

**Sistema de Estudios de Posgrado**  
**Posgrado Regional en Ciencias Veterinarias Tropicales**  
**Maestría en Producción Animal Sostenible**



**EFFECTO DE LA ÉPOCA Y LOS DÍAS DE REBROTE SOBRE LA  
PRODUCCIÓN Y LA CALIDAD NUTRITIVA DE PASTOS EN COSTA RICA**

**Sustentante:**

José Pablo Jiménez Castro

Heredia, Costa Rica

Agosto, 2018

Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del **Posgrado Regional en Ciencias Veterinarias Tropicales** con énfasis en Producción Animal Sostenible para optar al grado de Magíster Scientiae.

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
POSGRADO REGIONAL EN CIENCIAS VETERINARIAS TROPICALES  
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL SOSTENIBLE**

**EFFECTO DE LA ÉPOCA Y LOS DÍAS DE REBROTE SOBRE LA  
PRODUCCIÓN Y LA CALIDAD NUTRITIVA DE PASTOS EN COSTA RICA**

**Sustentante:  
José Pablo Jiménez Castro**

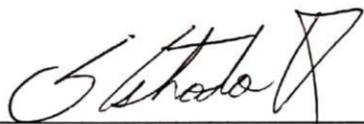
**Heredia, Costa Rica  
Agosto 2018**

**Tesis presentada para optar al grado de Magíster Scientiae en  
Producción Animal Sostenible. Cumple con los requisitos establecidos por  
el Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional. Heredia.  
Costa Rica**

**Miembros del Tribunal Examinador**

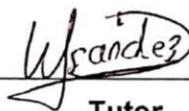


Representante del Consejo Central de Posgrado  
**Dra. Caterina Guzmán Verri**



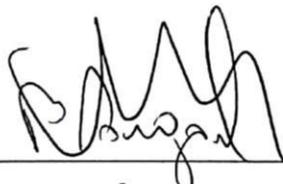
Directora Programa de Posgrado

**Dra. Sandra Estrada König**



Tutor

**Ph.D. William Sánchez Ledezma**



Asesor

**Ph.D. Bernardo Vargas Leitón**



Asesor

**M.Sc. María Isabel  
Camacho Cascante**



Sustentante

**José Pablo Jiménez Castro**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por tomar mi mano y caminar junto a mi en este camino.

A mis padres, hermana y hermanos por su motivación y apoyo incondicional.

A Marilyn por tanto apoyo y paciencia.

Al Ph.D. William Sánchez por su apoyo como tutor de tesis y por compartirme este gran proyecto que me dejó tantas enseñanzas.

Al Ph.D. Bernardo Vargas Leitón por su apoyo y guía brindada como asesor durante la realización de esta tesis.

A la M.Sc. María Isabel Camacho Cascante por todo su apoyo y contribución como asesora y especialmente por poner a disposición el Laboratorio de Nutrición de la UNA.

A todos los productores que pusieron a disposición sus fincas para la realización de este documento.

A las instituciones INTA, FITTACORI y UNA.

## DEDICATORIA

A mi madre Belma Castro y a mi padre Martín Jiménez.

A mis hermanos Fede, Santi y Marce.

A mi compañera incondicional Marilyn.

A mis abuelos Bosqui, Cris y Papirafa.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN GENERAL.....</b>	<b>9</b>
<b>GENERAL ABSTRACT.....</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>	<b>13</b>
1. Justificación.....	13
2. Características generales de las especies evaluadas.....	14
3. Factores que afectan la producción y calidad de las pasturas.....	19
4. Características ambientales de las regiones en estudio.....	22
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>25</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>32</b>
Objetivo General.....	32
Objetivos Específicos.....	32
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>33</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>34</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>35</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>36</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>38</b>
Ubicación del estudio.....	38
Selección de las fincas y pastos evaluados.....	38
Determinación de la producción de biomasa.....	39
Análisis estadístico.....	40
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>42</b>
Producción de biomasa acumulada por especie de pasto.....	42

Producción de biomasa acumulada por edad de rebrote.....	44
Producción de biomasa acumulada por época.....	45
Producción de biomasa acumulada según especie y edad de rebrote.....	47
Producción de biomasa acumulada según especie y época.....	49
Producción de biomasa acumulada según época y edad de rebrote por especie.	50
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>56</b>
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>60</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>61</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>62</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>63</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>65</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>68</b>
Materia seca.....	68
Proteína cruda.....	71
Fibra Neutro Detergente.....	74
Fibra Ácido Detergente.....	77
Digestibilidad <i>in vitro</i> de la Materia Seca.....	80
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>84</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>86</b>
<b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>92</b>
<b>RECOMENDACIONES GENERALES.....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>96</b>

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 1

<b>Figura 1.</b> Jaula de exclusión para evitar el consumo del pasto en la unidad de muestreo. San Carlos, Costa Rica. 2017.....	39
<b>Figura 2.</b> Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza al 95% de la producción de MS (kg.ha.corte) por especie de pasto. Costa Rica. 2016-2017.....	42
<b>Figura 3.</b> Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza al 95% de la producción de MS (kg.ha <sup>-1</sup> .corte) por edad de rebrote. Costa Rica. 2016-2017.....	44
<b>Figura 4.</b> Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza al 95% de la producción de MS (kg.ha.corte) de pastos de piso por época. Costa Rica. 2016-2017...	46
<b>Figura 5.</b> Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza al 95% de la producción de MS (Kg.ha.corte) de pastos de piso a distintas edades de rebrote. Costa Rica. 2016-2017.....	47
<b>Figura 6.</b> Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza al 95% de la producción de MS (kg.ha <sup>-1</sup> .corte) de pastos en dos épocas del año. Costa Rica. 2016-2017.....	49
<b>Figura 7.</b> Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza al 95% de la producción de MS (kg.ha.corte) a los 14, 28, 42 y 56 días de rebrote para los pastos evaluados. Costa Rica. 2016-2017.....	51

### Capítulo 2

<b>Figura 1.</b> Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza 95% del contenido de materia seca (MS) de pastos por edad de rebrote y época. Costa Rica. 2016-2017.....	69
<b>Figura 2.</b> Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza 95% del contenido de proteína cruda (PC) de pastos por edad de rebrote y época. Costa Rica. 2016-2017.....	72
<b>Figura 3.</b> Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza 95% del contenido de fibra neutro detergente (FND) de pastos por edad de rebrote y época. Costa Rica. 2016-2017.....	75

<b>Figura 4.</b> Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza 95% del contenido de fibra ácido detergente (FAD) de pastos por edad de rebrote y época. Costa Rica. 2016-2017.....	79
<b>Figura 5.</b> Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza 95% de la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) de pastos por edad de rebrote y época. Costa Rica. 2016-2017.....	81

## LISTA DE ABREVIATURAS

°C	Grados Celsius
Ce	Cenizas
CENAGRO	Censo Nacional Agropecuario
cm	Centímetros
CNE	Carbohidratos no estructurales
CNF	Carbohidratos no fibrosos
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CORFOGA	Corporación Ganadera
DIVMS	Digestibilidad in vitro de la materia seca
FAD	Fibra ácido Detergente
FND	Fibra neutro detergente
ha	Hectárea
IC <sub>95%</sub>	Intervalo de confianza al 95%
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INTA	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria
ITCR	Instituto Tecnológico de Costa Rica
K <sub>2</sub> O	Óxido de Potasio
kg	Kilogramos
Km <sup>2</sup>	Kilómetros cuadrados
Lig	Lignina
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MIDEPLAN	Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica
mm	Milímetros
MS	Materia seca
msnm	Metros sobre el nivel del mar
N	Nitrógeno
NNP	Nitrógeno no proteico
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fosfato
PC	Proteína cruda
SEPSA	Secretaría Ejecutiva del Plan Sectorial Agropecuario
t	toneladas
UNA	Universidad Nacional

## **DESCRIPTORES**

Producción de biomasa, calidad nutricional, edad de rebrote, pastos.

## RESUMEN GENERAL

El presente estudio tuvo como objetivo contribuir a la mejora de la producción de carne y leche bovina de Costa Rica, mediante el adecuado manejo de los principales pastos utilizados en la alimentación del ganado, según la producción de biomasa y la calidad nutricional de los mismos. Para lo cual se evaluó la producción de biomasa y calidad nutritiva de los principales pastos utilizados en pastoreo en la Región Central (*kikuyo-Kikuyuochloa clandestina*, ryegrass-*Lolium multiflorum* y estrella africana-*Cynodon nlemfuensis*), en el Pacífico Central (*diamantes-Brachiaria brizantha*) y en la Región Huetar Norte (*ratana-Ischaemum ciliare* y estrella africana), en cuatro edades de rebrote y durante las épocas lluviosa y seca entre los años 2016 y 2017.

En el primer estudio, se evaluó la producción de biomasa de las cinco especies de pastos, encontrando en promedio que el pasto kikuyo es el más productivo (3303 kg MS.ha<sup>-1</sup>) por corte. También se determinó que la producción de biomasa aumentó al avanzar la edad de rebrote, con mayores incrementos en los primeros días de rebrote (14 a 28 días), en comparación al acúmulo entre el día 28, 42 y 56 días. Por otra parte, se determinó que los pastos redujeron un 48% la producción de materia seca (MS) durante la época seca con respecto a la época lluviosa. Los pastos ubicados en el Pacífico Central y la Huetar Norte, produjeron en promedio la mitad del rendimiento alcanzado por los pastos evaluados en la Región Central.

En el segundo estudio, se estudió la calidad nutricional de los mismos pastos descritos anteriormente, en las mismas regiones, edades de rebrote y época de evaluación. Se determinó que la calidad nutricional varió entre pastos, edades de rebrote y épocas del año. En promedio, el mayor contenido de MS se presentó en el pasto diamantes (40%) y el menor en ryegrass (12%) con variaciones entre edades y épocas. El pasto kikuyo alcanzó el mayor contenido de proteína cruda (19%) con variaciones entre edades y épocas; mientras que el pasto diamantes el valor más bajo (4%), mostrando un valor constante entre épocas y edades. El menor contenido de fibra neutro detergente (FND) se obtuvo en pasto ryegrass (48%) con variaciones entre edades y épocas, mientras que el pasto estrella africana evaluado en la Región Huetar Norte presentó el mayor valor (65%), en cual fue mayor en la época seca y presentó variaciones entre edades de rebrote. Este mismo pasto alcanzó altos contenidos de fibra ácido detergente (FAD) (35%), al igual que el pasto

diamantes (34%) evaluado en el Pacífico Central, con variaciones entre edades y épocas; aunque el pasto kikuyo alcanzó el menor valor (26%), el cual aumentó al avanzar la edad de rebrote durante la época seca, pero presentó un efecto opuesto durante la época lluviosa. La digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS) fue mayor en el pasto kikuyo (72%) y ryegrass (71%) con variaciones entre edades y épocas. El análisis de los resultados sugiere la necesidad de seleccionar las edades óptimas de cosecha específicas para cada especie de pasto en ambas épocas del año, a fin de obtener el máximo rendimiento y calidad nutricional de cada especie de pasto.

## GENERAL ABSTRACT

The objective of this study was to contribute to the improvement of the production of meat and bovine milk in Costa Rica, by means of the adequate management of the principal pastures used in the feeding of cattle, according with the biomass production and the nutritional quality. The production of biomass and nutritive quality of the main pastures used in grazing in the Central Region (*Kikuyu-Kikuyuochloa clandestino*, Ryegrass-*Lolium multiflorum* and African Stargrass-*Cynodon nlemfuensis*), in the Central Pacific Region (Diamond-*Brachiaria brizantha*) and in the North Huetar Region (Ratana-*Ischaemum Ciliare* and African Stargrass) was evaluated in four ages of regrowth and during the rainy and dry seasons. In the first study, the production of biomass of the five species of pastures was evaluated, finding on average that the Kikuyu grass is the most productive (3303 kg DM.ha<sup>-1</sup>) per cut. It was also determined that biomass production increased as the regrowth age progressed, with higher increases in the first days of regrowth (14 to 28 days), compared to accumulation between day 28, 42 and 56 days. Pastures reduced 48% dry matter production (DM) during the dry season with respect to the rainy season. Pastures located in the Central Pacific and North Huetar Regions, averaged half of the yield achieved by the pastures evaluated in the Central Region. In the second study, it was determined the nutritional quality of the same pastures described above, in the same regions, ages of regrowth and time of evaluation. It was determined that nutritional quality varied between pastures, regrowth ages and times of the year. On average, the highest DM content was presented in the Diamond pasture (40%) and the lowest in Ryegrass (12%) with variations between ages and times. The Kikuyu pasture reached the highest crude protein content (19%) with variations between ages and seasons; while the Diamond grass showed the lowest value (4%), with a constant value between seasons and ages. The lowest content of neutral detergent fiber (NDF) was obtained in Ryegrass (48%) with variations between ages and seasons, while the African Stargrass evaluated in the northern Huetar Region presented the highest value (65%), which was higher in the dry season and presented variations between regrowth ages. This same pasture reached high content of acid detergent fiber (ADF) (35%), as well as the Diamond grass (34%) evaluated in the Central Pacific, with variations between ages and epochs; although the Kikuyu pasture reached the lowest value (26%), which increased by advancing the age of regrowth during the dry season but presented an opposite effect during the rainy season. The *in vitro* dry matter digestibility

(IVDMD) was higher in the Kikuyu pasture (72%) and Ryegrass (71%) with variations between ages and times. The analysis of the results suggests the need to select optimal ages of specific harvests for each species of grass at both seasons of the year in order to obtain the maximum yield and nutritional quality of each grass species.

## INTRODUCCIÓN GENERAL

### 1. Justificación

En Costa Rica, la ganadería bovina mediante la actividad de cría, engorde, doble propósito y lechería, ha generado grandes aportes a nivel económico, social y ambiental. En términos generales, respecto a la importancia socioeconómica del país, la participación relativa del sector agropecuario en la producción nacional representa el 5,0%; mientras que la participación relativa del sector pecuario equivale al 19,0% de la producción agropecuaria. Así mismo, la cría de ganado vacuno representa el 73,7% del sector pecuario nacional (SEPSA, 2017). La ganadería ha mostrado ser una actividad estratégica por su condición de proveedora de alimentos básicos para la población, y sus encadenamientos con otros sectores de la actividad económica dan lugar a efectos multiplicadores en términos de empleo, generación de ingresos, divisas y crecimiento económico (Holmann *et al.*, 2007).

Para poner en perspectiva la actividad ganadera en Costa Rica, el Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO) realizado en el año 2014, mostró que en el país hay 37 171 fincas y un total de 1 278 817 cabezas de ganado vacuno, distribuidas según propósito en: carne, doble propósito y leche, los cuales representan el 42, 32 y 26% del total de animales, respectivamente (INEC, 2015). Además, se determinó que el 70% de las fincas ganaderas, están en manos de pequeños productores, con áreas iguales o inferiores a 30 hectáreas (CORFOGA, 2012).

Así mismo, los datos del CENAGRO (INEC, 2015) revelaron que el 95,2% de las fincas con ganado vacuno en Costa Rica, poseen algún tipo de pastura para alimentar sus animales, lo que demuestra que la producción de carne y leche del ganado bovino en sistemas de pastoreo, depende en buena parte de la producción y calidad de los pastos, debido a que los pastos contienen una mezcla de carbohidratos muy útiles en la nutrición de los animales y constituyen la mayor fuente de energía para las bacterias del rumen, y por ende para el animal (Van Soest, 1994). Además, son la fuente de alimentación más abundante y de menor costo con que cuenta los ganaderos para alimentar sus animales.

Por otra parte, la variabilidad climática mundial ha provocado graves consecuencias en la producción agropecuaria en Costa Rica, al presentarse cada vez más períodos

adversos de sequías y exceso de lluvias que altera la productividad y la calidad de las pasturas, afectando la posibilidad de cubrir los requerimientos nutricionales de los animales, debido a que en los periodos de sequía se reducen considerablemente el rendimiento y la calidad de los pastos; mientras que, en los periodos de exceso de lluvias, se eleva el contenido de agua de los pastos lo que afecta negativamente el consumo de materia seca (Verite y Journet, 1970).

Adicionalmente, el potencial genético de la ganadería en Costa Rica se ha incrementado progresivamente en las últimas décadas y con ello sus requerimientos nutritivos, lo que ha obligado a los ganaderos a utilizar alimentos concentrados a base de granos importados, lo que incrementa los costos de producción y supone competir con la alimentación humana, lo que limita la sostenibilidad bioeconómica de esta práctica de alimentación.

Bajo esta perspectiva, se plantea la necesidad de continuar evaluando la respuesta productiva y nutritiva de los pastos de piso ante los cambios climáticos que se han experimentado durante los últimos años, a fin de mejorar el manejo y la utilización de éstos, y por ende la alimentación y producción de la ganadería bovina del país, reducir los costos de producción y la dependencia de insumos externos, y mejorar así la sostenibilidad y competitividad del sector. Por lo anterior, la presente investigación pretende aportar en el conocimiento acerca de la productividad y la calidad nutricional de cinco de los principales pastos utilizados mediante el pastoreo en los sistemas ganaderos de Costa Rica.

## **2. Características generales de las especies evaluadas**

### **a. Pasto ryegrass (*Lolium* sp)**

Se le llama pasto raigrás (ryegrass) a dos especies cultivadas del género *Lolium*. Una de ellas es el *Lolium multiflorum* Lam., conocido como ryegrass anual o italiano; mientras que la otra es el *Lolium perenne* L., llamado ryegrass inglés o perenne. Estas dos especies han dado origen a gran cantidad de cultivares, de los cuales se han realizado cruces que han originado gran cantidad de híbridos y variedades que reciben distintos nombres comerciales (Eusse, 1994). Es un pasto que se adapta bien al clima frío en temperaturas no mayores a 22°C, aunque muestra buena productividad a temperaturas cercanas a los 15°C. El pasto ryegrass se adapta a zonas entre los 1800 y 3600 msnm, pero arriba de los

3000 msnm su crecimiento se reduce y los períodos de recuperación deben prolongarse entre las 2 y 4 semanas (Villalobos y Sánchez, 2010a). Crece en suelos de media a alta fertilidad y es exigente a la nutrición de nitrógeno, fósforo y potasio; requiere suelos bien drenados y con pH superior a 5,5 (Oregon State University, 1999).

El fósforo es un nutriente limitante para la producción de materia seca y su deficiencia deprime la extracción de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y la translocación de las raíces en su parte superior para la producción de aminoácidos (Kim *et al.* 2003). Es poco afectado por plagas y enfermedades, siendo la más común la pudrición de la corona causada por *Puccinia coronata*, la cual puede ser controlada por pesticidas (Vélez *et al.*, 2002).

Estudios muestran rendimientos por ciclo de 4300 y 2400  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de MS con fertilización de 200 y 50  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  de nitrógeno, respectivamente (Fulkerson y Donaghy, 2001); mientras que en Costa Rica, se reportan rendimientos de 4110  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de MS con dosis de fertilización entre 200 a 250  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  de nitrógeno, 30 a 70 de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 20 a 40 de  $\text{K}_2\text{O}$  (Villalobos y Sánchez, 2010a). En cuanto a la calidad nutricional, presenta contenidos de MS, proteína cruda (PC) y carbohidratos no fibrosos (CNF) de 16, 25 y 15%, respectivamente; respecto a los contenidos de la pared celular, muestra promedios en fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina (Lig) de 50, 26 y 3%, respectivamente (Villalobos y Sánchez, 2010b).

#### **b. Pasto Kikuyo (*Kikuyuochloa clandestina*)**

El pasto kikuyo es una gramínea originaria de las montañas orientales y centrales África tropical y desde los inicios del siglo XX es cultivado como pasto y césped. Se encuentra en las tierras altas tropicales de todo el mundo, y a menudo es considerada una mala hierba invasora, agresiva y difícil de controlar (Scholz, 2006). Es comúnmente utilizada en los sistemas de producción de lechería especializada en Costa Rica, ubicados en las zonas altas. Requiere suelos de mediana a alta fertilidad y es tolerante a la sequía, pero muy susceptible a temperaturas por debajo de los  $5^\circ\text{C}$  (Eusse, 1994). Se propaga principalmente de forma vegetativa mediante estolones, aunque por semilla sexual puede propagarse, inclusive cuando éstas sobrepasaron el sistema gastrointestinal de los animales. Respecto a su hábito de crecimiento, los estolones se posan sobre la superficie del suelo con entrenudos cortos, a partir de los cuales surgen raíces que fijan los estolones al suelo, de forma tal que las hojas quedan al acceso de los animales (Zapata, 2000).

La producción de biomasa del kikuyo es relativamente alta, en comparación con otros pastos cultivados en la zona alta. Villalobos *et al.* (2013) reporta rendimientos anuales de MS de 38 731 kg.ha<sup>-1</sup> y 3517 kg.ha<sup>-1</sup> por ciclo con períodos de recuperación de 31 días y fertilización nitrogenada de 518 kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>.

El kikuyo se caracteriza por su alto contenido de PC y bajo contenido de CNF (Gaitán y Pabón, 2003; Osorio, 1996). Esto ocurre principalmente a los altos niveles de fertilización nitrogenada que se aplica en las prácticas agronómicas al que es sometido (Messman *et al.* 1981; Van Vuuren *et al.*, 1991; Rodríguez, 1999) y que incrementa la fracción soluble de la PC (fracción a) en detrimento de la fracción potencialmente degradable (fracción b) (Rodríguez, 1999). Un factor que afecta la composición química de los pastos es la edad de pastoreo, pero en el caso particular del kikuyo, ha resultado tener un menor impacto debido a su crecimiento (Eusse, 1994). Se han reportado contenidos de PC de alrededor de 20% (Osorio, 1999; Naranjo, 2002); así mismo, se reportan valores de 11 a 16% por otros autores (Apráez y Moncayo, 2000).

Se han reportado valores de FDN de alrededor de 58% (Laredo y Mendoza, 1982; Apráez y Moncayo, 2000); mientras que Miles *et al.* (2000) señalan que el contenido de FDN se encuentra entre 42 y 84% de la MS. Por otra parte, se reportan contenidos de hemicelulosa entre 22 y 36% de la MS (Apráez y Moncayo, 2000).

### **c. Pasto ratana (*Ischaemum ciliare*)**

El pasto ratana, retana o rotana (*Ischaemum indicum* Houltt), mencionado también por la literatura como *Ischaemum ciliare* Retz. o *Pheleum indicum*, es una gramínea originaria del subcontinente indio y el sureste de Asia y fue introducida en Panamá (Ortega y Rattray, 1986), Costa Rica (Hunter, 1987), Nicaragua y Guatemala. En Costa Rica, entre 1982 y 1988, el área cubierta de ratana aumentó de 93 710 a 288 056 ha, lo que es equivalente al 15 a 33%, respectivamente, del área cultivada con pastos en la región del trópico húmedo del país (Morales, 1992).

Algunos estudios mencionan que el ratana posee algunas características indeseables, como baja productividad, sistema radicular superficial y abundante floración profusa y prolongada durante la época seca. Sin embargo, constituye una opción para el pastoreo en ganaderías extensivas donde por razones técnicas, económicas o preferencias

del productor, la introducción de otras especies no ha sido factible o exitosa (Arosemena *et al.* 1996; Villarreal, 2010).

En cuanto a producción de biomasa, los rendimientos oscilan 462 y 283 kg MS.ha<sup>-1</sup> durante la época de máxima y mínima precipitación, respectivamente; bajo sistemas de cosecha cada 35 días (Villarreal, 1992). Así mismo, promedios entre 4,8 y 2,9 t.ha<sup>-1</sup>.año en la época de mínima y máxima precipitación, respectivamente, fueron obtenidos por este mismo estudio.

Niveles nutricionales bajos han sido reportados por estudios hechos en Costa Rica, Los contenidos de MS oscilan entre 20 y 28% en época lluviosa y semiseca, respectivamente, con valores promedios de 10% de PC, 69% de FDN, 9% de CNF y 61% de DIVMS (Sánchez *et al.* 1998). Valores similarmente de PC (9%) y DIVMS (60%) reportó Villarreal (1992) en la región Huetar Norte de Costa Rica.

El ratana responde positivamente a la fertilización nitrogenada de 150 kg de N.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, con rendimientos de biomasa de 15,7 t MS.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, aunque niveles mayores de nitrógeno crean poca respuesta en el crecimiento (Villarreal, 2010). Los requerimientos de fósforo son bajos, pero en suelos de baja fertilidad, se favorece la competencia con otras gramíneas (Arosemena *et al.* 1996).

#### **d. Pasto diamantes (*Brachiaria brizantha*)**

Los pastos del género *Brachiaria* y sus híbridos son los más cultivados, se encuentran en forma abundante en las regiones tropicales y subtropicales, concentrándose donde las temperaturas son altas, las precipitaciones escasas y suelos degradados (Sato e Iribas, 2013). Son originarios de las regiones tropicales de África, donde crecen normalmente de forma natural en sabanas abiertas o en compañía de especies arbustivas. Pertenecen a la división *Magnoliophyta*; clase *Magnoliopsida*, subclase *Commelinidae*; orden *Poales*; familia *Poaceae*; subfamilia *Panicoideae*; tribu *Paniceae* (Olivera *et al.* 2006). Dicho género contiene alrededor de 100 especies que crecen en regiones tropicales y subtropicales en los hemisferios Oriental y Occidental (Zuleta y Cardozo, 2002).

*B. brizantha* crece en forma de cepas que posee panículas compuestas por racimos de 34 a 87 cm de longitud (Olivera *et al.* 2006), alcanzando en el cultivar diamantes en promedio 45 cm de longitud (Villalobos y Montiel, 2015). Algunos cultivares de *B. brizantha*

pueden llegar a tener hasta 17 racimos solitarios por cepa, unilaterales y rectos (Olivera *et al.* 2006), sin embargo, Villalobos y Montiel (2015) reportan de 2 a 3 racimos por cepa, de 9 cm de longitud. Además, estos mismos autores reportan un 80% de germinación de la semilla al momento del establecimiento.

El género *Brizantha*, se adapta bien a suelos de mediana fertilidad, pero bien drenados. Tolera condiciones de temperatura de 18 a 32°C, altura de 0 a 1300 msnm y precipitación media anual de 1000 a 4500 mm. Prefiere suelos planos u ondulados con 15% de pendiente (Lobo y Díaz, 2001).

Presenta alta productividad de biomasa en amplio rango de condiciones agroecológicas. Su producción varía entre 8 y 20 t MS.ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, con rendimientos que oscilan entre 3500 y 700 kg MS.ha<sup>-1</sup> a los 24 días de rebrote. El contenido de PC varía entre 7 y 14%, la DIVMS entre 55 y 70%, la FDN entre 61,8 y 71,1% y la FDA entre 30,1 y 51,4%. Se utiliza tanto en sistemas de pastoreo, como de corte y acarreo (Peters *et al.* 2003).

#### **e. Pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*)**

La estrella es una gramínea originaria de África Oriental, ha tenido una rápida distribución en trópicos y subtrópicos, se adapta a climas cálidos y medios de altitudes de 0 a 1300 msnm, y es tolerante a pH en el suelo entre 4,5 y 8,0 (Lobo y Díaz, 2001, Peters *et al.* 2003).

Es un pasto perenne, de tallo erecto que alcanza hasta 70 cm de altura, con estolones de 2 a 3 mm de ancho. Sus estolones crecen a nivel del suelo y emiten tallos aéreos, suaves, robustos y delgados, sus hojas son simples y alternas, su inflorescencia es un verticilo de espigas delgadas y flexibles de colores verdes manchadas de rojo o púrpura (Nilsson *et al.* 2005).

El pasto estrella no es exigente a humedad en el suelo, tolera la sequía siempre y cuando no sea superior a los cuatro meses. Se adapta bien a condiciones de precipitación menores a 4500 mm anuales (Lobo y Díaz, 2001). Presenta valores promedio de 22% MS; 15% PC; 72% FDN; 40% FAD; 9% cenizas (Ce) y 5% Lig a los 30 días de cosecha en la zona de San Carlos (Sánchez y Soto, 1996; Sánchez y Soto, 1998). En Ochoмого de Cartago a los 60 días de cosecha, presenta valores de 22% MS; 13% PC; 74% FDN; 437% FAD; 10% Ce y 11% Lig (Herrera *et al.* 2009).

