

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Calidad nutricional y digestibilidad *in situ* de ensilajes de cuatro leñosas forrajeras*Nutritional quality and digestibility in situ of silages from four woody forages*María Ligia Roa¹ y J. R. Galeano²¹Universidad de los Llanos, Escuela de Ciencias Animales km 12 vía a Apiay, Villavicencio, Meta, Colombia²Grupo de Agroforestería Calle 2A No 33A-25, Villavicencio, Meta, Colombia

Correo electrónico: ligiaroa2607@gmail.com

RESUMEN: Se evaluó el efecto del tiempo de conservación en la calidad nutricional y la digestibilidad *in situ* de ensilajes de cuatro plantas leñosas forrajeras: *Cratylia argentea* (T1), *Hibiscus rosa-sinensis* (T2), *Trichanthera gigantea* (T3) y *Tithonia diversifolia* (T4). Las plantas fueron podadas a los seis meses de establecidas y a los tres meses de rebrote, y se utilizaron las hojas y ramas tiernas pequeñas para confeccionar 64 silos de 10 kg, en bolsas plásticas. Cada tiempo de conservación (0, 30, 60 y 90 días) tuvo cuatro repeticiones. Para calcular la digestibilidad de la MS, el NT y la FDN y los parámetros de la digestibilidad efectiva (DE), se utilizaron cuatro bovinos fistulados en el rumen, distribuidos en un diseño cuadrado latino 4 x 4. Los ensilajes presentaron aspecto y olor agradables, con pH entre 4,2 y 4,6 y nitrógeno amoniacal menor que 1 %. El porcentaje de NT fue mayor para T1 (2,52) y T2 (2,43), y este nutriente se redujo hasta los 90 días. La DE de la MS, el NT y la FDN fue superior ($p < 0,05$) en T2, con tendencia a disminuir con el tiempo de conservación (90 días). Este mismo comportamiento presentaron las fracciones A, B y c. El mayor contenido de lignina se presentó en T3 (5,45 %) y T4 (5,60 %), indicador que afectó de manera negativa la cinética ruminal. La disminución de la calidad nutricional y la digestibilidad por el tiempo de conservación fue menor para T2 y T3. Se concluye que las propiedades organolépticas de los ensilajes fueron óptimas, el nitrógeno amoniacal no superó el 1% y el ácido láctico varió entre 1,0 y 3,6 %; mientras que el tiempo afectó en menor grado la composición nutricional del ensilaje de *H. rosa-sinensis*, con respecto a las otras forrajeras. Se recomienda ensilar para la época de seca y utilizar los ensilajes antes de los 60 días de conservación.

Palabras clave: *Cratylia argentea*, *Hibiscus rosa-sinensis*, *Tithonia diversifolia*, *Trichanthera gigantea*, valor nutritivo.

ABSTRACT: The effect of the conservation time on the nutritional quality and the *in situ* digestibility of silages from four woody forage plants: *Cratylia argentea* (T1), *Hibiscus rosa-sinensis* (T2), *Trichanthera gigantea* (T3) and *Tithonia diversifolia* (T4), was evaluated. The plants were pruned after six months of establishment and three months after regrowth, and the leaves and small young branches were used to elaborate 64 silos of 10 kg each, in plastic bags. Each conservation time (0, 30, 60 and 90 days) had four repetitions. To calculate the digestibility of dry matter (DM), total nitrogen (TN), neutral detergent fiber (NDF) and the parameters of effective digestibility (ED), four rumen-fistulated cattle were used, distributed in a 4 x 4 Latin square. The silages showed nice aspect and color, with pH between 4,2 and 4,6 and ammoniacal nitrogen lower than 1 %. The TN percentage was higher for T1 (2,52) and T2 (2,43), and this nutrient was reduced until 90 days. The ED of the DM, TN and NDF was higher ($p < 0,05$) in T2, with a trend to decrease with the conservation time (90 days). This same performance was shown by fractions A, B and c. The highest lignin content appeared in T3 (5,45 %) and T4 (5,60 %), indicator that affected negatively the rumen kinetics. The decrease of the nutritional quality and digestibility due to the conservation time was lower for T2 and T3. It is concluded that the organoleptic properties of the silages were optimum, the ammoniacal nitrogen did not exceed 1 % and the lactic acid varied between 1,0 and 3,6 %; while time affected to a lower extent the nutritional composition of the silage of *H. rosa-sinensis*, with regards to the other forage plants. It is recommended to ensile for the dry season and use the silages before 60 days of conservation.

