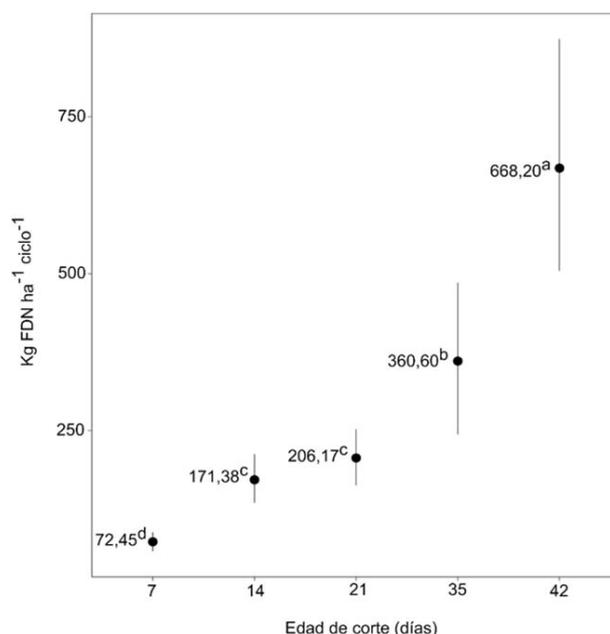


Figura 6. Producción por hectárea de fibra detergente neutra (kg FDN ha⁻¹/ciclo) a cinco edades de rebrote en pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst.). Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata (EEAVM), Cartago, Costa Rica. Agosto – diciembre 2018.

Medias con letras diferentes difieren entre sí. Datos comparados mediante modelo lineal generalizado seguido de una prueba de contrastes ($p \leq 0,05$) como prueba de separación de medias.

Figure 6. Production per hectare of neutral detergent fiber (kg FDN ha⁻¹/cycle) at five regrowth ages in African Stargrass (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst). Alfredo Volio Mata Dairy Experimental Livestock Station (EEAVM), Cartago, Costa Rica. August - December 2018.

Means with different letters differ from each other. Data compared using a generalized linear model followed by a contrast test ($p \leq 0.05$) as a means separation test.

Cuadro 4. Producción acumulada de nutrientes por hectárea en pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst.) a cinco edades de rebrote. Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata (EEAVM), Cartago, Costa Rica. Agosto – diciembre 2018.

Table 4. Accumulated production of nutrients per hectare in African Stargrass (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst.) at five regrowth ages. Alfredo Volio Mata Dairy Experimental Station (EEAVM), Cartago, Costa Rica. August – December 2018.

| Edad de corte (días) | MSDi. ¹ (kg ha ⁻¹)* | Proteína cruda (kg ha ⁻¹)* | FDNha ² (kg ha ⁻¹)* |
|----------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 7 | 2,52 | 0,59 | 1,89 |
| 14 | 3,02 | 0,68 | 2,23 |
| 21 | 2,47 | 0,53 | 1,79 |
| 28 | 3,04 | 0,65 | 2,35 |
| 35 | 4,50 | 0,83 | 3,48 |

¹Materia seca digestible. ²Fibra detergente neutra. / ¹ Digestible dry matter. ²Neutral detergent fiber.

* Producción estimada para cada edad de cosecha según la climatología de la zona (periodo de lluvias (junio-diciembre)). / * Estimated production for each harvest age according to the climatology of the zone (rainy season (June-December)).

