

Artículo Científico

Sustitución de *Cratylia argentea* y *Erythrina poeppigiana* por guineo cuadrado en ensilados

Eduardo Montero-Durán<sup>1</sup>, Augusto Rojas-Bourrillon<sup>A2</sup>, Michael López-Herrera<sup>A3,✉</sup>

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la adición del guineo cuadrado sobre la calidad nutricional y fermentativa de ensilajes de *Cratylia argentea* y *Erythrina poeppigiana*. El estudio se llevó a cabo en Upala, Costa Rica, entre abril y noviembre de 2016. Se utilizó un diseño factorial completamente aleatorizado con 4 niveles de guineo cuadrado y 2 especies de leguminosas. Los ensilajes se realizaron en bolsas plásticas de 5 kg y se almacenaron durante 50 días. Al momento de la apertura, se midieron características bromatológicas de los ensilajes, así como los indicadores de fermentación. Se detectó que el guineo cuadrado afecta los indicadores fermentativos con valores de pH entre 4.3-4.8 y de lactato 1,61-3,91% de la MS. De la misma manera, el guineo cuadrado afecta la composición nutricional con concentraciones de proteína cruda, carbohidratos no fibrosos y fibra detergente neutro, que oscilaron entre 9,40-16,66; 21,78-57,88 y 21,15-48,55% de la MS, respectivamente. El contenido de energía se incrementó conforme aumentó la cantidad de guineo cuadrado en la mezcla, la energía de los ensilados fluctuó entre 1,38-1,73 Mcal/kg MS. En conclusión, todas las mezclas con guineo cuadrado presentaron características adecuadas para ser utilizadas como suplemento de rumiantes, aunque se obtuvieron los mejores resultados en los niveles de 15 y 30%.

**Palabras clave:** Conservación de forrajes, fermentación, rumiantes, nutrición animal, *Musa*, ensilaje.

<sup>1</sup> Corporación Ganadera (CORFOGA), San José, Costa Rica. Correo electrónico: eduardomontero13@gmail.com

<sup>A</sup> Universidad de Costa Rica, Escuela de Zootecnia, Centro de Investigación en Nutrición Animal, San José, Costa Rica

<sup>A2</sup> Autor para correspondencia: michael.lopez@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-4301-9900>),

<sup>A3</sup> Correo electrónico: augusto.rojas@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-9834-2361>)

Recibido: 24 junio 2021 Aceptado: 25 octubre 2021

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0.



## ABSTRACT

### Substitution of *Cratylia argentea* and *Erythrina poeppigiana* by Square banana in Silages.

The objective of this research was to evaluate the effect of the addition of Square banana on the nutritional and fermentative quality of silages of *Cratylia argentea* and *Erythrina poeppigiana*. The study was carried out in Upala, Costa Rica from April to November 2016. A completely randomized factorial design was used with 4 levels of Square banana and 2 species of legumes. Silages were made in 5 kg plastic bags and stored during 50 days. At the opening, bromatological characteristics of silages were measured, as well as the fermentation indicators. It was detected that the Square banana affects fermentation with pH values ranging from 4.3-4.8 and lactate 1.61-3.91% DM. In the same way, the Square banana affects the nutritional value, with concentrations of crude protein, non-fibrous carbohydrates and neutral detergent fiber that ranged between 9.40-16.66, 21.78-57.88 and 21.15-48.55% of DM, respectively. The energy content increased as the amount of Square banana did in the mixture, the energy of the silage fluctuated between 1.38-1.73 Mcal/kg DM. In conclusion, all the silages with Square banana presented adequate characteristics to be used as a ruminant supplement, although the best results were obtained at 15% and 30% levels.

**Keywords:** Forage preservation, fermentation, ruminants, animal nutrition, *Musa*, silage.

## INTRODUCCIÓN

Las gramíneas son el recurso alimenticio principal en las dietas de bovinos en condiciones tropicales. Sin embargo, estas suelen ser bajas en proteína, carbohidratos y digestibilidad (López-Vigoa et al., 2017). Además, son afectadas por los patrones climáticos, condiciones ambientales, que pueden llegar a afectar el consumo de nutrimentos y productividad de los animales (Poppi et al., 2018). Otros factores que pueden influir sobre la productividad de los animales son el cultivo y la edad fisiológica (Elizondo-Salazar, 2017).

Estas situaciones exigen la búsqueda de alternativas alimenticias que favorezcan un adecuado consumo de nutrientes y la productividad, además de ser al menor costo posible (Rojas-Cordero et al., 2020). Los sistemas silvopastoriles combinan los pastos con especies de arbustos o árboles, en diferentes tipos de arreglos dentro de los sistemas ganaderos (Montagnini, 2015). Este tipo de sistemas contribuyen a recuperar la

biodiversidad y los procesos biológicos en las áreas ganaderas, lo que se ha traducido en incrementos en la productividad y los retornos económicos favorables a los productores (Murgueitio et al., 2014).

Las plantas forrajeras arbustivas que se utilizan como parte de un sistema silvopastoril permiten proveer los nutrientes que los animales requieren, principalmente proteína (Franzel et al., 2014). No obstante, se recomienda complementar estos recursos con fuentes energéticas que compensen el bajo contenido calórico de los forrajes y optimizar el aprovechamiento de los nutrientes (Jiménez-Ferrer et al., 2015).

La *Cratylia* (*Cratylia argentea* Desv. O. Kuntze) es una planta originaria de Sudamérica, con capacidad para adaptarse a condiciones de sequía prolongadas (>6 meses) y suelos ácidos (Valles-de la Mora et al., 2017). Además, suele poseer mayor concentración de proteína cruda en comparación con pastos tropicales (Roa-Vega et al., 2017). Debido a este mayor aporte de proteína, se han detectado mejoras en la ganancia diaria de peso en bovinos (González-Arcía et al., 2012). Por otra parte, el Poró (*Erythrina poeppigiana*) es un árbol forrajero originario de Mesoamérica que posee alto contenido de proteína cruda (20-25%), el cual puede ser aprovechado por bovinos con dietas de pastos bajos en proteína (Jiménez-Ferrer et al., 2015). Ambas especies han sido usadas en sistemas de corte y acarreo para utilizarlas de manera fresca o ensilada (Sánchez-Sarmiento et al., 2010).

El guineo cuadrado es un híbrido triploide (*Musa acuminata* x *Musa balbisiana*) del grupo ABB (Mohapatra et al., 2010). Los frutos de musáceas han demostrado ser una fuente de energía interesante, disponible en condiciones tropicales, con una concentración de carbohidratos no fibrosos mayor de 69%, principalmente en forma de almidón (Alvarez-Brito et al., 2020). Su uso recomendado es en estado inmaduro, ya que así es fácilmente mecanizable y posee mayor concentración de almidón en comparación con azúcares solubles (López-Herrera, 2019).