Keywords: *Cratylia argentea*, *Hibiscus rosa-sinensis*, *Tithonia diversifolia*, *Trichanthera gigantea*, nutritional value

INTRODUCCIÓN

El Piedemonte llanero (Colombia) es una zona del trópico húmedo, con una época seca de cuatro meses, en la cual se afectan de manera negativa la disponibilidad y la calidad de los pastos y los forrajes, situación que reduce la capacidad reproductiva y productiva del ganado. Es por eso que se recomienda el uso de suplementos, con el fin de evitar, mediante un adecuado suministro de nutrientes energéticos y proteicos, pérdidas en la condición corporal de los animales, y en casos extremos la muerte (Plazas, 2010).

Teniendo en cuenta que las fuentes proteicas concentradas son costosas, se ha trabajado en la búsqueda de alternativas que resulten económicas y viables, como los ensilajes, ya que cuando la proteína se aporta en cantidades no adecuadas se desfavorece la producción ganadera (Amata y Lebari, 2011).

En los ensilajes, es importante mantener las condiciones anaeróbicas para incrementar la población de bacterias lácticas, que son las encargadas de fermentar los azúcares presentes en los forrajes y garantizar el medio ácido que se requiere para una buena conservación; mientras que otros aspectos, como el tiempo de conservación, la edad de la cosecha y la calidad microbiológica, se tienen en cuenta para elaborar un buen producto y mantener las propiedades nutricionales del forraje original (Reyes *et al.*, 2009). La fermentación del ensilado se puede monitorear a través de indicadores que establecen que el proceso se desarrolló de forma adecuada (Villaba *et al.*, 2011), los cuales pueden ser biológicos, físicos y químicos. En estos últimos están, entre otros, los contenidos de materia seca, carbohidratos solubles, proteína, extracto etéreo y azúcares reductores (Dormond *et al.*, 2011).

Por otra parte, los sistemas de producción animal que incluyen árboles y plantas arbustivas resultan mejores que los basados en gramíneas, porque su follaje brindan mayor contenido de proteína en comparación con el de la mayoría de los pastos. Dichas plantas pueden ser cultivadas por los ganaderos en fincas grandes o pequeñas (Miranda *et al.*, 2015).

En tal sentido, para la zona del Piedemonte se ha propuesto como una solución sustentable la introducción de árboles y arbustos que han demostrado buena adaptación (Plazas, 2010), como la cratilia (*Cratylia argentea*), el cayeno (*Hibiscus rosa-sinensis*), el nacedero (*Trichanthera gigantea*) y el botón de oro (*Tithonia diversifolia*).

En vacas de doble propósito que pastoreaban *Brachiaria decumbens*, la inclusión de la cratilia fresca o ensilada, como suplemento, incrementó la producción de leche. Esta especie se considera una opción ventajosa para los pequeños productores, porque les permite disminuir el uso de los concentrados y reducir los costos de producción hasta en un 7 % (Rosero y Posada, 2007).

Por otra parte, la inclusión del heno de cayeno en una dieta para ovinos a base de *Cynodon nlemfuensis* aumentó el aporte de nitrógeno e indujo incrementos lineales ($p < 0,05$) en la digestibilidad de la materia seca, la materia orgánica, la proteína y la fibra detergente neutro (Ruiz *et al.*, 2006).