La fertilización con nitrógeno es la práctica agronómica que más influye en la composición bromatológica de la estrella. Suárez (1983), midió el efecto de varios niveles de aplicación de nitrógeno (0, 75, 150 y 300 kg/ha/año) y encontró variaciones del 28% en la producción de materia seca a lo largo del año, valor que se redujo durante la época seca. Además, se observó una reducción en el porcentaje de materia seca conforme aumentó la cantidad de nitrógeno aplicado.

Villarreal (1985), analizó otros niveles de fertilización nitrogenada (0, 250, 500 y 750 kg/ha/año) y obtuvo menores porcentajes de materia seca y de pared celular al combinar niveles altos de nitrógeno y menores edades de rebrote. Este aumento en el nivel de nitrógeno disminuye el nitrógeno insoluble en la planta y aumenta la digestibilidad.

### **3. Factores que afectan la producción y calidad de las pasturas**

La producción y la calidad nutricional de las pasturas son afectadas por una serie de factores internos y externos. El principal factor externo es el ambiente, el cual tiene influencia mediante la precipitación, la humedad, la temperatura y la radiación solar (Eusse, 1994).

La precipitación y su distribución a lo largo del año tienen efectos notables sobre el crecimiento y la calidad de los pastos, debido a la estrecha relación con los factores bioquímicos y fisiológicos que regulan estos complejos procesos biológicos en los pastos (Del Pozo, 2002). El agua es uno de los factores de mayor importancia en el desarrollo de las gramíneas forrajeras, ya que ésta constituye aproximadamente el 80% de los tejidos de las plantas (Araya y Boschini, 2005) y está presente en casi todos los procesos metabólicos (Lösch, 1995). El déficit de agua en el suelo afecta negativamente las relaciones hídricas internas, la fisiología y la morfología de las plantas, lo cual limita la producción de forraje e incluso la supervivencia de las especies (Mattos et al. 2005). Se ha encontrado que, bajo condiciones de estrés hídrico, se produce una disminución de la síntesis de proteínas y un aumento en la concentración de aminoácidos libres (Lösch, 1995), pero también se han señalado algunos efectos beneficiosos relacionados con el proceso de crecimiento, como reducción en los tallos y aumento en la proporción de hojas (Del Pozo, 2002). Por otra parte, el exceso de precipitaciones también provoca estrés en las pasturas. Esto es más frecuente que ocurra en suelos mal drenados y durante la estación lluviosa donde las precipitaciones son altas. El principal efecto del exceso de lluvias ocasiona anoxia en las raíces, lo que

afecta la respiración aeróbica, la absorción de minerales y agua; mientras que, en especies poco tolerantes, puede generar una menor eficiencia energética y productividad en las plantas (Baruch, 1994). La capacidad de las plantas para obtener agua del suelo, cuando la disponibilidad es limitada, es una característica importante de cada especie; esta capacidad está relacionada con la profundidad y extensión del sistema radical. A su vez, el agua almacenada en el suelo y el agua disponible depende principalmente de la precipitación, de la profundidad que haya alcanzado el sistema radical y de la textura y estructura del suelo (Eusse,1994).

Otro factor importante es la temperatura, que afecta el crecimiento y el metabolismo de los pastos, ya que las reacciones bioquímicas que ocurren en la planta y de las cuales depende la producción de materia seca, están afectadas por la temperatura ambiental. La temperatura afecta los procesos de fotosíntesis, respiración, transpiración, absorción de agua y nutrientes, actividad de enzimas y coagulación de las proteínas (Eusse,1994). Los efectos negativos de las bajas temperaturas en las gramíneas tropicales poco adaptadas a estas condiciones, provoca baja conversión de azúcares en los tejidos de las plantas y se afecta la tasa de asimilación y traslocación de metabolitos que pueden causar daños físicos en el sistema fotosintético, lo que limita el crecimiento de las pasturas (Baruch y Fisher, 1991). Por otra parte, las altas temperaturas también afectan el crecimiento de los pastos, debido a que disminuye la tasa fotosintética debido a la inactivación de la acción enzimática (Del Pozo, 2002) y al aumento de la tasa transpiratoria que crea un balance hídrico negativo que reduce la expansión celular y el crecimiento (Pollock, 1990).

La cantidad de luz interceptada por la superficie foliar incide significativamente en la eficiencia de utilización de la luz (Eusse,1994). En la producción de los pastos, la intensidad de la luz es importante en aspectos tales como densidad de siembra, altura de corte o pastoreo y mezclas de gramíneas con leguminosas, cuando en estas últimas se mezclan especies que compiten entre sí. La duración de la luz diurna o fotoperiodo también es importante en la producción de forrajes. En el trópico muchos pastos permanecen en estado vegetativo o producen escasa cantidad de semilla de baja calidad, porque las horas de luz no son suficientes para inducir la floración (Eusse,1994). Se han visto diferencias en la actividad fotosintética durante el crecimiento entre especies que poseen vías bioquímicas similares para la fotosíntesis, debido principalmente a que, en condiciones de campo, las hojas superiores reducen los niveles de radiación a las que se ubican en la parte inferior;

así como las diferentes orientaciones de las hojas, lo que provoca que solo una parte de ellas alcancen su potencial fotosintético (Sinoquet y Caldwell, 1995). La radiación solar también influye en procesos metabólicos de la planta que inciden en su composición química, tanto por cambios en la intensidad de la luz, como en su calidad. El aumento en la intensidad de la luz favorece los procesos de síntesis y acumulación de carbohidratos solubles en la planta y reduce la deposición de componentes estructurales (Del Pozo, 2002). Se ha observado que la reducción en la intensidad luminosa por el sombreado mejora la digestibilidad de la materia seca debido a la disminución en el contenido de la pared celular (Penton y Blanco, 1997). Estudios realizados por Pezo e Ibrahim (1999) atribuyen a la radiación, los cambios anatómicos y morfológicos que ocasionan las variaciones observadas en la calidad de los pastos.

La fertilidad de los suelos representa un factor importante que influye en la producción y la calidad de los pastos, debido a que define la capacidad del suelo para suministrar nutrientes en cantidades adecuadas para el crecimiento normal de las plantas, producto de la combinación de las propiedades físicas, químicas y biológicas en condiciones climáticas apropiadas (IPNI, 2003).

Dentro los factores internos que afectan el crecimiento y la calidad de las pasturas, se encuentra el tipo de material y las etapas fisiológicas de las plantas (Araya y Boschini, 2005).

La edad de rebrote representa uno de los factores que más afectan la calidad los forrajes, debido a que provoca cambios significativos en los componentes solubles, estructurales y en la digestibilidad de los pastos, lo que disminuye su valor nutritivo con el avance de la edad (Del Pozo, 2002; Caballero, 2013). La disminución de la calidad nutricional de los pastos al avanzar su edad también puede deberse a procesos de floración, que afectan de manera significativa la composición química y la digestibilidad de los pastos (Mares, 1983). La proteína cruda (PC) de los forrajes es uno de los nutrientes que disminuye al aumentar la edad de los pastos, lo cual se atribuye a una reducción de la actividad metabólica de la planta que afecta la síntesis de compuestos proteicos (Ramírez et al., 2008). Este comportamiento ha sido reportado por Chacón y Vargas (2009) al evaluar la calidad del pasto *Pennisetum purpureum* en edades de 60, 75 y 90 días de rebrote. Los cambios en los contenidos de la pared celular se deben a que, al incrementarse la edad de

rebrote de los pastos, aumenta la proporción de tallos con respecto a la cantidad de hojas (Ramírez et al., 2008), lo que reduce la digestibilidad de la materia seca; sin embargo, Ibarra y León (2001) aseguran que la digestibilidad de los pastos se puede ver afectada por la precipitación, la evaporación y la humedad relativa, principalmente durante las épocas con altas precipitaciones. Además, Parsons y Penning (1988) afirman que, una vez que el pasto alcanza el máximo ritmo de crecimiento, su calidad comienza a decrecer debido a que se frena el crecimiento de forraje verde y se incrementa el acúmulo de material senescente, lo que reduce significativamente la calidad del pasto.

Aspectos relacionados al manejo, como la fertilización, también afectan el crecimiento y la calidad nutricional de las pasturas (Messman et al., 1981; Van Soest y Robertson, 1985; Rodríguez, 1999). En estos estudios, se han observados incrementos en el contenido de proteína en el pasto, debido al incremento en el nitrógeno (N) soluble y el nitrógeno no proteico (NNP), es decir, en la fracción a, en detrimento de la fracción b; mientras que la fracción c, no parece modificarse por la fertilización nitrogenada (Rodríguez, 1999) o en ocasiones puede manifestar un incremento (Messman et al., 1981; Soto et al., 2005).

#### **4. Características ambientales de las regiones en estudio**

##### **4.1. Región Central**

La región Central limita al norte con la región Huetar Norte, al noroeste con la región Pacífico Central, al sur con las regiones Brunca y Pacífico Central, y al este con la región Huetar Atlántica. La región Central posee una extensión de 8530 km<sup>2</sup> (ITCR, 2014) y se distribuye entre las provincias de Alajuela, Cartago, Heredia y San José. Es una región con relieve muy irregular donde predominan los sistemas montañosos y depresiones tectónicas que ha sido rellenada con material producto de las erupciones volcánicas y procesos erosivos (MIDEPLAN, 2014a). Por lo anterior, la región posee alta variabilidad de pisos altitudinales. Abarca zonas desde los 200 m de altitud, hasta 3300 msnm. Estas condiciones provocan que la región muestre variabilidad en temperaturas (entre 8 y 26 °C) y precipitación entre 1500 y 7000 mm anuales) (IMN, 2018). Debido a la diversidad de condiciones, la región Central cuenta con distintas zonas de vida, donde según la clasificación de Holdridge (1987), predomina el bosque muy húmedo premontano (bmh-P) y bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB). Predominan el suelo del orden Andisoles,

el cual se caracteriza por ser profundo, con buena características físicas y alta fertilidad, lo que los convierte en suelos de alto potencial agrícola (Cabalceta, 2012).

#### 4.2. Región Huetar Norte

La región Huetar Norte se encuentra al norte del país y comprende cantones de la provincia de Alajuela y Heredia. Cuenta con una extensión de 9803 km<sup>2</sup>, lo que equivale al 19,2% del territorio nacional. El clima de la región posee dos estaciones, la lluviosa va de mayo a enero y la estación seca se extiende de febrero a mayo, con algunas precipitaciones esporádicas ocasionadas por los frentes fríos del norte durante la época seca (MIDEPLAN, 2014b). El clima es variable, el cual presenta precipitaciones entre 2000 y 3000 mm anuales y temperaturas promedio de 26°C en las llanuras de Guatuso, Upala y Los Chiles, y precipitaciones hasta de 5000 mm anuales y temperaturas de 20°C en los macizos volcánicos (IMN, 2018). Predomina la zona de vida de bosque muy húmedo tropical (Holdridge, 1987). Los suelos son del orden Ultisoles, caracterizados por ser arcillosos y de coloración roja debido a la oxidación del hierro, con baja fertilidad y algunas veces asociados a problemas de acidez (Cabalceta, 2012). La región forma parte de las llanuras inundables del Atlántico y su relieve es por lo general plano, producto del relleno aluvial con material de base de origen volcánico. Su topografía posee colinas de baja altitud que no superan los 382 m, terrazas relativamente llanas con altitudes entre 50 y 100 msnm (MIDEPLAN, 2014b).

#### 4.3. Región Pacífico Central

De acuerdo con MIDEPLAN (2014c), la región Pacífico Central posee una extensión de 3910,6 km<sup>2</sup>; lo que representa el 7,6% del territorio nacional y comprende cantones de la provincia de Puntarenas, Alajuela y Guanacaste. La topografía de la región va desde la presencia de pendientes moderadas a fuertemente onduladas. Posee una zona baja, que comprende desde el nivel del mar hasta 200 msnm, la cual se caracteriza por presentar suelos de origen aluvial, producto de la erosión de las partes altas y suelos formados por la sedimentación marina. La zona media se encuentra entre 200 y 700 msnm, presenta pendientes moderadas a fuertemente onduladas. La zona alta, se ubica entre 700 y 1400 msnm. La región tiene mayor presencia de llanuras al ser tierras sedimentadas o de relleno, debido al arrastre de los ríos.

La temperatura puede variar entre 14 y 30 °C, y los regímenes de precipitación oscilan entre 1500 y 5000 mm anuales, con dos estaciones climáticas definidas, la lluviosa y la seca (ITCR, 2014). Predominan las zonas de vida de bosque húmedo premontano y bosque muy húmedo premontano (Holdridge, 1987). En esta región predominan los suelos del orden Entisoles, que se caracterizan por poseer poca profundidad, exceso de humedad, inundaciones frecuentes y alta susceptibilidad a la erosión hídrica y/o eólica (Bertsch et al., 1993).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apráez, E., O. Moncayo. 2000. Caracterización agronómica y bromatológica de una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst) sometida a rehabilitación mediante labranza y fertilización orgánica y/o mineral. Consultado 26 Feb. 2016. Disponible en <http://www.virtualcentre.org/es/enl/keynote14.htm>.
- Araya, M., C. Boschini. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la meseta central de Costa Rica. *Agron. Mesoam.* 16(1): 37-43.
- Arosemena, E., D.A. Pezo, D.L. Kass, P.J. Argel. 1996. Requerimientos externos e internos de fósforo en pasto ratana (*Ischaemum indicum* (Houtt.) y *Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Stapf. *Pasturas Tropicales* 18(1): 34-40.
- Arronis, V. s.f. Descripción y adaptación de forrajes. Boletín Técnico. INTA-ACCS. Costa Rica.
- Baruch, Z. 1994. Response to drought and flooding in tropical forage grass. I. Production and allocation of biomass leaf growth and mineral nutrients. *Plant and Soil*, 164: 87-96.
- Baruch, Z., M.J. Fisher. 1991. Factores climáticos de competencia que afectan el desarrollo de la planta en el crecimiento. En: Establecimiento y renovación de pasturas. Conceptos, experiencia y enfoques de la investigación. 103-142. Ed. C.E. Lascano, J.M. Spain. Red de Investigación y Evaluación de Pastos Tropicales. CIAT, Colombia.
- Bertsch, F., F. Mata, C. Henríquez. 1993. Características de los principales órdenes de suelos presentes en Costa Rica. En Memorias del IX Congreso Nacional Agropecuario y de Recursos Naturales. 18-22 oct, 1993. San José, Costa Rica. Consultado el 2 de abril, 2018. Disponible en: [http://www.mag.go.cr/congreso\\_agronomico\\_ix/A01-1277-15.pdf](http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_ix/A01-1277-15.pdf).
- Cabalceta, G. 2012. Principales grupos de suelos dedicados a la producción de forrajes en Costa Rica. En Memorias del Congreso Nacional Lechero 2012. San Carlos, Costa Rica [en línea]. Consultado el 27 de junio de 2018. Disponible en <http://proleche.com/congreso-nacional-lechero-2012/>
- Caballero, A. 2013. Caracterización productiva de cinco accesiones de *Pennisetum purpureum* Schum. Tesis M.Sc., Universidad de Matanzas, Cuba.

- Chacón, P.A., C.F. Vargas. 2009. Digestibilidad y calidad del *Pennisetum purpureum* CV. King Grass a tres edades de rebrote. *Agron. Mesoam.* 20(2): 399-408.
- CORFOGA (Corporación Ganadera). 2012. Resultado de la Encuesta Ganadera 2012. San José, Costa Rica.
- Del Pozo, P. 2002. Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. *Rev. Pastos.* 32(2): 109-137.
- Eusse, J.B. 1994. Pastos y forrajes tropicales. 3 ed. Banco Ganadero, Bogotá.
- Fulkerson W., y D. Donaghy. 2001. Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: a review. *Aust. J. Exp. Agric.* 41:261-275.
- Gaitán S., y J. Pabón. 2003. Evaluación energética y proteica de los forrajes utilizados en un hato lechero del oriente antioqueño según el NRC 2001. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Herrera, H., F. Vargas, C. Boschini, y A. Chacón. 2009. Variación bromatológica de la leche de cabras LaMancha alimentadas con diferentes forrajes. *Agron. Mesoam.* 20(2): 381-390.
- Holdridge, L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. Trad. por Humberto Jiménez Saa. San José, Costa Rica: IICA. 216 pp. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QA/S>
- Holmann, F., L. Rivas, E. Pérez, C. Castro, P. Schuetz, y J. Rodríguez. 2007. La Cadena de Carne Bovina en Costa Rica. CIAT-ILRI-CORFOGA, San José. Costa Rica.
- Hunter, J.R. 1987. Some observations on *Ischaemum indicum* (Poaceae: Panicoideae: Andropogoneae), a recent aggressive introduction to Costa Rica pasture lands. *Turrialba* 37:71-76.
- Ibarra, G., J. León. 2001. Comportamiento bajo corte de dos variedades de *Pennisetum purpureum*: Taiwán 801-4 y Taiwán 144 en condiciones de secano. *Producción Animal* 13(1):31-34.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2018. Datos climáticos. Consultado el 15 jun. De 2018. Disponible en <https://www.imn.ac.cr/web/imn/inicio>.
- INEC (Intituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica). 2015. VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales. San José, Costa Rica.
- IPNI (International Plant Nutrition Institute). 2003. Manual de nutrición y fertilización de pastos. Quito, Ecuador. 94 p.

- ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica) 2014. Atlas Digital de Costa Rica 2014. CD-ROM. Cartago, CR: ITCR.
- Kim T., W. Jung, B. Lee, T. Yoneyama, H. Kim, y K. Kim. 2003. P effects on N uptake and remobilization during regrowth of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). Environ. Exp. Bot. 50:233-242.
- Laredo, M., y P. Mendoza. 1982. Valor nutritivo de pastos de zonas frías. I Pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst). Anual y estacional. Revista ICA. 17: 157-167.
- Lobo, M.V., y O. Díaz. 2001. Agrostología. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José. Costa Rica. 176 p.
- Lösch, R. 1995. Plant water relations. En: Physiology Progress in Botany. Springer Forlag Berlin 56: 55-96.
- Mares, V. 1983. Aspectos en la utilización y producción de forrajes en el trópico: compilación de documentos presentados en actividades de capacitación. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Departamento de Producción Animal. Turrialba. Costa Rica. Vol. 3. 300 p.
- Mattos, J., J. Gomide, C. Martinez, y Huaman. 2005. Crescimento de Espécies do Gênero *Brachiaria*, sob Déficit Hídrico, em Casa de Vegetação R. Bras. Zootec.34(3):746-754
- Messman, M., W. Weiss, y D. Erickson. 1981. Effects of nitrogen fertilization and maturity of bromegrass on nitrogen and amino acids utilization by cows. J. Anim. Sci. 70: 566.
- MIDEPLAN (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica). 2014a. Región Central. Plan de Desarrollo 2030. MIDEPLAN-EUROsocial II. 79 p.
- MIDEPLAN (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica). 2014b. Región Huetar Norte. Plan de Desarrollo 2030. MIDEPLAN-EUROsocial II. 64 p.
- MIDEPLAN (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica). 2014c. Región Pacífico Central. Plan de Desarrollo 2030. MIDEPLAN-EUROsocial II. 87 p.
- Miles, N., L. Thurtell, and S. Riekert. 2000. Quality of Kikuyu herbage from pastures in the Eastern Cape coastal belt of South Africa. S. Afr. J. Anim. Sci. 30 (Supplement 1): 85-86.
- Morales, J.L., editor. 1992. Distribución del pasto ratana (*Ischaemum ciliare*) en las tierras de pastoreo de Costa Rica. En: El pasto ratana (*Ischaemum ciliare*) en Costa Rica

- ¿Alternativa o problemática en nuestra ganadería? Seminario Taller Cooperativa de Productores de Leche R.L. Abril, 1992. Ciudad Quesada, Costa Rica. 25 p.
- Naranjo, H. 2002. Evaluación nutricional del pasto kikuyo a diferentes edades de corte. *Despertar Lechero* 20: 149-167.
- Nilsson V., P. Sánchez, y R. Manfredi. 2005. Hierbas y arbustos comunes en cafetales y otros cultivos. San José, Costa Rica. 270 p.
- Olivera, Y., R. Machado, y P.P. Del Pozo. 2006. Características botánicas y agronómicas de especies forrajeras importantes del género *Brachiaria*. *Pastos y Forrajes* 29(1):1-23.
- OREGON STATE UNIVERSITY. 1999. Brochure: Perennial Ryegrass. Oregon Ryegrass Growers Seed Commission. Consultado el 26 Feb. 2016. Disponible en <http://www.ryegrass.com>.
- Ortega, C.M., J.M. Rattray. 1986. Especies forrajeras en Panamá. En: B. Pinzón, y R. Montenegro, editores, Resúmenes analíticos de la investigación pecuaria en Panamá (1968-1985). Instituto de Investigaciones Pecuarias de Panamá (IDIAP), Panamá. p. 3-4.
- Osorio, F. 1996. Efecto de la condición corporal sobre la producción y reproducción en ganado lechero. En: Seminario Avances Tecnológicos de la producción Lechera.
- Osorio, F. 1999. Efecto de la dieta sobre la composición de la leche. En: I Seminario Internacional sobre avances en nutrición y alimentación animal 18-19 Marzo. Medellín.
- Parsons, A.J., P.D. Penning. 1988. The effect of the duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and the average rate of growth in a rotationally grazed sward. *Grass and Forage Science*, 53: 15-27.
- Penton, G., F. Blanco. 1997. Influencia de la sombra de los árboles en la composición química y el rendimiento de los pastos. *Pastos y Forrajes*, 20, 101.
- Peters, M., L.H. Franco, A. Schmidt, y B. Hincapié. 2003. Especies forrajeras multipropósito: Opciones para productores de Centroamérica. CIAT, Cali, Colombia.
- Pezo, D., M. Ibrahim. 1999. Sistemas silvopastoriles. Módulo de enseñanza agroforestal No. 2. CATIE-GTZ, Turrialba, Costa Rica. 275 p.
- Pollock, C.J. 1990. The response of plant to temperature change. *Journal of Agricultural Science*, 115, 1-5.

- Ramírez, J; D. Verdecia, y I. Leonard. 2008. Rendimiento y caracterización química del *Pennisetum* Cuba CT 169 en un suelo pluvisol. Revista Electrónica de Veterinaria 9(5). Consultado: 20 jun. 2017. Disponible en <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050508/050806.pdf>
- Rodríguez, D. 1999. Caracterización de la respuesta a la fertilización en producción y calidad forrajera en los valles de Chiquinquirá y Simijaca (Estudio de caso). Trabajo de grado, Universidad Nacional, Bogotá, Colombia.
- Sánchez, J., H. Soto. 1996. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. I. Materia seca y componentes celulares. Nutrición Animal Tropical, 3:3-18.
- Sánchez, J., L. Piedra, y H. Soto. 1998. Calidad nutricional de los forrajes en zonas con niveles bajos de producción de leche, en la zona norte de Costa Rica. Agron. Costarricense 22(1): 69-76.
- Sánchez, J., H. Soto. 1998. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. II. Componentes de la pared celular. Nutr. Anim. Trop. 4 (1): 3-23.
- Sato, L.I., A. Iribas. 2013. Evaluación agronómica de cinco pastos del género *Brachiaria* en el suelo Ultisol del Departamento Central de Paraguay. Investigación Agraria 10(1): 46-52.
- Scholz, H. 2006. *Kikuyuochloa*, genus novum (Poaceae: Paniceae). Feddes Repertorium 117(7-8): 512-518.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva del Plan Sectorial Agropecuario). 2017. Boletín de Estadística Agropecuaria N° 24. San Jose Costa Rica. Consultado el 25 jun. 2018. Disponible en: <http://www.sepsa.go.cr/DOCS/BEA/BEA27.pdf>.
- Sinoquet, H., R.M. Caldwell. 1995. Estimation of light capture and partitioning in intercropping systems. En: Ecophysiology of tropical intercropping, 79-97. Ed. INRA France, France.
- Solano, J. 1992. Características básicas del período seco en la Vertiente del Pacífico de Costa Rica. Tesis para optar por el título de Licenciatura en Geografía. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Soto, C., A. Valencia, R. Galvis, H. Correa. 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.

- Suárez, F. 1983. Efecto de la fertilización nitrogenada y foliar sobre la producción y la eficiencia de utilización del nitrógeno del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) bajo riego y pastoreo rotacional. Tesis para optar por el título de Licenciado en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 136 p.
- Van Soest P.J., J.B. Robertson. 1985. Analysis of forages and fibrous feeds. Cornell University. Ithaca,
- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2 ed. Comstock Publishing Associates, Ithaca, New York. U.S.A. 476 p.
- Van Vuuren, A., A. Tamminga, y R. Ketelaar. 1991. In sacco degradation of organic matter and crude protein of fresh grass (*Lolium perenne*) in the rumen of grazing dairy cows. J. Agric. Sci. 116: 429.
- Vélez M., J. Hincapie, I. Matamoros, y R. Santillan. 2002. Producción de Ganado Lechero en el Trópico. 4 ed. Zamorano Academic Press, Zamorano, Honduras.
- Verite, F., M. Journet. 1970. Influence de la teneur en eau et de la deshydratation de l'herbe sur sa valeur alimentaire pour les vaches laitières. Annales de Zootecnie, 19: 255-268
- Villalobos, L., J. Sánchez. 2010a. Evaluación agronómica y nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. I. Producción de biomasa y fenología. Agron. Costarricense 34(1): 31-42.
- Villalobos, L., y J. Sánchez. 2010b. Evaluación agronómica y nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. II. Valor nutricional. Agron. Costarricense 34(1): 43-52.
- Villalobos, L., M. Montiel. 2015. Características taxonómicas de pastos *Brachiaria* utilizados en Costa Rica. Nutr. Anim. Trop. 9(1): 39-56.
- Villalobos, L., J. Arce, R. Wing Ching. 2013. Producción de biomasa y costos de producción de pastos estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*), kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) y ryegrass perenne (*Lolium perenne*) en lecherías de Costa Rica. Agron. Costarricense 37(2): 91-103.
- Villarreal, M. 1985. Efecto de la fertilización nitrogenada y de la edad de rebrote sobre la producción y algunas características nutricionales del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*, Vanderyst var *nlemfuensis*). Tesis para optar por el título

- de Magister Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba. Costa Rica. 81 p.
- Villarreal, M. 1992. Evaluación comparativa de ratana (*Ischaemum ciliare*) como especie forrajera. Agron. Costarricense 16(1): 37-44.
- Villarreal, M. 2010. Respuesta del pasto Ratana (*Ischaemum indicum*) a la fertilización nitrogenada. Informe de Proyecto de Investigación. MAG-ITCR-CORFOGA, Santa Clara, Costa Rica. 68 p.
- Zapata, F. 2000. Kikuyo. Especies Forrajeras Versión 1.0. Agrosoft Ltda. Colombia. 18 p.
- Zuleta, C., S. Kelemu, y O. Cardozo. 2002. Identificación de fuentes de resistencia a *Xanthomonas campestris* en *Brachiaria* spp. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) 64:41-47.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Contribuir a la mejora de la producción de carne y leche en los sistemas ganaderos, mediante la optimización del manejo y uso de los principales pastos utilizados en la alimentación del ganado bovino de Costa Rica.

### **Objetivos Específicos**

Determinar la producción de biomasa de cinco especies de pastos utilizados en Costa Rica, evaluados a cuatro edades de rebrote y en dos épocas del año.

Determinar la calidad nutricional de cinco especies de pastos utilizados en Costa Rica, evaluados a cuatro edades de rebrote y en dos épocas del año.