Discusión

El incremento en la producción de materia fresca y seca del pasto Estrella Africana conforme se aumentó la edad de rebrote, se debió a los cambios en el contenido y las proporciones de la pared celular que ocurren a medida que la planta alcanza su madurez fisiológica o avanza en su curva de producción de biomasa (Pinto Monção et al., 2019). Investigaciones realizadas con pasto Estrella Africana, indican que la producción de biomasa a los 45 días de rebrote incrementó en 1100 kg de MS por hectárea, con respecto a un ciclo de recuperación de 30 días (3590 vs. 2399 kg MS) (Arteaga et al., 2019). Este incremento en la producción de materia fresca y seca se evidenció en este estudio, sin embargo, a pesar que la mayor edad (35 días) mostró los mayores rendimientos, estos fueron inferiores a los reportados por Villalobos & Arce (2013), quienes obtuvieron producciones de materia seca promedio de 4484 kg ha⁻¹. En el pasto Tifton 85 a edades de rebrote entre 28 y 35 días, se encontraron producciones superiores a 3000 kg MS ha⁻¹ (Taffarel et al., 2016). Estos autores concluyeron que con edades superiores se pueden obtener mayores producciones de biomasa, similar a lo obtenido en la presente investigación a los 35 días de rebrote.

En sistemas de pastoreo, las estimaciones de la biomasa disponible incluyen además material residual (remanente de pastoreos anteriores), que puede llegar a representar en promedio hasta 55,04 % de la biomasa (Villalobos & Arce, 2013). Mientras que en un sistema de corte como el evaluado en este estudio, la biomasa cosechada es suministrada al ganado y representa lo que está disponible para la cosecha y el consumo animal (Akert et al., 2020). Se logra con esto un mayor aprovechamiento del forraje que se produce en cada ciclo y compensa también estas diferencias con una mayor calidad nutricional y mayor aporte de nutrientes efectivos a través de la biomasa cosechada. Además, al tener un intervalo de corte que permita la cosecha intensiva del forraje sin sacrificar la producción y calidad nutricional como ocurre cuando se tienen intervalos extensos, los rendimientos superiores en biomasa fresca y seca serán significativos tanto en cada corte como en cada estación o época de producción de forrajes propia de cada sistema productivo (Garay-Martínez et al., 2020).

El valor nutricional del pasto Estrella Africana cortado a diferentes edades de rebrote fue afectado en el contenido de proteína. Este nutriente mostró la mayor proporción a la edad de corte menor y a medida que la cosecha se retrasaba los valores fueron decreciendo. Este resultado concuerda con lo encontrado por Anseh et al. (2010) y Adnew Wassie et al. (2018), quienes evaluaron diferentes edades de corte en *Brachiaria brizantha* y *Pennisetum purpureum*, respectivamente. En otro estudio, al evaluar cinco cultivares del género *Cynodon*, se encontró que a partir de 28 días de rebrote la reducción diaria en el contenido proteico fue en promedio 1,79 % (Monção et al., 2016), valores que fueron superiores a los encontrados en esta investigación, donde hubo reducciones diarias significativas a partir del día 28, con promedios de 0,32 %. En concordancia con el presente estudio, los resultados se atribuyen a un efecto de dilución producto del crecimiento vegetativo de la planta, en el que a mayor madurez del forraje, aumenta el contenido de carbohidratos estructurales y se reduce el contenido de nitrógeno de la planta, el cual se encuentra en su mayoría concentrado como contenido móvil; por consiguiente, se reduce el porcentaje de proteína y demás compuestos que constituyen el contenido intracelular (Toro Velásquez et al., 2010).

En este estudio hubo diferencias en el contenido de proteína entre las edades evaluadas, sin embargo, estos cambios no impactaron la fibra detergente neutra ni la digestibilidad *in vitro* de la materia seca. En otra investigación, los contenidos de materia seca y fibra detergente neutra, de igual manera no fueron afectados entre las edades de rebrote evaluadas, con promedios de 33,2 % y 75,3 %, respectivamente (Rodrigues Andrade et al., 2018), resultados que fueron superiores a los encontrados en el presente estudio.