El nacedero produce anualmente hasta 60 t de forraje fresco/ha, y se recomienda su empleo en rumiantes. No obstante, se ha planteado la hipótesis de que su follaje presenta factores limitantes en cuanto a la digestibilidad y el balance de aminoácidos esenciales, lo cual ha conllevado una reducción de su consumo (Araque *et al.*, 2005).

El botón de oro es una especie reportada como promisoría para la nutrición de los rumiantes, los ovinos, los cerdos y los conejos en la zona; sin embargo, no se ha demostrado su potencial como forraje ensilado (Nieves *et al.*, 2011; Gallego-Castro *et al.*, 2014).

Tomando en consideración tales antecedentes, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del tiempo de conservación en la calidad nutricional y la digestibilidad *in situ* de ensilajes de estas cuatro leñosas forrajeras.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Universidad de los Llanos, ubicada en el km 12 vía Puerto López en la Vereda Barcelona, con una altitud de 465 msnm, temperatura de 27 °C y precipitación anual entre 1 900 y 3 250 mm.

Las plantas utilizadas fueron: cratilia, cayeno, nacedero y botón de oro, las cuales se sembraron y se dejaron crecer durante seis meses y posteriormente se realizó una poda de sus copas. A los tres meses de rebrote, se les realizó un corte a las hojas y ramas tiernas pequeñas. El material vegetativo fue troceado a un tamaño de 2 cm y colocado en bolsas plásticas de calibre No. 4.

El apisonamiento se realizó de forma manual, y después de retirarles totalmente el aire, las bolsas fueron selladas con cinta adhesiva. El lugar de almacenamiento se ubicó en un sitio seco y cubierto.

Los tratamientos consistieron en los ensilajes de cratilia (T1), cayeno (T2), nacedero (T3) y botón de oro (T4), con cuatro repeticiones para cada tiempo de conservación (0, 30, 60 y 90 días), para un total de 64 silos de 10 kg.

Se tomaron muestras de cada repetición y se realizaron observaciones organolépticas antes de estas ser llevadas al laboratorio de nutrición animal, donde se determinó: el pH, el nitrógeno amoniacal, la materia seca (MS), el nitrógeno total (NT), la fibra detergente neutro (FDN) y la lignina (AOAC, 2005).

Para la determinación de la digestibilidad *in situ* se utilizaron cuatro bovinos (Criollo x Cebú), fistulados en el rumen, con un peso promedio de $370 \pm 20,5$ kg. Estos fueron distribuidos en un diseño de sobrecambio simple (tabla 1), y los cuatro periodos experimentales se consideraron como repeticiones.

En cada periodo se le colocaron a cada bovino 40 bolsas de nailon dentro del rumen, con 5 g de muestra de ensilaje del respectivo tratamiento, conservado a: 0, 30, 60 y 90 días.

Los animales permanecieron en pastoreo continuo de *B. decumbens* y dispusieron de sal y agua a voluntad. Se les suministró 5 kg de ensilaje diariamente, con un periodo de adaptación de diez días y cuatro de toma de datos, que totalizaron periodos experimentales de 14 días. Los ensilajes se incubaron en el rumen del animal correspondiente a cada tratamiento y tiempo de conservación, y se analizó la digestibilidad de la materia seca (DMS), del nitrógeno total (DNT) y de la fibra detergente neutro (DFDN), con incubaciones en el rumen a las 0, 12, 24, 48 y 72 h.

Para determinar la DMS y describir la cinética de degradación, se utilizó el método *in situ* propuesto por Ørskov (2002) y Mertens (2002).

El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + f_j + ck + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : lectura del tratamiento i -ésimo; donde: i : ensilajes; j : periodos 1, 2, 3, 4; columna k -ésima: animal fistulado 1, 2, 3, 4.

Tabla 1. Distribución de las unidades experimentales en el cuadrado latino de sobrecambio simple.