## **CAPÍTULO 1**

### **Producción de biomasa de pastos de piso en tres regiones en Costa Rica**

*José Pablo Jiménez Castro*

## RESUMEN

Se evaluó la producción de biomasa acumulada de los pastos kikuyo (*Kikuyuochloa clandestina*), ryegrass perenne (*Lolium perenne*), diamantes (*Brachiaria brizantha*), ratana (*Ischaemum ciliare*) y estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en cuatro edades de rebrote y durante las épocas lluviosa y seca, en la Región Central, Pacífico Central y Huetar Norte de Costa Rica. En la primera región, se seleccionaron nueve fincas, siete ubicadas entre 1850 y 2465 msnm para evaluar pasto kikuyo y ryegrass, y dos con pasto estrella africana entre 1265 y 1440 m de altitud. En el Pacífico Central, se eligieron tres fincas con pasto diamantes, ubicadas entre 180 y 425 msnm. En la Huetar Norte, se seleccionaron seis fincas entre los 80 y 250 msnm con pasto estrella africana y ratana. La producción de biomasa acumulada fue analizada mediante un modelo lineal mixto generalizado. El efecto de la especie, la edad de rebrote y la época; así como las interacciones entre estos factores fueron significativos ( $P < 0,05$ ). En la Región Central, el pasto kikuyo alcanzó la mayor producción de biomasa acumulada ( $3303 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$  por corte). En las otras regiones, la mayor producción de biomasa acumulada se presentó en el pasto estrella africana ( $2212 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$  por corte). La producción de biomasa acumulada aumentó significativamente ( $P < 0,05$ ) al avanzar la edad de los rebrotes, mostrándose la mayor producción a los 56 días ( $3329 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). En promedio, la producción de biomasa en la época seca representó el 52% de la obtenida durante la época lluviosa. En la Región Central, los pastos kikuyo y ryegrass disminuyeron la biomasa 20 y 35% durante la época seca en comparación a la lluviosa, respectivamente, mientras que, en las zonas bajas, los pastos diamantes y estrella africana redujeron el 68 y 63%, en el mismo orden. Por el contrario, el pasto ratana no mostró diferencias en la producción de biomasa por efecto de la edad de rebrote ni la época. La interacción entre las especies de pasto y la edad de rebrote no reveló diferencias entre pastos a los 14 y 28 días, aunque a los 42 días el pasto kikuyo y ryegrass mostraron valores mayores a los alcanzados por las demás especies. A los 56 días de rebrote, kikuyo fue superior a todas las especies, seguido de ryegrass y estrella africana cultivado en la Huetar Norte. Los resultados permiten ofrecer a los ganaderos información sobre la producción de biomasa acumulada de pasturas utilizadas frecuentemente en ganadería para el manejo adecuado de este importante recurso.

## ABSTRACT

The biomass production of the kikuyu (*Kikuyuochloa clandestina*), perennial ryegrass (*Lolium perenne*), diamond grass (*Brachiaria brizantha*), ratana grass (*Ischaemum ciliare*) and african star grass (*Cynodon nlemfuensis*) pastures at four ages of regrowth and during the rainy and dry seasons was evaluated, in the Central Region, Central Pacific and North Huetar of Costa Rica. In the first region, nine farms were selected, seven located between 1850 and 2465 masl to evaluate kikuyu grass and ryegrass, and two with african star grass between 1265 and 1440 m of altitude. In the Central Pacific, three diamond grass farms were chosen, located between 180 and 425 masl. In the North Huetar, six farms were selected between 80 and 250 masl with african star grass and ratana grass. The biomass production was analyzed using a generalized mixed linear model. The effect of the species, the age of regrowth and the season as well as the interactions between these factors were significant ( $P < 0.05$ ). In the Central Region, the kikuyu grass reached the highest average of cumulative biomass production (3303 kg DM.ha<sup>-1</sup> per cut), while in the other regions, it was the african star grass (2212 kg DM.ha<sup>-1</sup> per cut). Cumulative biomass production increased significantly ( $P < 0.05$ ) as the age of the sprouts advanced, showing the highest production at 56 days (3329 kg DM.ha<sup>-1</sup>). On average, the biomass production in the dry season represented 52% of that obtained during the rainy season. In the Central Region, kikuyu grass and ryegrass decreased the biomass 20 and 35% during the dry season compared to the rainy season, respectively, while in the Central Pacific Region and North Huetar Region, the diamond grass and the african star grass reduced 68 and 63%, in the same order. On the other hand, ratana grass showed no differences in biomass production due to the age of regrowth or the seasons. The interaction between the grass species and the regrowth age did not reveal differences between the pastures at 14 and 28 days, although at 42 days the kikuyu grass and ryegrass was adjusted to values higher than those reached by the other species. At 56 days of regrowth, kikuyo was superior to all species, followed by ryegrass and african star grass cultivated in the North Huetar. These results offer information to the breeders about the cumulative dry matter production of pastures used frequently in cattle ranch for the suitable handling of this important resource.

## INTRODUCCIÓN

En el trópico, los sistemas de producción ganaderos son dependientes del pastoreo, lo que hace necesario que los ganaderos conozcan acerca del potencial productivo de los pastos presentes en sus fincas y adopten prácticas de manejo adecuadas que le permitan optimizar el aprovechamiento de estos. Además de la abundancia de alimento que aportan los pastos, constituyen la fuente más económica de nutrientes para el ganado. En Costa Rica, se dispone de diversos materiales que se adaptan a las diferentes condiciones agroecológicas.

Durante las últimas décadas, la ganadería de leche en Costa Rica ha incrementado progresivamente su potencial genético, lo que ha conllevado un aumento en los requerimientos nutricionales. Esto ha obligado a los ganaderos a utilizar alimentos concentrados a base de granos importados, situación que incrementa los costos de producción y supone competir con la alimentación humana, lo que limita la sostenibilidad bioeconómica de esta práctica de alimentación. Por el contrario, un sistema de pastoreo exitoso tiene la capacidad de reducir los costos de producción de forma eficiente, al disponer de una cantidad de nutrientes adecuada a las exigencias nutricionales de los bovinos (Tauer y Mishra 2006).

Las alteraciones ocurridas en la temperatura, precipitaciones y humedad relativa observadas en las últimas décadas, ocasionadas por la variabilidad climática (IMN 2008), ejercen cambios en las dinámicas del crecimiento de los pastos, lo que afecta su producción y, en consecuencia, su persistencia y los parámetros de producción animal. Por esta razón, es necesario evaluar las pasturas y su reacción al manejo del pastoreo, de tal forma que se pueda describir la oferta de pasto por hectárea, así como la dinámica de los factores que influyen en su crecimiento (Mendoza y Lascano 1991).

Existen diversas metodologías para estudiar el comportamiento de los pastos en pastoreo, entre ellas la medición la oferta de pasto por hectárea, la disponibilidad de pasto por animal y día, la composición botánica y la producción de pasto a diferentes edades de rebrote (Shaw y Bryan 1976, t Mannelje 1978). La determinación de la producción de materia seca o biomasa de pasto a diferentes edades de rebrote en pastoreo permite

conocer la producción acumulada de materia seca como criterio para la definición del período de descanso en una pastura (Sánchez 2015).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la época de cosecha y la edad de rebrote, sobre la producción acumulada de materia seca del pasto kikuyo, ryegrass y estrella africana en la Región Central, del pasto diamantes en el Pacífico Central y de la estrella africana y ratana en la Región Huetar Norte de Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del estudio

El estudio de campo se realizó en fincas comerciales ubicadas en la Región Central, Pacífico Central y Huetar Norte de Costa Rica (anexo 1). En la Región Central durante la época lluviosa y seca, los sitios del muestreo presentaron precipitaciones de 200 y 30 mm mensuales y temperaturas de 14 y 16°C, respectivamente. (IMN 2018b, IMN 2018c), con suelos principalmente Andisoles (ITCR 2014). En la Región Huetar Norte, la precipitación mensual fue de 200 y 78 mm con temperaturas de entre 25-29°C en las épocas lluviosa y seca, respectivamente, y presencia de suelos de tipo Ultisoles e Inceptisoles. En la Región Pacífico Central, las condiciones mensuales de precipitación y temperatura fueron de 308 mm y 27°C en época lluviosa; y 11 mm y 28°C en época seca, con suelos de tipo Ultisoles.

### Selección de las fincas y pastos evaluados

La selección de las fincas y los pastos evaluados se realizó en conjunto con técnicos del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) y de las Agencias de Extensión del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

En cada región, las fincas seleccionadas se ubicaron en sitios agroecológicos diferentes, de tal forma que contemplaran las pasturas de uso frecuente en los sistemas ganaderos de la zona altura y bajura de Costa Rica, tanto en fincas dedicadas a la producción de leche, como carne y doble propósito.

En la Región Central, se escogieron nueve fincas, siete ubicadas entre 1850 y 2465 msnm, en las cuales se evaluó la producción acumulada del pasto kikuyo (*Kikuyuochloa clandestina*) y ryegrass (*Lolium perenne*). En esta misma región, se escogieron dos fincas más localizadas entre 1265 y 1440 m de altitud para estudiar el pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*). En el Pacífico Central, se eligieron tres fincas ubicadas entre 180 y 425 msnm, en las cuales se evaluó el pasto diamantes (*Brachiaria brizantha*). En la Huetar norte, también se seleccionaron seis fincas, situadas entre los 80 y 250 msnm, donde se estudió el pasto estrella africana y ratana (*Ischaemum ciliare*).

## Determinación de la producción de biomasa

Se realizaron mediciones de biomasa acumulada a los 14, 28, 42 y 56 días de rebrote después del pastoreo, utilizando la metodología de jaulas de exclusión propuesta por Waddington y Cook (1971), la cual evita el consumo del pasto en la unidad de muestreo (figura 1), principalmente en los tratamientos de mayor edad de rebrote (42 y 56 días), debido a que a estas edades, las pasturas fueron nuevamente pastoreadas antes de realizar los muestreos.



Figura 1. Jaula de exclusión para evitar el consumo del pasto en la unidad de muestreo. San Carlos, Costa Rica. 2017.

Las mediciones se realizaron en un aparcamiento representativo de cada pastura y finca seleccionada. En dicho aparcamiento recién pastoreado, se seleccionaron dos sitios de 1 m<sup>2</sup> cada uno, procurando condiciones semejantes de biomasa rechazada. En uno de los sitios, se cortó y pesó todo el forraje remanente a 5 cm de altura desde el suelo. En el otro sitio, se colocó la jaula de exclusión de 1 m<sup>2</sup>. Al final de cada período de rebrote (14, 28, 42 y 56

días), se cosechó todo el forraje protegido por la jaula a 5 cm de altura y, por diferencia, se calculó la producción de biomasa. Este procedimiento se realizó por duplicado para cada edad de crecimiento indicada. Los muestreos se realizaron durante dos períodos del año, correspondientes a la estación lluviosa, entre setiembre y octubre de 2016, y la estación seca, en los meses de marzo y abril de 2017. Durante el periodo lluvioso, las pasturas fueron fertilizadas con niveles medios de nitrógeno ( $< 200 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) y manejadas en pastoreo en ambas épocas, con cargas animal no mayor  $3 \text{ UA.ha}^{-1}$ . Las muestras recolectadas se trasladaron al Laboratorio de Análisis de Productos Animales y Vegetales de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional en Heredia. Allí fueron secadas en un horno de circulación de aire forzada a  $60^\circ\text{C}$  durante 48 horas hasta alcanzar un peso constante y posteriormente en un horno de  $105^\circ\text{C}$  durante 4 horas, con la finalidad de eliminar el contenido de humedad de la muestra de pasto, acorde con la metodología propuesta por la AOAC (1980).

### Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de producción de biomasa por hectárea fueron analizados mediante el procedimiento PROC GLIMMIX del paquete estadístico SAS (SAS Institute 2009), asumiendo un diseño factorial  $6 \times 4 \times 2$  (6 especies de pastos x 4 edades de rebrote x 2 épocas) analizado mediante el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + P_j + D_k + SP_{ij} + SD_{ik} + SPD_{ijk} + \xi_{ijkl}$$

Donde:

$Y_{ijkl}$ :	Variable Dependiente (Producción de biomasa en $\text{kg MS.ha}^{-1}$ ).
$\mu$ :	Intercepto,
$S_i$ :	Efecto fijo de la i-ésima especie (6 especies de pastos),
$P_j$ :	Efecto fijo de la j-ésima época (seca y lluviosa),
$D_k$ :	Efecto fijo de la k-ésima edad (14, 28, 42 y 56 días de rebrote),
$SP_{ij}$ :	Interacción de la i-ésima especie en la j-ésima época,
$SD_{ik}$ :	Interacción de la i-ésima especie en la k-ésima edad,
$SPD_{ijk}$ :	Interacción de la i-ésima especie en la j-ésima época y la k-ésima edad
$E_{ijkl}$ :	Error residual (N, 0, 1).

El modelo anterior consideró además la posible existencia de errores correlacionados mediante la inclusión de un efecto aleatorio con estructura de covarianza no conocida ligado a mediciones realizadas dentro de una misma finca. Las medias de mínimos cuadrados del factor tratamiento fueron comparadas mediante pruebas múltiples de T y clasificadas en grupos homogéneas utilizando un nivel crítico de significancia de  $\alpha=0,05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Producción de biomasa acumulada por especie de pasto

La variación de la producción de MS entre pastos fue altamente significativa ( $P < 0,0001$ ) (figura 2).

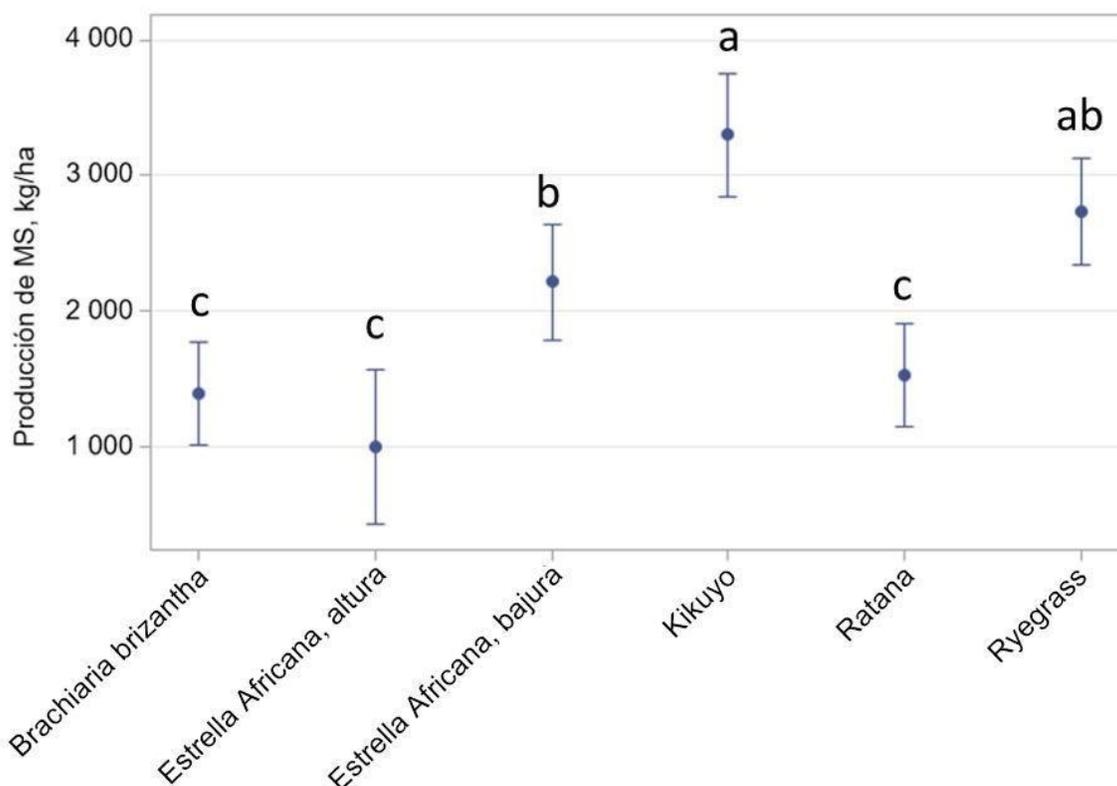


Figura 2. Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza al 95% de la producción de biomasa acumulada ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  por corte) por especie de pasto. Costa Rica. 2016-2017. (Medias con literales iguales no difieren significativamente,  $P > 0,05$ )

En la zona alta de la Región Central, la producción de biomasa acumulada del pasto kikuyo ( $3303 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 2846 – 3760) fue semejante ( $P < 0,05$ ) al ryegrass ( $2735 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 2336 - 3134), los cuales fueron superiores ( $P < 0,05$ ) al pasto estrella africana ( $993 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 421 - 1565) cultivado en la misma región pero a menor altitud.

En la Región Huetar Norte, la producción de biomasa acumulada del pasto estrella africana ( $2212 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 1788 - 2637) fue significativamente superior ( $P < 0,05$ ) al pasto ratana ( $1527 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 1146 - 1908) y al diamantes ( $1388 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ :

1007 - 1770) cultivado en el Pacífico Central, no mostrando los dos últimos diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre sí.

Estudios realizados por Villarreal (1992) en el cantón de Sarapiquí de la Región Huetar Norte de Costa Rica a 100 msnm, mostraron que la disponibilidad promedio de nueve pastos de piso, incluidos estrella africana, ratana y tres pastos del género *Brachiaria*, fue de 1545 kg MS.ha<sup>-1</sup> por corte; similar a los resultados encontrados en el presente estudio.

Respecto a pastos de zonas altas, Villalobos *et al.* (2013), obtuvieron resultados de disponibilidad de biomasa por ciclo de 3395 kg MS.ha<sup>-1</sup>, en kikuyo, ryegrass (*L. perenne*) y estrella africana; mientras que Villalobos y Sánchez (2010), Andrade (2006) y Salazar (2007) determinaron disponibilidad de biomasa de 7238, 4110 y 4642 y kg MS.ha<sup>-1</sup> para los pastos mencionados anteriormente.

El pasto estrella africana mostró un comportamiento singular, al presentar mayor producción de biomasa en condiciones de zonas bajas en comparación a las zonas altas. Villarreal (1992), determinó disponibilidades de biomasa entre 1436 a 2817 kg MS.ha<sup>-1</sup> en condiciones de la zona baja. Producciones de 3185 kg MS.ha<sup>-1</sup> cada 28 días fueron reportadas por Villalobos *et al.* (2013) en estrella africana ubicado entre 600 y 1500 msnm. Resultados aún mayores, entre 4039 y 4928 kg MS.ha<sup>-1</sup> cada 25 días, fueron encontrados por Villalobos y Arce (2013) en pasto estrella africana cultivado en 850 y 1 200 msnm, respectivamente.

Debe destacarse que los estudios mencionados anteriormente utilizaron metodologías para determinar el forraje disponible; mientras que la presente investigación se enfocó en medir la producción de biomasa bajo pastoreo. La diferencia entre estas dos metodologías radica en que la primera se utiliza para determinar la biomasa que está disponible para los animales y que estos tienen la posibilidad de seleccionar; mientras que la segunda tiene por objetivo medir la tasa de crecimiento o rebrote en dos períodos de tiempo establecidos, sin considerar el material que dejó de ser consumido por los animales (Toledo y Schultze-Kraft, 1982). Esta distinción entre estos conceptos no es habitual en muchos estudios, por lo que deben tomarse precauciones en cuanto a su interpretación.

### Producción de biomasa acumulada por edad de rebrote

La variación de la producción de biomasa acumulada entre edades fue altamente significativa ( $P < 0,0001$ ) (figura 3).

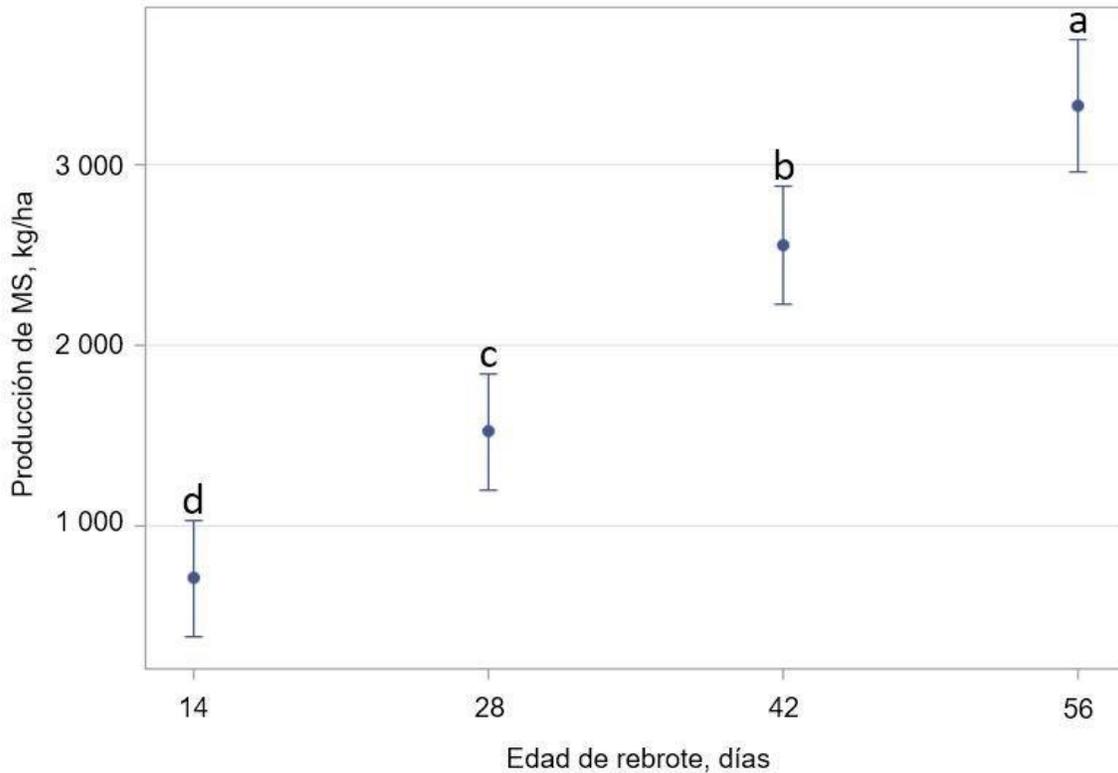


Figura 3. Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza al 95% de la producción de biomasa acumulada ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  por corte) por edad de rebrote. Costa Rica. 2016-2017. (Medias con literales iguales no difieren significativamente,  $P > 0,05$ )

La producción de biomasa acumulada a los 14, 28, 42 y 56 días de rebrote fue de 705 ( $\text{IC}_{95\%}$ : 381 – 1029), 1517 ( $\text{IC}_{95\%}$ : 1196 - 1838), 2554 ( $\text{IC}_{95\%}$ : 2225 - 2883) y 3329 ( $\text{IC}_{95\%}$ : 2964 – 3695)  $\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectivamente; mostrándose un patrón creciente al avanzar la edad de rebrote. Este incremento en la producción representó un 115% entre los días 14 y 28; 68% entre los días 28 y 42 y 30% entre los días 42 y 56 de rebrote.

Las plantas poseen distintos mecanismos que favorecen su crecimiento, los cuales son de mucha utilidad para aquellas plantas que se someten a constante defoliación, como es el caso de los pastos. La capacidad de rebrote se encuentra correlacionada positivamente con la biomasa de la raíz, que funciona como un potencial órgano de

almacenamiento de nutrientes (Pantoke y Müller, 2013; Rivera *et al.* 2012). Los carbohidratos no estructurales (CNE) almacenados, se translocan a los puntos de crecimiento y son utilizados como fuente de energía para generar rebrote, proceso que ocurre en un período de 3 a 5 semanas para recuperar el nivel original de CNE (Eusse y Espinosa, 2003). El efecto del incremento de la producción de biomasa con respecto a la edad de rebrote obtenido en el presente estudio coincide con Candelaria *et al.* (2017), evaluando pasto estrella africana a edades de 50, 60 y 70 días de rebrote. La misma tendencia fue observada por Fernández *et al.* (2012), al evaluar el efecto de la edad de rebrote en el rendimiento del pasto *Brachiaria humidicola* cv CIAT-609; así como por Fernández (1998), García *et al.* (2008) y Ramírez *et al.* (2009), en variedades del género *Brachiaria* y *Panicum*, y Sánchez (2015) en pasto kikuyo.

### **Producción de biomasa acumulada por época**

Los resultados ajustados de la producción de MS muestran que hubo variación altamente significativa ( $P < 0,0001$ ) entre épocas (figura 4).

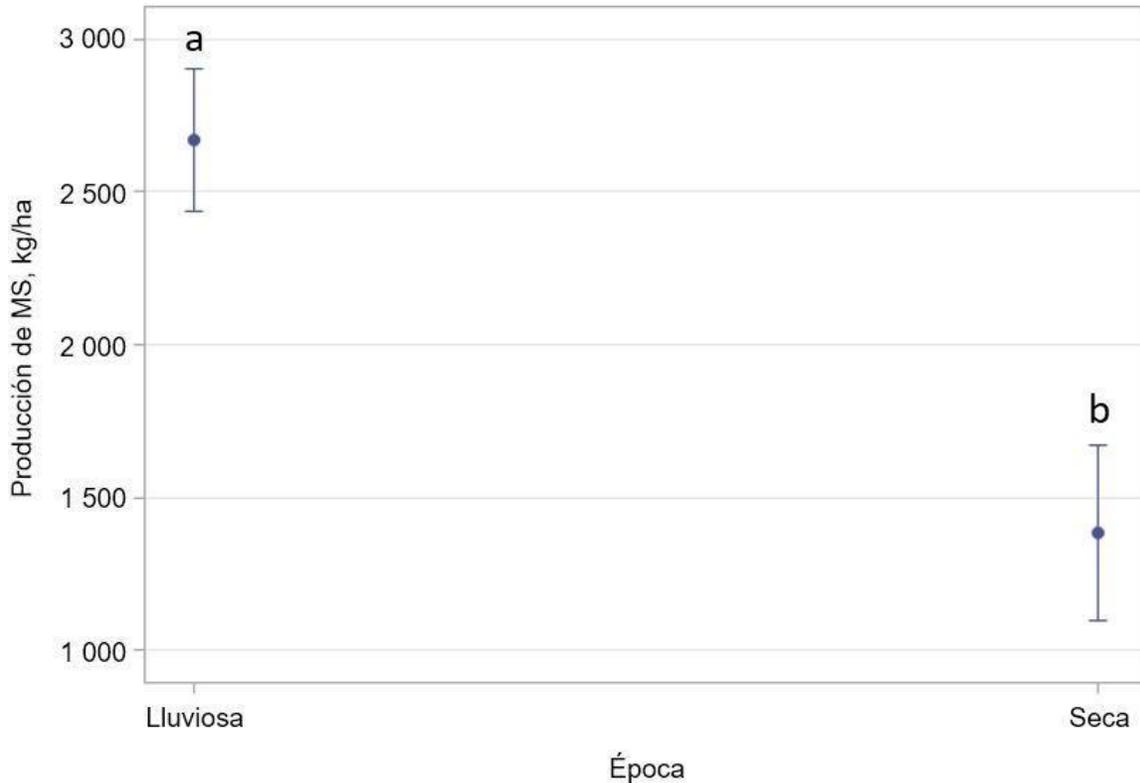


Figura 4. Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza al 95% de la producción de biomasa acumulada ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  por corte) de los pastos por época. Costa Rica. 2016-2017. (Medias con literales iguales no difieren significativamente,  $P>0,05$ ).

La producción de biomasa acumulada durante la época lluviosa ( $2670 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 2437 - 2903) fue significativamente mayor ( $P<0,05$ ) a la obtenida en la época seca ( $1383 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 1098 - 1668), la cual redujo un 48% respecto a la época lluviosa. Esta disminución en la producción de biomasa fue reportada también por Sánchez y Mesén (2006), quienes encontraron que el pasto kikuyo disminuyó 30% en la época seca con respecto a la época lluviosa, mientras que otras cuatro especies de clima frío manejadas en pastoreo, redujeron el 52%, en una finca ubicada a 2100 msnm en la zona alta de Costa Rica. Así mismo, Ramírez *et al.* (2010) reportaron una disminución de 70% durante el período “poco lluvioso” en pasto *Panicum maximum* cv Likoni en condiciones de bajura. Este mismo comportamiento fue obtenido por Fernández *et al.* (2012) en *Brachiaria humidicola* y por Villarreal (1992) al evaluar 17 gramíneas en condiciones de bajura; mientras que Candelaria *et al.* (2017), determinaron un incremento de 61% de producción de biomasa en pasto estrella en comparación con la época seca. La disminución de la humedad del suelo, así como la alteración de la luz y la temperatura, limita el crecimiento y

la productividad de los pastos de forma directa, lo que define la capacidad de producir biomasa de los pastos (Benítez *et al.* 2007). La falta de humedad en el suelo provoca estrés hídrico en los pastos, ocasionando irregularidades metabólicas en las plantas, tales como disminución en la tasa de crecimiento, capacidad de intercambio gaseoso, absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico y cierre de estomas, viéndose afectada la actividad fotosintética y, en consecuencia, se reduce considerablemente el acumulo de biomasa en los diferentes tejidos de la planta (Basurto, 2008; Fernández *et al.* 2012).