Su uso como aditivo para ensilaje ha sido demostrado anteriormente, ya que mejora el aporte de energía donde se han alcanzado valores que oscilan entre 58 – 70% del total de nutrientes digestibles de acuerdo con la cantidad de guineo cuadrado utilizada en el

ensilado (López-Herrera et al., 2019; Rojas-Cordero et al., 2020). Sin embargo, puede llegar a disminuir la concentración de proteína final en los ensilados, sobre todo cuando se combina con materiales de bajo contenido de proteína cruda, donde se han obtenido concentraciones de 4,2-5,7% de la MS (López-Herrera et al., 2017), las cuales podrían comprometer el adecuado funcionamiento del rumen (Calsamiglia et al., 2010).

El ensilaje es una técnica de conservación de forraje por vía húmeda, que consiste en almacenar forrajes en estado verde u otros materiales vegetales en ausencia de oxígeno (Villa et al., 2010). Este proceso se logra por medio de la fermentación láctica espontánea inducida por la microbiota epífita en los forrajes, en particular las BPAL (bacterias productoras de ácido láctico) (Driehuis et al., 2018). Los ensilados son materiales que se utilizan como recursos alimenticios en épocas donde los pastos pierden sus atributos nutricionales, esto permite que los productores puedan sostener la carga animal o sostener la productividad en momento críticos del año (Wilkinson y Rinne, 2018).

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de sustituir follaje de *Cratylia argentea* o *Erythrina poeppigiana* por fruto inmaduro de guineo cuadrado (*M. acuminata* x *M. balbisiana*, Grupo ABB) sobre la calidad del ensilaje y la composición química de mezclas ensiladas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló entre marzo y julio de 2016 con materiales forrajeros y frutos de guineo cuadrado (GC) que fueron obtenidos de una finca comercial localizada en el cantón de Upala, provincia de Alajuela. Esta zona posee una temperatura media de 26 °C, con una precipitación total media de 2400 mm/año (IMN, 2017). El ensilaje y los análisis de laboratorio se llevaron a cabo en el Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica (UCR), ubicado en Montes de Oca, Costa Rica.

El forraje de Poró (*Erythrina poeppigiana*) fue cosechado de cercas vivas sembradas a 2 m entre árboles, con 10 años de establecidas y que rodean los repastos que son consumidos

por toros de engorde. Por otra parte, la *Cratylia* (*Cratylia argentea*) se obtuvo de un banco forrajero de 8 años de establecido, con densidad de 10.000 plantas/ha, sin aplicación de fertilizantes y cuyo control de arvenses se realiza por medio de ingreso de caballos. Ambos materiales forrajeros fueron cosechados a los 75 días de rebrote.

El GC se cosechó de una plantación orgánica cuya densidad fue 3 m entre plantas, el fruto se recolectó cuando estaba desarrollado, engrosado, pero no madurado. La composición nutricional de los materiales utilizados en el experimento se describe en el Cuadro 1. Los materiales fueron picados con picadora eléctrica de cuchillos hasta obtener un tamaño de partícula aproximado de 2,5 cm, luego se mezclaron y empacaron de forma manual en microsilos, con bolsas de polietileno de 0,0063 mm de grosor para empaque al vacío con capacidad para 5,0 kg.

Cuadro 1. Valor nutricional de los alimentos utilizados para la preparación de los tratamientos ensilados.

	Guineo cuadrado	Cratylia	Poró
MS (%)	25,01	27,40	25,15
PC (% MS)	4,10	15,33	16,80
FDN (%MS)	8,30	57,51	47,73
Lignina (%MS)	5,30	13,21	11,50
CNF (%MS)	84,90	13,10	19,63
TND (%)	88,60	54,40	62,70

Materia Seca (MS), Proteína cruda (PC), Fibra en detergente neutro (FDN), Carbohidratos no fibrosos (CNF) y Total de nutrientes digestibles (TND)

Los forrajes y GC se combinaron de acuerdo a un diseño factorial completamente aleatorizado, con cuatro niveles de GC (0%, 15%, 30% y 45% p/p) y 2 especies de leguminosas (*Cratylia* y Poró), que formaron los 8 tratamientos que fueron analizados. A todos los tratamientos se les agregó un único nivel de melaza (5% p/p) e inóculo bacterial a razón de 1 L/t, sin utilizar sello de sal en el área de cerrado de la bolsa. Cada tratamiento contó con 4 repeticiones para un total de 32 microsilos. Además, cada microsilo fue considerado como una unidad experimental al momento del muestreo y de analizar los ensilados.

La compactación del forraje se hizo manualmente, mientras que la extracción del aire de los silos se realizó por medio de una aspiradora doméstica para ser selladas con cinta plástica adhesiva. Posterior al sellado, los silos fueron transportados y almacenados en un laboratorio de la UCR, donde se mantuvieron aislados bajo condiciones ambientales controladas (temperatura de 25 °C y humedad relativa >80%) durante 50 días.

Una vez abiertos los microsilos, se separaron 2 submuestras:

La primera se mantuvo fresca para la determinación de los indicadores fermentativos. El pH se midió con un potenciómetro con electrodo de hidrógeno por medio de la metodología propuesta por la OMS (2007); el nitrógeno amoniacal mediante la metodología descrita en AOAC (1998); y el ácido láctico se determinó de acuerdo con el método indicado en Ewen (2011) con un sistema de Cromatografía Líquida de Alto Rendimiento (HPLC) modelo 1260 de Agilent Technologies con una columna Agilent Hi-Plex H.

La segunda submuestra se secó y molió para realizar los análisis de composición nutricional: materia seca, proteína cruda (PC= N\*6,25), extracto etéreo y cenizas por los métodos indicados en AOAC (1998). La medición de la fibra detergente neutro y lignina fue realizada según los métodos de Van Soest et al. (1991); la fibra detergente neutro digestible y digestibilidad de la fibra detergente neutro por las ecuaciones descritas por Detmann et al. (2008); los carbohidratos no fibrosos utilizando la ecuación descrita en Detmann y Valadares-Filho (2010); la energía total de nutrientes digestibles totales se estimó por medio de las ecuaciones descritas en Detmann et al. (2008); y la energía neta de lactación se estimó con las ecuaciones del NRC (2001).

