

Artículo Científico

Composición bromatológica de ensilados de leguminosas con diferentes fuentes de carbohidratos

Michael López-Herrera¹, Miguel Castillo-Umaña², Andrés Alpízar-Naranjo³, Mauricio Arias-Gamboa⁴

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar las características nutricionales de mezclas frescas y ensiladas, elaboradas a partir de leguminosas y cuatro fuentes de carbohidratos. El experimento fue realizado entre los años 2015 y 2016. Se utilizó un diseño factorial al azar, donde se combinaron cuatro especies de leguminosas (*Vigna unguiculata*, *Arachis pintoi*, *Cratylia argentea*, *Erythrina poeppigiana*) y cuatro fuentes de carbohidratos (melaza de caña de azúcar, pulpa de cítricos deshidratada, maíz molido y fruto inmaduro de guineo cuadrado), para un total de 16 tratamientos. Los forrajes fueron picados y colocados en bolsas de empaque al vacío durante 50 días. A todos los tratamientos se les agregó inóculo bacteriano artesanal (1 L/ton), y fueron repetidos 4 veces. La bromatología de los ensilados fue influenciada por el efecto de la especie leguminosa y de la fuente de carbohidratos. El contenido de materia seca de los ensilados fue menor a 23%, siendo los ensilados de arbóreas los de mayor promedio (19,9%) en comparación con las leguminosas herbáceas (12,6%). La proteína cruda mostró valores entre el 13,9-19,4% en los diferentes tratamientos; los carbohidratos no fibrosos presentaron una concentración entre 23,1-37,5%; la fibra en detergente ácido fluctuó entre 21,6-38,2%; y el total de

¹Universidad de Costa Rica, Escuela de Zootecnia, Centro de Investigación en Nutrición Animal, San José, Costa Rica. autor para correspondencia: michael.lopez@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-4301-9900>).

²Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Agrarias Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: miguel.castillo.umana@una.cr (<https://orcid.org/0000-0001-8114-744X>).

³Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Agrarias. Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: andres.alpizar.naranjo@una.cr (<https://orcid.org/0000-0002-9612-4918>).

⁴Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Agrarias. Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: luis.arias.gamboa@una.cr (<https://orcid.org/0000-0003-1214-5648>).

Recibido: 14 marzo 2022 Aceptado: 24 octubre 2022

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



nutrientes digestibles mostró un intervalo entre 58,3-66,1%. Los ensilados de *Cratylia* son los materiales que, por su contenido de nutrientes, muestran mayor aporte de proteína bruta, aunque son los de menor contenido energético sin importar el tipo de carbohidrato que se utilice. Por otra parte, el maíz molido fue la fuente de carbohidratos que más cambios provocó en los ensilados, ya que aumentó los valores de materia seca, carbohidratos no fibrosos y energía.

Palabras clave: Conservación de forrajes, forrajes tropicales, aditivos, nutrición animal, energía.

ABSTRACT

Bromatological composition of legume silages with different sources of carbohydrates. This study aimed to determine the nutritional characteristics of fresh and ensiled mixtures made from legumes and four carbohydrate sources. The experiment was carried out between 2015 and 2016. A random factorial design was used with combinations of four legume species (*Vigna unguiculata*, *Arachis pintoi*, *Cratylia argentea*, *Erythrina poeppigiana*) and 4 carbohydrate sources (sugar cane molasses, dehydrated citrus pulp, ground corn, and immature square banana fruit), for a total of 16 treatments. The forages were chopped and placed in vacuum-packed bags for 50 days. Artisanal bacterial inoculum (1 L/ton) was added to all treatments, with four repetitions. The bromatology of the silages was affected by the legume species and the carbohydrate source. Dry matter content of the silages was less than 23%, with tree silages having the highest average (19.9%) compared to herbaceous legumes (12.6%). The crude protein showed values between 13.9-19.4% in the different treatments. Non-fibrous carbohydrates had a concentration between 23.1-37.5%. Acid detergent fiber ranged between 21.6-38.2% and total digestible nutrients showed a range between 58.3-66.1%. *Cratylia* silages were the materials showing the greatest contribution of crude protein, due to their nutrient content, although they also showed the lowest energy content, regardless of the type of carbohydrate used. On the other

hand, ground corn was the source of carbohydrates causing most of the changes in the silages, since it increased the values of dry matter, non-fibrous carbohydrates, and energy.

Keywords: Forage preservation, tropical forages, additives, animal nutrition, energy.

INTRODUCCIÓN

Los rumiantes tienen la capacidad para convertir los materiales ricos en celulosa, como los pastos y otros forrajes, en alimentos para consumo humano gracias a los microorganismos que habitan en sus preestómagos (Dijkstra et al., 2011). Estos tienen la facultad de degradar los componentes de las plantas en moléculas más sencillas, utilizadas como fuente de energía por el rumiante (Duncan, 2014). En el rumen, dietas con altos contenidos de carbohidratos estructurales suelen ser menos digestibles que dietas en las que se incorporan fuentes de carbohidratos no estructurales (Archimède et al., 2011).