### Producción de biomasa acumulada según especie y edad de rebrote

Se determinó una interacción altamente significativa ( $P=0,0061$ ) entre el efecto del pasto y los días de rebrote (figura 5).

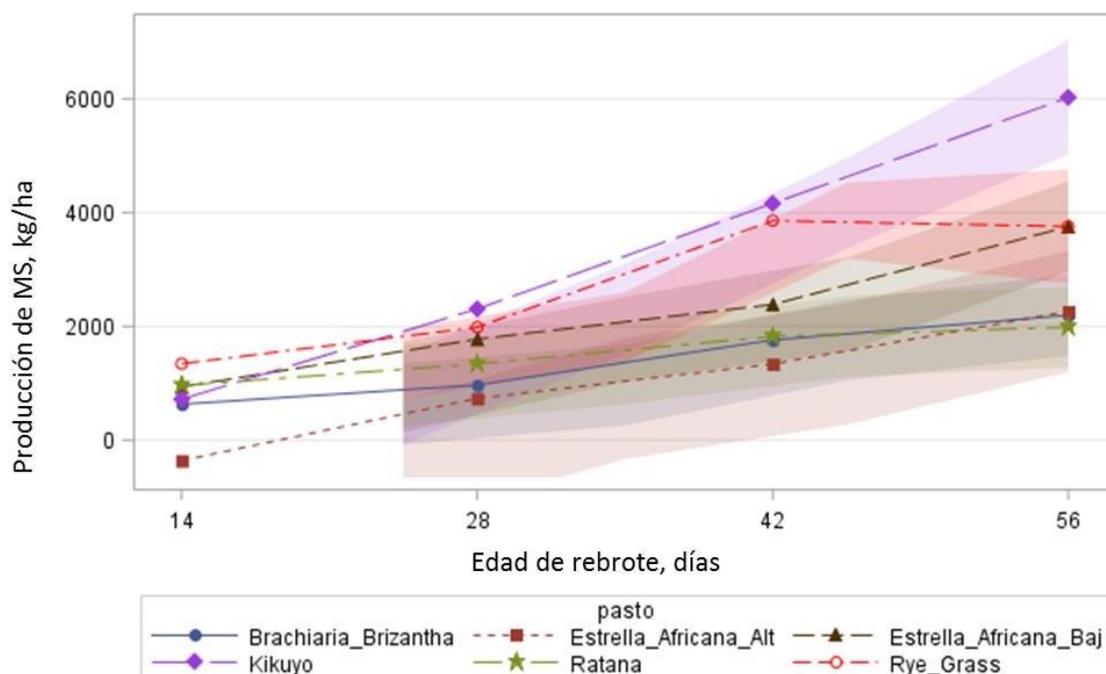


Figura 5. Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza al 95% de la producción de biomasa acumulada (kg.ha<sup>-1</sup> por corte) de los pastos a distintas edades de rebrote. Costa Rica. 2016-2017.

El comportamiento productivo del pasto kikuyo, fue creciente ( $P<0,05$ ) conforme aumentaron los días de rebrote, alcanzando su mayor producción de biomasa acumulada

a los 56 días (6024 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 5019 - 7030), valor que difirió significativamente (P<0,05) del resto de las edades.

Con respecto al pasto ryegrass, no se encontraron diferencias significativas (P>0,05) en la producción de biomasa entre los 56 (3756 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 2750 - 4761) y 42 (3858 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 3193 - 4523) días de crecimiento, ni tampoco entre los 28 (1984 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 1369 - 2600) y 14 (1342 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 726 - 1957) días de rebrote.

En el caso del pasto estrella africana cultivado en la zona alta, no se encontraron diferencias significativas (P>0,05) en la producción de biomasa obtenida a los 56 (2262 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 1196 - 3329) respecto a los 42 (1338 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 272 - 2405) días de rebrote, aunque difieren significativamente (P<0,05) con relación a los obtenidos a los 28 (732 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: -334 - 1798) y 14 (-360 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: -1426 - 706) días de rebrote.

El pasto estrella africana cultivado en la Región Huetar Norte, mostró una producción de biomasa mayor (P<0,05) a los 56 días de rebrote (3754 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 2959 - 4548), en comparación con las edades restantes. La producción de biomasa alcanzada a los 42 días (2384 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 1558 - 3210). fue semejante (P>0,05) a la obtenida a los 28 (1775 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 1029 - 2520), pero ambas superiores (P<0,05) a la alcanzada a los 14 días (936 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 142 - 1731) de rebrote

En cuanto a la producción de biomasa del pasto diamantes, no se encontraron diferencias significativas (P>0,05) entre los 28 (967 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 256 - 1678), 42 (1759 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 1048 - 2470) y 56 (2195 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 1484 - 2906) días de rebrote. Tampoco se encontraron diferencias (P>0,05) en la producción de biomasa entre los 14 (633 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: -78 - 1343) con los 28 días de rebrote, aunque sí se observaron diferencias (P<0,05) entre los 14 con los 42 y 56 días de rebrote.

En relación con el pasto ratana, no se encontraron diferencias significativas (P>0,05) en la producción de biomasa entre las edades evaluadas, alcanzando rendimientos que oscilaron entre 959 kg MS.ha<sup>-1</sup> (IC<sub>95%</sub>: 249 - 1670) y 1985 kg MS.ha<sup>-1</sup> (IC<sub>95%</sub>: 1274 - 2696).

En la zona altura, la producción de biomasa del pasto kikuyo a los 56 días de rebrote, fue significativamente mayor (P<0,05) a la obtenida con ryegrass y a la estrella africana a la misma edad. Sin embargo, cuando los pastos se cosecharon a los 28 y 42 días, el

rendimiento del kikuyo no varió significativamente ( $P>0,05$ ) del ryegrass, pero ambos si difirieron ( $P>0,05$ ) de la estrella africana.

A pesar de lo anterior, los pastos ryegrass y estrella africana no se adaptan al mismo piso altitudinal, por lo que las comparaciones no deben entenderse como recomendación para una posible sustitución de pasturas, contrario a lo que sucede con el pasto ryegrass y el kikuyo, quienes frecuentemente se encuentran compitiendo en áreas de pastoreo por encima de los 1800 msnm (Villalobos y Sánchez 2010; Eusse 1994).

### Producción de biomasa acumulada según especie y época

El efecto de la interacción entre pasto y época sobre la producción de biomasa acumulada fue altamente significativo ( $P=0,0007$ , figura 6).

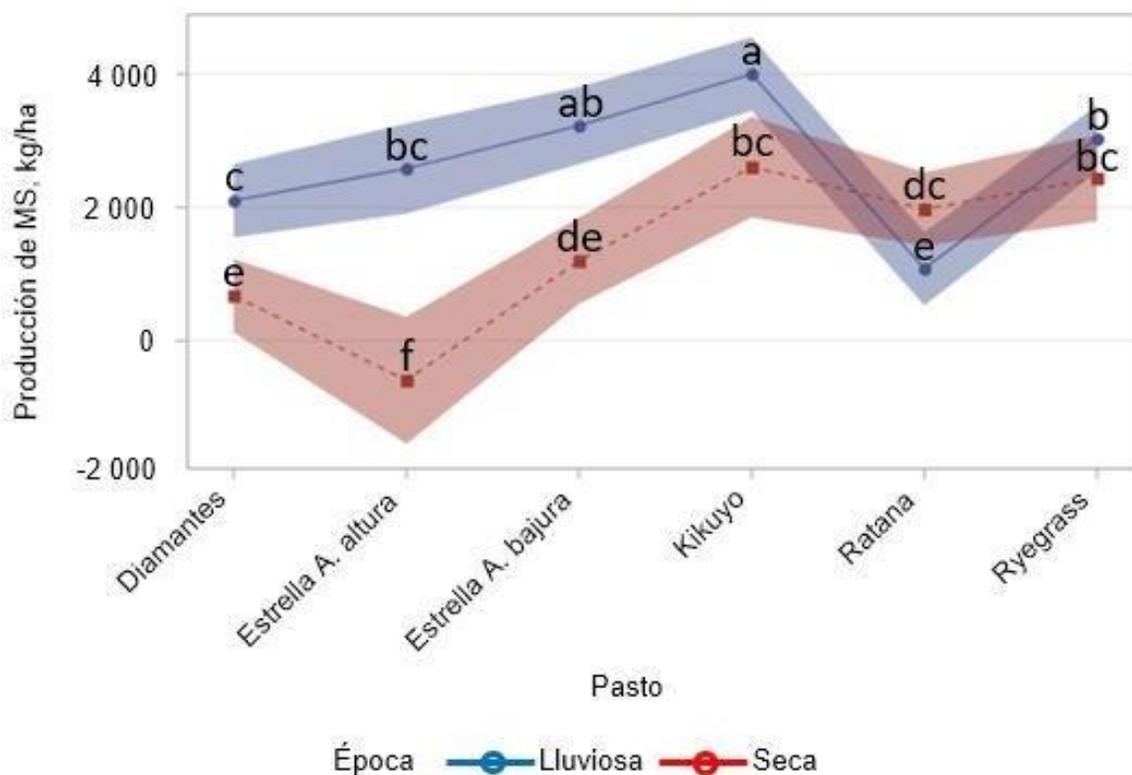


Figura 6. Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza al 95% de la producción de biomasa acumulada ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  por corte) de los pastos durante la época seca y lluviosa.. Costa Rica. 2016-2017. (Medias con literales iguales no difieren significativamente,  $P>0,05$ )

A excepción de los pastos ryegrass y ratana, todos los pastos mostraron una producción significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) durante la época lluviosa en comparación con la época seca. En el pasto ryegrass no se observaron diferencias ( $P > 0,05$ ) entre estas dos estaciones; mientras que el pasto ratana produjo más ( $P < 0,05$ ) en la época seca, respecto a la época lluviosa.

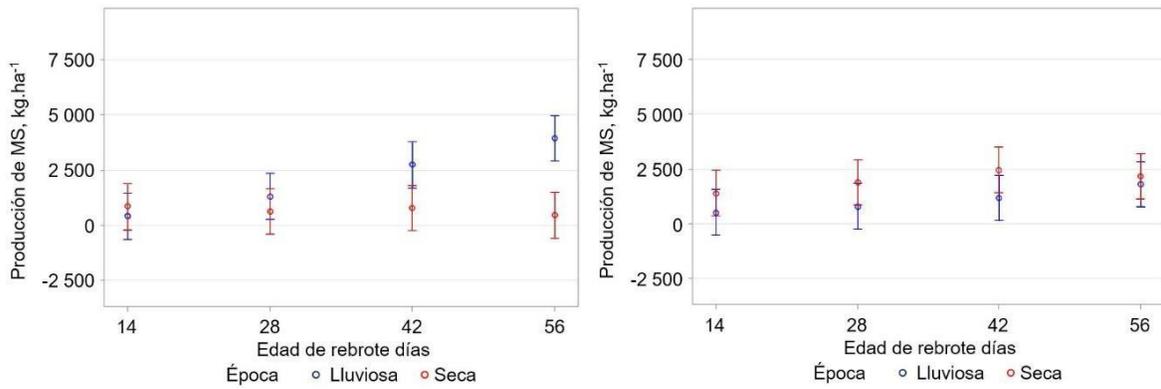
En la Región Central durante la época lluviosa, la producción de biomasa acumulada del pasto kikuyo ( $4000 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 3449 - 4552) fue mayor ( $P < 0,05$ ) que la del ryegrass ( $3032 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 2534 - 3529) y de la estrella africana ( $2581 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 1906 - 3257). Esta situación se mantuvo en la época seca, ya que la producción del pasto estrella africana ( $-595 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : -1550 - 361), fue menor ( $P > 0,05$ ) al obtenido con el pasto kikuyo ( $2606 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 1851 - 3361) y el ryegrass ( $2438 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 1791 - 3085), los cuales no difirieron significativamente ( $P > 0,05$ ) entre sí. Según lo anterior, el pasto kikuyo redujo su producción de biomasa en un 35% en la época seca en comparación a la lluviosa, mientras que el ryegrass disminuyó el 20%. En el caso del pasto estrella africana, su reducción fue superior al 100%, debido a las pérdidas de biomasa al día 14 de rebrote en comparación con el día 0 correspondiente al pos-pastoreo.

En la Región Huetar Norte durante el periodo lluvioso, la producción de biomasa acumulada del pasto estrella africana ( $3225 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 2647 - 3804), fue mayor ( $P < 0,05$ ) al obtenido con el pasto ratana ( $1080 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 529 - 1632). Por el contrario, en la época seca, la mayor producción se dio en el pasto ratana ( $1974 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 1422 - 2525), sin ser significativamente distinta ( $P > 0,05$ ) a la producción de biomasa alcanzada en el pasto estrella africana ( $1199 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 552 - 1846). Es importante resaltar que bajo estas condiciones, el pasto estrella africana redujo la producción de biomasa en un 63% en la época seca en relación a la lluviosa, mientras que el pasto ratana lo aumento en un 45%.

En el Pacífico Central, la producción de biomasa acumulada del pasto diamantes también fue afectado por la época, debido a que su producción se redujo un 32% en la época seca ( $676 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 124 - 1227), en comparación al periodo lluvioso ( $2101 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $\text{IC}_{95\%}$ : 1549 - 2653).

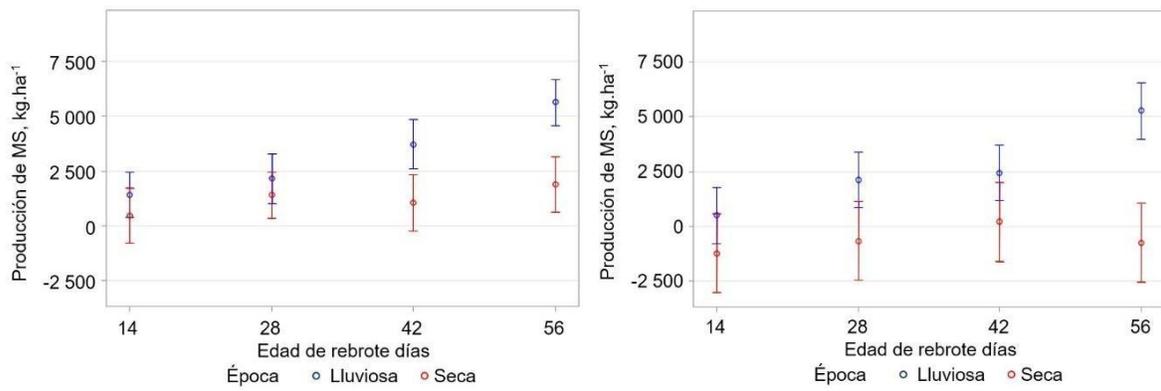
### **Producción de biomasa acumulada según época y edad de rebrote por especie**

Se obtuvo un efecto altamente significativo ( $P = 0,0080$ ) en la interacción entre los efectos de pasto, días de rebrote y época (figura 7).



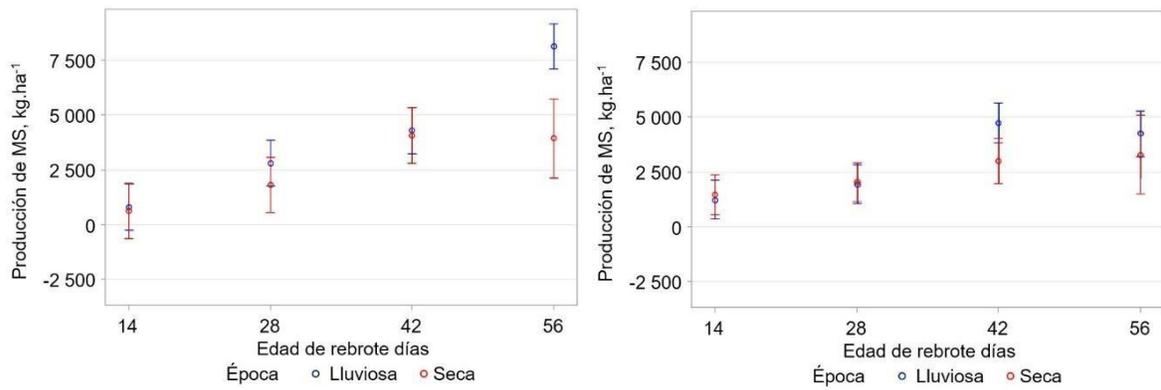
a) Diamantes

b) Ratana



c) Estrella africana en bajura

d) Estrella africana en altura



e) Kikuyo

f) Ryegrass

Figura 7. Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza al 95% de la producción de biomasa acumulada ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  por corte) a los 14, 28, 42 y 56 días de rebrote para los pastos a) diamantes, b) ratana, c) estrella africana en bajura, d) estrella africana en altura, e) kikuyo y f) ryegrass. Costa Rica. 2016-2017.

En el Pacífico Central, el pasto diamantes no mostró diferencias ( $P>0,05$ ) en la producción de biomasa entre las épocas lluviosa y seca a los 14 (418 vs 847 kg MS.ha<sup>-1</sup>) y 28 (1308 vs 626 kg MS.ha<sup>-1</sup>) días; mientras que sí difirió ( $P<0,05$ ) a los 42 días (2738 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 1701 – 3774 vs 780 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: -256 - 1816) y a los 56 días (3940 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 2904 – 4976 vs 450 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: -587 - 1486). La disminución en la producción de biomasa a los 42 y 56 días durante el período seco obedece a la ausencia de lluvias que ocasiona la caída del material senescente, lo que se traduce en pérdida de biomasa.

En la Región Huetar Norte, no se observaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) en la producción de biomasa acumulada del pasto ratana, entre las épocas lluviosa y seca, en las distintas edades de rebrote. Esto podría estar influenciado por la distribución de las lluvias en la región, en la cual se presentaron al menos 10 días de lluvia durante la época seca (IMN 2018a); así como por los microclimas que ocasionan precipitaciones a lo largo del año, permitiendo una producción de biomasa similar a la época lluviosa (IMN 2008). Resultados similares fueron reportados por Villarreal (2010) y Villarreal (1992), al observar que en la misma región, el pasto ratana produjo más materia seca por hectárea durante la época de mínima precipitación en comparación al periodo de máxima precipitación.

En esta misma región, el pasto estrella africana no presentó diferencias ( $P>0,05$ ) de producción de biomasa acumulada entre las épocas lluviosa y seca a los 14 (1410 vs 462 kg MS.ha<sup>-1</sup>) y 28 (2146 vs 1403 kg MS.ha<sup>-1</sup>) días; mientras que sí se determinaron diferencias ( $P<0,05$ ) a edades de 42 días (3721 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 2585 – 4856 vs 1048 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: -221 - 2317) y 56 días (5624 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 4588 – 6661 vs 1883 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 614 - 3152).

En la Región Central, el pasto estrella africana no mostró diferencias significativas ( $P>0,05$ ) en la producción de biomasa acumulada entre las épocas lluviosa y seca a los 14 días de rebrote (495 vs -1214), pero sí a los 28 días (2121 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 852 – 3391 vs -657 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: -2452 - 1138), 42 días (2446 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 1177 – 3715 vs 231 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: -1564 - 2026) y 56 días (5264 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: 3995 – 6534 vs -739 kg MS.ha<sup>-1</sup>, IC<sub>95%</sub>: -2534 - 1056).

Al comparar el pasto estrella africana ubicado en la Región Huetar Norte con el cultivado en las zonas altas de la Región Central, no existieron diferencias significativas

( $P > 0,05$ ) entre épocas a los 14 y 28 días de rebrote, aunque se presentó pérdida significativa ( $P < 0,05$ ) de biomasa en la estrella africana de la Región Central durante la época seca a los 14 y 28 días. Tampoco existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre la estrella africana de ambas regiones en época lluviosa ni en época seca a los 42 días de rebrote, aunque en ambos casos, la producción de biomasa acumulada en época lluviosa fue superior ( $P < 0,05$ ) a la época seca a esta edad. A los 56 días de rebrote, no se observaron diferencias significativas en la producción de biomasa acumulada entre la estrella africana cultivadas en las dos regiones en época lluviosa; mientras que la menor producción sucedió en la estrella africana de la Región Huetar Norte en época seca y se presentó pérdida de biomasa en la estrella africana de la Región Central en esta misma época.

El pasto kikuyo no presentó diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en la producción de biomasa acumulada en las épocas lluviosa y seca a los 14, 28 y 42 días de rebrote. Sin embargo, a los 56 días la producción de biomasa en época lluviosa ( $8113 \text{ kg MS.ha}^{-1}$ ,  $IC_{95\%}$ : 7077 - 9150) fue significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) a la presentada en la época seca ( $3936 \text{ kg MS.ha}^{-1}$ ,  $IC_{95\%}$ : 2141 - 5730).

La producción de biomasa acumulada del pasto ryegrass no difirió estadísticamente ( $P > 0,05$ ) entre épocas a los 14, 28 y 56 días de rebrote. A los 42 días de rebrote, la producción de biomasa fue significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) durante la época lluviosa ( $4720 \text{ kg MS.ha}^{-1}$ ,  $IC_{95\%}$ : 3822 - 5617), respecto a la época seca ( $2996 \text{ kg MS.ha}^{-1}$ ,  $IC_{95\%}$ : 1959 - 4032). Durante la recolección del material, se observó degradación de la biomasa a los 56 días de rebrote durante la época lluviosa, lo cual se relaciona con la alta humedad presente en el suelo.

## CONCLUSIONES

Todos los pastos en general mostraron un patrón creciente en la producción de biomasa acumulada al avanzar la edad de rebrote. Este incremento representó un 115% entre los días 14 y 28; 68% entre los días 28 y 42 y 30% entre los 42 y 56 días de rebrote. Este patrón de crecimiento fue más acentuado durante la época lluviosa en comparación con la seca.

En promedio, la producción de biomasa se redujo en un 52% en época seca en comparación con la obtenida durante la época lluviosa.

En la Región Central, el pasto kikuyo aumentó la producción de biomasa al avanzar la edad de rebrote en ambas épocas. Sin embargo, las épocas presentaron diferencias en la producción de biomasa a partir de los 56 días de rebrote, en donde la producción en época seca se redujo en un 51% con respecto a la época lluviosa.

En la misma región, el pasto ryegrass aumentó la producción de biomasa acumulada hasta los 42 días de rebrote en ambas épocas y no aumentó más a los 56 días de rebrote. Las diferencias en producción de biomasa entre épocas se observaron hasta los 42 días de rebrote, donde la producción se redujo en un 37% en la época seca en comparación con la lluviosa.

El pasto estrella africana cultivado en las zonas altas de la Región Central, presentó pérdida de material en las distintas edades de rebrote con respecto al día 0 durante la época seca, producto de la degradación de las hojas y tallos debido a la ausencia de lluvias propias de la estación seca.

En la Región Huetar Norte, la producción de biomasa del pasto estrella africana aumentó al avanzar la edad de rebrote durante la época lluviosa. En la época seca, no se presentaron diferencias entre edades de rebrote. Las diferencias en la producción de biomasa entre ambas épocas se presentaron a partir de los 42 días de rebrote, donde en la época seca la producción se redujo un 72% y a los 56 días de rebrote se redujo un 67%, con respecto a la época lluviosa. En pasto ratana, la producción de biomasa no varió entre las distintas edades de rebrote ni entre épocas, lo que podría estar asociado a la presencia de lluvias durante la estación seca que favoreció su crecimiento.

El pasto estrella africana alcanzó mayor producción de biomasa acumulada en la Región Huetar Norte en comparación con la Región Central, lo que podría estar asociado a diferencias en los regímenes de precipitación, temperatura, incidencia de luz y otros factores asociados a la producción y crecimiento de los pastos.

En la Región Pacífico Central, la producción de biomasa acumulada del pasto diamantes se redujo considerablemente en la época seca en comparación con la lluviosa, producto de la escasez de lluvias. Las diferencias en la producción de biomasa entre épocas se presentaron a partir de los 42 días de rebrote, donde la reducción en la época seca fue de 72% y al día 56 fue de 89%, con respecto a lo producido en la época lluviosa.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, M. 2006. Evaluación de técnicas de manejo para mejorar la utilización del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex Chiov) en la producción de ganado lechero en Costa Rica. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 225 p.
- AOAC. (Official Methods of Analysis). 1980. Official Methods of Analysis. 13th ed. Washington D.C., USA, Association of Official Analytical Chemists. 1040 p.
- Basurto, M; Nuñez, R; Pérez, R; Hernández, O.A. 2008. Fisiología del estrés ambiental en plantas. México: Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Benítez, D; Fernández, J.L; Ray, J; Ramírez, A; Torres, V; Tandrón, I; Díaz, M; Guerra, J. 2007. Factores determinantes en la producción de biomasa en tres especies de pastos en sistemas racionales de pastoreo en el Valle del Cauto. Cuba. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 41(3): 231-235.
- Candelaria, B; Rivera, J.A; Flota, C. 2017. Disponibilidad de biomasa y hábitos alimenticios de ovinos en un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala*, *Hibiscus rosa-sinensis* y *Cynodon nlemfuensis*. Agronomía Costarricense. 41(1): 121-131.
- Eusse, J.B. 1994. Pastos y forrajes tropicales. 3 ed. Banco Ganadero, Bogotá.
- Eusse, J.B; Espinoza, J. 2003. Manual de nutrición y fertilización de pastos. International Plant Nutrition Institute (IPNI), Ecuador.
- Fernández, J. 1998. Determinación de la productividad de tres especies del género *Brachiaria* en vertisuelo del Valle del Cauto. Tesis M.Sc., Universidad de Granma, Cuba.
- García, R.O; Martínez, R; Tuero, A; Cruz, M; Romero, A; Estanquero, L; Noda, A; Torres, V. 2008. Evaluación Agronómica de Guinea Bombaza (*Panicum maximum* Jacq.) en un suelo ferralítico rojo típico de la provincia La Habana. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 42(2): 205-208.
- Hodgson, J. 1990. Grazing management: Science into practice. Longman Scientific & Technical. Harlow, England. 204 p.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica). 2008. Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica. Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático en Costa Rica. IMN-MINAET-PNUD-CRRH, Costa Rica.

- IMN (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica). 2018a. Datos climáticos Ciudad Quesada, San Carlos de Alajuela. Consultado el 25 Mar. 2018. Disponible en: <https://www.imn.ac.cr/inicio>.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica). 2018b. Boletín Meteorológico Mensual: Septiembre 2016. Consultado el 25 Mar. 2018. Disponible en: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/355160/SEPTIEMBRE>.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica). 2018c. Boletín Meteorológico Mensual: Marzo 2017. Consultado el 25 Mar. 2018. Disponible en: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/437028/MARZO>.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2018. Censo Nacional Agropecuario 2014: Fincas y extensión en hectáreas con uso de la tierra en cultivos permanentes y pastos por tipo, según provincia y tamaño de la finca (en línea, sitio web). Consultado el 25 mar. 2018. Disponible en <http://www.inec.go.cr/censos/censo-agropecuario-2014>.
- INEC (Intituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica). 2015. VI Censo Nacional Agropecuario: Actividades pecuarias, prácticas y servicios agropecuarios. San José, Costa Rica.
- ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica) 2014. Atlas Digital de Costa Rica 2014. CD-ROM. Cartago, CR: ITCR.
- Fernández, J; Gómez, I; Cordoví, E. 2012. Efecto de la edad de rebrote en el rendimiento y contenido proteico del pasto *Brachiaria humidicola* cv CIAT-609 en un suelo vertisol. Rev. Prod. Animl. 24(1).
- ’t Mannetje, L. 1978. Measuring quantity of grassland vegetation. In Measurement of grassland vegetation and animal production. Hurley, England. p. 63-90
- Mendoza, P; Lascano, C. 1991. Mediciones en la pastura en ensayos de pastoreo. In Evaluación de Pasturas con Animales: Alternativas Metodológicas. Cali, Colombia, CIAT. p. 143-166.
- Pantoke, H; Müller, C. 2013. Impact of defoliation on the regrowth capacity and the shoot metabolite profile of *Plantago lanceolata* L. Plant Physiology and Biochemistry. 71:325-333.
- Ramírez, J.L; Verdecia, D; Leonard, I; Álvarez, Y. 2010. Rendimiento de materia seca y calidad nutritiva del pasto *Panicum maximum* vc. Likoni en un suelo Fluvisol de la región oriental de Cuba. Revista Electrónica de Veterinaria. 11(7): 1-14.