Los datos recopilados se analizaron por medio de modelos lineales generalizados y mixtos utilizando el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2019) donde se consideraron como efectos principales la especie de leguminosa y el nivel de sustitución por guineo cuadrado, así como la interacción entre ambos efectos, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$y_{ijk} = \mu + F_i + G_j + (F \times G)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

$\mu$ = media general

F= Efecto i-esimo del tipo de forraje

G= Efecto j-esimo de nivel de inclusión de Guineo cuadrado

FxG= Efecto de la interacción del tipo de leguminosa y el nivel de inclusión de Guineo cuadrado

E= Error experimental  $E \sim (0, \sigma^2)$

También se analizó la relación entre las variables utilizando coeficientes de correlación de Pearson. En todo momento se declaró significancia cuando  $p < 0.05$ ; por otra parte, cuando  $p = 0.05$  pero  $< 0.1$  se declaró como tendencias de los efectos. Las diferencias entre medias se determinaron con la prueba de Tukey cuando  $p < 0.05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Materia seca e indicadores fermentativos

El contenido de materia seca de los ensilados fue influenciado por la interacción entre la especie leguminosa y la cantidad de GC utilizado en los tratamientos ( $p < 0.001$ ). Tal y como se observa en el Cuadro 2, los tratamientos manufacturados utilizando *Cratylia* presentaron en promedio mayor contenido de materia seca (29,39%) comparados con los tratamientos en los que se utilizó Poró (23,40%). Mientras que el contenido de materia seca es diferente cuando el porcentaje de sustitución por fruto de GC alcanza 45%, sin diferencias en menores porcentajes de sustitución.

Cuadro 2. Medias de materia seca, pH, nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>/NT) y lactato de los tratamientos ensilados después de 50 días de fermentación.

Forraje	Guineo cuadrado	Materia seca (%)	pH	NH <sub>3</sub> /NT (%)	Lactato (% MS)
Poró	0	21,98 <sup>a</sup>	4.8	5,6	3,07
	15	24,14 <sup>b</sup>	4.8	5,6	3,10
	30	23,81 <sup>b</sup>	4.5	5,3	2,01
	45	23,64 <sup>b</sup>	4.5	6,2	1,61
Cratylia	0	32,23 <sup>e</sup>	4.4	7,2	2,11
	15	28,60 <sup>d</sup>	4.4	7,5	3,41
	30	29,17 <sup>d</sup>	4.3	7,1	3,91
	45	27,55 <sup>c</sup>	4.3	7,1	2,06
<b>E.E*</b>		0,36	0.10	0,35	0,28
<b>Valor p</b>					
<b>Forraje (F)</b>		<0.001	0.001	<0.001	0.127
<b>Guineo cuadrado (G)</b>		0.004	0.048	0.623	0.465
<b>F*G</b>		<0.001	0.554	0.412	0.579

\* Error estándar de la media. Valores con letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes (p<0.05).

El contenido de materia seca de los ensilados presentó dos comportamientos de acuerdo a la especie de leguminosa. En el caso de los tratamientos en que se utilizó Cratylia, conforme se aumentó la sustitución del forraje por fruto a 45%, se redujo el contenido de materia seca en el ensilado; mientras que en los tratamientos con Poró, el efecto de cambio en la materia seca sucedió al incluir guineo cuadrado, aunque no se encontraron diferencias entre los niveles de fruto en los ensilados.

Los contenidos de materia seca en los forrajes frescos son menores a los deseados para un adecuado proceso de ensilaje de acuerdo a lo descrito en el trabajo de Borreani et al. (2018), donde se indica que este valor debe ser mayor a 35% pero menor a 45%; lo cual puede conducir a la formación de efluentes en el silo y pérdidas de calidad nutricional en el material final (Griswold et al., 2010). Sin embargo, no fue posible medir la formación de efluentes debido a la dificultad que ofrece la técnica de microsilos de bolsa utilizada (Rojas-Cordero et al., 2020).

La especie leguminosa y el uso del GC tuvieron un efecto significativo sobre el valor de potencial de hidrógeno en los tratamientos (p=0.001 y p=0.048, respectivamente). De esta manera, los tratamientos elaborados con Cratylia presentaron valores menores de

pH comparados con los tratamientos de Poró (4.36 vs 4.64). En cuanto al efecto del GC, se detectó que los promedios de los tratamientos 0% y 15% fueron mayores (4.63 y 4.59, respectivamente) que las medias obtenidas en los tratamientos con 30% y 45% (4.41 y 4.38, respectivamente), sin encontrar diferencias entre cada grupo de medias (Cuadro 2). También, se encontró una correlación negativa ( $\rho=-0.57$ ,  $p=0.002$ ) entre el contenido de materia seca y el valor de pH en los ensilados.

Aunque se indicó que la materia seca de estos ensilados podría considerarse desfavorables, se obtuvo valores de pH muy aceptables de acuerdo a lo indicado por Kung y Shaver (2001), quienes indican valores de pH que se encuentren entre 4.3-4.7 para ensilados de leguminosas. Además, Borreani et al. (2018), señalan que conforme aumenta el contenido de humedad en el forraje se podría incrementar el pH en que se estabiliza el proceso de ensilaje.

El uso de materiales con alto contenido de proteína como las leguminosas supone un desafío para el ensilaje debido a que incrementa la capacidad amortiguadora del forraje (Giger-Reverdin et al., 2002). Por ello se debe incrementar la cantidad de carbohidratos solubles si se desea mantener un adecuado proceso fermentativo y evitar el desarrollo de fermentaciones desfavorables como la provocada por las bacterias clostridiales, que consumen el ácido láctico y descomponen el forraje (Borreani et al., 2018). Sin embargo, los valores de pH no se vieron afectados por la capacidad amortiguadora del forraje, debido a la adición de melaza que tiene alto contenido de carbohidratos solubles (Yitbarek y Tamir, 2014). Sin el uso de melaza se hubiesen tenido valores mayores de pH como se encontró en el trabajo de López-Herrera et al. (2017), ya que el almidón presente en el fruto de guineo cuadrado no participa como fuente de energía para las bacterias (López-Herrera y Briceño-Arguedas, 2017), porque las enzimas capaces de degradarlo se inactivan en condiciones de pH ácido, propias del ensilaje (Ning et al., 2017).

La concentración de nitrógeno amoniacal fue afectada de manera significativa por la especie de leguminosa ( $p<0.001$ ), mientras que el nivel de sustitución con GC no mostró ningún efecto sobre las medias de los tratamientos para esta variable. En este sentido, los tratamientos elaborados utilizando Poró como material forrajero presentaron menor

contenido de  $\text{NH}_3/\text{NT}$  (5,67%), en comparación con los tratamientos en los que se utilizó el forraje de *Cratylia* (7,20%). Para esta variable se encontró correlación positiva con el contenido de materia seca ( $\rho=0.63$ ,  $p<0.001$ ), pero no se determinó correlación alguna con la concentración de proteína cruda de los tratamientos ( $\rho=0.23$ ,  $p=0.201$ ). En cuanto al contenido de lactato, no se determinó un efecto que generara diferencias entre los tratamientos ensilados.