La reducción en el contenido de proteína cruda se dio entre la mayor y la menor edad de rebrote utilizadas en el estudio, lo cual evidenció que a 35 días se modificó fisiológicamente la deposición de los nutrientes en los tejidos vegetales y, por lo tanto, el valor nutricional. En concordancia con lo encontrado en este estudio respecto a la reducción del contenido proteico, Reuter de Oliveira et al. (2014) indicaron que en pastos la reducción en el contenido proteico debido al incremento en la pared celular que se da a expensas del contenido intracelular,

significa también una reducción en la digestibilidad y como resultado una merma de la calidad nutricional. Debido a estos cambios, otra investigación respalda que se debe tener como máximo 79 días en la edad de corte para pastos del género *Cynodon*, ya que en el contenido proteico, los componentes fibrosos y la digestibilidad se ven afectados significativamente (Monção et al., 2016). Con edades superiores a 79 días los contenidos de proteína se vuelven menores al rango límite necesario (6 % al 8 %, como % MS) para una fermentación ruminal óptima (Monção et al., 2016). Por debajo de este límite se presentan contenidos de nitrógeno que limitan la degradación de la fibra y demás componentes nutricionales a nivel ruminal y se incrementan con esto los requerimientos de suplementación en los sistemas productivos (Van Soest, 1994). En este estudio, a pesar de que los menores contenidos de proteína se dan con la edad mayor, estos son superiores al límite recomendado, por lo que de acuerdo con la información del experimento la edad de 35 días es el punto óptimo de cosecha.

El análisis de la producción efectiva de nutrientes por hectárea para cada edad, integra los componentes nutricionales y la producción de biomasa, con el objetivo de brindar una perspectiva de eficiencia en el uso del área cultivable, de igual manera permite definir indicadores integrales que capten la atención sobre manejar ventanas de cosecha que permitan optimizar dicha producción de nutrientes. El pasto Estrella Africana mostró un mayor potencial de suministro de nutrientes efectivos en la edad de cosecha de 35 días, tanto por corte como de forma acumulada. En un sistema de corte, la utilización del pasto debe enfocarse en la optimización del aporte de materia seca con el mayor valor nutricional para obtener los mayores beneficios del animal en condiciones de estabulación o semi-estabulación (Chen et al., 2015).

Conclusiones

La edad de rebrote de 35 días mostró el mayor aporte de nutrientes efectivos por corte y de forma acumulada, con esto proporciona una perspectiva de mayor eficiencia en el uso del área cultivable en sistemas de corte y acarreo, al mismo tiempo que establece una ventana de cosecha en la cual se optimiza la producción de nutrientes.

Las edades de cosecha evaluadas, demostraron que el pasto Estrella Africana, en cuanto al nivel de pared celular y digestibilidad, presentó calidad nutricional similar, desde los 7 hasta los 35 días de rebrote.

Los menores rendimientos en biomasa fresca y seca de los sistemas de corte y acarreo, comparado a sistemas de pastoreo directo, se pueden compensar por la mayor calidad nutricional y el mayor aprovechamiento del forraje producido en cada ciclo.

Se recomienda evaluar edades mayores de rebrote y relacionar la producción de biomasa y la calidad nutricional, en conjunto con la persistencia de la pastura.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al personal de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata de la UCR por la colaboración brindada.

Referencias

- Adnew Wassie, W., Abraha Tsegay, B., Tassew Wolde, A., & Asmare Limeneh, B. (2018). Evaluation of morphological characteristics, yield and nutritive value of *Brachiaria* grass ecotypes in northwestern Ethiopia. *Agriculture & Food Security*, 89(7), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0239-4>