Las gramíneas son el recurso alimenticio principal en la alimentación de bovinos en condiciones tropicales, estas dietas suelen ser bajas en proteína, carbohidratos y digestibilidad (López-Vigoa et al., 2017). Además, son afectadas por las condiciones ambientales, factor que puede influir sobre el consumo de nutrimentos y productividad del ganado (Poppi et al., 2018). Esta situación obliga a utilizar alternativas que permitan proveer la cantidad requerida de nutrientes para sostener la productividad, sobre todo en los momentos críticos (Rojas-Cordero et al., 2020).

Las leguminosas forrajeras son plantas que proveen beneficios a los sistemas ganaderos tropicales: fijación de nitrógeno al suelo y alto contenido nutricional; aunque también poseen amplio espectro de compuestos secundarios que pueden actuar como factores antinutricionales (Schultze-Kraft et al., 2018). Las leguminosas arbustivas suelen poseer tallos gruesos que reducen la digestibilidad del forraje, este efecto aumenta conforme madura (Kuppusamy et al., 2020). Es por estas razones que el uso de estas plantas se justifica a edades tempranas, si se desea aprovechar todos sus beneficios (Serbester et al.,

2015). Sin embargo, estas deben complementarse con fuentes de energía que optimicen el aprovechamiento de los nutrientes del forraje (Jiménez-Ferrer et al., 2015).

El ensilaje es una técnica de conservación de forrajes por vía húmeda, donde se coloca el material vegetal para ser fermentado por bacterias ácido-lácticas en un ambiente anaeróbico (Yang et al., 2010; Sánchez-Ledezma, 2018). El ensilaje de leguminosas es un proceso complejo debido a su alta capacidad amortiguadora del pH y bajo contenido de carbohidratos solubles (Serbester et al., 2015), lo que obliga a utilizar aditivos que permitan mejorar los indicadores fermentativos, y conservar de manera satisfactoria el forraje (Yitbarek y Tamir, 2014).

Los aditivos para ensilaje, de acuerdo con su modo de acción durante la conservación, pueden categorizarse en: estimulantes de la fermentación, inhibidores de fermentación, inhibidores del deterioro aeróbico, materiales absorbentes y nutrientes. El impacto sobre la productividad animal es el criterio que priva a la hora de elegir entre uno u otro (Muck et al., 2018). El maíz, pulpa de cítricos deshidratada, melaza y guineo cuadrado han mostrado su potencial para influir sobre el proceso fermentativo del ensilaje (López-Herrera y Briceño-Arguedas, 2017; López-Herrera et al., 2016). Sin embargo, se deben conocer más a profundidad los cambios que provocan estos materiales sobre la composición nutricional, el efecto sobre la productividad de los animales y, sobre todo, el posible beneficio ambiental de complementar el forraje con carbohidratos no estructurales (Archimède et al., 2011).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la fuente de carbohidratos y la especie de leguminosa sobre la composición bromatológica de mezclas forrajeras ensiladas. Estas tienen potencial para ser utilizadas en dietas para rumiantes con énfasis en ganado bovino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

El experimento se llevó a cabo en el Campus Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, ubicado en San Pedro de Montes de Oca, donde se encuentran los laboratorios de

Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) para análisis bromatológicos de forrajes. Los forrajes utilizados fueron cosechados en la finca Agroecológica Vocaré; ubicada en el cantón de Upala a 120-180 m s. n. m., con una precipitación promedio de 2500 mm anuales y una temperatura promedio de 25 °C (Rojas-Cordero et al., 2020).

Forrajes y fuentes de carbohidratos utilizados

Las edades de corte de las leguminosas se fijaron de acuerdo con el hábito de crecimiento de las plantas (herbácea o arbustiva). Además, se consideró la edad de rebrote con la finalidad de no utilizar forrajes muy maduros con alto contenido de fibra y lignina. Las edades de cosecha utilizadas fueron: *Vigna unguiculata* (40 días), *Arachis pintoi* (40 días), *Cratylia argentea* (75 días) y *Erythrina poeppigiana* (75 días). El nivel de inclusión de cada fuente de carbohidratos se calculó de modo que cada aditivo proporcionara 5% del total de carbohidratos solubles. Se consideró que el resto de los carbohidratos necesarios para superar la concentración de 10% en base seca podían ser proporcionados por el forraje; de acuerdo con los contenidos reportados en Montero-Durán et al. (2021), Ferreira et al. (2012) y Anyanwu et al. (2021). De esta manera, la inclusión de cada aditivo fue: melaza con 6,3% p/p, pulpa de cítricos deshidratada (PCD) con 8,4% p/p, maíz molido (Mz) con 6,4% p/p y fruto inmaduro de guineo cuadrado (GC) (*Musa acuminata* x *balbisiana*, Grupo ABB) con 6,7% p/p.