Los valores de nitrógeno amoniacal obtenidos en los tratamientos ensilados son menores que los obtenidos en los trabajos de investigación de Lazo-Salas et al. (2018), en ensilados de coronas de piña con uso de guineo cuadrado. Aunque sí presentó valores similares a los encontrados por López-Herrera et al. (2017) con ensilados de pasto *Cenchrus purpureus* con uso de guineo cuadrado, donde el forraje posee mayor contenido de humedad. Esto podría sugerir que existe una interacción entre la materia seca del forraje, la de los aditivos y los procesos propios de cada silo que podrían significar diferencias en el contenido final de nitrógeno amoniacal del ensilado.

La concentración de nitrógeno amoniacal de todos los tratamientos fue menor a la esperada para ensilados de buena calidad, aunque el valor de materia seca fue menor a 35%, todo esto de acuerdo a lo descrito por Kung y Shaver (2001). Por otra parte, López-Herrera y Briceño-Arguedas (2017) describen el efecto directo de la humedad sobre la concentración de nitrógeno amoniacal. En este último trabajo se encontró una correlación  $\rho=-0.75$  entre el contenido de materia seca y la cantidad final de nitrógeno amoniacal de la mezcla ensilada, contrario a lo encontrado en esta investigación ( $\rho=0.63$ ).

En el caso del lactato, si bien no se encontraron diferencias entre los tratamientos, la mayor parte de los ensilados mostraron una concentración de lactato mayor a 2% (Cuadro 2), los cuales se encuentran dentro del ámbito 2-8% MS, esperado para ensilados de leguminosas (Kung y Shaver, 2001). Los valores de concentración de lactato obtenidos en esta investigación fueron menores a los obtenidos por Heinritz et al. (2012) con ensilados de leguminosas, aunque similares a Bijelić et al. (2015) con ensilados de alfalfa.

Esto debido a diferencias en la calidad nutricional de la especie forrajera, tipo de silo utilizado o condiciones en que se desarrolló el ensilaje.

### Componentes intracelulares

No se encontraron diferencias en el contenido de proteína cruda entre los tratamientos debidos a la especie forrajera, ya que el promedio de los tratamientos elaborados con *Cratylia* es estadísticamente igual (13,27% MS) al promedio de los tratamientos donde se utilizó Poró (13,55% MS). Por el contrario, se detectaron diferencias significativas debidas al nivel de sustitución por GC (Cuadro 3). Se pudo determinar que conforme se incrementa la cantidad de fruto, se reduce el contenido de proteína cruda en la mezcla ensilada. Así, el promedio de los tratamientos con nivel de sustitución 45% fue el más bajo con 10,11% de proteína cruda, mientras que el promedio de los tratamientos sin fruto de guineo cuadrado fue de 16,12% de proteína cruda. Esta disminución se atribuye principalmente a la concentración de proteína en los frutos de guineo cuadrado tal y como se observa en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Concentración de componentes intracelulares (% MS) de los ensilados de leguminosas con frutos de guineo cuadrado.

Forraje	Guineo cuadrado	Proteína cruda	Extracto etéreo	Carbohidratos no fibrosos	Cenizas
Poró	0	16,66	4,60	21,78	10,92
	15	14,91	4,24	37,96	8,49
	30	13,22	4,11	44,05	8,03
	45	9,40	4,34	57,88	7,24
Cratylia	0	15,55	3,28	24,40	8,22
	15	14,35	3,45	36,90	7,80
	30	12,35	3,74	49,20	7,78
	45	10,82	3,80	54,64	7,27
E.E.*		0,51	0,38	2,43	0,45
<b>Valor p de los efectos</b>					
Forraje (F)		0.445	0.011	0.618	0.010
Guineo cuadrado (G)		<0.001	0.948	<0.001	0.031
F*G		0.075	0.635	0.335	0.225

\* Error estándar de la media.

Los promedios de concentración de proteína cruda en ambas especies de leguminosas forrajeras fueron muy similares, tal y como se observa en el Cuadro 3; por esta razón no se encontraron diferencias significativas entre las medias del efecto de la especie de leguminosa. Por el contrario, el uso de fruto de guineo cuadrado impacta el contenido de proteína de los ensilados, ya que reduce la fracción proteica conforme se incrementa la cantidad de fruto en la mezcla ensilada, debido al bajo contenido de esta fracción presente en el fruto (Cuadro 1).

El contenido de proteína de todos los tratamientos fue superior a la concentración de proteína cruda de los ensilados de maíz reportados por Cubero et al. (2010) (8,68% MS). Sin embargo, la reducción en la proteína cruda que provoca el GC supone el uso de estos materiales como complemento alimenticio dentro de una dieta balanceada, ya que el consumo real de proteína puede verse afectado por el cambio en valor biológico de este nutriente. De acuerdo con Calsamiglia et al. (2010), las deficiencias en el aporte de proteína cruda podrían generar deficiencias en el metabolismo del nitrógeno en el rumen, sobre todo si su concentración es menor de 7% MS, o si se afecta el valor de la proteína en la dieta, porque se compromete el adecuado funcionamiento del rumen.

Aunque no se determinó en este experimento, otras investigaciones detectaron cambios al incrementar la cantidad de fruto de plátano Pelipita (otro triploide ABB) en ensilados de pasto Camerún. En este caso, se aumentó la concentración de proteínas ligadas a la fibra detergente neutro y a la fibra detergente ácida, lo que supone una disminución en la calidad de los compuestos nitrogenados, situación que podría influir sobre la productividad de los animales (López-Herrera et al., 2017; López-Herrera y Briceño-Arguedas, 2018).

El extracto etéreo fue afectado por la especie forrajera que se utilizó para la elaboración de los ensilados, donde se encontraron diferencias significativas ( $p=0.011$ ) entre las especies forrajeras (Cuadro 3). De esta manera, el promedio de los tratamientos elaborados con Poró presentaron mayor contenido de fracción lipídica (4,32% MS) en comparación con los ensilados en los que se utilizó *Cratylia* (3,57% MS) como fuente de forraje para el ensilaje. Por otra parte, no se encontraron diferencias

( $p= 0.948$ ) en el contenido de esta fracción de los tratamientos debidas al efecto del fruto de GC o por efecto de la interacción entre el forraje y el GC ( $p= 0.635$ ).