- Akert, F. S., Kreuzer, M., Hofstetter, P., Berard, J., & Reidy, B. (2020). Nitrogen use efficiency, reticulo-ruminal pH and behaviour of lactating cows grazing either in a full-time system or in a part-time system with indoor feeding of fresh herbage and concentrate. *Journal of Agricultural Science*, 158(6), 527–538. <https://doi.org/10.1017/S0021859620000891>
- Ansah, T., Osafo, E. L. K., & Hansen, H. H. (2010). Herbage yield and chemical composition of four varieties of Napier (*Pennisetum purpureum*) grass harvested at three different days after planting. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(5), 923–929. <https://doi.org/10.5251/abjna.2010.1.5.923.929>
- Arteaga, D. V., Cedeño García, G., Cedeño-García, G., Cargua Chávez, J., & Garay Lugo, M. (2019). Eficiencia agronómica de nitrógeno y producción de *Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg. en función de dos frecuencias de corte. *Chilean Journal Agricultural and Animal Science*, 35(3), 251–260. <http://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000405>
- Association of Official Analytical Chemists. (1990). *Official methods of analysis* (15th Ed.). AOAC Inc.
- Bassegio, D., Ferreira Santos, R., de Oliveira, E., Wernecke, I., Secco, D., & Melegari de Souza, S. N. (2013). Effect of nitrogen fertilization and cutting age on yield of tropical forage plants. *African Journal Agriculture*, 8(16), 1427–1432. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7060>
- Cameron, L., Chagunda, M. G. G., Roberts, D. J., & Lee, M. A. (2018). A comparison of milk yields and methane production from three contrasting high-yielding dairy cattle feeding regimes: Cut-and-carry, partial grazing and total mixed ration. *Grass and Forage Science*, 73(3), 789–797. <https://doi.org/10.1111/gfs.12353>
- Campos Paciullo, D. S., Gomide, J. A., Monteiro da Silva, E. A., Sávio Queiroz, D., & Miranda Gomide, C. A. (2002). Degradação in vitro de tecidos da lâmina foliar e do colmo de gramíneas forrageiras tropicais, em função do estágio de desenvolvimento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(2), 900–907. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000400013>
- Cézar da Silva, D., Azevêdo Alves, A., da Silva Bezerra Lacerda, M., Moreira Filho, A., de Oliveira, M. E., & Almeida Lafayette, E. (2014). Valor nutritivo do capim-andropogon em quatro idades de rebrota em período chuvoso. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 15(3), 626–636. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402014000300004>
- Chen, G. J., Song, S. D., Wang, B. X., Zhang, Z. F., Peng, Z. L., Guo, C. H., Zhong, J. C., & Wang, Y. (2015). Effects of Forage: Concentrate ratio on growth performance, ruminal fermentation and blood metabolites in housing-feeding yaks. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(12), 1736–1741. <https://doi.org/10.5713/2Fajas.15.0419>
- Cook, B. G., Pengelly, B. C., Brown, S. D., Donnelly, J. L., Eagles, D. A., Franco, M. A., Hanson, J., Mullen, B. F., Partridge, I. J., Peters, M., & Schultze-Kraft, R. (2005). *Tropical Forages tool*. Tropical Forages. <https://www.tropicalforages.info/identify/key.html>
- Donaghy, D. J., & Fulkerson, W. J. (2002). The impact of defoliation frequency and nitrogen fertilizer application in spring on summer survival of perennial ryegrass under grazing in subtropical Australia. *Grass and Forage Science*, 57(4), 351–359. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.2002.00335.x>
- Garay Martínez, J. R., Estrada Drouaillet, B., Bautista Martínez, Y., Bernal-Flores, A., Mendoza Pedroza, S. I., Martínez González, J. C., Sosa Montes, E., & Cancino, S. J. (2020). Forage yield and quality of buffel ‘H-17’ and *Urochloa* hybrids at different regrowth ages under semi-arid conditions. *Grassland Science*, 66(4), 277–284. <https://doi.org/10.1111/grs.12278>
- Gelley, C. H., Nave, R. L., & Bates, G. E. (2017). Influence of height-based management on forage nutritive value of four warmseason forage grasses. *Crop Forage Turfgrass Management*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.2134/cftm2016.10.0067>

- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., & Tempio, G. (2013). *Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2020, mayo). *Condiciones actuales del tiempo*. Estación Automática de Alfredo Volio en Cartago. <https://www.imn.ac.cr/especial/estacionAlfredoVolio.html>
- Maldonado Peralta, M. de los Á., Rojas García, A. R., Ruíz Clavel, J. L., Aniano Aguirre, H., Magadan Olmedo, F., Jorge Castañeda, L., & Mondragón Calderón, U. (2020). Stem population and tissue replacement of urochloa in different phenological stages. *American Journal of Plant Sciences*, *11*(8), 1296-1306. <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.118092>
- Maldonado-Peralta, M. Á., Rojas-García, A. R., Sánchez-Santillán, P., Bottini-Luzardo, M. B., Torres-Salado, N., Ventura-Ríos, J., Joaquín-Cancino, S., & Luna-Guerrero, M. J. (2019). Análisis de crecimiento del pasto Cuba OM-22 (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum*) en el trópico seco. *Agroproductividad*, *12*(8), 17–22. <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1445>
- Miranda Valente, B. S., Duarte Cândido, M. J., Alves Cutrim Junior, J. A., Sales Pereira, E., Delmondes Bomfim, M. A., & Valmir Feitosa, J. (2010). Composição química bromatológica, digestibilidade e degradação *in situ* da dieta de ovinos em capim-tanzânia sob três frequências de desfolhação. *Revista Brasileira Zootecnia*, *39*(1), 113–120. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000100015>
- Monção, F. P., de Oliveira, E. R., Gabriel, A. D. A., Nascimento, F. D. A., Pedroso, F. W., & Freitas, L. L. (2016). Nutritional parameters of leaf blade from different tropical forages. *Scientia Agraria Paranaensis*, *15*(2), 185–193. <http://doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v15n2p185-193>
- Paris, W., Tonion, R., Martinello, C., Sartor, L. R., Matielo de Paula, F. L., & de Oliveira, J. G. (2016). Productivity and nutritional value of African Star managed with different leaf blade mass. *Acta Scientia, Animal Science*, *38*(1), 31–36. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v38i1.28549>
- Patiño Pardo, R. M., Gómez-Salcedo, R., & Navarro-Mejía, O. A. (2018). Nutritional quality of Mombasa and Tanzania (*Megathyrus maximus*, Jacq.) managed at different frequencies and cutting heights in Sucre, Colombia. *Medicina Veterinaria y Zootecnia*, *13*(1), 17–30. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.13.1.2>
- Pinto Monção, F. P., Morais Soares Costa, M. A., Sampaio Rigueira, J. P., Junqueira de Sales E. C., Barbosa Leal, D., Pereira da Silva, M. F., Mesquita Gomes, V., Alencar Chamone, J. M., David Alves, D., Siqueira Carvalho, C. C., Jardim Murta, J. E., & Rocha Júnior, V. R. (2019). Productivity and nutritional value of BRS capiaçu grass (*Pennisetum purpureum*) managed at four regrowth ages in a semiarid region. *Tropical Animal Health and Production*, *52*, 235–241. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02012-y>
- Ramírez Reynoso, O., Flores Atilano, I., Hernández Castro, E., Rojas García, A. R., Maldonado Peralta, M. Á., & Valenzuela Lagarda, J. L. (2020). Dinámica poblacional de tallos e índice de estabilidad del pasto llanero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *11*(Esp. 24), 23–34. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2355>
- Reimann Skonieski, F., Viégas, J., Fôlha Bermudes, R., Laerte Nörnberg, J., Ziech, M. F., Denardin Costa, O. A., & Meinerz, G. R. (2011). Composição botânica e estrutural e valor nutricional de pastagens de azevém consorciadas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *40*(3), 550–556. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000300012>
- Reuter de Oliveira, E., Pinto Monção, F., Libonato Gordin, C., de Araújo Gabriel, A. M., Lempp, B., Viegas dos Santos, M., & Valenzuela Moura, L. (2014). Ruminant degradability of dry matter of leaves and stem of genotypes of