Diseño experimental y tratamientos

Para este experimento se utilizó un diseño multifactorial completamente aleatorizado (4x4), donde se combinaron cuatro especies leguminosas (*Vigna unguiculata*, *Arachis pintoi*, *Cratylia argentea* y *Erythrina poeppigiana*) y cuatro fuentes de carbohidratos (melaza de caña de azúcar, pulpa de cítricos deshidratada, maíz molido y fruto de guineo cuadrado). A todos los tratamientos se les agregó inóculo bacteriano artesanal (1 L/ton) con base en el peso en fresco. El inóculo bacteriano utilizado fue elaborado por fermentación anaeróbica en la finca a partir de suero de leche, leche y melaza-Lactobacillus 1,0 x 10⁹. Cada tratamiento ensilado fue repetido 4 veces para un total de 64 microsilos de bolsa, donde cada bolsa se consideró como una unidad experimental.

Procedimiento experimental

Se tomaron muestras de los materiales frescos para analizar la cantidad de hemicelulosa y celulosa antes del ensilaje. Mientras que, para la conservación de los tratamientos, se utilizó la técnica de microsilos con bolsas de polietileno para empacar al vacío con capacidad para 5 kg y con un grosor de 0,0063 mm; cada bolsa se llenó con aproximadamente 4 kg de mezcla para ensilar. Al material, una vez depositado y compactado a mano, se le extrajo el aire a fondo con una aspiradora. Posterior a la eliminación del oxígeno, las bolsas se sellaron con cinta plástica adhesiva y se colocaron en condiciones de laboratorio (25 °C y 75% humedad relativa, aproximadamente) por 50 días; de manera que estuvieran protegidas del ataque de aves, roedores o labores rutinarias que podrían afectar el proceso de ensilaje.

A los 50 días de fermentación se realizó la apertura de los silos, momento en el que se trasladó el material al laboratorio para determinar el contenido de: materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y cenizas; de acuerdo con los procedimientos descritos en AOAC (1998). Los carbohidratos no fibrosos fueron estimados por medio de la ecuación descrita en Detmann y Valadares-Filho (2010), mientras que se siguieron los procedimientos descritos por Van Soest et al. (1991) para la determinación de la hemicelulosa, celulosa y fibra en detergente ácido. El total de nutrientes digestibles (TND) se estimó por medio de las ecuaciones detalladas en Detmann et al. (2008).

Los datos se tabularon y posteriormente se procesaron por medio de modelos lineales y mixtos. La previa comprobación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se hizo por medio del programa estadístico INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2020); donde se consideró, como efectos principales, la fuente de carbohidratos y la especie de leguminosa, así como la interacción entre ellas. Una vez obtenida la significancia de los efectos, se realizó la prueba de contrastes ortogonales para comparar las leguminosas de acuerdo con su hábito de crecimiento. Asimismo, se realizó la prueba de Tukey para determinar diferencias entre medias con 95% de confianza. En todo momento se declaró significancia cuando $p < 0.05$; aunque, al obtener $p = 0.05$ y < 0.10 , se consideró como tendencias de los efectos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia seca y componentes celulares

El contenido de MS mostró diferencias significativas ($p < 0.001$), causadas por el efecto de la especie de leguminosa y la fuente de carbohidratos utilizada en la mezcla ensilada (Cuadro 1). Los tratamientos con Vigna (*V. unguiculata*) fueron los que mostraron menor promedio de MS (12%), seguidos de los tratamientos con Arachis (*A. pinto*) (13,1%) y los de Erythrina (*E. poeppigiana*) (18,7%); en comparación con el promedio de los tratamientos con Cratylia (*C. argentea*), que fueron los de mayor concentración (21,2%). Las leguminosas arbóreas presentaron en promedio 7,4 puntos porcentuales más de MS en comparación con las leguminosas herbáceas. En cuanto a la fuente de carbohidratos, los tratamientos con guineo cuadrado fueron los de menor cantidad de MS (14,1%) respecto a las otras fuentes: maíz molido (17,0%), melaza (16,7%) y PCD (17,2%); todas estas sin ser diferentes estadísticamente entre ellas.

Cuadro 1. Valores de los ensilados con 50 días de fermentación de materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), cenizas (CEN) y carbohidratos no fibrosos (CNF).

Leguminosa	CHO*	MS (%)	PC (% MS)	EE (% MS)	CEN (% MS)	CNF (%MS)
Vigna	Melaza	12,5	15,5	2,5 ^b	11,6	35,8
	PCD	12,9	14,8	2,1 ^b	9,4	31,3
	Maíz	12,0	15,9	1,6 ^a	8,2	37,5
	GC	10,7	13,9	2,4 ^b	9,8	30,9
Arachis	Melaza	13,3	19,4	2,5 ^b	12,7	33,4
	PCD	14,3	17,4	2,4 ^b	10,5	34,1
	Maíz	14,1	17,9	2,3 ^b	9,0	36,5
	GC	10,8	17,8	2,4 ^b	11,7	26,4
Cratylia	Melaza	21,9	15,8	2,4 ^b	9,5	26,8
	PCD	21,8	16,5	3,2 ^c	7,9	25,7
	Maíz	22,4	16,1	3,1 ^c	7,1	26,9
	GC	18,6	16,5	3,2 ^c	7,6	23,1
Erythrina	Melaza	19,4	16,7	3,6 ^c	10,2	28,2
	PCD	19,6	16,1	3,7 ^c	8,9	28,3
	Maíz	19,6	15,2	2,8 ^c	7,6	27,1
	GC	16,4	15,4	3,7 ^c	8,8	23,5
Valor p						
Leguminosa (L)		<0.001	<0.001	0.004	<0.001	<0.001
CHO (C)		<0.001	0.195	0.838	<0.001	0.021
LxC		0.672	0.239	0.018	0.603	0.929
E.E.**		0,556	0,600	0,190	0,444	2,835