De acuerdo con Church et al. (2003), materiales que aporten <10% MS no tienen un aporte significativo en el contenido energético, sobre todo si se tiene en consideración que esta fracción tiene una concentración importante de esteroides de baja digestibilidad y ceras en materiales forrajeros. A pesar de esto, todos los tratamientos mostraron un contenido de extracto etéreo mayor al obtenido por Castillo-Jiménez et al. (2009) con ensilados de asociaciones Maíz-Vigna (*Vigna radiata*) (1,73% MS). Estas diferencias pueden ser debidas al contenido de esta fracción en los diferentes forrajes o en los aditivos.

Por su parte, el contenido de carbohidratos no fibrosos (CNF) no presentó diferencias debidas a la especie de leguminosa, aunque sí se detectaron diferencias significativas en los promedios de los tratamientos debidas al uso del fruto de GC (Cuadro 3). Estas diferencias entre los tratamientos se deben al alto contenido de esta fracción en el fruto de guineo cuadrado en comparación con el contenido de CNF en el forraje de las leguminosas (Cuadro 1). De esta manera, el promedio de los tratamientos donde no se utilizó GC fue el de menor concentración de CNF (23,09% MS), mientras que el promedio de los tratamientos con 45% de sustitución presentó el mayor contenido de esta fracción (56,26% MS). Asimismo, se determinó que por cada incremento de 10% con guineo cuadrado, se aumentó en promedio 7,36 puntos porcentuales el contenido de CNF.

El incremento en la concentración de CNF en los ensilados es debido al alto contenido de esta fracción en el GC (Cuadro 1); esto concuerda con los hallazgos de López-Herrera et al. (2017), mientras que Álvarez-Brito et al. (2020) señalan que este aporte proviene principalmente del almidón (81,7% MS) en el fruto inmaduro. De acuerdo con Ravi y Mustaffa (2013), los frutos de musáceas pueden contener hasta 85% de almidón, aunque esta proporción podría cambiar al ser transformado en sacarosa durante la maduración del fruto (Pelissari et al., 2012). También se debe considerar que la concentración de carbohidratos en los frutos de musáceas puede ser diferente, entre especies de musáceas y zonas geográficas (Mohapatra et al., 2010).

La concentración de carbohidratos no fibrosos (CNF) de los tratamientos evaluados fue comparable con los datos obtenidos en otros trabajos (Lazo-Salas et al., 2018 con ensilados de corona de piña con sustitución por frutos de guineo cuadrado; López-Herrera et al., 2017 con ensilados de pasto Camerún y plátano Pelipita; y López-Herrera et al., 2019 con ensilados de pasto, guineo cuadrado y urea). También fueron comparables a los resultados obtenidos por Cubero et al. (2010) con ensilados de maíz. La concentración de CNF obtenida en los tratamientos en que se utilizó fruto de guineo cuadrado podría suponer un riesgo de acidosis ruminal debido a que el contenido de almidón es >30% MS. Por lo tanto, se deben tomar medidas para balancear las dietas de los rumiantes en función del aporte de almidón (Zebeli et al., 2010).

El contenido de cenizas en los tratamientos fue influenciado por la especie de leguminosa. De esta forma, se encontraron diferencias significativas entre el promedio de los tratamientos elaborados con Cratylia y el promedio de los ensilados en lo que se utilizó Poró, donde se encontró que los primeros poseían un contenido menor de cenizas (7,77% MS) en comparación con los segundos (8,67% MS). También se determinó que existen diferencias provocadas por la cantidad de GC utilizado ( $p=0.031$ ), ya que conforme se incrementa la sustitución de forraje por GC, se disminuye la concentración de cenizas en las mezclas ensiladas. La reducción en el contenido de cenizas fue de 0,51% MS por cada 10% de sustitución por guineo cuadrado; los tratamientos elaborados sin fruto presentaron el mayor contenido de cenizas (9,57% MS), en comparación con los tratamientos elaborados con 45% de sustitución de forraje por frutos de GC (7,25% MS).

El contenido mineral de los tratamientos varió debido a la especie de leguminosa (Cuadro 3), los valores obtenidos en los ensilados elaborados únicamente con forraje de Cratylia presentaron un contenido de cenizas similar al obtenido por Castillo-Gallegos et al. (2014). Por otra parte, en los tratamientos en los que se utilizó 100% forraje de Poró, el contenido fue mayor que el indicado por Kongmanila et al. (2012), aunque es posible encontrar valores de hasta 10% MS (Régnier et al., 2013). Por otra parte, conforme aumentó la cantidad de guineo cuadrado, se redujo la concentración de cenizas en la mezcla ensilada, posiblemente debido a un menor contenido de esta fracción en el guineo, que es 4,57% MS de acuerdo a Lazo-Salas et al. (2018).

Esta disminución en el contenido mineral de los ensilados podría contribuir con el aporte de energía que puede aprovechar el rumiante, debido a que se da un incremento en la cantidad de materia orgánica que puede ser fermentada por los microorganismos del rumen (Hoffman, 2005). Diferencias encontradas con otros autores pueden ser debidas a la especie del forraje y los tipos de aditivos utilizados para el ensilaje (López-Herrera et al., 2019), con énfasis en el contenido de cenizas en los frutos de musáceas utilizados. Tal y como lo indican Pelissari et al. (2012), el contenido de nutrimentos varía de acuerdo a la especie de musácea utilizada.

### **Componentes de la pared celular y energía**

El contenido de fibra en detergente neutro (FDN) de los tratamientos no presentó diferencias debido a la especie de leguminosa, a pesar de que el contenido de esta fracción en el Poró sin ensilar era menor en 9,78% MS, en comparación con la *Cratylia* antes del ensilaje. Por otra parte, se determinó que el nivel de sustitución por GC generó diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 4); de esta manera conforme se incrementa la cantidad de fruto, disminuye la concentración de FDN de la mezcla ensilada. Esta reducción en el contenido de fibra sucede a razón de 8,33% MS por cada incremento de 15% de fruto en los ensilados.

Cuadro 4. Concentración de los componentes de la pared celular (%MS) y energía (Mcal EN<sub>L</sub>/kg MS) de ensilados de leguminosas con frutos de guineo cuadrado.

Forraje	Guineo cuadrado	FDN	Lignina	TND (%)	EN <sub>L</sub>
Poró	0	46,05	11,05	61,20	1,38
	15	34,40	8,08	68,03	1,55
	30	30,60	7,20	70,15	1,60
	45	21,15	4,70	75,55	1,73
Cratylia	0	48,55	10,83	61,91	1,40
	15	37,50	8,53	66,90	1,52
	30	26,93	6,38	71,67	1,63
	45	23,48	5,70	73,79	1,69
E.E.*		1,92	0,46	0,94	0,02
<b>Valor de p de los efectos</b>					
Forraje (F)		0.441	0.763	0.758	0.758
Guineo cuadrado (G)		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
F*G		0.276	0.249	0.274	0.274

FDN= fibra en detergente neutro, FDA= fibra en detergente ácido, TND= Total de Nutrientes Digestibles, EN<sub>L</sub>= energía neta de lactación

\* Error estándar de la media.