- Ramírez, O; Hernández, A; Carneiro, S; Pérez, J; Enríquez, J.F; Quero, A; Guadalupe, J; Herrera, H; Cervantes, A. 2009. Acumulación de forraje, crecimiento y características del pasto Mombasa (*Panicum maximum* Jacq.). Revista Técnica Pecuaria. 47(2): 203-213.
- Rivera, G; Abdala, L; Cervera, J; Parra, V; Ruiz, J; Betancur, D. 2012. Mechanisms and traits associated with compensation for defoliation in *Ruellia nudiflora*. Plant Ecology. 213: 303-314.
- Salazar, S. 2007. Disponibilidad de biomasa y valor nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en el distrito de Quesada, cantón de San Carlos. Tesis de licenciatura. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 96 p.
- Sánchez, W. 2015. Evaluación de pastos y forrajes para la mejora de la alimentación de las vacas lecheras en la zona alta de Costa Rica. Tesis Doctorado. Zaragoza, España. p. 245.
- Sánchez, W; Mesén, M. 2006. Evaluación de gramíneas forrajeras tropicales en la zona alta lechera de Costa Rica. Revista Alcances Tecnológicos. 4(1): 29-36.
- SAS Institute, 2009. The SAS system for Windows. Release 9.4 SAS Inst. Cary, NC, USA.
- Shaw, N; Bryan, W. 1976. Tropical pasture research: principles and methods. Hurley, England. N.º51.
- Tauer L.W; Mishra, A.K. 2006. Dairy Farm Cost Efficiency. Journal of Dairy Science 89:4937-4943.
- Toledo, J.M; Schultze-Kraft, R. 1982. Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. En: Toledo, J.M. editor, Manual para la evaluación agronómica; Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. CIAT, Cali, Colombia. p. 91-110.
- Velasco, M.E; Hernández, A; González, V; Pérez, J; Vaquera, H. 2002. Curvas estacionales de crecimiento del ballico perenne (*Lolium perenne* L.). Rev. Fitotec. Mex. 25(1): 97-106.
- Villalobos, L; Arce, J; Wing Ching, R. 2013. Producción de biomasa y costos de producción de pastos estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*), kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) y ryegrass perenne (*Lolium perenne*) en lecherías de Costa Rica. Agron. Costarricense 37(2): 91-103.
- Villalobos, L; 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. Agron. Costarricense 37(1): 91-101.

- Villalobos, L; Sánchez, J. 2010. Evaluación agronómica y nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. I. Producción de biomasa y fenología. Agron. Costarricense 34(1): 31-42.
- Villarreal, M. 2010. Respuesta del pasto Ratana (*Ischaemun indicum*) a la fertilización nitrogenada. Consultado el 22 mar. 2018. Disponible en: <http://docplayer.es/5213723-Respuesta-del-pasto-ratana-ischaemun-indicum-a-la-fertilizacion-nitrogenada-codigo-5402-2151-8001.html>.
- Villarreal, M. 1992. Evaluación comparativa de ratana (*Ischaemum ciliare*) como especie forrajera. Agron. Costarricense 16(1): 37-44.

## **CAPÍTULO 2**

### **Calidad bromatológica de pastos de piso en tres regiones de Costa Rica**

*José Pablo Jiménez Castro*

## RESUMEN

La presente investigación consistió en evaluar la composición química y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), de los pastos kikuyo (*Kikuyuochloa clandestina*), ryegrass perenne (*Lolium perenne*), diamantes (*Brachiaria brizantha*), ratana (*Ischaemum ciliare*) y estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) a edades de 14, 28, 42 y 56 días de rebrote, durante las épocas lluviosa y seca, en tres regiones de Costa Rica. Las variables fueron analizadas mediante un modelo lineal mixto generalizado. El efecto de la especie, la edad de rebrote y la época del año, así como sus interacciones tuvieron efectos altamente significativos ( $P < 0,001$ ) sobre el contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC) y fibra ácido detergente (FAD) y neutro detergente (FND), así como en el porcentaje DIVMS de los pastos. El valor más alto de MS se presentó en el pasto diamantes (40%) y el más bajo en ryegrass (12%). El pasto kikuyo mostró el valor más alto de PC (19%) y el diamantes el más bajo (4%). El pasto estrella africana evaluado en la región Huetar Norte, alcanzó los valores más altos de FND (65%) y FAD (34%); mientras que los pastos kikuyo y ryegrass, lograron los contenidos más bajos de FND (50 y 48%) y FAD (26 y 28%), en el mismo orden. Además, estos pastos presentaron los mayores valores de DIVMS (72 y 71%, respectivamente). También se encontró que la MS, la FND y la FAD de los pastos aumentaron al avanzar la madurez de las plantas; mientras que la PC y la DIVMS disminuyeron. Además, la MS y la FAD aumentaron durante la época seca con respecto a la lluviosa, mientras que la PC, la FND y la DIVMS se redujeron en la época seca. Los pastos ratana y estrella africana cultivados en Región Huetar Norte, mostraron comportamientos similares en cuanto a su calidad nutricional durante ambas épocas. La estrella africana cultivada en la Región Central presentó mayor calidad nutricional en comparación con la cultivada en la Región Huetar Norte, mostrando mayores contenidos de PC y DIVMS; así como menores contenidos de pared celular en ambas épocas del año y al avanzar la edad de las plantas. En términos generales, los pastos evaluados en la Región Central mostraron mejores contenidos nutricionales en comparación con los encontrados en las regiones Pacífico Central y Huetar Norte. Los resultados sugieren la necesidad de evaluar la calidad de los pastos de acuerdo con las edades de cosecha establecidas en cada finca, así como en distintas épocas, con el fin de proporcionar un manejo adecuado de los mismos y ofrecer a los animales pasturas con niveles nutricionales adecuados considerando sus aportes y limitaciones.

## ABSTRACT

The present investigation was carried out by the National University and the National Institute of Innovation and Transfer in Agricultural Technology (INTA, by its initials in Spanish). The content of dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) of the kikuyu grasses (*Kikuyuochloa clandestina*) perennial ryegrass (*Lolium multiflorum*), diamonds (*Brachiaria brizantha*), ratana (*Ischaemum ciliare*) and african stargrass (*Cynodon nlemfuensis*) at ages 14, 28, 42 and 56 days of regrowth, during the rainy and dry seasons, located in 3 regions from Costa Rica were evaluated. The effect of the species, the age of regrowth and the season of year, as well as their interactions had highly significant effects ( $P < 0.001$ ) on the DM, CP, NDF, ADF and IVDMD content of the grasses evaluated in the present study. The highest DM value was presented in diamonds (40%) and the lowest in ryegrass (12%). The kikuyu grass showed the highest value of CP with 19% and the pasture diamonds the lowest with 4%. African stargrass in the lowland has the highest values of NDF (65%) and ADF (34%) and the lowest were in kikuyu and ryegrass with 50 and 48% of NDF, respectively; and ADF of 26 and 28%, respectively. These pastures also had the highest values of IVDMD with 72 and 71%, respectively. The DM, NDF and ADF increased as the maturity of the plants advanced; while CP and IVDMD decreased. The DM and the ADF increased during the dry season, whilst CP, the NDF and the IVDMD were greater during the rainy season. The ratana and african stargrass cultivated in the lowlands showed similar behaviors regarding their nutritional quality during both seasons. The african stargrass cultivated in the highlands presented a higher nutritional quality compared to that cultivated in lowlands, having higher content of CP and IVDMD; as well as lower cell wall contents in both seasons of the year and as the age of the plants advances. In general, pastures located in highlands showed better nutritional contents compared to those found in lowland pastures. The results suggest the need to evaluate the quality of the pastures according to the harvest ages established in each farm, as well as at different times, in order to offer nutrients to the animals according to their stage of life or productive level.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de alimentación de rumiantes se basan en la utilización de pasturas y forrajes, así como en el uso de granos en alimentos balanceados. Entre estos, las pasturas y forrajes representan las fuentes de alimentación con más variación en la composición nutricional, debido a factores como el estado de madurez de la planta al momento de la cosecha (Hannaway *et al.* 1999), la variada composición botánica de los potreros (Velásquez y Muñoz 2006) y las condiciones climáticas como temperatura, radiación solar y precipitaciones (en cantidad y distribución). Estos factores se encuentran íntimamente relacionados con la acumulación y distribución de reservas en los distintos órganos de las plantas, el balance de reservas y velocidad de rebrote (Gomide 1988, Beltrán *et al.* 2005, Rincón *et al.* 2008).

La vía metabólica utilizada para llevar a cabo la fotosíntesis, así como su relación con la respiración, también genera diferencias en la calidad nutricional entre especies de pastos. Según el proceso fotosintético, las gramíneas se clasifican en dos grupos: las tropicales C4, son aquellas que generan ácido dicarboxílico (molécula de cuatro carbonos) durante la fotosíntesis, y las gramíneas C3, que utilizan la vía metabólica del ácido fosfoglicérico (molécula de tres carbonos) en la fotosíntesis (Akin *et al.* 1983). Las gramíneas C4 destacan por su superioridad funcional en cuanto a eficiencia en la conversión de la energía lumínica, utilización de agua y superior tolerancia a las altas temperaturas de las regiones tropicales, lo que les confiere mayores niveles de crecimiento y producción de materia seca con respecto a las gramíneas C3 (Del Pozo 2002); sin embargo, presentan mayor contenido y distribución de la lignina en la pared celular, lo que limita la degradación de los restantes componentes estructurales y en consecuencia su digestibilidad (Moore y Hatfield 1994). Lo anterior, provoca una disminución de la tasa de degradación, mayor tiempo de retención en rumen y menor ingesta voluntaria (Minson y Wilson 1994). Además, las gramíneas C4 presentan menor concentración de proteína cruda, lo que limita el consumo voluntario cuando los valores son menores al 8% (Johnson y de Oliveira 1989).

La cosecha de la pastura en el momento donde acumula el mayor contenido de nutrimentos y a su vez, conserva reservas suficientes de carbohidratos solubles para reponerse de la defoliación ocasionada por los bovinos, facilita el ajuste de la suplementación basada en granos u otras fuentes agrícolas en caso de que los

requerimientos nutricionales de los animales lo requieran. Lo anterior, promueve una adecuada salud ruminal, así como una mayor eficiencia y aprovechamiento de los nutrimentos, lo que repercute en mayor respuesta productiva del animal (Bargo *et al.* 2002, Villalobos y Sánchez 2010).

En vista de lo anterior, el objetivo de la presente investigación es evaluar la composición química y digestibilidad *in vitro* de la materia seca, de los pastos kikuyo (*Kikuyuochloa clandestina*), ryegrass perenne (*Lolium perenne*), diamantes (*Brachiaria brizantha*), ratana (*Ischaemum ciliare*) y estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) a edades de 14, 28, 42 y 56 días de rebrote, durante las épocas lluviosa y seca, en tres regiones de Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del estudio

El estudio de campo se realizó en fincas comerciales ubicadas en la Región Central, Pacífico Central y Huetar Norte de Costa Rica (anexo 1). En la Región Central durante la época lluviosa y seca, los sitios del muestreo presentaron precipitaciones de 200 y 30 mm mensuales y temperaturas de 14 y 16°C, respectivamente. (IMN 2018b, IMN 2018c), con suelos principalmente Andisoles (ITCR 2014). En la Región Huetar Norte, la precipitación mensual fue de 200 y 78 mm con temperaturas de entre 25-29°C en las épocas lluviosa y seca, respectivamente, y presencia de suelos de tipo Ultisoles e Inceptisoles. En la Región Pacífico Central, las condiciones mensuales de precipitación y temperatura fueron de 308 mm y 27°C en época lluviosa; y 11 mm y 28°C en época seca, con suelos de tipo Ultisoles.

### Selección de fincas y pasturas a evaluar

La selección de las fincas y los pastos evaluados se realizó en conjunto con técnicos del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) y de las Agencias de Extensión del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

En cada región, las fincas seleccionadas se ubicaron en sitios agroecológicos diferentes, de tal forma que contemplaran las pasturas de uso frecuente en los sistemas ganaderos de la zona altura y bajura de Costa Rica, tanto en fincas dedicadas a la producción de leche, como carne y doble propósito.

En la Región Central, se escogieron tres fincas, dos ubicadas a 2210 y 1895 msnm, en las cuales se evaluó la calidad nutricional del pasto kikuyo (*Kikuyuochloa clandestina*) y ryegrass (*Lolium perenne*), respectivamente. En esta misma región, se escogió una finca localizada a 1265 m de altitud para estudiar el pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*). En el Pacífico Central, se eligió una finca ubicada a 425 msnm, donde se evaluó el pasto diamantes (*Brachiaria brizantha*). En la Región Huetar Norte, se seleccionaron dos fincas, situadas a 250 y 85 msnm, donde se estudió el pasto estrella africana y ratana (*Ischaemum ciliare*) en el mismo orden.

## Calidad nutricional

Para determinar el contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), se realizaron cortes de biomasa acumulada a los 14, 28, 42 y 56 días de rebrote después del pastoreo, utilizando la metodología de jaulas de exclusión propuesta por Waddington y Cook (1971), la cual evita el consumo del pasto en la unidad de muestreo (figura 1, capítulo 1), principalmente en los tratamientos de mayor edad de rebrote (42 y 56 días), debido a que a estas edades, las pasturas fueron nuevamente pastoreadas antes de realizar los muestreos.

Los muestreos se realizaron en un aparcamiento representativo de cada pastura y finca seleccionada. En dicho aparcamiento recién pastoreado, se seleccionaron dos sitios representativos en cuanto a biomasa rechazada y se colocaron las jaulas de exclusión de 1 m<sup>2</sup>. En cada sitio y al final de cada período de 14, 28, 42 y 56 días rebrote, se tomó una muestra realizando simulación de pastoreo, midiendo previamente la altura en que fue cosechado el pasto por los animales. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio para determinar el contenido de MS, PC, FND, FAD y la DIVMS.

El contenido de MS y PC se determinó mediante el procedimiento propuesto por AOAC (1980), las fracciones de la pared celular (FND y FAD) utilizando la metodología de Goering y Van Soest (1970) y la digestibilidad "*in vitro*" de la materia seca (DIVMS) según Van Soest y Robertson (1985), siguiendo el protocolo recomendado por el fabricante para el incubador DaisyII®, (ANKOM Technology, Fairport, NY-USA). Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Productos Animales y Vegetales de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional.

Los muestreos se realizaron durante dos períodos del año, correspondientes a la estación lluviosa, entre setiembre y octubre de 2016, y la estación seca, en los meses de marzo y abril de 2017. Durante el periodo lluvioso, las pasturas fueron fertilizadas con niveles medios de nitrógeno (< 200 kg/ha) y manejadas en pastoreo en ambas épocas, con cargas animal no mayor 3 UA/ha.

## Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de las variables de calidad nutricional fueron analizados mediante el procedimiento PROC GLIMMIX del paquete estadístico SAS (SAS Institute 2009), como un modelo factorial 6x4x2 (6 especies de pastos x 4 edades de rebrote x 2 épocas), asumiendo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + P_j + D_k + SP_{ij} + SD_{ik} + SPD_{ijk} + \xi_{ijkl}$$

Donde:

$Y_{ijkl}$ :	Variable Dependiente (%MS, %PC, %FND, %FAD y %DIVMS)
$\mu$ :	Intercepto,
$S_i$ :	Efecto de la i-ésima especie (6 especies de pastos),
$P_j$ :	Efecto de la j-ésima época (seca y lluviosa),
$D_k$ :	Efecto de la k-ésima edad (14, 28, 42 y 56 días de rebrote),
$SP_{ij}$ :	Interacción de la i-ésima especie en la j-ésima época,
$SD_{ik}$ :	Interacción de la i-ésima especie en la k-ésima edad,
$SPD_{ijk}$ :	Interacción de la i-ésima especie en la j-ésima época y la k-ésima
$E_{ijkl}$ :	Error residual (N, 0, 1).

Las medias de mínimos cuadrados del factor tratamiento fueron comparadas mediante pruebas múltiples de T y clasificadas en grupos homogéneos utilizando un nivel crítico de significancia de  $\alpha=0,05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Composición y calidad nutritiva de los pastos

Los resultados del análisis de cada una de las variables de calidad bromatológica indican que existen diferencias altamente significativas ( $P < 0,0001$ ) debidas a los efectos principales de pasto y edad de rebrote. El efecto de la época fue altamente significativo ( $P < 0,0001$ ) sobre las variables MS, PC, FAD y DIVMS; y significativo ( $P < 0,05$ ) sobre la variable de FDN. La interacción entre pasto\*edad fue altamente significativa ( $P > 0,0001$ ) sobre las variables MS, PC, FND y FAD y significativa para la variable de DIVMS ( $P < 0,05$ ). La interacción entre pasto\*época y entre pasto\*edad\*época fueron altamente significativa ( $P < 0,0001$ ) para todas las variables analizadas.

#### Materia seca

En el Pacífico Central, el pasto diamantes presentó incrementos significativos ( $P < 0,05$ ) en el contenido de MS durante la época lluviosa, principalmente entre los 14 (26,7%,  $IC_{95\%}$ : 24,6 – 28,8) y 56 (33,0%,  $IC_{95\%}$ : 30,9 – 35,1) días, ya que entre los 28 y 42 días el contenido fue semejante ( $29,5 \pm 1,2\%$ ). De igual forma, en la época seca se encontraron incrementos ( $P < 0,05$ ) de MS entre los 14 (47,1%,  $IC_{95\%}$ : 45,0 – 49,2) y 56 días (56,9%,  $IC_{95\%}$ : 54,8 – 59,0) (figura 1.a).

En la Región Huetar Norte, el pasto ratana presentó incrementos significativos ( $P < 0,05$ ) en el contenido de MS durante la época lluviosa al avanzar la edad de rebrote desde los 14 (14,5%,  $IC_{95\%}$ : 12,4 – 16,6) hasta los 56 (18,2%,  $IC_{95\%}$ : 16,1 – 20,3) días; mientras que este incremento se presentó en la época seca entre los 14 (16,2%,  $IC_{95\%}$ : 14,1 – 18,3) y los 42 (23,3%,  $IC_{95\%}$ : 21,2 – 25,4) días de rebrote, sin observarse diferencias ( $P > 0,05$ ) entre los 14 y 56 días (figura 1.b). En esta misma región, el pasto estrella africana incrementó significativamente ( $P < 0,05$ ) el contenido de MS durante la época lluviosa al avanzar la edad de rebrote entre los 14 (17,0%,  $IC_{95\%}$ : 14,9 – 19,1) y 56 (25,5%,  $IC_{95\%}$ : 23,4 – 27,6) días; sin embargo, en la estación seca el contenido de MS se incrementó de forma significativa ( $P < 0,05$ ) entre los días 14 (20,1%,  $IC_{95\%}$ : 18,0 – 22,2) y 42 (25,1%,  $IC_{95\%}$ : 23,0 – 27,2), sin diferir con el día 56 de rebrote (figura 1.c).

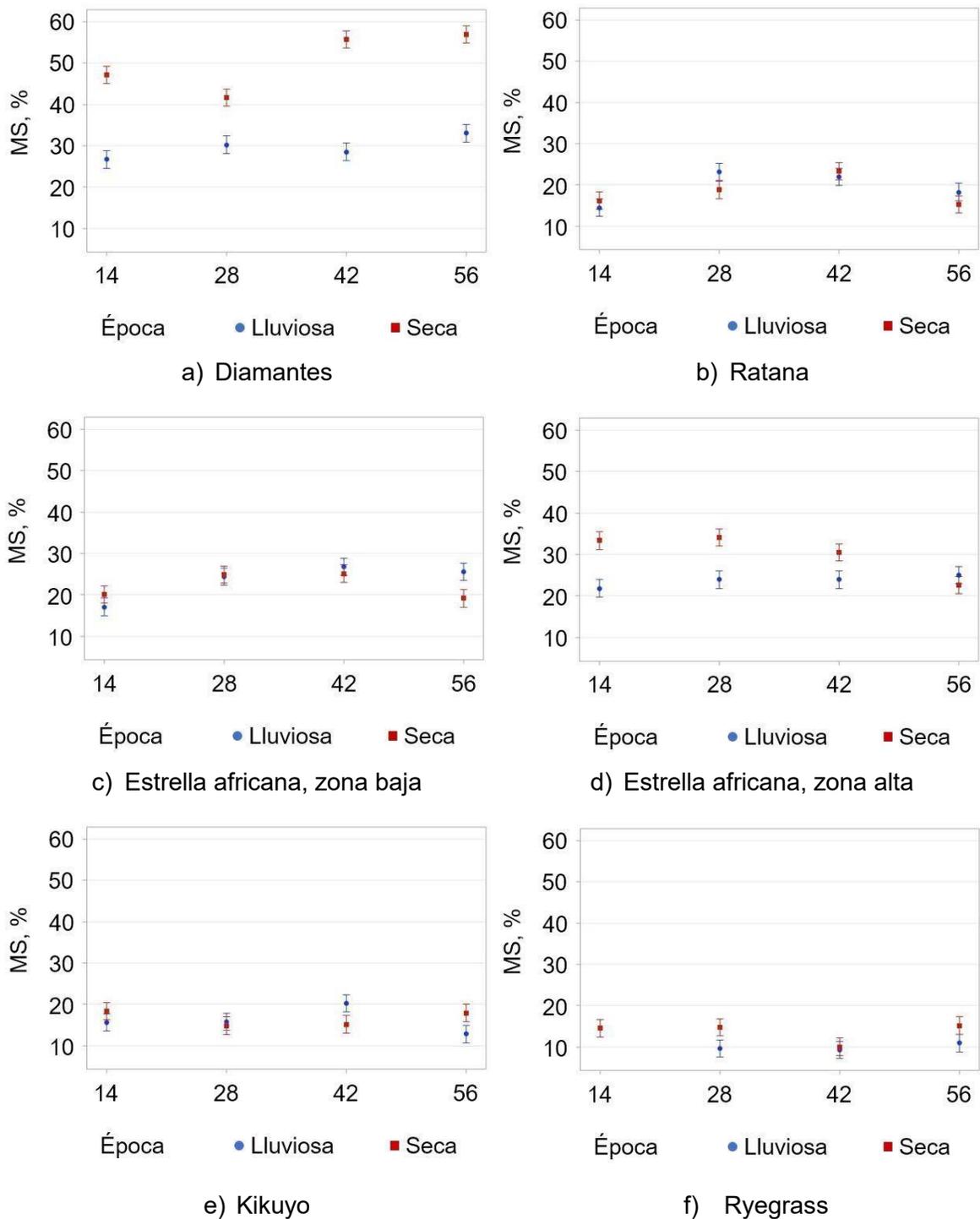


Figura 1. Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza 95% del contenido de materia seca (MS) de pastos por edad de rebrote y época. a) Diamantes, b) Ratana, c) Estrella africana en zona baja, d) Estrella africana en zona alta, e) Kikuyo, f) Ryegrass. Costa Rica. 2016-2017.

El pasto estrella africana evaluado en la Región Central, incrementó significativamente ( $P < 0,05$ ) el contenido de MS entre los días 14 (21,8%,  $IC_{95\%}$ : 19,7 – 23,9) y 56 (25,0%,  $IC_{95\%}$ : 22,9 – 27,1) de rebrote durante la época lluviosa; mientras que en la época seca el efecto fue inverso, al disminuir significativamente ( $P < 0,05$ ) el contenido de MS de 33,3 ( $IC_{95\%}$ : 31,2 – 35,4) a 22,6% ( $IC_{95\%}$ : 20,5 – 24,7) entre los 14 y 56 días (figura 1.d). En la misma región, el pasto kikuyo presentó un incremento significativo ( $P < 0,05$ ) en el contenido de MS durante la época lluviosa entre los 14 (15,6%,  $IC_{95\%}$ : 13,5 – 17,7) y 42 días (20,2%,  $IC_{95\%}$ : 18,2 – 22,3) de rebrote, a pesar de no encontrarse diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre edades de rebrote en la época seca (figura 1.e). En el caso del pasto ryegrass, el contenido de MS disminuyó significativamente ( $P < 0,05$ ) al avanzar la edad de rebrote, tanto en la época lluviosa como en la seca, disminuyendo en el primer periodo de 14,5 a 10,9% entre los 14 y 56 días de rebrote, y de 14,5 a 10 % entre los 14 y 42 días en la época seca (figura 1.f).

Estos resultados coinciden con los hallazgos de Sánchez y Soto (1999), quienes reportaron contenidos de MS de 18,8 y 23,1% en pastos tropicales de zonas bajas de Costa Rica. Por otra parte, Villalobos y Sánchez (2010), reportan promedios de MS de 15,92% en ryegrass perenne, mayores a los encontrados en el presente estudio. Por el contrario, valores de 20,3% encontrados por Salazar (2007) en pasto estrella, y valores de 20,9%, reportados por Sánchez y Quesada (1998), en pastos del género *Brachiaria*, son inferiores a los obtenidos en la presente investigación. El incremento en el contenido de MS también ha sido reportado por Sánchez (2015) en pasto kikuyo al avanzar los días de rebrote desde los 15 hasta los 90 días, con intervalos de muestreo de 15 días, durante la época lluviosa en fincas ubicadas por encima de 1800 msnm. De acuerdo con Ramírez *et al.* (2010), el incremento de la materia seca al avanzar la edad de los pastos se relaciona con el aumento del proceso fotosintético y la posterior síntesis de carbohidratos estructurales.

Estudios hechos por Villalobos y Arce (2014), también hacen mención a las diferencias en el contenido de MS entre épocas, al encontrar valores de hasta 29,47% en época seca y 18,55% en época lluviosa; similares a los reportados por Salazar (2007) y Sánchez y Soto (1999).

## Proteína cruda

El contenido de PC del pasto diamantes no mostró diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre las edades de rebrote ni entre las épocas, con valores que fluctuaron entre 3 y 5% (figura 2.a).

En la Región Huetar Norte, el contenido de PC del pasto ratana tampoco presentó diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre las edades de rebrote y épocas de pastoreo, mostrando valores que oscilaron entre 7,7 y 9,0 % (figura 2.b). En el caso del pasto estrella africana, dicho nutriente disminuyó significativamente ( $P<0,05$ ) durante la época lluviosa al avanzar la edad de rebrote, pasando de 16,9% (IC<sub>95%</sub>: 14,8 – 18,9) a 8,0% (IC<sub>95%</sub>: 6,0 – 10,1) entre los 14 y 56 días. Durante la época seca, la disminución fue menor en comparación con la estación lluviosa, pasando de 10,6% (IC<sub>95%</sub>: 8,6 – 12,7) a 6,8% (IC<sub>95%</sub>: 4,8 – 8,9) durante el mismo periodo de evaluación (figura 2.c).

En la Región Central, el pasto estrella africana disminuyó significativamente ( $P<0,05$ ) el contenido de PC durante la época lluviosa entre los días 14 (20,7%, IC<sub>95%</sub>: 18,7 – 22,8) y 56 (11,1%, IC<sub>95%</sub>: 9,1 – 13,2); reducción que se mantuvo durante la época seca, pero entre los 14 (13,4%, IC<sub>95%</sub>: 11,4 – 15,5) y 42 (9,6%, IC<sub>95%</sub>: 7,5 – 11,6), sin presentarse diferencias ( $P>0,05$ ) entre 14 y 56 días (figura 2.d).

En esta misma región, el pasto kikuyo también disminuyó el contenido del nutriente de forma significativa ( $P<0,05$ ) durante la época lluviosa entre los 14 (27,4%, IC<sub>95%</sub>: 25,3 – 29,4) y 56 (18,5%, IC<sub>95%</sub>: 16,4 – 20,5) días de rebrote, sin presentarse diferencias ( $P>0,05$ ) entre los 14 y 28 días. Este comportamiento fue similar en la época seca, pasando de 17,1% (IC<sub>95%</sub>: 15,0 – 19,1) a 13,9% (IC<sub>95%</sub>: 11,8 – 15,9) entre los 14 y 56 días de rebrote; sin diferir ( $P>0,05$ ) entre los días 14, 28 y 42 (figura 2.e).

En el caso del pasto ryegrass, el contenido de PC se incrementó significativamente ( $P<0,05$ ) durante la época lluviosa, entre los 14 (13,1%, IC<sub>95%</sub>: 11,0 – 15,1) y 42 (17,3%, IC<sub>95%</sub>: 15,3 – 19,4) días de rebrote, sin encontrarse diferencias ( $P>0,05$ ) entre los días 14 y 56. En la época seca, la disminución del nutriente fue significativa ( $P<0,05$ ) entre los días 14 (20,3%, IC<sub>95%</sub>: 18,3 – 22,4) y 56 (14,9%, IC<sub>95%</sub>: 12,8 – 16,9), sin diferir ( $P>0,05$ ) entre los días 14 y 28 ni entre los 42 y 56 días (figura 2.f).