*Fuentes de carbohidratos

**Error estándar

Las diferencias detectadas entre las especies de leguminosas son producto de las características anatómicas y fisiológicas propias de cada especie, y al efecto de la edad de cosecha del forraje (Heinritz et al., 2012; Castro-Montoya y Dickhoefer, 2020). Todos los tratamientos presentaron menor contenido de MS que los ensilados de *Gliricidia sepium* reportados por Carvalho et al. (2016) (55,2%), aunque similares a los datos publicados por Rojas-Cordero et al. (2021) para ensilados de *Trichantera gigantea* con guineo cuadrado. Estos valores de MS son bajos cuando se compara con los indicadores deseados para ensilados de leguminosas, y suponen pérdidas de nutrimentos por formación de efluentes en el silo (Borreani et al., 2018). Las diferencias generadas por las fuentes de carbohidratos son de tipo estadístico, pero carecen de sentido práctico debido a que son pequeñas para ser tomadas en cuenta durante su uso en los sistemas de producción.

En cuanto al contenido de proteína cruda (PC) de los tratamientos, se detectaron diferencias significativas ($p < 0.001$) provocadas por el efecto de la especie de leguminosa (Cuadro 1). No se detectaron diferencias por efecto de la fuente de carbohidratos. De este modo, el promedio de los tratamientos con *Arachis* fue mayor (18,1%MS) comparado con los tratamientos en que se usó *Vigna*, que fueron los de menor promedio de esta fracción (15,1% MS). *Erythrina* y *Cratylia* mostraron valores intermedios (15,8% y 16,2% MS, respectivamente) sin ser diferentes entre ellos. El contenido de PC en las fuentes de carbohidratos es bajo y similar entre ellas, es por esta razón que no existen diferencias entre los tratamientos (Mata-Arias, 2017).

Todos los tratamientos poseen contenidos de PC similares a los obtenidos por Rojas-Cordero et al. (2020) con ensilados de *Morus alba*, y contienen una concentración de esta fracción superior de 6–8% MS, nivel mínimo requerido para el adecuado funcionamiento del rumen (Casamiglia et al., 2010). Esto los convierte en recursos forrajeros con capacidad para proveer una cantidad significativa de proteína degradable y sobrepasante en las dietas de bovinos y otros rumiantes (Solati et al., 2017).

La concentración de extracto etéreo en los tratamientos fue afectada por la interacción entre la especie de leguminosa y la fuente de carbohidratos utilizadas (Cuadro 1). El tratamiento de mayor concentración de esta fracción es *Erythrina*-GC, mientras que el tratamiento de menor concentración fue el *Vigna*-Maíz. Estas diferencias entre tratamientos son provocadas por la concentración de esta fracción en cada una de las especies de leguminosas, donde las leñosas presentaron en promedio 0,85 puntos porcentuales más de extracto etéreo en comparación con el promedio de las leguminosas herbáceas. En cuanto a las fuentes de carbohidratos, cada una de las materias primas utilizadas poseen diferentes concentraciones de esta fracción, por lo que pueden afectar el contenido final de la mezcla ensilada (Mata-Arias, 2017), aun y cuando su inclusión pudiera no ser tan elevada.

Las cenizas presentaron diferencias significativas, causadas por el efecto de la especie de leguminosa y el efecto de la fuente de carbohidratos utilizada en la mezcla ensilada (Cuadro 1). Es por esta razón que los tratamientos con *Arachis* mostraron mayor promedio de fracción mineral (10,9% MS), seguidos de los tratamientos con *Vigna* (9,8%

MS) y Erythrina (8,9% MS). Mientras que los tratamientos con Cratylia fueron los de menor concentración promedio de cenizas (8,0% MS). Las leguminosas herbáceas presentaron en promedio 1,9 puntos porcentuales más de cenizas en comparación con las leguminosas leñosas. En cuanto a la fuente de carbohidratos, los tratamientos con melaza fueron los de mayor contenido de cenizas (10,9% MS). Por otra parte, los tratamientos elaborados con maíz fueron los de menor promedio de contenido mineral (7,9% MS).