Periodos experimentales	Horas de incubación en rumen	Cratilia (T1)	Cayeno (T2)	Nacedero (T3)	Botón de oro (T4)
Primero (14 días)	6				
	12				
	24	Bovino A (R1)	Bovino B (R1)	Bovino C (R1)	Bovino D (R1)
	48	40 bolsas	40 bolsas	40 bolsas	40 bolsas
	72				
Segundo (14 días)	6				
	12	Bovino B (R2)	Bovino C (R2)	Bovino D (R2)	Bovino A (R2)
	24	40 bolsas	40 bolsas	40 bolsas	40 bolsas
	48				
	72				
Tercero (14 días)	6				
	12	Bovino C (R3)	Bovino D (R3)	Bovino A (R3)	Bovino B (R3)
	24	40 bolsas	40 bolsas	40 bolsas	40 bolsas
	48				
	72				
Cuarto (14 días)	6				
	12	Bovino D (R4)	Bovino A (R4)	Bovino B (R4)	Bovino C (R4)
	24	40 bolsas	40 bolsas	40 bolsas	40 bolsas
	48				
	72				

μ : media general.

τ_i : efecto del tratamiento i , con $i = 1, 2, 3, 4$.

f_j : efecto del periodo j , con $j = 1, 2, 3, 4$.

ck : efecto del animal fistulado k , con $k = 1, 2, 3, 4$.

ε_{ijk} : error asociado con la lectura del i -ésimo tratamiento en el periodo j -ésimo y en el k -ésimo animal fistulado.

Los resultados fueron analizados aplicando la prueba de Tukey, mediante el programa estadístico SPSS 15 (Pérez, 2009).

Se evaluó también la digestibilidad ruminal efectiva (DE) de la MS, el NT y la FDN de los cuatro ensilajes. Para esto se utilizó el modelo matemático de cinética ruminal (Mertens, 2002)

$$Y = A + B(1 - E^{-c*t})$$

Y (DE) representa la digestibilidad efectiva en porcentaje de desaparición del material degradado y A , B y c son los parámetros a estimar.

t : tiempo de incubación.

A : intercepto con el eje "Y", establece el sustrato soluble rápidamente degradable (para determinar

esta fracción las muestras se incubaron dentro de las bolsas de nailon en líquido ruminal durante 40 minutos en baño de María a 39 °C, antes de ser filtradas y secadas).

B : fracción degradada a las 72 horas.

c : tasa fraccional de pasaje ruminal, porcentaje/hora.

k : se utilizó la constante 0,044 sugerida por Ørskov (2002).

E : exponencial de $-c*t$.

RESULTADOS

Los ensilajes presentaron excelentes condiciones organolépticas en los cuatro periodos de fermentación: olor a fruta madura, color verde aceituna y textura de contornos continuos, además de que fueron consumidos en su totalidad. El pH se ubicó en un rango de 4,2 a 4,6 y el nitrógeno amoniacal fue menor o igual que 1 % (tabla 2).

El mayor contenido de MS ($p < 0,05$) se halló en los ensilajes de *C. argentea* (tabla 2). El porcentaje de NT en todos los tiempos de conservación fue

Tabla 2. Composición nutricional de los ensilajes en los tiempos de conservación.