Los valores de FDN obtenidos en esta investigación fueron mayores a los obtenidos por Rojas-Cordero et al. (2020) con ensilados de *Musa* y GC, estas diferencias son provocadas por la especie utilizada (Castro-Montoya y Dickhoefer, 2020). Además, fue posible detectar la reducción de la concentración de FDN en los tratamientos al utilizar GC en la mezcla ensilada, esto debido al bajo contenido de esta fracción (Cuadro 1). Este comportamiento de reducción en la concentración de fibra, se ha detectado en otras investigaciones en las cuales se ha utilizado el GC como aditivo para ensilajes de forrajes altos en proteína (López-Herrera et al., 2019; Rojas-Cordero et al., 2021).

La disminución en el contenido de fibra en detergente neutro favorece tanto el aprovechamiento de estos ensilados como el consumo de otros nutrientes por parte del rumiante. Esto concuerda con Harper y McNeill (2015), quienes señalan que el consumo voluntario de los rumiantes está vinculado con el contenido de fibra detergente neutro de la dieta, debido a un llenado físico del rumen provocado por la fibra, efecto que podría limitar la obtención de otros nutrimentos. A pesar de lo anterior, los valores de fibra detergente neutro obtenidos en los tratamientos con uso de GC son bajos, y deben ser complementados con otros forrajes para mantener el contenido de la dieta por sobre 35% MS, necesario para prevenir el desarrollo de acidosis

ruminal (Zebeli et al., 2012), sobre todo considerando lo ya mencionado acerca del incremento en la concentración de CNF en los tratamientos.

En cuanto a la concentración de lignina, se detectaron diferencias significativas debidas al nivel de GC en los ensilados (Cuadro 4). De esta manera, los tratamientos sin GC fueron los que mostraron mayor concentración (10,94% MS) en comparación con la media de los tratamientos 45% GC, que fueron los de menor promedio (5,20% MS). Por otra parte, no se encontraron diferencias por efecto de especie de leguminosa entre los tratamientos elaborados con *Cratylia* o con Poró.

La disminución en el contenido de lignina es provocada por la concentración de este compuesto en el GC (Cuadro 1); este comportamiento concuerda con el trabajo de Rojas-Cordero et al. (2021). De acuerdo con Happi-Emaga et al. (2008) y Mohapatra et al. (2010), la cantidad de lignina en los frutos de musáceas puede oscilar entre 6-17% de la MS; esto obliga al análisis de cada material que vaya a ser utilizado en mezclas para ensilaje. La concentración de lignina está relacionada con la capacidad del rumiante para aprovechar la pared celular de los forrajes (Krizsan y Huhtanen, 2013), lo cual resulta relevante si se considera que la digestibilidad de la fibra tiene mayor impacto sobre la productividad comparada con la de cualquier otro nutriente (Combs, 2014).

El contenido energético de los ensilados mostró diferencias significativas debido al efecto del nivel de GC (Cuadro 4). De este modo, conforme se incrementa la cantidad de GC, también aumenta el contenido energético en los ensilados tanto en TND (%) como en  $EN_L$ . Asimismo, cada incremento de 15% en la cantidad de GC provoca que la energía de los tratamientos aumente a razón de 4,2 puntos porcentuales de TND y 0,15 Mcal.

La media de los tratamientos con 45% GC fue de mayor contenido energético (74,60% y 1,71 Mcal  $EN_L$ /kg MS) comparada con el promedio de los tratamientos 0% GC, que presentaron menor contenido de energía (61,52% y 1,39 Mcal  $EN_L$ /kg MS). No se detectaron diferencias debidas a la especie de leguminosa (Cuadro 4), aunque se detectó

que el contenido de energía promedio de ambos forrajes fue 74,60% TND y 1,56 Mcal EN<sub>N</sub>/kg MS. Este comportamiento es similar al que se ha detectado en otras investigaciones similares (López-Herrera et al., 2017; Rojas-Cordero et al., 2020).

Todos los tratamientos mostraron contenidos de energía similares que los ensilados maíz-soya (Serbest et al., 2015), y ensilados morera-sorgo (Alpizar et al., 2014). Sin embargo, muestran un contenido de energía mayor a los datos reportados por Lima et al. (2018) en pastos tropicales. Esta situación permite considerar estas mezclas como alternativas efectivas para la suplementación de animales rumiantes.

## CONSIDERACIONES FINALES

En conclusión, la especie leguminosa utilizada tuvo poca relevancia en cuanto a los parámetros fermentativos y bromatología de los ensilados analizados. El GC es un recurso alimenticio con potencial para ser utilizado como aditivo en mezclas para ensilaje, ya que permite obtener parámetros fermentativos aceptables para ensilajes tropicales, aunque se reduzca el contenido de materia seca en los ensilados. El uso del GC también afecta la composición bromatológica de los ensilados, pues reduce el contenido de proteína cruda, fibra y lignina, pero aumenta la cantidad de carbohidratos no fibrosos y energía en los ensilados; siendo los niveles de 15% GC y 30% GC los que permiten obtener los mejores resultados.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo formó parte del proyecto de investigación 739-B4-115 inscrito en Vicerrectoría de Investigación denominado "Evaluación de ensilajes de pastos y forrajes con diferentes niveles de guineo cuadrado (*Musa* sp.) para la alimentación de rumiantes bajo normativa orgánica"; Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Además, se agradece al Centro de Investigación en Nutrición Animal de la Universidad de Costa Rica por el apoyo económico para la conclusión de esta investigación.