De acuerdo con Mata-Arias (2017), la melaza tiene un contenido de cenizas promedio de 9,1% MS, mientras que el maíz molido tiene 1,9% MS. Esto permite explicar los contenidos de cenizas detectados en las mezclas ensiladas de acuerdo con cada tipo de fuente de carbohidratos utilizada. En cuanto a la especie de leguminosa, los valores obtenidos son comparables con los datos publicados en Montero-Durán et al. (2021) con ensilados de Cratylia y Erythrina con GC, aunque menores a los reportados por Rojas-Cordero et al. (2021) con ensilados de *Trichantera gigantea* y GC (valores promedio). Estas diferencias son debidas a la composición nutricional y fisiología propia de cada una de las especies, así como a los tipos de tejidos presentes en el material forrajero al momento de la cosecha.

La disminución en el contenido mineral mejora la calidad de los ensilados como complementos alimenticios, ya que aumenta el aporte energético de los ensilados al incrementar la cantidad de materia orgánica fermentable en el rumen (Carvalho et al., 2016; Owens y Basalan, 2016). Además, permite reducir la capacidad amortiguadora del forraje que favorece el proceso de ensilaje (Borreani et al., 2018).

Los carbohidratos no fibrosos (CNF) mostraron diferencias significativas provocadas por el efecto de la especie de leguminosa y de la fuente de carbohidratos utilizada en el ensilado (Cuadro 1). Las leguminosas herbáceas presentaron en promedio 6,9 puntos porcentuales más de CNF en comparación con las leguminosas arbóreas. Los tratamientos elaborados con Vigna y Arachis mostraron mayor promedio de esta fracción (33,8% MS y 32,6% MS, respectivamente), sin ser diferentes entre ellos. Por otra parte, los tratamientos elaborados con Erythrina y Cratylia obtuvieron el menor promedio (26,8% MS y 25,6% MS, respectivamente), sin presentar diferencias entre ellos. En cuanto al efecto de la fuente de carbohidratos, los tratamientos con guineo cuadrado fueron los de

menor cantidad de CNF (25,9% MS) en comparación con las otras fuentes: maíz molido (32,0% MS), melaza (31,2% MS) y PCD (29,8% MS); todas estas sin ser diferentes estadísticamente entre sí.

Las concentraciones de CNF obtenidas en este estudio son menores a las reportadas por Rojas-Cordero et al. (2020) en ensilados de Morera. Estas diferencias se deben a la concentración de esta fracción al momento de la cosecha, ya que los materiales de menor edad tienen mayor concentración de CNF comparados con los forrajes de mayor edad (Serbester et al., 2015). El uso de aditivos con alto contenido de carbohidratos permite la adecuada fermentación de los forrajes, sin embargo, puede afectar la concentración final de los nutrientes en el ensilado de acuerdo con el tipo de carbohidrato utilizado (Oladosu et al., 2016), ya que en ocasiones poseen cantidades de otros nutrientes (Yitbarek y Tamir, 2014) que pueden alterar la composición final de la mezcla forrajera. El aumento en los CNF se refleja en una mejora en la digestibilidad de la materia orgánica a lo largo del tracto digestivo (Ma et al., 2015).

Componentes de la pared celular y energía

La hemicelulosa mostró diferencias significativas debido a la especie de leguminosa ($p < 0.001$), mientras que la celulosa y la fibra en detergente ácido (FDA) mostraron diferencias que se debían a la interacción entre la especie de leguminosa y la fuente de carbohidratos ($p = 0.007$ y 0.035 , respectivamente) utilizada en los ensilados (Cuadro 2). Las leguminosas arbustivas presentaron en promedio 3,8 puntos porcentuales más de hemicelulosa, comparado con el promedio de las leguminosas herbáceas. Las mezclas con mayor promedio de hemicelulosa fueron las elaboradas con *Cratylia* (16,2% MS), comparados con las mezclas hechas con *Vigna*, que mostraron un menor promedio de hemicelulosa (10,4% MS).

Cuadro 2. Fraccionamiento de los carbohidratos fibrosos de las mezclas de leguminosas con diferentes fuentes de carbohidratos con 50 días de fermentación.

Leguminosa	CHO*	HEM (% MS)	CEL (% MS)	FDA** (% MS)	TND** (%)
Vigna	Melaza	10,6	19,7 ^b	25,3 ^a	61,2
	PCD	9,2	28,2 ^c	34,8 ^b	60,5
	Maíz	9,4	21,8 ^b	27,3 ^a	64,4
	Guineo	9,1	29,7 ^c	38,2 ^b	58,3
Arachis	Melaza	11,2	18,3 ^a	25,0 ^a	58,9
	PCD	9,4	21,0 ^b	26,8 ^a	61,8
	Maíz	10,3	16,7 ^a	21,6 ^a	65,3
	Guineo	10,9	22,6 ^b	30,9 ^b	58,7
Cratylia	Melaza	13,2	19,9 ^b	31,1 ^b	59,1
	PCD	15,0	20,9 ^b	33,4 ^b	58,7
	Maíz	13,6	18,0 ^a	29,3 ^b	61,4
	Guineo	13,4	19,9 ^b	31,5 ^b	59,9
Erythrina	Melaza	11,5	21,0 ^b	31,0 ^b	63,3
	PCD	11,8	23,0 ^b	34,6 ^b	64,0
	Maíz	11,1	20,9 ^b	31,6 ^b	66,1
	Guineo	11,4	23,9 ^b	36,5 ^b	62,8
Valor de p					
Leguminosa (L)		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
CHO (C)		0.697	<0.001	<0.001	<0.001
LxC		0.282	0.007	0.035	0.490
***E.E.		0,653	1,091	1,569	1,227