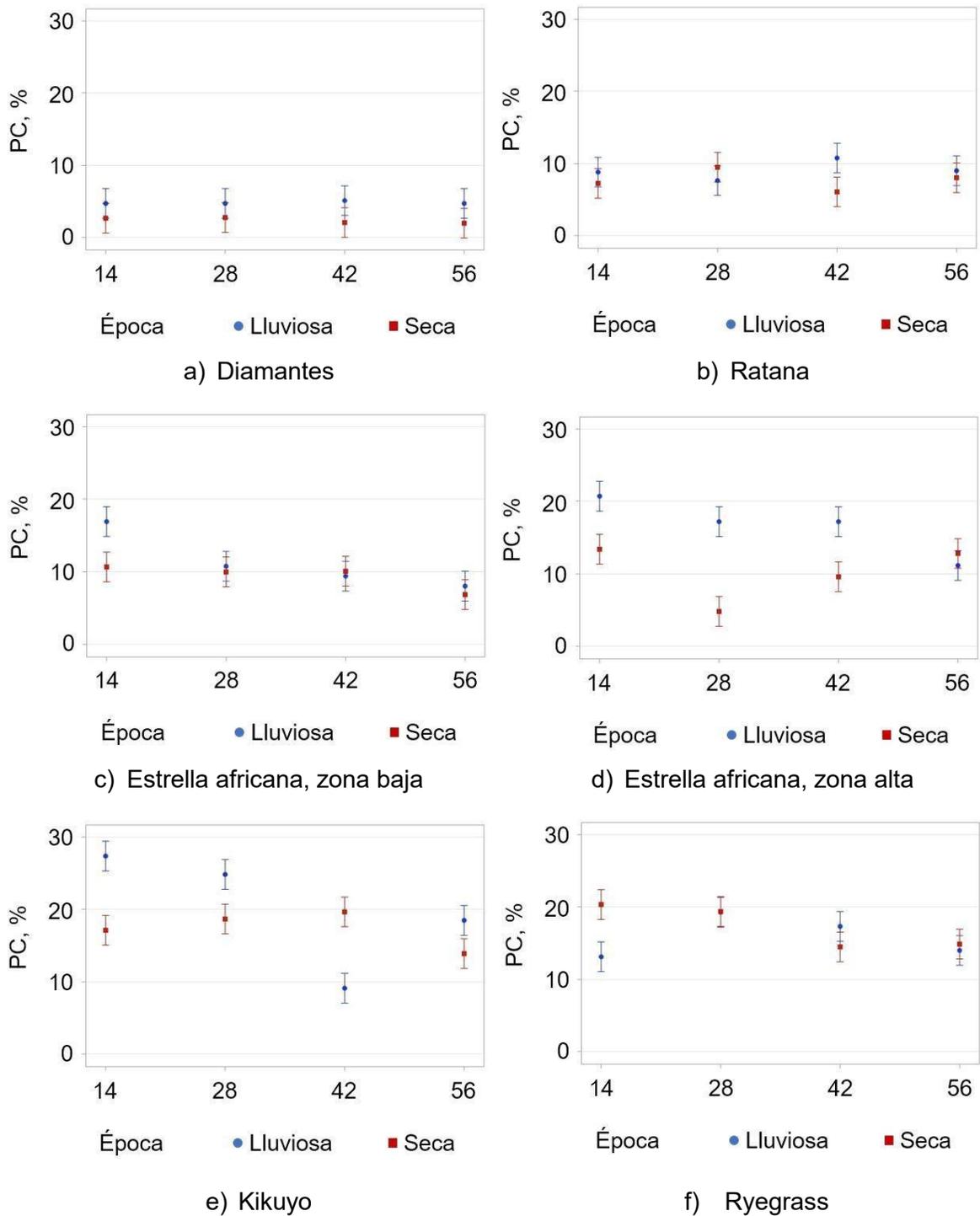


Figura 2. Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza 95% del contenido de proteína cruda (PC) de pastos por edad de rebrote y época. a) Diamantes, b) Ratana, c) Estrella africana en zona baja, d) Estrella africana en zona alta, e) Kikuyo, f) Ryegrass. Costa Rica. 2016-2017.

Estos valores de PC son menores a los reportados por Villalobos y Sánchez (2010) en ryegrass perenne (25,21%), por Andrade (2006) en pasto kikuyo (22,38%), por Villalobos y Arce (2014) en estrella africana (20,27%) y por Batista *et al.* (2009) en pasto *Brachiaria brizantha* (6,3%), aunque similar al encontrado por Villarreal (1992) en pasto ratana (8,6%). En general, a excepción de diamantes, todos los pastos mostraron un valor de PC superior a 8% (Johnson y de Oliveira 1989), considerado como el mínimo requerido para promover el crecimiento microbiano en el rumen y suplir los requerimientos de proteína degradable en los rumiantes manejados en pastoreo (Kearl 1982).

Los menores contenidos de PC al avanzar la edad de rebrote de los pastos, también fue determinado por Sánchez (2015), quien encontró este mismo efecto en pasto kikuyo y por Castro *et al.* (2017) en evaluaciones a los 7, 14 y 28 días de rebrote en pasto ryegrass, además de otros autores (Alvin *et al.* 1996, Leite *et al.* 1996, Fernández *et al.* 2001, Del Pozo *et al.* 2002, Vega *et al.* 2006, Ramírez 2010 y Ramírez *et al.* 2010). De acuerdo con Pirela (2005), el contenido proteico de gramíneas tropicales es relativamente alto en los estados iniciales de crecimiento y cae marcadamente antes de la floración. Esta disminución en el contenido de PC al avanzar la edad de rebrote se atribuye a la reducción en la síntesis de compuestos proteicos, en comparación con los estados más jóvenes (Herrera 1981, Fernández *et al.* 2012). Sin embargo, Rincón *et al.* (2008) no encontraron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en el contenido de PC al evaluar pastos del género *Brachiaria* a 14, 28 y 42 días de rebrote (12,9; 11,2 y 9,8%, respectivamente).

Por otra parte, estudios han reportado diferencias en el contenido de PC en distintas épocas del año (Leite *et al.* 1998, Fernández *et al.* 2012, Villalobos y Arce 2014). Los resultados obtenidos en el presente estudio son similares a los encontrados por Sánchez y Quesada (1998) en gramíneas forrajeras de piso de la Región Huetar Norte en época semiseca y lluviosa (11,74 y 10,79%, respectivamente) y se encuentran dentro de los rangos informados por Van Soest (1994) para forrajes tropicales (2 a 27%). Este efecto podría deberse a una disminuida movilidad del nitrógeno hacia y dentro de la planta ante una baja humedad en el suelo (Hill *et al.* 1993, Villalobos y Arce 2014).

El contenido de PC de los pastos también ha sido asociado a características químicas del suelo. Estudios realizados por Zambrano *et al.* (2014), determinaron diferencias ( $P < 0,05$ ) de pH, materia orgánica, potasio, magnesio, calcio y capacidad de intercambio

catiónico en el suelo entre las épocas lluviosa y seca; observando correlaciones positivas entre el pH y el contenido de PC en mezclas de pastos *Lolium hybridum* Hausskn, *Dactylis glomerata* L., *Holcus lannatus* L. y *Lolium* sp. Esto podría estar asociado a que la acidez de los suelos limita la solubilidad de los nutrientes y su disponibilidad para el pasto (Espinoza y Molina 1999).

### **Fibra Neutro Detergente**

No se encontraron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) en el contenido de FND en pasto diamantes, entre las distintas edades de rebrote durante la época lluviosa; mientras que, en la época seca, se observa una disminución significativa ( $P<0,05$ ) de este contenido entre los 14 (66,4%,  $IC_{95\%}$ : 63,6 – 69,3) y 56 días (59,2%,  $IC_{95\%}$ : 56,3 – 62,1). No se observaron diferencias ( $P>0,05$ ) entre los 14 y 28 días, ni entre los 42 y 56 días de rebrote (figura 3.a).

En la Región Huetar Norte, el contenido de FND del pasto ratana disminuyó significativamente ( $P<0,05$ ) entre los 14 (60,9%,  $IC_{95\%}$ : 58,0 – 63,7) y 56 (52,1%,  $IC_{95\%}$ : 49,2 – 55,0) días de rebrote durante la época lluviosa, sin mostrarse diferencias entre los 28, 42 y 56 días. Durante la época seca, no se observaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre las edades de rebrote evaluadas (figura 3.b). En esta misma región y durante la época lluviosa, el pasto estrella africana mostró diferencias significativas ( $P<0,05$ ) en el contenido de FND al pasar de 14 (71,1%,  $IC_{95\%}$ : 68,2 – 74,0) a 56 (81,3%,  $IC_{95\%}$ : 78,4 – 84,1) días de rebrote. Este comportamiento fue más atenuado en la estación seca, pasando de 59,4% ( $IC_{95\%}$ : 56,5 – 62,3) a 63,7% ( $IC_{95\%}$ : 60,8 – 66,5) entre los días 14 y 56; sin diferir entre los 28, 42 y 56 días de rebrote (figura 3.c).

En la Región Central, durante la época lluviosa el contenido de FND en el pasto estrella africana se incrementó significativamente ( $P<0,05$ ) al avanzar la edad de rebrote de 14 (47,8%,  $IC_{95\%}$ : 44,9 – 50,7) a 56 (59,6%,  $IC_{95\%}$ : 56,7 – 62,5) días; por el contrario, este contenido se mantuvo constante al avanzar la madurez de la planta en la época seca (figura 3.d). En kikuyo, la FND en la época lluviosa no mostró diferencias ( $P>0,05$ ) entre los 14, 28 y 56 días de rebrote, presentando una disminución significativa ( $P<0,05$ ) en el día 42 (44,1%,  $IC_{95\%}$ : 41,2 – 46,9). En la época seca, la FND incrementó ( $P<0,05$ ) entre los 14 (52,6%,  $IC_{95\%}$ : 49,8 – 55,5) y 56 (57,0%,  $IC_{95\%}$ : 54,1 – 59,9), sin diferir ( $P>0,05$ ) entre los 28 y 42 días de rebrote (figura 3.e).

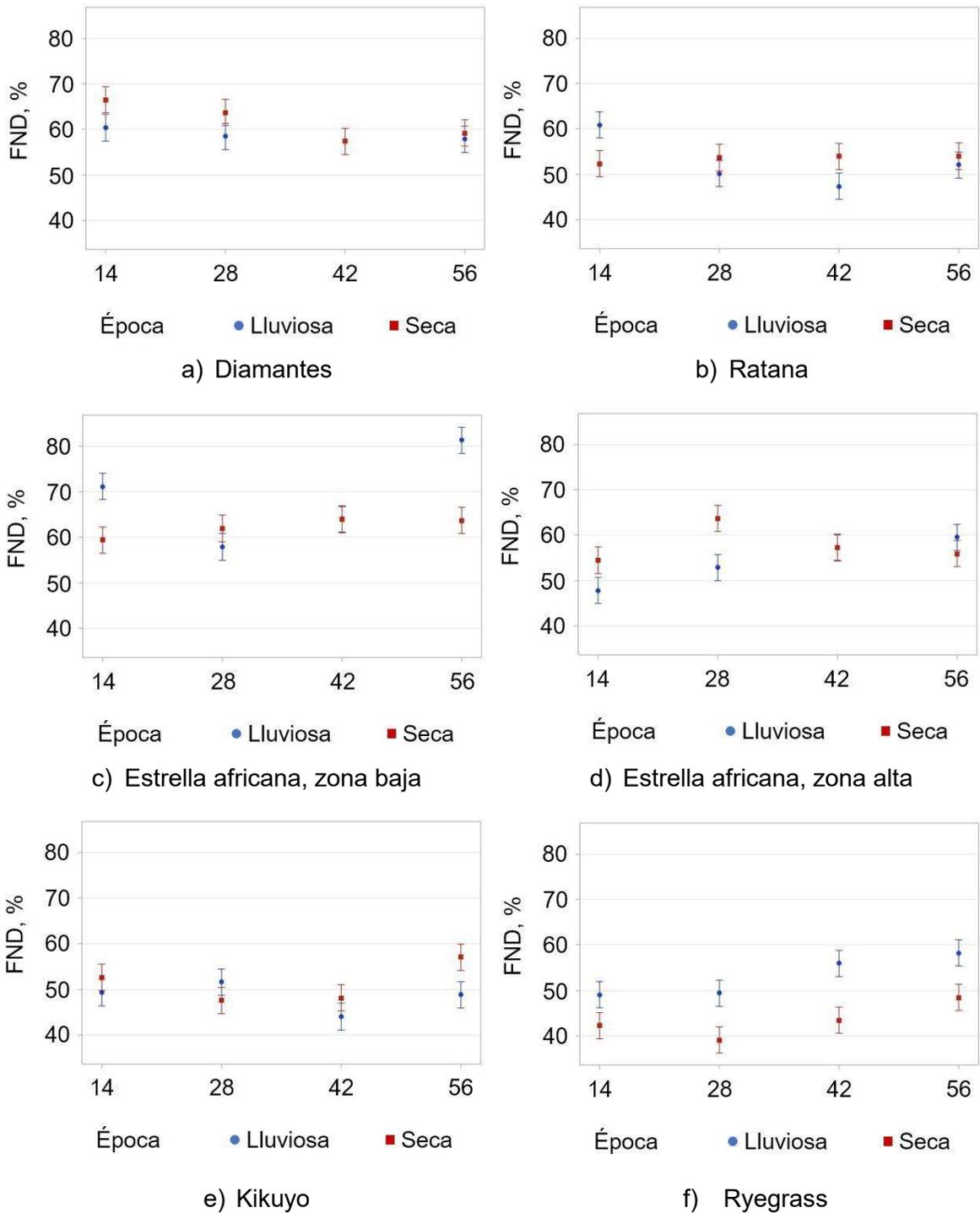


Figura 3. Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza 95% del contenido de fibra neutro detergente (FND) de pastos por edad de rebrote y época. a) Diamantes, b) Ratana, c) Estrella africana en zona baja, d) Estrella africana en zona alta, e) Kikuyo, f) Ryegrass. Costa Rica. 2016-2017.

En el caso del pasto ryegrass, la FND aumentó significativamente ( $P < 0,05$ ) durante la época lluviosa al pasar de 49,1% (IC<sub>95%</sub>: 46,2 – 52,0) a 58,2% (IC<sub>95%</sub>: 55,3 – 61,1) entre los días 14 y 56 de rebrote; sin mostrarse diferencias ( $P > 0,05$ ) entre los días 14 y 28, ni entre los 42 y 56. Situación semejante ocurrió durante la estación seca, ya que la FND incrementó significativamente ( $P < 0,05$ ) de 42,3% (IC<sub>95%</sub>: 39,5 – 45,2) a 48,4% (IC<sub>95%</sub>: 45,6 – 51,3) entre los días 14 y 56, aunque no se observaron diferencias ( $P > 0,05$ ) entre los días 14, 28 y 42 de rebrote (figura 3.f).

Valores superiores a los encontrados en el presente estudio, fueron determinados por Sánchez y Soto (1996) en pasto kikuyo (67,0%), Sánchez *et al.* (1998) en pasto ratana (69,1%) y Leite *et al.* (1998) en pastos del género *Brachiaria* (66,4%); aunque similares a los encontrados por Castro *et al.* (2017) en pasto ryegrass (49,76%). Además, resultados similares fueron reportados por Villalobos y Arce (2014) en estrella africana (64,21%) con los obtenidos en esta misma especie cultivada la Región Huetar Norte, pero superiores a los encontrados en estrella africana cultivada en la Región Central; sin embargo, en ambos casos fueron inferiores al 71,5% reportados por Sánchez y Soto (1996). Todos los casos anteriormente mencionados, fueron inferiores a los mostrados por Juárez *et al.* (2009) en pasto guinea (*Panicum maximum*) (72,7%), pangola (*Digitaria decumbens*) (65,6%), bermuda (*Cynodon dactylon*) (76,0%) y tanzania (*P. maximum*) (74,6%).

Respecto al efecto de los días de rebrote, Rincón *et al.* (2008) no obtuvieron diferencias en el contenido de FND en pastos del género *Brachiaria* evaluados a 14, 28 y 42 días de rebrote, aunque el promedio obtenido por estos autores (55,87%) es similar al encontrado en el presente estudio. Así mismo, Sánchez (2015) tampoco encontró diferencias en el contenido de FND en pasto kikuyo entre los 15 y 60 días de rebrote (65,84% en promedio); mientras que las diferencias se observaron en edades más avanzadas, es decir, entre los 75 y 90 días de rebrote (71,1% en promedio). Castro *et al.* (2017) no encontraron diferencias significativas en el contenido de FND entre la edad de 7 y 28 días de rebrote (49,8 y 48,9%, respectivamente), aunque sí difirió con el día 14 (52,9%) en pasto ryegrass.

Por otra parte, el efecto de la época sobre el contenido de FND de los pastos ha sido reportado previamente por Sánchez y Soto (1998), quienes encontraron valores de 67,2 y 68,5% en época semiseca y lluviosa, respectivamente en distintos pastos tropicales de piso;

y coinciden en un mayor contenido de FND en época lluviosa. Sin embargo, Villalobos y Arce (2014) encontraron contenidos de FND mayores en la época seca en comparación a la época lluviosa en pasto estrella africana. Es recomendable que el forraje que consumen los rumiantes no posea altos contenidos de FND, pues el llenado físico limita su consumo y además, el animal debe invertir más energía en degradar la pared celular para liberar sus componentes intracelulares (Aikman *et al.* 2008).

### **Fibra Ácido Detergente**

Respecto al contenido de FAD en el pasto diamantes, no se presentaron diferencias ( $P>0,05$ ) significativas entre las edades de rebrote evaluadas durante la época lluviosa; sin embargo, durante la época seca, disminuyó significativamente ( $P>0,05$ ) entre los 14 días (39,8%,  $IC_{95\%}$ : 37,5 – 42,1) y las restantes edades de rebrote con un promedio de 36,5%, las cuales no difirieron ( $P>0,05$ ) entre sí (figura 4.a).

En la Región Huetar Norte, el valor de FAD de pasto ratana disminuyó ( $P<0,05$ ) al avanzar la edad de rebrote durante la época lluviosa, pasando de 38,3, ( $IC_{95\%}$ : 36,0 – 40,6) a 26,8% ( $IC_{95\%}$ : 24,4 – 29,1) entre los días 14 y 56, respectivamente; por el contrario, no se presentaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre las edades evaluadas durante la época seca (figura 4.b). En el caso del pasto estrella africana, la FAD mostró un aumento significativo ( $P<0,05$ ) cuando la edad de rebrote aumentó de 14 (37,0%,  $IC_{95\%}$ : 34,7 – 39,3) a 56 (43,9%,  $IC_{95\%}$ : 41,6 – 46,2); sin encontrarse diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre edades de rebrote durante la época seca (figura 4.c).

En la Región Central, durante la época lluviosa el contenido de FAD del pasto estrella africana mostró un incremento significativo ( $P<0,05$ ) de 23,0% ( $IC_{95\%}$ : 20,7 – 25,3) a 30,6% ( $IC_{95\%}$ : 28,3 – 32,9) entre los días 14 y 56; sin embargo, en la época seca no se observaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre edades de rebrote (figura 4.d). En el caso del pasto kikuyo, la FAD presentó una disminución significativa ( $P<0,05$ ) entre los 14 (27,3%,  $IC_{95\%}$ : 25,0 – 29,6) y los 56 (23,7%,  $IC_{95\%}$ : 21,3 – 26,0) días de rebrote, sin diferir ( $P>0,05$ ) entre los días 28, 42 y 56. Por otra parte, durante la época seca, se encontró un aumento ( $P<0,05$ ) entre los 14 (25,8%,  $IC_{95\%}$ : 23,5 – 28,1) y los 56 (32,0%,  $IC_{95\%}$ : 29,7 – 34,3) días de rebrote, sin encontrarse diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre los 14, 28 y 42 días (figura 4.e). En relación al pasto ryegrass, durante la época lluviosa la FAD se incrementó al avanzar la edad de rebrote de 14 (25,8%,  $IC_{95\%}$ : 23,5 – 28,1) a 56 (32,3%,  $IC_{95\%}$ : 30,0 – 34,6) días, sin

encontrarse diferencias ( $P>0,05$ ) entre los días 14 y 28, ni entre los 42 y 56. Durante la época seca se mantuvo esta tendencia, al incrementarse el contenido de FAD de 24,9% ( $IC_{95\%}$ : 22,6 – 27,2) a 29,5% ( $IC_{95\%}$ : 27,2 – 31,8) entre los 14 y 56 días, sin presentarse diferencias ( $P>0,05$ ) entre 14, 28 y 42 días (figura 4.f).

Los resultados presentados son inferiores a los reportados por Sánchez y Soto (1996) en pasto kikuyo (34,4%) y estrella africana (40,0%), Castro *et al.* (2017) en pasto ryegrass (30,83%) y Boschini *et al.* (2014) en pasto ratana (40,76%); aunque similares a los reportados por Villalobos y Sánchez (2010) en pasto ryegrass (25,57%) y Villalobos y Arce (2014) en pasto estrella africana (34,95%).

Estudios realizados por Bernal (2003) y Zambrano *et al.* (2014) demuestran que los contenidos de pared celular pueden variar significativamente de acuerdo con la edad de corte, época del año, nivel de fertilización y las condiciones físicas y químicas del suelo. Respecto al efecto de los días de rebrote sobre el contenido de FAD, Sánchez (2015) encontró un efecto creciente altamente significativo ( $P<0,0001$ ) en el pasto kikuyo evaluado entre 15 y 90 días, mostrando un valor promedio de 33,7%. El efecto contrario fue reportado por Castro *et al.* (2017), quienes no encontraron diferencias en el contenido de FAD en pasto ryegrass en evaluaciones realizadas a los 7 y 28 días de rebrote. Tampoco se encontraron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) en estudios realizados por Rincón *et al.* (2008) en pastos del género *Brachiaria* al evaluar edades de rebrote entre 14 y 42 días, reportando un promedio de 28,4%.

Respecto a los cambios en la composición de la pared celular, se ha observado que, en pastos como estrella africana, la fracción de hemicelulosa disminuye conforme avanzan los días de cosecha, mientras que la celulosa y lignina aumentan (Mandebvu *et al.* 1999). Estos aspectos deben ser tomados en cuenta en dietas de rumiantes, al estar asociados con la capacidad de consumo voluntario y la digestibilidad de la MS. El contenido de FAD se relaciona negativamente con la digestibilidad del pasto y su aporte de energía, por lo que es preferible que su contenido sea bajo en los pastos.

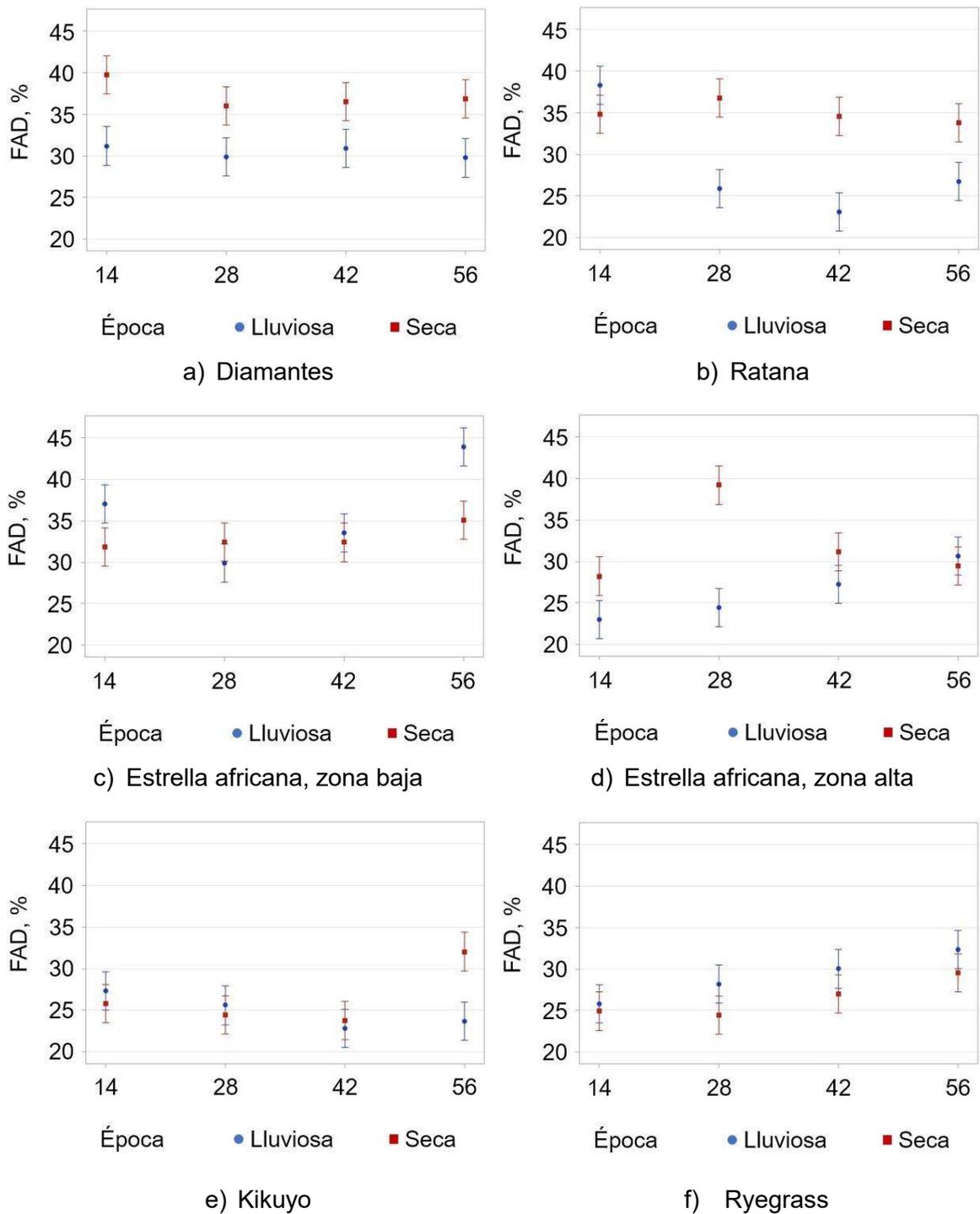


Figura 4. Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza 95% del contenido de fibra ácido detergente (FAD) de pastos por edad de rebrote y época. a) Diamantes, b) Ratana, c) Estrella africana en zona baja, d) Estrella africana en zona alta, e) Kikuyo, f) Ryegrass. Costa Rica. 2016-2017.

## **Digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca**

Los valores de la DIVMS en pasto diamantes no presentaron diferencias ( $P>0,05$ ) entre las distintas edades de rebrote durante la época lluviosa y la época seca, encontrando valores que oscilaron entre 63,6 y 57,0% (figura 5.a).

En la Región Huetar Norte, el valor más alto de DIVMS en el pasto ratana se observó al día 42 (73,2%,  $IC_{95\%}$ : 66,5 – 79,8) durante la época lluviosa, sin encontrarse diferencias ( $P>0,05$ ) entre las demás edades. En la época seca, no se encontraron diferencias ( $P>0,05$ ) entre edades de rebrote, mostrando un promedio de 58,2% (figura 5.b). Por el contrario, la digestibilidad del pasto estrella africana, mostró una disminución significativa ( $P<0,05$ ) entre los 14 (59,9%,  $IC_{95\%}$ : 53,2 – 66,5) y 56 (47,6%,  $IC_{95\%}$ : 40,9 – 54,3) días de rebrote durante la estación lluviosa, aunque no se presentaron diferencias ( $P>0,05$ ) entre los días de rebrote durante la época seca, con un valor promedio de 54,7% (figura 5.c).