Días de conservación	Tratamiento	MS (%)	NT (%)	FDN (%)	Lignina (%)	Nitrógeno amoniacal (%)	Ácido láctico (%)	pH
0	T1	23,0 ^b	2,75 ^b	45,0 ^d	7,1 ^b	0,98 ^c	1,31 ^b	5,55 ^a
	T2	19,7 ^{ab}	2,21 ^{ab}	20,4 ^a	3,1 ^b	0,67 ^a	1,40 ^c	6,45 ^b
	T3	18,0 ^a	2,92 ^b	17,9 ^a	2,7 ^a	1,00 ^c	1,03 ^a	5,87 ^a
	T4	21,6 ^{ab}	2,90 ^b	39,4 ^c	6,6 ^b	0,77 ^b	1,01 ^a	6,01 ^{ab}
	EE (±)	0,5	0,02	3,39	0,57	0,02	0,04	0,51
30	T1	34,8 ^c	2,08 ^b	49,5 ^b	8,4 ^a	0,98 ^{ab}	3,21 ^a	4,25 ^a
	T2	24,6 ^a	1,82 ^a	22,6 ^a	4,1 ^a	0,87 ^a	3,10 ^a	4,22 ^a
	T3	19,1 ^a	2,66 ^c	20,6 ^a	3,3 ^{ab}	1,00 ^b	2,89 ^a	4,27 ^a
	T4	27,2 ^b	2,58 ^c	50,7 ^c	7,4 ^{bc}	0,78 ^a	3,01 ^a	4,44 ^a
	EE (±)	1,631	0,101	3,972	0,620	0,02	0,35	0,38
60	T1	39,1 ^c	1,80 ^b	50,0 ^b	8,5 ^b	0,98 ^{ab}	3,51 ^a	4,25 ^a
	T2	33,9 ^b	1,52 ^a	24,2 ^a	4,5 ^a	0,88 ^a	3,60 ^a	4,37 ^a
	T3	28,7 ^a	2,08 ^b	22,1 ^a	3,50 ^a	1,00 ^b	3,34 ^a	4,27 ^a
	T4	35,0 ^b	2,43 ^b	51,9 ^b	8,6 ^b	0,79 ^a	3,21 ^a	4,45 ^a
	EE (±)	1,070	0,097	4,023	0,665	0,02	0,46	0,39
90	T1	41,3 ^c	1,58 ^a	56,2 ^b	9,4 ^c	1,00 ^b	3,55 ^a	4,29 ^a
	T2	35,6 ^b	1,39 ^a	27,2 ^a	6,6 ^a	0,89 ^a	3,62 ^a	4,32 ^a
	T3	32,2 ^a	2,02 ^b	24,8 ^a	5,8 ^a	1,00 ^b	3,34 ^a	4,57 ^a
	T4	37,3 ^{ab}	2,32 ^b	60,5 ^b	9,7 ^b	0,79 ^a	3,22 ^a	4,54 ^a
	EE (±)	0,946	0,105	4,696	0,491	0,02	0,46	0,41

superior ($p < 0,05$) para los ensilajes T3 y T4; a medida que avanzó el tiempo de conservación, el NT disminuyó en un 30 % para T3 y en un 20 % para T4. Comportamientos similares se observaron en los otros tratamientos. El mayor porcentaje de FDN se halló para T1 y T4 ($p < 0,05$), con incrementos de 11,2 y 21,1 unidades porcentuales a los 90 días, en comparación con los valores iniciales antes de la conservación. Se observó un aumento de la MS, la FDN y la lignina a los 90 días en las cuatro especies, en comparación con el tiempo cero; mientras que el mayor porcentaje de nitrógeno total fue para T2 ($p < 0,05$), aunque este indicador disminuyó con el tiempo de conservación.

Resultados similares se hallaron en la digestibilidad efectiva (DE) de la MS. A los 90 días la disminución fue de 18,8; 20,3; 23,3 y 19,4 unidades porcentuales para T1, T2, T3 y T4, respectivamente (tabla 3). La disminución promedio de la DE por efecto del tiempo de conservación fue de 6,8 %, mientras que en las fracciones "A", "B" y "c", como promedio de los cuatro tratamientos, resultó de 9,92; 22,63 y 19,79 %, respectivamente (fig. 2). T4

presentó los menores valores en todos los periodos de conservación.

La DE y la fracción soluble A de la MS fueron superiores ($p < 0,05$) para T2 y T3, y aunque la fracción B resultó similar para todos los tratamientos, el porcentaje tuvo tendencia a disminuir (figs. 1 y 2). Igual comportamiento se observó en la fracción c.