*Fuente de carbohidratos

**Hemicelulosa (HEM). Fibra en detergente ácido (FDA). Celulosa (CEL). Total de nutrientes digestibles (TND).

***Error estándar

Estas diferencias se deben a la concentración de esta fracción al momento de la cosecha, ya que los materiales de mayor edad suelen presentar mayor concentración de hemicelulosa (López-Herrera y Briceño-Arguedas, 2016). Sin embargo, otros autores han reportado que esta fracción no cambia de manera significativa de acuerdo con el hábito de crecimiento de las leguminosas (Castro-Montoya y Dickhoefer, 2020). También se pudo estimar, a partir de los datos en fresco, que la hemicelulosa de todos los tratamientos disminuyó al pasar de fresco a ensilado, y que esta reducción osciló entre 18,7-45,9% de acuerdo con el tratamiento, sin mostrarse una tendencia clara entre ellos. Esta reducción es provocada por las enzimas que degradan la fibra en azúcares y que a su vez mejoran la digestibilidad del ensilado (Adesogan, 2014).

En el caso de la celulosa, los tratamientos con menor promedio fueron Arachis-Maíz, Cratylia-Maíz y Arachis-Melaza (Cuadro 2), sin ser diferentes entre ellos. Mientras que los de mayor concentración fueron Vigna-PCD y Vigna-GC (Cuadro 2), sin ser distintos entre sí. Se pudo detectar que el efecto del tipo de carbohidrato tiene una ponderación similar al efecto de la especie de leguminosa en la interacción. En este caso, cuando se estimó la cantidad de celulosa consumida durante el proceso de ensilaje, se detectó que ocurre un cambio que oscila entre 5,9-17,8% al pasar de estado fresco a ensilado. Las razones de este cambio pueden ser explicadas debido a enzimas que hayan degradado la fibra en azúcares más simples, además del efecto adicional que pueden generar los tipos de carbohidratos disponibles durante el proceso de ensilaje. Esto sucede porque las enzimas fibrolíticas tienen un rango de acción entre valores de pH de 4,0-6,8 (Colombatto et al., 2004).

En el caso de la FDA, se determinaron dos grandes grupos. Uno conformado por los tratamientos Arachis-Maíz, Arachis-PCD y Arachis-Melaza; los cuales tiene los promedios de FDA más altos. Y El segundo grupo se integró de Vigna-Maíz y Vigna-Melaza, los cuales tienen el menor contenido de FDA. En ambos casos los tratamientos no presentaron distinciones entre sí. Estas diferencias obtenidas en el comportamiento de los datos entre la celulosa y la FDA pueden deberse al contenido de lignina en cada especie de leguminosa, además del aporte de lignina que hace cada fuente de carbohidratos dentro de cada tratamiento, lo que coincide con lo reportado por López-Herrera et al. (2021). Finalmente, los valores de FDA de los tratamientos fueron mayores a los resultados reportados por Contreras-Govea et al. (2009) (18,0-21,2% MS).

El contenido energético de las mezclas, como total de nutrientes digestibles (TND), fue afectado por el efecto de la especie de leguminosa ($p < 0.001$) y por el de la fuente de carbohidratos ($p < 0.001$). De esta manera, los tratamientos elaborados con Erythrina fueron los que mostraron mayor promedio (64,1% TND), comparado con las medias de los tratamientos elaborados con Cratylia, Vigna y Arachis; que fueron los de menor concentración de TND (59,8, 61,1 y 61,2% TND, respectivamente) sin ser diferentes entre sí.

A pesar de que *Erythrina* posee el mayor promedio y *Cratylia* la menor media, el promedio de ambas leguminosas arbóreas fue 0,78 puntos porcentuales mayor que el promedio de las leguminosas herbáceas. En cuanto a la fuente de carbohidratos, los tratamientos con maíz molido fueron los de mayor promedio de TND (64,3%) en comparación con las otras fuentes: PCD (61,3% TND), melaza (60,7% TND) y GC (59,9% TND); todas estas sin ser diferentes estadísticamente entre ellas.

Estas diferencias son provocadas por la composición energética de cada uno de los forrajes utilizados. Como se mencionó antes, las leguminosas arbustivas poseen menor contenido de cenizas, comparado con las leguminosas herbáceas, esto beneficia al aporte energético de los ensilados (Carvalho et al., 2016; Owens y Basalan, 2016). En cuanto a las fuentes de carbohidratos, de acuerdo con Mata-Arias (2017), el maíz posee 80% TND, la PCD posee 73% TND y la Melaza 58% TND; lo que explica los resultados del contenido de energía en los ensilados. En cuanto al GC, este posee 89% TND, pero 28,3% MS (Rojas-Cordero et al., 2021), es posible que su proporción en la mezcla fuera menor a la esperada una vez que se secó la muestra en el laboratorio. Se debe considerar que cualquier incremento en la densidad energética de los ensilados resultará en una mayor disponibilidad de energía para las bacterias del rumen, lo que se traduce en mayor rendimiento productivo de los animales (López-Herrera et al., 2019).