En la Región Central durante la época lluviosa, el pasto estrella africana disminuyó la DIVMS progresivamente de forma significativa ( $P<0,05$ ) entre los 14 (74,5%,  $IC_{95\%}$ : 67,8 – 81,1) y 56 (53,8%,  $IC_{95\%}$ : 47,1 – 60,4) días de rebrote, sin presentarse diferencias ( $P>0,05$ ) entre edades durante la época seca (figura 5.d). En caso del pasto kikuyo, la DIVMS en la época lluviosa mostró diferencias ( $P<0,05$ ) entre los 14 (86,5%,  $IC_{95\%}$ : 79,8 – 93,1) y 56 (73,9%,  $IC_{95\%}$ : 67,2 – 80,6) días de rebrote, observándose una disminución conforme envejece la planta; comportamiento que se mantuvo durante la época seca, pasando de 66,6% ( $IC_{95\%}$ : 59,9 – 73,3) a 50,3% ( $IC_{95\%}$ : 43,6 – 57,0) entre los 14 y 56 días de rebrote; sin encontrarse diferencias ( $P>0,05$ ) entre los 14, 28 y 42 días (figura 5.e). En el pasto ryegrass, la DIVMS no difirió ( $P<0,05$ ) entre las distintas edades de rebrote durante la época lluviosa; aunque en la época seca, disminuyó significativamente ( $P<0,05$ ) entre el día 28 (77,9%,  $IC_{95\%}$ : 71,2 – 84,6) y el día 56 (62,8%,  $IC_{95\%}$ : 56,1 – 69,4) (figura 5.f).

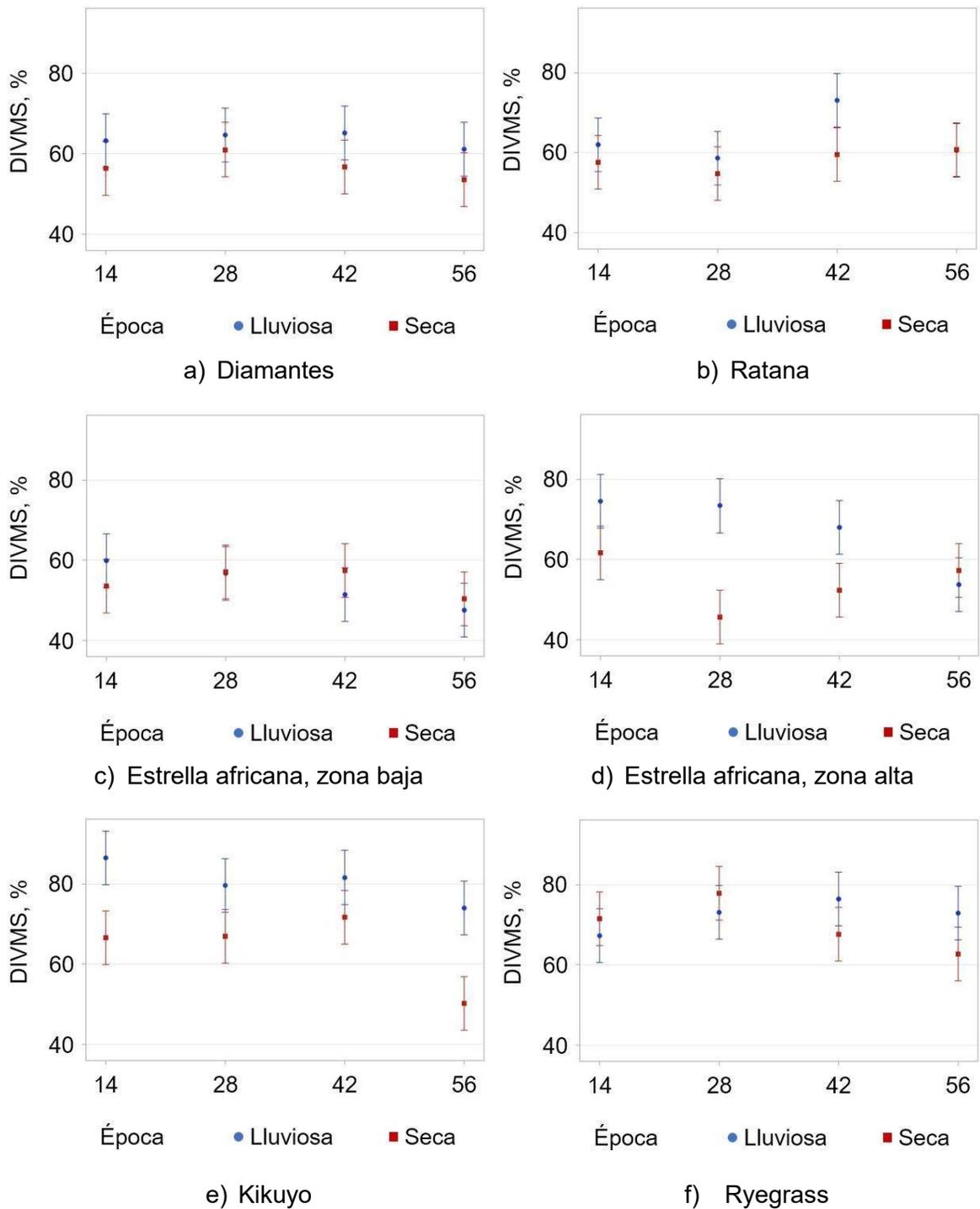


Figura 5. Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza 95% de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de pastos por edad de rebrote y época. a) Diamantes, b) Ratana, c) Estrella africana en zona baja, d) Estrella africana en zona alta, e) Kikuyo, f) Ryegrass. Costa Rica. 2016-2017.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Pérez *et al.* (1997) en pasto ryegrass, quienes reportaron valores de 71,1, 74,4 y 76,6% de DIVMS en las variedades barlatra, cropper y talbot, respectivamente; y con los encontrados por Villalobos y Sánchez (2010) en pasto ryegrass (77,95%). También son similares a los obtenidos por Sánchez *et al.* (1998) en pasto ratana (60,8%) y superiores a los encontrados por Leite *et al.* (1998) en pastos del género *Brachiaria*. Por el contrario, los resultados son inferiores a los reportados por Villalobos y Arce (2014) en pasto estrella africana (68,02%). Por otra parte, valores de 56,06% de DIVMS han sido reportados por Herrera (2014) en pasto *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT115.

En relación con el efecto de la edad de rebrote sobre el contenido de DIVMS, Mandebvu *et al.* (1999), determinaron una disminución en la DIVMS de 62 a 51% al aumentar la edad de cosecha de 3 a 8 semanas en pasto bermuda (*Cynodon dactylon*) De acuerdo con Jung y Allen (1995), la digestión que realizan los microorganismos en el rumen sobre las fibras se ve afectada por la lignificación de los pastos que bloquea el acceso de las enzimas hidrolíticas a los polisacáridos de la pared celular, lo cual inhibe su adhesión a las partículas de pasto y disminuye la digestión de la MS y sus componentes.

El efecto de la época sobre la DIVMS, ha sido reportado por Sánchez (2015) quien encontró diferencias ( $P < 0,05$ ) en el pasto kikuyo a partir de los 45 días de rebrote, observando mayores valores durante la estación seca respecto a la lluviosa. Por el contrario, Sánchez y Quesada (1998), Sánchez y Soto (1998) y Sánchez y Soto (1999), no encontraron diferencias ( $P > 0,05$ ) entre épocas. Las diferencias en el contenido de materia seca digestible obtenidos en el presente estudio, podrían deberse al efecto de la FAD sobre la DIVMS (Van Soest 1994) al observarse menores contenidos de DIVMS durante la época seca respecto a la lluviosa y el comportamiento inverso en la FAD. Al respecto, Herrera (1981) argumenta que los incrementos en los contenidos de la pared celular de los pastos al aumentar los días de rebrote, han sido asociados a incrementos en la síntesis de carbohidratos estructurales (lignina, celulosa y hemicelulosa), lo que afecta la calidad del pasto. El incremento en el contenido de celulosa al envejecer la planta se debe al engrosamiento de la pared celular al formarse microfibrillas compactas que proporcionan la fuerza y rigidez requerida en las paredes celulares (Cornu *et al.* 1994). También se han encontrado aumentos en la proporción de tallos y material senescente en relación con la proporción de hojas nuevas al avanzar la edad de la planta, lo que incrementa el contenido

de carbohidratos estructurales y la disminución de la digestibilidad (Pizarro *et al.* 1993, Cowan y Lowe 1998, Ramírez *et al.* 2010).

En general, los escasos cambios en la composición química durante la etapa de crecimiento de los pastos se deben a la baja relación hojas:tallo que se presenta durante ese período (Zapata 2000), pero una vez que el pasto alcanza el máximo ritmo de crecimiento, su calidad comienza a decrecer debido a que se frena el crecimiento de forraje verde y se incrementa el acúmulo de material senescente (Parsons y Penning 1988), lo que reduce significativamente la calidad del pasto.

De acuerdo con Van Soest (1994) las diferencias en la calidad bromatológica entre especies de pastos pueden deberse a diversos factores, tales como disponibilidad de nutrientes en el suelo, acumulación de reservas, presencia de estructuras de resistencia, luminosidad, estado de madurez, entre otros; sin embargo, los factores genéticos de cada especie responden a las condiciones donde se originaron y evolucionaron. De esta forma, los pastos que evolucionaron interactuando con animales herbívoros, desarrollaron diferentes mecanismos de protección que se relacionan con la nutrición animal, incluidos la lignificación y la acumulación de componentes de la pared celular que afectan el consumo voluntario de los animales y la digestión de sus nutrientes. Así mismo, la selección de especies para producir altos rendimientos, resistencia a plagas y adaptación a diversos ambientes, ha conllevado a la alteración de su calidad nutritiva; lo cual se refleja en las diferentes calidades de los materiales evaluados.

## CONCLUSIONES

La composición química del pasto diamantes fue afectado por la época de pastoreo, ocasionando incrementos en el contenido de MS y FAD, y reducciones en los valores de PC durante el período seco, lo que disminuyó la DIVMS durante dicha época. Además, la edad de rebrote también afectó la calidad del pasto, principalmente a partir de los 28 días y durante la época seca, situación que podría afectar el consumo voluntario de los animales en pastoreo durante dicho período, reducir la productividad de los animales y por ende, la rentabilidad del sistema.

El contenido de PC del pasto diamantes no superó el 5% en ninguna de las épocas y edades de rebrote, lo que sugiere la necesidad de realizar estudios adicionales como análisis de suelos e implementar programas de fertilización como medidas para incrementar el contenido de PC.

La composición química y la DIVMS de los pastos ratana y estrella africana evaluados en la Región Huetar Norte, fueron poco afectados por la época de evaluación, lo que podría estar relacionado con la poca variación del clima y una mejor distribución de las lluvias durante el año que caracteriza a la zona, lo que facilita la implementación de estrategias de alimentación que permitan mantener relativamente constante la producción durante el año.

El contenido de PC del pasto ratana no supera el 10%, lo que sugiere que los animales con altos requerimientos de este nutrimento deben recibir suplementos proteicos para mantener altos niveles productivos, principalmente en sistemas ganaderos que utilizan razas especializadas.

En la Región Central, el pasto estrella africana fue el más afectado por la época de pastoreo, ya que incrementó el contenido de MS y fibras, y disminuyó los valores de PC y DIVMS durante la época seca. Aunque en la misma región, el pasto kikuyo también redujo la DIVMS durante el período seco, y el pasto ryegras mantuvo la composición química constante durante el año, con leves reducciones de fibra durante el período seco, que no ocasionaron cambios significativos en la DIVMS.

El pasto estrella africana cultivado en la Región Central, presentó mayores valores de PC y DIVMS que el mismo pasto evaluado en la Región Huetar Norte, pero menores

contenidos de MS y fibra, situación que probablemente está relacionada con la fertilidad de los suelos y las condiciones climáticas de cada zona, las cuales difieren en altitud, temperatura, precipitación, humedad relativa y horas luz.

El pasto ryegrass alcanzó los valores más bajos de fibra, lo cual es ventajoso porque favorece el consumo voluntario de los animales en pastoreo, reduce el tiempo en el tracto digestivo e incrementa la digestibilidad del pasto, pero hace necesario dar seguimiento al aporte de fibra efectiva que consume el animal para propiciar la rumia, dado que la proporción de la fibra baja al aumentar el contenido de agua en el pasto.

## BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. (Official Methods of Analysis). 1980. Official Methods of Analysis. 13th ed. Washington D.C., USA, Association of Official Analytical Chemists. 1040 p.
- Aikman P; Reynolds, C; Beever, D. 2008. Diet digestibility, rate of passage, and eating and rumination behavior of Jersey and Holstein Cows. *Journal of Dairy Science* 91:1103-1114.
- Akin, D.E; Wilson, J.R; Windham, W.R. 1983. Site and rate of tissue digestión in leaves of C3, C4 and C3/C4 intermediate *Panicum* species. *Crop Science* 23: 147-155.
- Alvin, M; Resende, H; Deadrade, M. 1996. Efeito de la frecuencia de cortes e do nivel de nitrogenio sobre a producto e qualidade de mateia seca do *C. dactylon* coast cros. Anais do work-shop sobre o potencial forragerio do género *Cynodon*, EMPRABA/CNPGL, Brasil.
- Andrade, M. 2006. Evaluación de técnicas de manejo para mejorar la utilización del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex Chiov) en la producción de ganado lechero en Costa Rica. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 225 p.
- Bargo, F; Muller; L.D; Delahoy, J.E; Cassidy, T.W. 2002. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing two pasture allowances. *Journal of Dairy Science* 85:1777-1792.
- Batista, V; Manuel, M; Borges do Valle, C; Difante, G; Amorim, R; Ronaldo, E. 2009. Valor nutritivo de forrajes y producción animal en pastoreo de *Brachiaria brizantha*. *Pesq. Agropec. Bras.* 44(11): 98-106.
- Beltrán, S.I; Hernández, A.G; García, E.M; Pérez, P.J; Kohashi, J.S; Herrera, J.G; Quero, A.R; González, S.S. 2005. Efecto de la altura y frecuencia de corte en el crecimiento y rendimiento del pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris*) en un invernadero. *Agrociencia* 39(2):137-147.
- Bernal, E.J. 2003. Pastos y forrajes tropicales. Producción y Manejo. Colombia, Ideagro. 421 p.
- Boschini, C; Pineda, L; Chacón, P. 2014. Evaluación del ensilaje del pasto ratana (*Ischaemum indicum* HOUTT.) con tres diferentes aditivos. *Agronomía Mesoamericana* 25(2): 297-311.

- Castro, H; Domínguez, I; Morales, E; Huerta, M. 2017. Composición química, contenido mineral y digestibilidad in vitro de raigrás (*Lolium perenne*) según intervalo de corte y época de crecimiento. Rev. Mex. Cienc. Pecu. 8(2): 201-210.
- Cornu, A; Besle, J.M; Mosoni, P; Grenet, E. 1994. Lignin – carbohydrate complexes in forage: Structure and consequences in the ruminal degradation of cell wall carbohydrates. Reprod. Nutr. Dev. 34: 385.
- Cowan, R.T; Lowe, K.F. 1998. Tropical and subtropical grass management and quality. En: Grass for Dairy Cattle. Ed Cheney J.H. and Cherney D.J.R., pp 101-136. CABI Publishing. Wallingford, Oxon, U.K.
- Del Pozo, P. 2002. Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. Rev. Pastos. 32(2): 109-137.
- Del Pozo, P; Herrera, R; García, M. 2002. Dinámica de los contenidos de carbohidratos y proteína bruta en el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) con aplicación de nitrógeno y sin ella. Rev. Cubana Cienc. Agric., 36, 275.
- Espinosa, J; Molina, E. 1999. Acidez y encalado de los suelos. International Plant Nutrition Institute. 42 p.
- Fernández, J; Benítez, D; Gómez, I; Cordoví, E; Leonard, I. 2001. Dinámica de crecimiento del pasto *Brachiaria radicans* cv. Tanner en las condiciones edafoclimáticas del Valle del Cauto en la provincia Granma. Revista Cubana de Ciencias Agrícola. 35(4): 399-405.
- Fernández, L; Gómez, I; Cordoví, E. 2012. Efecto de la edad de rebrote en el rendimiento y contenido proteico del pasto *Brachiaria humidicola* cv CIAT-609 en un suelo vertisol. Rev. Prod. Animl. 24(1).
- Goering, H; Van Soest, P. 1970. Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures and some applications). Agricultural Handbook N° 379. ARS-USDA, Washington, D.C.
- Gomide, J.A. 1988. Fisiología das plantas forrageiras e manejo das pastagens. Inf. Agropec. 88(154): 11-18.
- Hannaway, D; Fransen, S; Cropper, J. 1999. Annual Ryegrass. Oregon State University, USA. Consultado el 20 de jun. 2018. Disponible en: <https://ir.library.oregonstate.edu/downloads/mg74qm32g>

- Herrera, R. 1981. Influencia de la fertilización nitrogenada y edad de rebrote en la calidad del pasto bermuda cruzada (*Cynodon dactylon* cv. Coast cross). Tesis de doctorado en Ciencias Veterinarias, Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba.
- Herrera, R. 2014. Algunos aspectos que pueden influir en el rigor y la veracidad del muestreo de pastos y forrajes. *Avances en Investigación Agropecuaria* 18(2): 7-26.
- Hill, G.M; Gates, R.N; Burton, G.W. 1993. Forage Quality and Grazing Steer Performance from Tifton 85 and Tifton 78 Bermudagrass Pastures. *Journal of Animal Science* 71:3219-3225.
- Johnson, W; De Oliveira, E. 1989. Nutrients needs and improved feeding systems. In: Improving meat goat production in the semiarid tropics. Johnson, W; De Oliveira, E. editors. Brazil: EMBRAPA, Sobral, C.E. p. 67-74.
- Juárez, A.S; Cerrillo, M.A; Gutiérrez, E; Romero, E.M; Colín, J; Bernal, H. 2009. Estimación del valor nutricional de pastos tropicales a partir de análisis convencionales y de la producción de gas *in vitro*. *Téc Pecu Méx* 47(1): 55-67.
- Jung, A; Allen, M. 1995: Characteristics of plants cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *J Anim Sci.* 73:2774-2790.
- Kearl, L. 1982. Nutrient requirements of ruminants in developing countries. International feedstuffs institute, Utah. Agric Exp Station. Utah State University, Logan, Utah, USA.
- Leite, G; Costa, N; Gomes, A. 1996. Curvas de crecimiento y composición química de *Panicum maximum* cv. Vencedor. *Revista Pasturas Tropicales.* 18(3): 37-41.
- Leite, G; Costa, N; Gomes, A. 1998. Efeito da época de diferimento sobre a produção e qualidade da forragem de gramíneas na região dos Cerrados do Brasil. *Revista Pasturas Tropicales.* 20(1): 15-22.
- Mandebvu, P; West, J.W; Hill, G.M; Gates, R.N; Hatfield, R.D; Mullinix, B.G; Parks, A.H; Caudle, A.B. 1999. Comparison of Tifton 85 and Coastal Bermuda grasses for Yield, Nutrient Traits, Intake, and Digestion by Growing Beef Steers. *Journal of Animal Science* 77:1572-1586.
- Minson, D.J., J.R. Wilson. 1994. Prediction of intake as an element of forage quality. En: Forage quality Evaluation and Utilization, 564 - 612. Ed. American Society Agronomy Crop Science Society. Of American. Madison (USA).

- Moore, K.J; Hatfield, R.D. 1994. Carbohydrate and forage quality. En: Forage Quality Evaluation and utilization, 229 - 280. Ed. American Society Agronomy Crop Science Society. of American. Madison (USA).
- Parsons, A.J; Penning, P.D. 1988. The effect of the duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and the average rate of growth in a rotationally grazed sward. *Grass and Forage Science*, 53: 15-27.
- Pérez, P; González, M; Abarca, B. 1997. Rendimiento y digestibilidad de la materia seca de variedades de *Lolium perenne* L. con tres presiones de pastoreo. *Agrociencia*.31:37-43.
- Pirela, M.F. 2005. Valor nutritivo de los pastos tropicales. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Consultado el 8 de jul. 2018. Disponible en [http://www.avpa.ula.ve/docuPDFs/libros\\_online/manual-ganaderia/seccion3/articulo6-s3.pdf](http://www.avpa.ula.ve/docuPDFs/libros_online/manual-ganaderia/seccion3/articulo6-s3.pdf).
- Pizarro, E; Amaral, R; Vera, R. 1993. Efecto de diferir la época de utilización en la producción y calidad de *Panicum maximum*. *Revista Pasturas Tropicales*. 15(1): 23-29.
- Ramírez, J. 2010. Rendimiento y calidad de cinco gramíneas en el Valle del Cauto. Tesis de doctorado en Ciencias Veterinarias, Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba.
- Ramírez, J; Verdecia, D; Leonard, I; Álvarez, Y. 2010. Rendimiento de materia seca y calidad nutritiva del pasto *Panicum maximum* vc. Likoni en un suelo Fluvisol de la región oriental de Cuba. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 11(7): 1-14.
- Rincón, A; Ligarreto, G.A; Garay, E. 2008. Producción de forraje en los pastos *Brachiaria decumbens* cv. Amargo y *Brachiaria brizantha* cv. Toledo, sometidos a tres frecuencias y a dos intensidades de defoliación en condiciones del Piedemonte Llanero colombiano. *Rev. Fac. Nal Agr. Medellín*. 61(1): 4336-4346.
- Salazar, S. 2007. Disponibilidad de biomasa y valor nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en el distrito de Quesada, cantón de San Carlos. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 96 p.
- Sánchez, J; Quesada, G. 1998. Calidad nutricional de los forrajes en una zona con potencial alto para la producción de leche, en el trópico húmedo de la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 22(1): 61-68.

- Sánchez, J; Soto, H. 1996. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. I. Materia seca y componentes celulares. *Nutrición Animal Tropical*, 3:3-18.
- Sánchez, J.M; Soto, H. 1998. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. II. Componentes de la pared celular. *Nutr. Anim. Trop.* 4 (1): 3-23.
- Sánchez, J; Soto, H. 1999. Calidad nutricional de los forrajes de una zona con niveles medios de producción de leche, en el trópico húmedo del norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 23(2): 165-171.
- Sánchez, J.M; Piedra, L; Soto, H. 1998. Calidad nutricional de los forrajes en zonas con niveles bajos de producción de leche, en la zona norte de Costa Rica. *Agron. Costarricense* 22(1): 69-76.
- Sánchez, W. 2015. Evaluación de pastos y forrajes para la mejora de la alimentación de las vacas lecheras en la zona alta de Costa Rica. Tesis Doctorado. Zaragoza, España. p. 245.
- SAS Institute, 2009. The SAS system for Windows. Release 9.4 SAS Inst. Cary, NC, USA.
- Van Soest, P.J; Robertson, J.B. 1985. Analysis of forages and fibrous feeds. Cornell University. Ithaca,
- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2 ed. Comstock Publishing Associates, Ithaca, New York. U.S.A. 476 p.
- Vega, E; Ramírez, J; Leonard, I; Igarza, A. 2006. Rendimiento, caracterización química y digestibilidad del pasto *Brachiaria decumbens* en las actuales condiciones edafoclimáticas del Valle del Cauto. *REDVET*, 7(5). Consultado el 15 jun. 2018. Disponible en <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050506/html>.
- Velásquez, J.E; Muñoz, J. 2006. Producción de forraje de *Brachiaria híbrido* cv. Mulato II solo y asociado con *Arachis pintoii* en suelos de terraza y mesón en el Piedemonte amazónico colombiano. *Pasturas Tropicales* 28(2): 26-29.
- Villalobos, L; Arce, J. 2014. Evaluación agronómica y nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de Monteverde, Puntarenas, Costa Rica. II. Valor nutricional. *Agronomía Costarricense* 38(1): 133-145.
- Villalobos, L; Sánchez, J. 2010. Evaluación agronómica y nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. II. Valor nutricional. *Agron. Costarricense* 34(1): 43-52.

- Villarreal, M. 1992. Evaluación comparativa de ratana (*Ischaemum ciliare*) como especie forrajera. Agron. Costarricense 16(1): 37-44.
- Waddington, J; Cook, D. 1971. The influence of sample size and number on the precision of estimates of herbage production and consumption in two grazing experiments. J. Br. Grassld. Soc. 26:95-101.
- Zapata, F. 2000. Kikuyo. Especies Forrajeras Versión 1.0. Agrosoft Ltda. Colombia. 18 p.
- Zambrano, G; Apráez, J; Navia J. 2014. Relación de las propiedades del suelo con variables bromatológicas de pastos, en un sistema lechero de Nariño. Revista de Ciencias Agrícolas. 31(2): 106-121.

## CONCLUSIONES GENERALES

La producción de biomasa y la calidad nutricional de los pastos fueron afectados por la época y la edad de rebrote, donde la mayoría alcanzó mejores rendimientos y calidad nutritiva en la época lluviosa en comparación a la seca, aunque redujeron la calidad nutritiva al avanzar la edad de rebrote.

Las diferencias en la producción de biomasa y en la calidad nutricional de los pastos entre épocas, fueron menores en las regiones de mayor precipitación, como sucedió con el pasto ratana en la Huetar Norte y el ryegrass y kikuyo en la Región Central, en comparación a las mayores variaciones encontradas en el pasto diamantes en la Región Pacífico Central, donde se presentaron menores precipitaciones.

Los pastos aumentan la producción de biomasa acumulada al avanzar la edad de rebrote, aunque este crecimiento es mayor al inicio y se va reduciendo conforme la planta envejece.

El acúmulo de biomasa en los pastos ocurre principalmente durante la estación lluviosa, pero se puede prolongar en la estación seca, siempre y cuando existan lluvias ocasionales. Sin embargo, cuando la estación seca es muy marcada por la ausencia de lluvias, las pasturas detienen su crecimiento.

La producción de biomasa del pasto diamantes en época lluviosa fue mayor a la observada durante la época seca, la cual no varió al avanzar la edad de rebrote. Los contenidos de proteína cruda y la digestibilidad *in vitro* fueron bajos, con altos contenidos de pared celular, lo que podría afectar el consumo voluntario de los animales.

La producción de biomasa del pasto ratana no varió entre edades de rebrote y épocas, con escasas variaciones en el contenido nutritivo y digestibilidad *in vitro* de la materia seca conforme aumentó la edad de rebrote.

La producción del pasto estrella africana evaluada en la Huetar Norte, fue mayor en la época lluviosa en comparación a la seca, y aumentó al avanzar la edad de rebrote, mientras que, en la época seca la producción fue constante durante la edad de rebrote.

El pasto estrella africana evaluado en la Región Central, aumentó su producción durante la época lluviosa conforme avanzó la edad de rebrote. Pero durante la época seca, presentó pérdidas de material vegetativo con los días de crecimiento. El contenido de proteína cruda y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, fue mayor en la época lluviosa en comparación a la seca; sin embargo, los contenidos de la pared celular fueron mayores en el periodo seco, sin cambios al avanzar la edad de rebrote.

El rendimiento del pasto kikuyo no varió entre épocas, pero aumentó al avanzar la edad de rebrote, con bajos contenido de MS en ambas épocas, aunque superior en la estación seca. La calidad nutricional del pasto kikuyo fue buena y mejor en la época lluviosa en comparación a la seca, y varió al avanzar la edad de rebrote.

La producción del pasto ryegrass no fue afectada por la época, pero incrementó hasta los 42 días de rebrote. El contenido de materia seca es bajo, pero la calidad nutritiva del pasto es alta, sin variaciones entre épocas. Los contenidos de proteína cruda y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca se reducen al avanzar la edad de rebrote. Los contenidos de fibra neutro detergente y fibra ácido detergente incrementaron con la vejez de la planta.

## RECOMENDACIONES GENERALES

El pasto diamantes evaluado presenta condiciones desfavorables para la producción ganadera, debido principalmente al bajo aporte de proteína cruda y altos contenidos de fibra neutro detergente y fibra ácido detergente. Lo anterior, plantea la necesidad de implementar mejoras en el manejo de la pastura, tales como realizar periódicamente análisis físicos y químicos de suelos y elaborar planes de fertilización específicos para las necesidades de esta pastura, con el fin de incrementar la producción de biomasa y la calidad nutritiva. También se recomienda evitar la práctica de mantener abiertos los “portillos” o entradas de acceso de todos los potreros de la finca durante la estación seca, debido a la degradación que esta práctica ocasiona en la pastura. La renovación de la pastura es una opción que podría considerarse en caso de mantener buenas prácticas de manejo y no observarse mejoras en la producción y en la calidad de la pastura, tomando en cuenta el costo económico que esto representa.