Las fracciones "A", "B" y DE de FDN fueron superiores ($p < 0,05$) para T2 y T3 en comparación con los otros dos tratamientos (tabla 4), mientras que la fracción "B" fue similar para todos los ensilajes, con la excepción de T4 ($p < 0,05$).

La DE de la FDN fue menor ($p < 0,05$) en T3. En todos los tratamientos esta variable se redujo entre 5,0 y 8,5 % a los 90 días (figs. 3 y 4).

La DE de la cinética ruminal del NT en los cuatro tratamientos disminuyó ($p < 0,05$) a los 90 días en 21,17 (T1); 19,84 (T2); 19,6 (T3) y 18,0 (T4) unidades porcentuales, respectivamente (tabla 5), con las más elevadas ($p < 0,05$) en todos los tiempos de conservación para T2 y T4. Es importante señalar que a medida que se incrementó el tiempo de fermentación, la DE disminuyó. T4 fue menor

Tabla 3. Parámetros de la cinética ruminal de la digestibilidad de la materia seca

Días de conservación	Indicador	Tratamiento				EE (\pm)
		T1	T2	T3	T4	
0	A (%)	10,72 ^a	17,57 ^b	17,64 ^b	8,82 ^a	1,15
	B (%)	67,56 ^{ab}	69,70 ^b	67,09 ^b	62,80 ^a	0,72
	c fracción/h (%)	0,094 ^b	0,097 ^b	0,093 ^b	0,087 ^a	0,001
	DE (%)	55,72 ^a	65,50 ^b	63,21 ^b	50,56 ^a	1,72
30	A (%)	9,86 ^a	16,17 ^b	16,23 ^b	8,11 ^a	1,06
	B (%)	62,16 ^a	64,13 ^a	61,72 ^a	57,78 ^a	0,67
	c fracción/h(%)	0,086 ^b	0,089 ^b	0,086 ^b	0,080 ^a	0,001
	DE (%)	51,04 ^a	59,09 ^b	57,01 ^b	45,43 ^a	1,54
60	A (%)	9,22 ^a	15,11 ^b	15,17 ^b	7,59 ^a	0,99
	B (%)	58,11 ^a	59,94 ^a	57,69 ^a	54,00 ^a	0,62
	c fracción/h(%)	0,081 ^b	0,083 ^b	0,080 ^b	0,075 ^a	0,001
	DE (%)	46,82 ^a	54,33 ^b	52,41 ^b	41,63 ^a	1,44
90	A (%)	7,39 ^a	12,55 ^b	11,76 ^b	5,88 ^a	0,82
	B (%)	48,46 ^{ab}	51,78 ^b	46,51 ^{ab}	43,54 ^a	0,87
	c fracción/h(%)	0,067 ^b	0,072 ^c	0,065 ^b	0,060 ^a	0,001
	DE (%)	36,9 ^{ab}	45,18 ^b	39,90 ^b	31,32 ^a	1,45

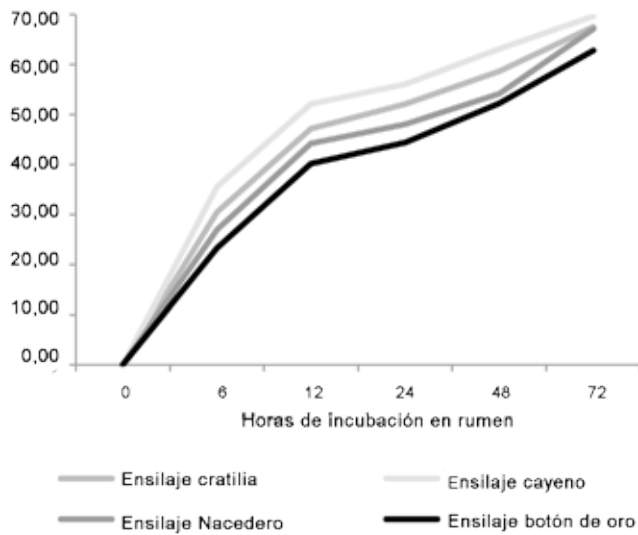


Figura 1. Degradabilidad fracción B (%) de la materia seca de los ensilajes a los cero días de conservación.