CONSIDERACIONES FINALES

Tanto la especie de leguminosa como la fuente de carbohidratos generaron diferencias en el contenido de nutrientes de los ensilados. A pesar de esto, no fue posible detectar un patrón de comportamiento en estos nutrientes que permitan establecer a una especie por sobre las otras. Por otra parte, en las fuentes de carbohidratos se pudo determinar que el maíz provoca diferencias en los ensilados, ya que disminuye la fibra y aumenta el contenido de energía debido a un incremento en la concentración de los carbohidratos no fibrosos. También fue posible cuantificar la reducción de la fibra durante el ensilaje, puesto que se determinó la cantidad de hemicelulosa y de celulosa que son consumidas durante el proceso, aunque esto requiere de mayor investigación en otras especies forrajeras y en otros ambientes de conservación.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica por su apoyo al proyecto de investigación "Evaluación de ensilajes de pastos y forrajeras con diferentes niveles de *Musa sp.* para la alimentación de rumiantes bajo normativa orgánica" y su desarrollo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adesogan, A.T. 2014. Avoiding the two greatest silage problems. In Proceedings 50th Florida Dairy Production Conference, Gainesville. 9 abr. 2014. p. 9-17.
- Anyanwu, N.J., O.S. Onifade, J.A. Olanite, V.I.O. Olowe, B.O. Boukar y I.I. Ekpe. 2021. Forage Yield and Nutritive Quality of Haulm from Dual-Purpose Cowpea (*Vigna unguiculata* L Walp) Cultivars for Dry Season Feeding in Nigeria. International Grassland Congress Proceedings. The University of Kentucky. United States.
- Archimède H., M. Eugène, C. Marie Magdeleine, M. Boval, C. Martin, D.P. Morgavi, P. Lecomte y M. Doreau. 2011. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Animal Feed Science and Technology*, 166–167: 59–64.
- Association of Official Analytical Chemist (AOAC). 1998. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th ed, 4th rev. Gaithersburg, MD.
- Borreani, G., E. Tabacco, R.J. Schmidt, B.J. Holmes y R.E. Muck. 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 101 (5): 3952-3979.
- Calsamiglia, S., A. Ferret, C.K. Reynolds, N.B. Kristensen y A.M. Van Vuuren. 2010. Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. *Animal* 4: 1184-1196
- Carvalho, W.G., K.A.D.P. Costa, P.S. Epifanio, R.C. Perim, D.A.A. Teixeira y L.T. Medeiros. 2016. Silage quality of corn and sorghum added with forage peanuts. *Revista Caatinga*, 29: 465-472.
- Castro-Montoya, J.M. y U. Dickhoefer. 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*, 269: 114641.

- Colombatto, D., F.L. Mould, M.K. Bhat, R.H. Phipps y E. Owen. 2004. In vitro evaluation of fibrolytic enzymes as additives for maize (*Zea mays* L.) silage: I. Effects of ensiling temperature, enzyme source, and addition level. *Animal Feed Science and Technology*, 111 (1-4): 111-128.
- Contreras-Govea, F.E., R.E. Muck, K.L. Armstrong y K.A. Albrecht. 2009. Nutritive value of corn silage in mixture with climbing beans. *Animal Feed Science and Technology*, 150 (1-2): 1-8.
- Detmann, E., S.C. Valadares Filho, D.S. Pina, L.T. Henriques, M.F. Paulino, K.A. Magalhães, P.A. Silva y M.L. Chizzotti. 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.
- Detmann, E. y S.C. Valadares Filho. 2010. On the estimation of non-fibrous carbohydrates in feeds and diets. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 62: 980-984.
- Dijkstra, J., O. Oenema y A. Bannink. 2011. Dietary strategies to reducing N excretion from cattle: implications for methane emissions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3 (5): 414-422.
- Di-Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y Y.C. Robledo. 2020. InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Duncan, A.V.M. 2014. Reduction of Enteric Methane Production: A Nutritional Approach. Ph.D. Tesis. Universidad de Carolina del Norte A&T en Greensboro. Estados Unidos. 123 p.
- Ferreira, A.L., R.M. Maurício, L.G.R. Pereira, J.A.G. Azevêdo, L.S. Oliveira y J.M. Pereira. 2012. Nutritional divergence in genotypes of forage peanut. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41: 856-863.
- Heinritz, S.N., S.D. Martens, P. Avila y S. Hoedtke. 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.
- Jiménez-Ferrer, G., G. Mendoza-Martínez, L. Soto-Pinto y A. Alayón-Gamboa. 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.