## LITERATURA CITADA

- Alpízar, A., Camacho, M. I., Sáenz, C., Campos, M. E., Arece, J., y Esperance, M. 2014. Efecto de la inclusión de diferentes niveles de morera (*Morus alba*) en la calidad nutricional de ensilajes de sorgo (*Sorghum almum*). Pastos y forrajes, 37 (1): 55-60.
- Álvarez-Brito, R., Rojas-Bourrillon, A., y López-Herrera, M. 2020. Efecto del guineo cuadrado sobre la proteína cruda, almidón, fibra y fermentación ruminal de ensilados de leguminosas1. Nutrición Animal Tropical, 14 (2): 131-155.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1998. Official methods of analysis. 16th ed., 4th rev. AOAC Int., Gaithersburg, MD, USA.
- Bijelić, Z., Tomić, Z., Ružić-Muslić, D., Krnjaja, V., Mandić, V., Petričević, M., y Caro-Petrović, V. 2015. Silage fermentation characteristics of grass-legume mixtures harvested at two different maturity stages. Biotechnology in Animal Husbandry, 31 (2): 303-311.
- Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J., y Muck, R. E. 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. Journal of Dairy Science, 101 (5): 3952-3979.
- Calsamiglia, S., Ferret, A., Reynolds, C. K., Kristensen, N. B., y Van Vuuren, A. M. 2010. Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. Animal, 4 (7): 1184-1196.
- Castillo-Jiménez, M., Rojas-Bourrillón, A., y WingChing-Jones, R. 2009. Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asocio con vigna ("*Vigna radiata*"). Agronomía costarricense, 33 (1): 133-146.
- Castillo-Gallegos, E., Ocaña-Zavaleta, E., y Jarillo-Rodríguez, J. 2014. *Cratylia argentea*: un arbusto forrajero potencial en sistemas silvopastoriles: Rendimiento y calidad de accesiones según las edades de rebrote y estaciones climáticas. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, 20 (2): 277-293.
- Castro-Montoya, J. M., y Dickhoefer, U. 2020. The nutritional value of tropical legume forages fed to ruminants as affected by their growth habit and fed form: A systematic review. Animal Feed Science and Technology, 114641.
- Church D.C., Pond W.G., y Pond K.R. 2003. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. LIMUSA WILEY. México D.F. 636 p.

- Combs, D. 2014. Using in vitro total-tract NDF digestibility in forage evaluation. Focus on forage, 15 (2): 1-3.
- Cubero, J. F., Rojas, A., y WingChing, R. 2010. Uso del inóculo microbio elaborado en finca en ensilaje de maíz (*Zea mays*). Valor nutricional y fermentativo. Agronomía Costarricense, 34 (2): 237-250.
- Detmann, E. y Valadares Filho, S. C. 2010. On the estimation of non-fibrous carbohydrates in feeds and diets. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 62 (4): 980-984.
- Detmann, E., Valadares Filho, S. C., Pina, D. S., Henriques, L. T., Paulino, M. F., Magalhães, K. A., y Chizzotti, M. L. 2008. Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. *Animal Feed Science and Technology*, 143 (1-4). 127-147.
- Di-Rienzo, J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M. y Robledo Y. C. 2019. InfoStat versión 2019. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, ARG.
- Driehuis, F., Wilkinson, J. M., Jiang, Y., Ogunade, I., y Adesogan, A. T. 2018. Silage review: animal and human health risks from silage. *Journal of Dairy Science*, 101 (5): 4093-4110.
- Elizondo-Salazar, J. A. 2017. Producción de biomasa y calidad nutricional de tres forrajes cosechados a dos alturas. *Agronomía Mesoamericana*, 28 (2): 329-340.
- Ewen A. 2011. Analysis of carbohydrates, alcohols, and organic acids by ion-exchange chromatography. Application Note Si-01943: Analyzing Liquid Fractions of Biogas Processes by HPLC. Agilent Technologies, Inc., USA.
- Franzel, S., Carsan, S., Lukuyu, B., Sinja, J., y Wambugu, C. 2014. Fodder trees for improving livestock productivity and smallholder livelihoods in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6: 98-103.
- Giger-Reverdin, S., Duvaux-Ponter, C., Sauvart, D., Martin, O., Do Prado, I. N., y Müller, R. 2002. Intrinsic buffering capacity of feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology*, 96 (1-2): 83-102.
- González Arcia, M., Valles de la Mora, B., Alonso Díaz, M. Á., Castillo Gallegos, E., Ocaña Zavaleta, E., y Jarillo Rodríguez, J. 2012. Effect of grazing *Cratylia argentea* associated with *Brachiaria brizantha*-Toledo on quality pasture and weight gain in Holstein× Zebu heifers. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15 (Suppl. 2).

- Griswold, K. E., Craig, P. H., Graybill, J. S., y Dinh, S. K. 2010. Relating dry matter density to dry matter loss within corn silage bunker silos. *Journal of Dairy Science*, 93 (E-Suppl. 1), 620.
- Happi-Emaga, T.H., C. Robert, S.N. Ronkart, B. Wathelet, y M. Paquot. 2008. Dietary fibre components and pectin chemical features of peels during ripening in banana and plantain varieties. *Bioresour. Technol.* 99:4346-4354.
- Harper, K. J., y McNeill, D. M. 2015. The role iNDF in the regulation of feed intake and the importance of its assessment in subtropical ruminant systems (the role of iNDF in the regulation of forage intake). *Agriculture*, 5 (3): 778-790.
- Heinritz, S. N., Martens, S. D., Avila, P., y Hoedtke, S. 2012. The effect of inoculant and sucrose addition on the silage quality of tropical forage legumes with varying ensilability. *Animal Feed Science and Technology*, 174 (3-4): 201-210.
- Hoffman, P. C. 2005. Ash content of forages. *Focus on forage*, 7(1), 1-2.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2017. Datos climáticos Upala. <https://www.imn.ac.cr/web/imn/inicio> (Consultado 21 Abr. 2021).
- Jiménez-Ferrer, G., Mendoza-Martínez, G., Soto-Pinto, L., y Alayón-Gamboa, A. 2015. Evaluation of local energy sources in milk production in a tropical silvopastoral system with *Erythrina poeppigiana*. *Tropical animal health and production*, 47 (5): 903-908.
- Kongmanila, D., Bertilsson, J., Ledin, I. y Wredle, E. 2012. Utilisation of some *Erythrina* species and biomass production of *Erythrina variegata*. *Livestock Research for Rural Development*, 24 (8). <http://www.lrrd.org/lrrd24/8/daov24137.htm> (Consultado 21 Abr. 2021).
- Krizsan, S. J., y Huhtanen, P. 2013. Effect of diet composition and incubation time on feed indigestible neutral detergent fiber concentration in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96 (3): 1715-1726.
- Kung, L., y Shaver, R. 2001. Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. *Focus on forage*, 3 (13): 1-5.
- Lazo-Salas, G. J., Rojas-Bourrillon, A., Campos-Granados, C. M., Zumbado-Ramírez, C., y López-Herrera, M. 2018. Caracterización fermentativa y nutricional de mezclas ensiladas de corona de piña con guineo cuadrado Musa (ABB) I. Parámetros fermentativos, análisis bromatológico y digestibilidad in vitro. *Nutrición Animal Tropical*, 12 (1): 59-79.