Considerando el bajo aporte de proteína cruda y los altos contenidos de fibra neutro detergente y fibra ácido detergente del pasto diamantes en la finca evaluada, es recomendable analizar la ración alimenticia que reciben los animales, y en caso necesario, suplementar los nutrientes requeridos por los animales para mantener su potencial productivo.

Ante las pérdidas de biomasa observadas en el pasto estrella africana en la Región Central, una práctica recomendable es aportar materia orgánica al suelo con el fin de mejorar su capacidad para retener humedad. Una alternativa consiste en dispersar el agua de boñiga generada en el lavado de las instalaciones de la lechería, principalmente durante la época seca.

Debido a que los pastos kikuyo y ryegrass contienen poca materia seca y fibra neutro detergente, se recomienda suministrar fibra efectiva en la dieta para propiciar la rumia en los animales, principalmente durante el periodo lluvioso, con el propósito de prevenir problemas de acidosis ruminal por uso excesivo de alimentos balanceados.

Los cambios en la producción de biomasa y la calidad nutricional de los pastos durante las estaciones climáticas sugieren la necesidad de ajustar el pastoreo de acuerdo a la oferta de biomasa, cantidad de animales a pastorear y tamaño del aparcadero, esto con el

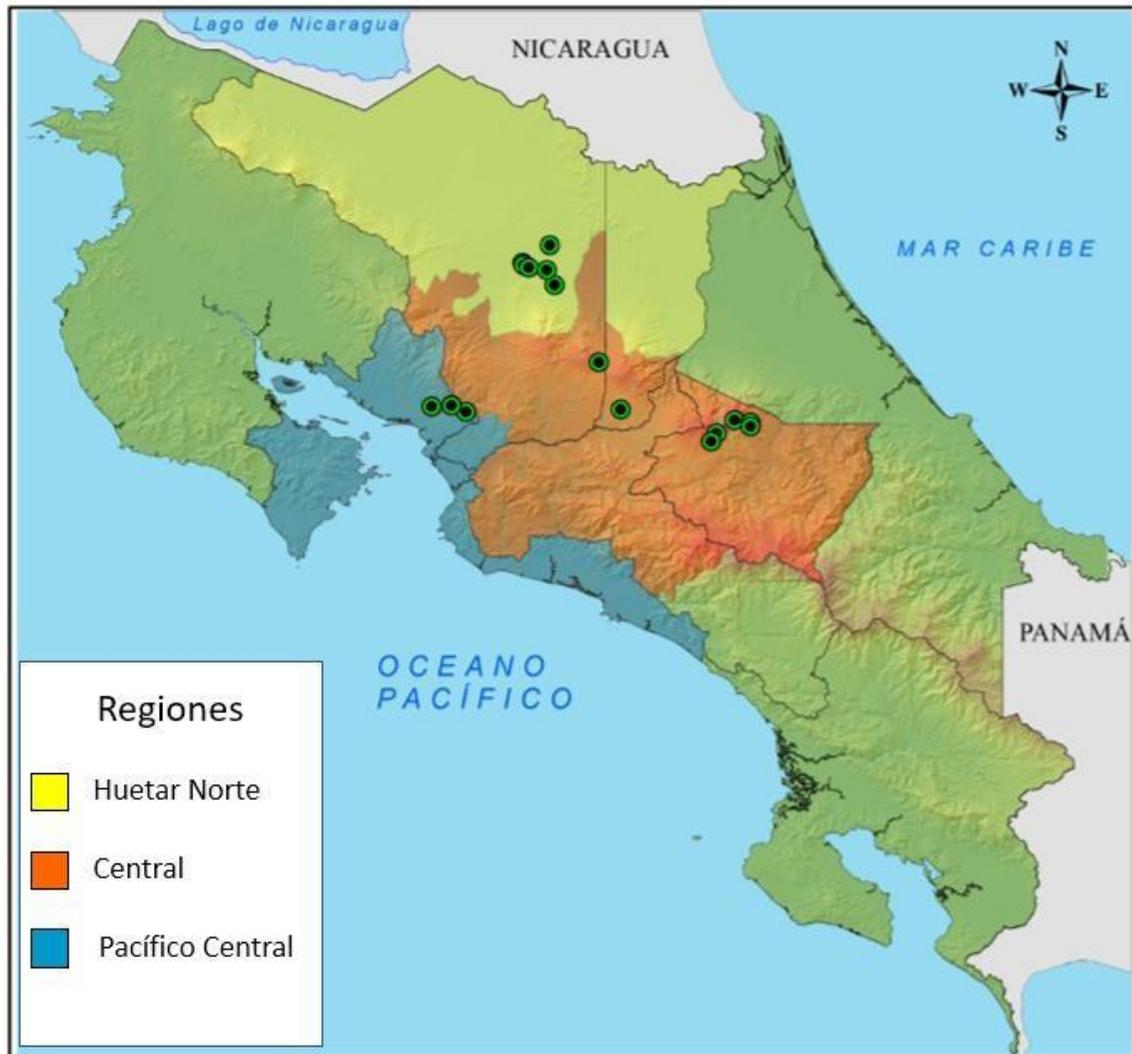
fin de disponer la cantidad de materia seca requerida por animal por día, de tal forma que le permita optimizar su consumo voluntario. Con esto se evitaría el sub y sobrepastoreo de los pastos en las épocas lluviosa y seca.

Se recomienda evitar pastorear las especies evaluadas posterior a los 42 días de rebrote, debido a la reducción considerable que presenta el contenido de proteína cruda y digestibilidad *in vitro* de la materia seca, y al incremento en los componentes de la pared celular que ocurre posterior a esta edad.

Considerando los alcances de la presente investigación, en términos generales se sugiere que durante la época lluviosa, los periodos de rotación de las pasturas sean realizados en edades de entre 28 y 42 días, debido a que durante éste período se observan las mayores tasas de crecimiento de los pastos. En cambio, durante la época seca se sugiere que las rotaciones de las pasturas sean menores a 28 días, debido a que posterior a esta edad se disminuye la producción de biomasa y la cantidad de ciclos de pastoreo, lo que representa menor biomasa al año.

## ANEXOS

Anexo 1. Localización regional de las fincas seleccionadas para realizar las evaluaciones de los pastos.



**Anexo 2. Piso altitudinal de las fincas utilizadas en el muestreo de los pastos.**

<b>Especie de pasto</b>	<b>Ubicación Regional</b>	<b>Finca</b>	<b>Altitud, ( msnm)</b>
Diamantes ( <i>Brachiaria brizantha</i> )	Pacífico Central	1	180
		2	270
		3	425
		<b>Promedio</b>	<b>292</b>
Ratana ( <i>Ischaemum ciliare</i> )	Huetar Norte	1	80
		2	85
		3	85
		<b>Promedio</b>	<b>83</b>
Estrella africana ( <i>Cynodon nlemfuensis</i> )	Huetar Norte	1	90
		2	125
		3	250
		<b>Promedio</b>	<b>155</b>
Estrella africana ( <i>Cynodon nlemfuensis</i> )	Central	1	1265
		2	1440
		<b>Promedio</b>	<b>1353</b>
Kikuyo ( <i>Kikuyuochloa clandestina</i> )	Central	1	1850
		2	2210
		3	2465
		<b>Promedio</b>	<b>2175</b>
Ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> )	Central	1	1895
		2	2210
		3	2450
		4	2465
		<b>Promedio</b>	<b>2255</b>

**Anexo 3. Producción de materia seca (Kg.ha<sup>-1</sup>) de pastos de piso evaluados a cuatro edades de rebrote en sistemas en pastoreo en Costa Rica durante el 2016-2017.**

Pasto	Rebrote (días)	MS (Kg ha <sup>-1</sup> )		EE <sup>1</sup>	IC 95%, LI <sup>2</sup>	IC 95%, LS <sup>3</sup>	Pr >  t
Kikuyo	14	719,62	fgh	391,4	-75,0	1.514,3	0,0745
	28	2306,48	c	391,4	1.511,8	3.101,1	<0,0001
	42	4162,23	b	391,4	3.367,6	4.956,9	<0,0001
	56	6024,43	a	495,1	5.019,3	7.029,6	<0,0001
Ryegrass	14	1341,74	cdefg	303,2	726,2	1.957,3	<0,0001
	28	1984,41	cde	303,2	1.368,9	2.599,9	<0,0001
	42	3857,69	b	327,5	3.192,8	4.522,5	<0,0001
	56	3755,62	b	495,1	2.750,5	4.760,8	<0,0001
Estrella africana (Región Central)	14	-359,74	h	525,2	-1.425,9	706,4	0,4978
	28	732,12	efgh	525,2	-334,0	1.798,3	0,1721
	42	1338,41	cdefg	525,2	272,3	2.404,5	0,0154
	56	2262,39	cd	525,2	1.196,3	3.328,5	0,0001
Estrella africana (Huetar Norte)	14	936,20	defgh	391,4	141,6	1.730,8	0,0223
	28	1774,64	cdef	367,2	1.029,2	2.520,1	<0,0001
	42	2384,23	c	406,8	1.558,4	3.210,0	<0,0001
	56	3753,81	b	391,4	2.959,2	4.548,5	<0,0001
Diamantes	14	632,54	gh	350,1	-782,1	1.343,3	0,0794
	28	967,17	defg	350,1	256,4	1.677,9	0,0091
	42	1758,89	cdef	350,1	1.048,1	2.469,6	<0,0001
	56	2194,94	cd	350,1	1.484,2	2.905,7	<0,0001
Ratana	14	959,38	defg	350,1	248,6	1.670,1	0,0096
	28	1339,79	cdefg	350,1	629,0	2.050,5	0,0005
	42	1823,38	cde	350,1	1.112,6	2.534,1	<0,0001
	56	1985,49	cde	350,1	1.274,7	2.696,2	<0,0001

MS= materia seca

<sup>1</sup>Error Estándar

<sup>2</sup>Intervalos de confianza al 95% límite inferior

<sup>3</sup>Intervalos de confianza al 95% límite superior

Letras distintas en la misma columna, difieren estadísticamente (P<0,05)

**Anexo 4. Producción de materia seca (Kg.ha<sup>-1</sup>) de pastos de piso evaluados en época lluviosa y época seca en sistemas en pastoreo en Costa Rica durante el 2016-2017.**

Pasto (Región)	Época	MS (Kg.ha <sup>-1</sup> )		EE <sup>1</sup>	IC 95%, LI <sup>2</sup>	IC 95%, LS <sup>3</sup>	Pr >  t
Kikuyo (Central)	Lluviosa	4000,43	<sup>a</sup>	247,6	3448,8	4552,0	<,0001
	Seca	2605,95	<sup>bc</sup>	339,0	1850,6	3361,3	<,0001
Ryegrass (Central)	Lluviosa	3031,64	<sup>b</sup>	223,2	2534,4	3528,8	<,0001
	Seca	2438,09	<sup>bc</sup>	290,3	1791,3	3084,9	<,0001
Estrella africana (Central)	Lluviosa	2581,49	<sup>bc</sup>	303,2	1905,9	3257,1	<,0001
	Seca	-594,9	<sup>f</sup>	428,8	-1550,3	360,5	0,1955
Estrella africana (Huetar Norte)	Lluviosa	3225,31	<sup>ab</sup>	259,6	2646,8	3803,8	<,0001
	Seca	1199,13	<sup>de</sup>	290,3	552,3	1845,9	0,002
Diamantes (Pacífico Central)	Lluviosa	2100,98	<sup>c</sup>	247,6	1549,4	2652,6	<,0001
	Seca	675,8	<sup>e</sup>	247,6	124,2	1227,4	0,0212
Ratana (Huetar Norte)	Lluviosa	1080,28	<sup>e</sup>	247,6	528,7	1631,9	0,0014
	Seca	1973,74	<sup>cd</sup>	247,6	1422,1	2525,3	<,0001

MS= materia seca

<sup>1</sup>Error Estándar

<sup>2</sup>Intervalos de confianza al 95% límite inferior

<sup>3</sup>Intervalos de confianza al 95% límite superior

Letras distintas en la misma columna, difieren estadísticamente (P<0,05)

**Anexo 5. Valores de media, error estándar y probabilidad ( $\alpha=0.05$ ) de la producción de materia seca (Kg.ha<sup>-1</sup>) de especies de pasto evaluados a cuatro edades de rebrote durante época lluviosa y seca, en tres regiones de Costa Rica durante el 2016-2017.**

Pasto (Región)	Época	Días de rebrote	MS (Kg.ha <sup>-1</sup> )	EE	Pr >  t
Diamantes (Pacífico Central)	Lluviosa	14	417,8	495,12	0,4092
		28	1308,3	495,12	0,0161
		42	2737,7	495,12	<,0001
		56	3940,1	495,12	<,0001
	Seca	14	847,3	495,12	0,1033
		28	626,1	495,12	0,2214
		42	780,1	495,12	0,1316
		56	449,8	495,12	0,3750
Estrella africana (Región Central)	Lluviosa	14	494,6	606,40	0,4248
		28	2121,4	606,40	0,0024
		42	2445,8	606,40	0,0007
		56	5264,2	606,40	<,0001
	Seca	14	-1214,1	857,57	0,1730
		28	-657,2	857,57	0,4529
		42	231,1	857,57	0,7905
		56	-739,4	857,57	0,3993
Estrella africana (Huetar Norte)	Lluviosa	14	1410,1	495,12	0,0103
		28	2146,1	542,38	0,0008
		42	3720,6	542,38	<,0001
		56	5624,4	495,12	<,0001
	Seca	14	462,3	606,40	0,4552
		28	1403,2	495,12	0,0106
		42	1047,9	606,40	0,1002
		56	1883,2	606,40	0,0058
Kikuyo (Central)	Lluviosa	14	800,8	495,12	0,1223
		28	2809,8	495,12	<,0001
		42	4277,9	495,12	<,0001
		56	8113,3	495,12	<,0001
	Seca	14	638,5	606,40	0,3056
		28	1803,2	606,40	0,0078
		42	4046,6	606,40	<,0001
		56	3935,6	857,57	0,0002

**Anexo 6. (Continuación...)**

Pasto (Región)	Época	Días de rebrote	MS (Kg.ha <sup>-1</sup> )	EE	Pr >  t
Ratana (Huetar Norte)	Lluviosa	14	525,3	495,12	0,3020
		28	798,3	495,12	0,1234
		42	1186,1	495,12	0,0271
		56	1811,4	495,12	0,0017
	Seca	14	1393,4	495,12	0,0111
		28	1881,3	495,12	0,0012
		42	2460,6	495,12	<,0001
		56	2159,6	495,12	0,0003
Ryegrass (Central)	Lluviosa	14	1229,8	428,79	0,0098
		28	1941,6	428,79	0,0002
		42	4719,7	428,79	<,0001
		56	4235,4	495,12	<,0001
	Seca	14	1453,7	428,79	0,0031
		28	2027,2	428,79	0,0001
		42	2995,6	495,12	<,0001
		56	3275,9	857,57	0,0012

**Anexo 6. Contenidos de materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y digestibilidad in vitro de la MS (DIVMS) de pastos evaluados a cuatro edades de rebrote durante época lluviosa y seca, en tres regiones de Costa Rica durante el 2016-2017.**

Pasto (Región)	Época	Días de rebrote	Contenido (%)				DIVMS (%)
			MS	PC	FND	FAD	
Diamantes (Pacífico Central)	Lluviosa	14	26,7 <sup>hi</sup>	4,7 <sup>pqr</sup>	60,4 <sup>defg</sup>	31,2 <sup>hij</sup>	63,3 <sup>ghijklm</sup>
		28	30,2 <sup>fg</sup>	4,7 <sup>pqr</sup>	58,4 <sup>fghi</sup>	29,9 <sup>ijkl</sup>	64,6 <sup>fghijkl</sup>
		42	28,5 <sup>gh</sup>	5,0 <sup>opq</sup>	57,4 <sup>ghijk</sup>	30,9 <sup>hij</sup>	65,1 <sup>efghijkl</sup>
		56	33,0 <sup>def</sup>	4,7 <sup>pqr</sup>	57,8 <sup>fghij</sup>	29,8 <sup>ijkl</sup>	61,2 <sup>ijklmno</sup>
	Seca	14	47,1 <sup>b</sup>	2,7 <sup>qr</sup>	66,4 <sup>c</sup>	39,8 <sup>b</sup>	56,4 <sup>lmnopqrs</sup>
		28	41,6 <sup>c</sup>	2,8 <sup>qr</sup>	63,7 <sup>cd</sup>	36,0 <sup>cdef</sup>	61,1 <sup>ijklmno</sup>
		42	55,7 <sup>a</sup>	2,0 <sup>r</sup>	57,3 <sup>ghijk</sup>	36,5 <sup>bcdef</sup>	56,8 <sup>lmnopqrs</sup>
		56	56,9 <sup>a</sup>	1,9 <sup>r</sup>	59,2 <sup>fgh</sup>	36,8 <sup>bcde</sup>	53,7 <sup>nopqrst</sup>
Estrella africana (Central)	Lluviosa	14	21,8 <sup>lmno</sup>	20,7 <sup>b</sup>	47,8 <sup>rst</sup>	23,0 <sup>r</sup>	74,5 <sup>bcde</sup>
		28	23,9 <sup>ijkl</sup>	17,2 <sup>cd</sup>	52,9 <sup>lmno</sup>	24,4 <sup>opqr</sup>	73,4 <sup>bcdef</sup>
		42	23,9 <sup>ijkl</sup>	17,2 <sup>cd</sup>	57,2 <sup>ghijk</sup>	27,2 <sup>klmno</sup>	68,0 <sup>defghi</sup>
		56	25,0 <sup>ij</sup>	11,1 <sup>ghij</sup>	59,6 <sup>efgh</sup>	30,6 <sup>hij</sup>	53,8 <sup>nopqrst</sup>
	Seca	14	33,3 <sup>de</sup>	13,4 <sup>fgh</sup>	54,5 <sup>ijklm</sup>	28,2 <sup>ijklm</sup>	61,7 <sup>ijklmno</sup>
		28	34,1 <sup>d</sup>	4,7 <sup>opqr</sup>	63,7 <sup>cd</sup>	39,2 <sup>bc</sup>	45,7 <sup>t</sup>
		42	30,5 <sup>efg</sup>	9,6 <sup>jklm</sup>	57,3 <sup>ghijk</sup>	31,2 <sup>hij</sup>	52,3 <sup>opqrst</sup>
		56	22,6 <sup>jklmn</sup>	12,8 <sup>fghi</sup>	55,9 <sup>hijkl</sup>	29,5 <sup>ijkl</sup>	57,2 <sup>klmnopqr</sup>

Anexo 6. (Continuación...)

Pasto (Región)	Época	Días de rebrote	Contenido (%)				DIVMS (%)
			MS	PC	FND	FAD	
Estrella africana (Huetar Norte)	Lluviosa	14	17,0	16,9	71,1	37,0	59,9
		28	24,3	10,8	57,9	29,9	56,8
		42	26,7	9,3	64,1	33,5	51,6
		56	25,5	8,0	81,3	43,9	47,6
	Seca	14	20,1	10,6	59,4	31,8	53,6
		28	24,8	10,0	61,9	32,4	57,1
		42	25,1	10,1	63,9	32,4	57,5
		56	19,1	6,8	63,7	35,0	50,5
Kikuyo (Central)	Lluviosa	14	15,6	27,4	49,4	27,3	86,5
		28	15,8	24,9	51,6	25,6	79,7
		42	20,2	9,1	44,1	22,8	81,6
		56	12,8	18,5	48,9	23,7	73,9
	Seca	14	18,3	17,1	52,6	25,8	66,6
		28	14,8	18,7	47,6	24,4	66,9
		42	15,1	19,6	48,1	23,7	71,7
		56	17,9	13,9	57,0	32,0	50,3
Ratana (Huetar Norte)	Lluviosa	14	14,5	8,8	60,9	38,3	62,1
		28	23,2	7,6	50,2	25,9	58,8
		42	22,0	10,7	47,4	23,1	73,2
		56	18,2	8,9	52,1	26,8	60,7
	Seca	14	16,2	7,2	52,3	34,8	57,6
		28	18,8	9,5	53,7	36,8	54,8
		42	23,3	6,0	54,0	34,5	59,6
		56	15,2	8,0	54,0	33,8	60,8

**Anexo 6. (Continuación...)**

Pasto (Región)	Época	Días de rebrote	Contenido (%)				DIVMS (%)					
			MS	PC	FND	FAD						
Ryegrass (Central)	Lluviosa	14	14,5	tu	13,1	fg	49,1	opqrs	25,8	mnpqr	67,4	defghi
		28	9,6	w	19,2	bc	49,5	opqrs	28,2	klm	73,1	bcdef
		42	9,3	w	17,3	cd	56,0	hijkl	30,0	ijk	76,5	bcd
		56	10,9	vw	14,0	efg	58,2	fghi	32,3	hgi	72,9	bcdef
	Seca	14	14,5	tu	20,3	b	42,3	vw	24,9	nopqr	71,5	cdefgh
		28	14,8	tu	19,3	bc	39,2	w	24,5	opqr	77,9	abc
		42	10,0	vw	14,5	def	43,5	uv	27,0	klmnop	67,7	defghi
		56	15,2	stu	14,9	def	48,4	pqrs	29,5	ijkl	62,8	ghijklmn
	EE			1,04		1,02		1,44		1,15		3,32

MS: Materia Seca, PC: Proteína Cruda, FND: Fibra Neutro Detergente, FAD: Fibra Ácido Detergente, DIVMS: Digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca

Letras distintas en la misma columna, difieren estadísticamente (P<0,05)

## **Anexo 7. Normas para publicación en la Revista Alcances Tecnológicos del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) de Costa Rica.**

### **Redacción de documentos**

En la redacción de los artículos se deben utilizar las normas de la Real Academia Española y las unidades de medida del Sistema Métrico Decimal. • Las unidades no llevan punto, se escriben con minúscula y no tienen plural. Algunos ejemplos son: kilogramo (kg), gramo (g), metro (m), hectárea (ha), milímetro (mm), miligramo (mg) litro (l), metros sobre el nivel del mar (msnm). • Los elementos (N, P entre otros) y los compuestos químicos (como, por ejemplo: NaOH, NaCl) se escriben con mayúscula. • Cuando las unidades no están precedidas por un número, se expresan por su nombre completo sin utilizar su abreviatura. Por ejemplo: metro en lugar de m. • Los decimales se indican con coma; los miles y los millones con un espacio. Ejemplo: 8 327 451,25. Los números de cuatro cifras se escriben sin espacios. Ejemplo: 2458.

En el caso de los números del cero al nueve, cuando no van seguidos de unidades, se escriben con palabra; y números para valores iguales o mayores a 10. 2. Cuando en los artículos se citan productos de origen químico o biológico, se deben utilizar solamente los nombres genéricos. Ejemplos: Terbufos, Oxidemeton Metil. No se acepta el uso de nombres comerciales. Además, los productos mencionados deben estar registrados y aprobados (para el cultivo) en la base de datos del Registro de Insumos y Fiscalización del Servicio Fitosanitario del Estado. Disponible en <https://www.sfe.go.cr/> 3. Los cuadros y figuras que no son propiedad del autor, deben poseer fuente.

### **Formato para cada sección de los documentos**

#### **Título**

Tiene que ser breve, específico, resumido, en mayúscula y en negrita. No más de 14 palabras. Él o los autores deben indicar los nombres científicos en cursiva, cuando consideren que el nombre común no es muy conocido (Agronomía Mesoamericana 2017).

Lo que no se recomienda en los títulos (Araya 2012).

Estudio sobre...

Informe de...

Investigación acerca de...

Contribución a...

Resultados de un estudio sobre...

Análisis de los resultados...

Los nombres científicos (género, especie, cultivar y el nombre del clasificador) deberán ser citados para cada organismo en su primera mención, posteriormente se puede continuar usando el nombre común.

### **Título resumido**

No debe ser mayor a ocho palabras (Agronomía Mesoamericana 2017).

### **Autor(es)**

Se consideran autores los individuos o entidades responsables de los contenidos intelectuales de las publicaciones. El orden en el que se mencionan va de acuerdo con su contribución y aportes en la investigación y se colocan debajo del título. Con una nota al pie de página indicando la institución para la cual labora(n), la dirección postal y electrónica. Se omiten los grados académicos. El número total de autores no debe ser superior a seis.

### **Resumen**

Se coloca después del nombre de los autores y presenta en forma concisa el mensaje del artículo, describiendo brevemente los materiales y condiciones más relevantes del experimento. Debe indicar el año y lugar, los resultados obtenidos y las conclusiones más importantes. Las oraciones usadas deben ser racionales, objetivas y justificar el porqué de la investigación y el objetivo, evitando describir directamente los materiales y métodos. La extensión no debe exceder las 250 palabras a espacio seguido y en un solo párrafo.

### **Palabras clave**

Debajo del resumen se deben incluir de cinco a siete palabras o frases clave, no deben formar parte del título.

## **Introducción**

Define el problema que motiva la investigación y al final de esta sección se indican los objetivos o razones del estudio. Pueden incluirse citas bibliográficas para ayudar a la definición del problema y del trabajo. La extensión de esta debe ser de aproximadamente 350 palabras (MAG 1990).

## **Materiales y métodos**

En esta sección se recomienda describir en forma bien detallada la ubicación, la fecha de inicio y término, el ambiente, los materiales (si se usa equipo de medición, incluir marca y modelo), las técnicas, los tratamientos, el diseño experimental, los análisis estadísticos y las variables a evaluar expuestas con suficiente claridad para que otros científicos puedan repetir el estudio. Si el método es muy conocido, solamente se incluyen referencias bibliográficas aclaratorias; si es nuevo o modificado se debe escribir nuevamente. Escribir en orden cronológico (MAG 1990).

## **Resultados y discusión**

Ambas partes deben ir juntas. Los resultados describen la información generada por la investigación; debe escribirse en forma concisa y siguiendo una secuencia lógica, usando cuadros y figuras, a los cuadros se les debe indicar su enunciado en la parte superior y a las figuras en la parte inferior, en ambos casos, si no son propiedad del autor se les debe anotar la fuente. Las fotografías, se anotan como figuras y su numeración se debe ajustar a la misma secuencia. Los cuadros se presentan sin divisiones internas. Los cuadros y figuras deben estar ubicados inmediatamente después de donde se mencionan, deben ser auto explicativos y la información debe presentarse en forma completa, clara y concisa, de tal forma que no se tenga que recurrir al texto para entender el resultado presentado.

Los decimales se deben usar de acuerdo al grado de precisión que se tomaron los datos, si no, se debe redondear apropiadamente. Además de la descripción del contenido de la figura, en el título debe contener el lugar y el año en que se hizo el trabajo de investigación. En la discusión la estadística se debe usar para explicar las diferencias de

los tratamientos, debe usarse como una herramienta para probar la(s) hipótesis propuesta(s), con una base objetiva. Suministrar la significancia de las pruebas. Se discutirán los resultados obtenidos, comparándolos con otros trabajos afines para dar interpretaciones o hacer deducciones lógicas sobre las diferencias o concordancias encontradas. En la discusión se debe explicar hasta qué punto los resultados obtenidos contribuyen a la solución del problema (limitantes) y qué puede traducirse en recomendaciones, aplicaciones, sugerencias e hipótesis (MAG 1990).

### **Conclusiones o consideraciones finales**

Van incluidas en la discusión.

### **Literatura citada**

La lista de la literatura citada, para todos los tipos de documentos aceptados, debe estar conformada por no menos de diez citas bibliográficas recientes (90 % de los últimos 10 años), las citas deben reforzar científicamente lo expresado en el documento, además deben ser de fácil acceso para consultar en centros de documentación, bibliotecas o internet. Se deben utilizar las Normas de Redacción (IICA-CATIE) en su 5 edición (IICA y CATIE 2016). Disponible en <http://repiica.iica.int/docs/B4013e/B4013e.pdf>

### **Literatura citada**

Agronomía Mesoamericana, Costa Rica. 2017. Instructivo para los autores/Instructions for authors. (en línea). San José, Costa Rica. 7 p. Consultado 28 abr. 2017. Disponible en <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/about/submissions#authorGuidelines>

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica); CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica). 2016. Redacción de referencias bibliográficas. 5 ed. San José, Costa Rica. Bibliotecas IICA-CATIE. 79 p.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 1990. Normas para la publicación de artículos científicos en la revista investigación agrícola. Investigación Agrícola 4(2):3-6.