- Kuppusamy, P., D. Kim, I. Soundharrajan, H.S. Park, J.S. Jung, S.H. Yang y K.C. Choi. 2020. Low-Carbohydrate Tolerant LAB Strains Identified from Rumen Fluid: Investigation of Probiotic Activity and Legume Silage Fermentation. *Microorganisms*, 8 (7): 1044
- López-Herrera, M., R. WingChing-Jones y A. Rojas-Bourrillon. 2016. Bromatología de ensilados de corona de piña con pulpa de cítricos, heno y urea. *Agronomía Mesoamericana*, 27 (1): 37-47.
- López-Herrera, M., A. Rojas-Bourrillon y C. Zumbado-Ramírez. 2017. Características nutricionales y fermentativas de ensilados de pasto Camerún con plátano Pelipita. *Agronomía Mesoamericana*, 28 (3): 629-642.
- López-Herrera, M., A. Rojas-Bourrillon y E. Briceño-Arguedas. 2019. Sustitución del pasto *Megathyrsus maximus* por guineo cuadrado y urea en mezclas ensiladas. *Agronomía Mesoamericana*, 30 (1): 179-194
- López-Herrera, M., M. Arias-Gamboa, A. Alpízar-Naranjo y M. Castillo-Umaña. 2021. Calidad de fibra y producción de metano en ensilados de leguminosas con fuentes de carbohidratos. *Nutrición Animal Tropical*, 15 (2): 1-24.
- López-Herrera, M. y E. Briceño-Arguedas. 2016. Efecto de la frecuencia de corte y la precipitación en el rendimiento de *Cratylia argentea* orgánica. *Nutrición Animal Tropical*, 10 (1): 24-44.
- López-Herrera, M. y E. Briceño-Arguedas. 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-Vigoa, O., T. Sánchez-Santana, J.M. Iglesias-Gómez, L. Lamela-López, M. Soca-Pérez, J. Arece-García y M.D.L.C. Milera-Rodríguez. 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.
- Ma, T., Y. Tu, N.F. Zhang, K.D. Deng y Q.Y. Diao. 2015. Effect of the ratio of non-fibrous carbohydrates to neutral detergent fiber and protein structure on intake, digestibility, rumen fermentation, and nitrogen metabolism in lambs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28 (10): 1419.

- Mata-Arias, L. 2017. Cuadro de composición de materias primas usadas en alimentos para animales. 2. ed. Editorial Universidad de Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. p. 158.
- Montero-Durán, E., A. Rojas-Bourrillon y M., López-Herrera. 2021. Sustitución de *Cratylia argentea* y *Erythrina poeppigiana* por guineo cuadrado en ensilados. *Nutrición Animal Tropical*, 15 (2): 123-146.
- Muck, R.E., E.M.G. Nadeau, T.A. McAllister, F.E. Contreras-Govea, M.C. Santos y L. Kung Jr. 2018. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science*, 101 (5): 3980-4000.
- Oladosu, Y., M.Y. Rafii, N. Abdullah, U. Magaji, G. Hussin, A. Ramli y G. Miah. 2016. Fermentation quality and additives: a case of rice straw silage. *BioMed research international*. p.14.
- Owens, F.N. y M. Basalan. 2016. Ruminant fermentation. In: Millen, D. D., M. D. B. Arrigoni y R. D. L. Pacheco, eds. *Rumenology*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Poppi, D.P., S.P. Quigley, T.A.C.C.D. Silva y S.R. McLennan. 2018. Challenges of beef cattle production from tropical pastures. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47: e20160419
- Rojas-Cordero, D., A. Alpízar-Naranjo, M.Á. Castillo-Umaña y M. López-Herrera. 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., A. Alpízar-Naranjo, M.Á. Castillo-Umaña y M. López-Herrera. 2021. Efecto de la inclusión de *Musa* sp. en la conservación de ensilajes de *Trichanthera gigantea* (Humb. & Bonpl.) Nees. *Pastos y Forrajes*, 44: eE04
- Sánchez-Ledezma, W. 2018. Potencial de los forrajes para producir ensilaje de calidad. *Alcances Tecnológicos*, 12 (1): 49-58
- Schultze-Kraft, R., I.M. Rao, M. Peters, R.J. Clements, C. Bai y G. Liu. 2018. Tropical forage legumes for environmental benefits: An overview. *Tropical Grasslands*, 6 (1): 1-14.
- Serbester, U., M.R. Akkaya, C. Yucel y M. Gorgulu. 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): 66-70.

- Solati, Z., U. Jørgensen, J. Eriksen y K. Søegaard. 2017. Dry matter yield, chemical composition, and estimated extractable protein of legume and grass species during the spring growth. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97 (12): 3958-3966.
- Van Soest, P.V., J.B. Robertson y B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74 (10): 3583-3597
- Yang, J., Y. Cao, Y. Cai y F. Terada. 2010. Natural populations of lactic acid bacteria isolated from vegetable residues and silage fermentation. *Journal of Dairy Science*, 93 (7): 3136-3145
- Yitbarek, M.B. y B. Tamir. 2014. Silage additives. *Open Journal of Applied Sciences*, 4: 258-274.