- Cynodon* spp. four ages of regrowth. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(5), 2659–2672. <http://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n5p2659>
- Rodrigues Andrade, W., Junqueira de Sales, E. C., Sampaio Rigueira, J. P., Mesquita Gomes, V., Darmony Rufino, L., de Assis Pires, D. A., de Almeida Moura, M. M., Souza David, G. S., Araújo Silva, M. C., Oliveira de Jesus, M., Moura Alves Barroso, A. J., Alencar Chamoné, J. F., & Pinto Monção, F. (2018). Structural characteristics, nutritional value of Tifton 85 grass under nitrogen doses at different ages of regrowth in the semiarid. *Revista Ciências Agrárias*, 41(4), 893–899. <http://doi.org/10.19084/RCA17293>
- Rodríguez-Zamora, J., & Elizondo-Salazar, J. (2012). Consumo, calidad nutricional y digestibilidad aparente de morera (*Morus alba*) y pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en cabras. *Agronomía Costarricense*, 36(1), 13–23. <https://doi.org/10.15517/rac.v36i1.9951>
- Rojas-García, A. R., Torres-Salado, N., Maldonado-Peralta, M. de los Á., Sánchez-Santillán, P., García-Balbuena, A., Mendoza-Pedroza, S. I., Álvarez-Vázquez, P., Herrera-Pérez, J., & Hernández-Garay, A. (2018). Curva de crecimiento y calidad del pasto Cobra (*Brachiaria* híbrido BR02/1794) a dos intensidades de corte. *Agroproductividad*, 11(5), 34–38. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/368>
- Rojas García, A. R., Maldonado Peralta, M. Á., Sánchez Santillán, P., Magadan Olmedo, F., Álvarez Vazquez, P., & Rivas Jacobo., M. A. (2020). Growth analysis of grass Mulato II (Hybrid urochloa) by variety of cutting intensity. *International Journal of Agriculture, Environment and Bioresearch*, 5(4), 19–28. <https://doi.org/10.35410/IJAEB.2020.5523>
- RStudio Team. (2017). *RStudio: Integrated development environment for R* (Version 1.4.1103). <http://www.rstudio.com/>
- Taffarel, L. E., Mesquita, E. E., Dalazen Castagnara, D., Galbeiro, S., Barcellos Costa, P., & Rabello de-Oliveira, P. S. (2016). Tifton 85 grass responses to different nitrogen levels and cutting intervals. *Semina: Ciências Agrárias*, 37(4), 20–67. <http://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n4p2067>
- Tilahun, G., Asmare, B., & Mekuriaw, Y. (2017). Effects of harvesting age and spacing on plant characteristics, chemical composition and yield of desho grass (*Pennisetum pedicellatum* Trin.) in the highlands of Ethiopia. *Tropical Grasslands*, 5(2), 77–84. [https://doi.org/10.17138/tgft\(5\)77-84](https://doi.org/10.17138/tgft(5)77-84)
- Toro Velásquez, P. A., Teresinha Berchielli, T., Andrade Reis, R., Rivera Rivera, A., Moura Dian, P. H., & Molina de Almeida Teixeira, I. A. (2010). Composição química, fracionamento de carboidratos e proteínas e digestibilidade in vitro de forrageiras tropicais em diferentes idades de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(6), 1206–1213. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000600007>
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2nd Ed.). Cornell University Press.
- Van Soest, P. J., & Robertson, J. B. (1985). *Analysis of forages and fibrous foods: A laboratory manual for animal science*. Cornell University.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vélez, M., & N. Berger. 2011. *Producción de forrajes en el trópico*. Zamorano Academic Press.
- Villalobos, L. A., & Arce, J. (2013). Evaluación agronómica y nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de Monteverde, Puntarenas, Costa Rica. I. Disponibilidad de biomasa y fenología. *Agronomía Costarricense*, 37(1), 91–101. <https://doi.org/10.15517/RAC.V37I1.10715>