- Lima, D. M., Abdalla Filho, A. L., Lima, P. D. M. T., Sakita, G. Z., McManus, C., Abdalla, A. L., y Louvandini, H. 2018. Morphological characteristics, nutritive quality, and methane production of tropical grasses in Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53 (3): 323-331.
- López-Herrera, M. 2019. Informe de proyecto 739-B7-069. Degradabilidad in vitro del almidón en diferentes subproductos agrícolas e impacto sobre la producción de metano y parámetros de fermentación ruminal. Informe final. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 12p
- López-Herrera, M., y Briceño-Arguedas, E. 2017. Efecto de la especie de leguminosa y la fuente de carbohidratos en la calidad física y química de mezclas para ensilaje. *Nutrición Animal Tropical*, 11 (1): 52-73.
- López-Herrera, M., y Briceño-Arguedas, E. 2018. Efecto de la especie de leguminosa y la fuente de carbohidratos sobre el fraccionamiento de la proteína en mezclas para ensilaje. *Nutrición Animal Tropical*, 12 (1): 19-39.
- López-Herrera, M., Rojas-Bourrillon, A., y Briceño-Arguedas, E. 2019. Sustitución del pasto *Megathyrsus maximus* por guineo cuadrado y urea en mezclas ensiladas. *Agronomía Mesoamericana*, 30 (1): 179-194.
- López-Herrera, M., Rojas-Bourrillon, A., y Zumbado-Ramírez, C. 2017. Características nutricionales y fermentativas de ensilados de pasto Camerún con plátano Pelipita. *Agronomía Mesoamericana*, 28 (3): 629-642.
- López-Vigoa, O., Sánchez-Santana, T., Iglesias-Gómez, J.M., Lamela-López, L., Soca-Pérez, M., Arece-García, J., y Milera-Rodríguez, M.D.L.C. 2017. Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y forrajes*, 40 (2): 83-95.
- Mohapatra, D., Mishra, S. y Sutar, N. 2010. Banana and its by-product utilization: an overview. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 69 (5): 323-329.
- Montagnini, F. 2015. Función de los sistemas agroforestales en la adaptación y mitigación del cambio climático. En: Florencia Montagnini, E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fassola y B. Eibl, eds. *Sistemas Agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Serie Técnica. Informe Técnico 402. Turrialba, Costa Rica: CATIE. Cali, Colombia: Fundación CIPAV. p. 269-297, 2015.

- Murgueitio, E., Chará, J., Barahona, R., Cuartas, C., y Naranjo, J. 2014. Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 17 (3): 501-507.
- Ning, T., Wang, H., Zheng, M., Niu, D., Zuo, S., y Xu, C. 2017. Effects of microbial enzymes on starch and hemicellulose degradation in total mixed ration silages. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 30 (2): 171.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. National Academy Press, WA, USA.
- OMS. WHO (World Health Organization). 2007. pH in Drinking-water. WHO Guidelines for Drinking-water Quality Ginebra. Suiza. 8p.
- Pelissari, F.M., Andrade-Mahecha, M.M., Sobral, P.J.D.A., y Menegalli, F.C. 2012. Isolation and characterization of the flour and starch of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Starch-Stärke*, 64 (5), 382-391.
- Poppi, D.P., Quigley, S.P., Silva, T.A.C.C.D., y McLennan, S. R. 2018. Challenges of beef cattle production from tropical pastures. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47.
- Ravi, I., & Mustaffa, M.M. 2013. Starch and amylose variability in banana cultivars. *Indian Journal of Plant Physiology*, 8(1): 83-87.
- Régnier, C., Bocage, B., Archimède, H., Noblet, J., y Renaudeau, D. 2013. Digestive utilization of tropical foliages of cassava, sweet potatoes, wild cocoyam and erythrina in Creole growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 180 (1-4): 44-54.
- Roa-Vega, M.L., Ladino-Romero, E.A., y Hernández-Martínez, M.C. 2017. Indicadores de bioquímica sanguínea en bovinos suplementados con *Cratylia argentea* y *Saccharomyces cerevisiae*. *Pastos y Forrajes*, 40 (2): 144-151.
- Rojas-Cordero, D., Alpízar-Naranjo, A., Castillo-Umaña, M.Á., y López-Herrera, M. 2020. Efecto de la inclusión de *Musa* sp. en la conservación de *Morus alba* Linn. *Pastos y Forrajes*, 43 (3): 210-219.
- Rojas-Cordero, D., Alpízar-Naranjo, A., Castillo-Umaña, M.Á., y López-Herrera, M. 2021. Efecto de la inclusión de *Musa* sp. en la conservación de ensilajes de *Trichanthera gigantea* (Humb. & Bonpl.) Nees. *Pastos y Forrajes*, 44 (1).
- Sánchez-Sarmiento, L.Y., Andrade-Castañeda, H.J., y Rojas-Molina, J. 2010. Demanda de mano de obra y rentabilidad de bancos forrajeros en Esparza, Costa Rica. *Acta Agronómica*, 59 (3): 363-371.

- Serbester, U., Akkaya, M.R., Yucel, C., y Gorgulu, M. 2015. Comparison of yield, nutritive value, and in vitro digestibility of monocrop and intercropped corn-soybean silages cut at two maturity stages. *Italian Journal of Animal Science*, 14 (1): 3636.
- Valles-de la Mora, B., Castillo-Gallegos, E., Alonso-Díaz, M.Á., Ocaña-Zavaleta, E., y Jarillo-Rodríguez, J. 2017. Live-weight gains of Holstein× Zebu heifers grazing a *Cratylia argentea*/Toledo-grass (*Brachiaria brizantha*) association in the Mexican humid tropics. *Agroforestry Systems*, 91 (6): 1057-1068.
- Van Soest, P., Robertson, J.B, y Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74 (10): 3583-3597.
- Villa, A. F., Meléndez, A. P., Carulla, J. E., Pabón, M. L., y Cárdenas, E. A. 2010. Estudio microbiológico y calidad nutricional del ensilaje de maíz en dos ecorregiones de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23 (1): 65-77.
- Wilkinson, J. M., y Rinne, M. 2018. Highlights of progress in silage conservation and future perspectives. *Grass and Forage Science*, 73 (1): 40-52.
- Yitbarek, M.B., y Tamir, B. 2014. Silage additives. *Open Journal of Applied Sciences*, 4 (5): 258-274
- Zebeli, Q., Mansmann, D., Steingass, H., y Ametaj, B. N. 2010. Balancing diets for physically effective fibre and ruminally degradable starch: A key to lower the risk of sub-acute rumen acidosis and improve productivity of dairy cattle. *Livestock Science*, 127 (1): 1-10.
- Zebeli, Q., Metzler-Zebeli, B. U., y Ametaj, B. N. 2012. Meta-analysis reveals threshold level of rapidly fermentable dietary concentrate that triggers systemic inflammation in cattle. *Journal of dairy science*, 95 (5): 2662-2672.