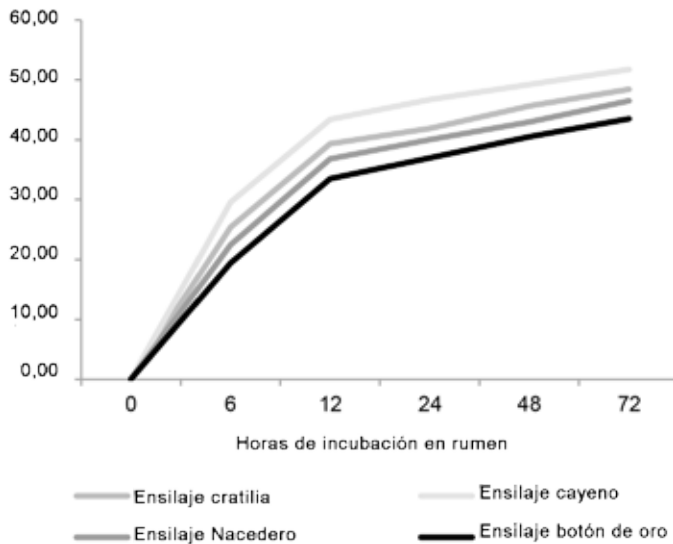


Figura 2. Degradabilidad de la fracción B (%) de la materia seca de los ensilajes a los 90 días de conservación.

($p < 0,05$) en los valores de las fracciones A, B y c en relación con los otros tratamientos.

DISCUSIÓN

El tiempo de fermentación de los ensilajes afectó los contenidos de MS, FDN, NT y lignina. En el caso de la MS, se incrementó con el tiempo de conservación en más de 10 unidades porcentuales a los 60 días en todas las forrajeras, comportamiento similar al obtenido por Viengsakoun *et al.* (2015)

en ensilajes elaborados con residuos de yuca. Este aumento de la MS (de 17,50 a 30,95 % a los 60 días) se puede deber a que el agua del forraje reacciona con los componentes solubles, que se transforman en ácidos grasos volátiles: acético, butírico y láctico. Por otro lado, hubo un incremento de los valores de FDN y lignina con el tiempo de conservación; ello ocasionó que el contenido celular, en el cual se aloja el nitrógeno soluble, que a su vez es parte del NT, disminuyó con el tiempo.

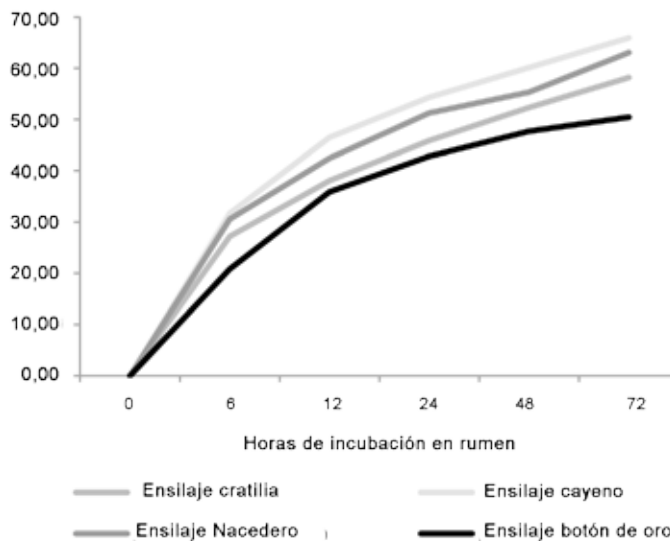


Figura 3. Degradabilidad de la fracción B (%) de fibra detrgente neutro de los ensilajes a los cero dias de conservació

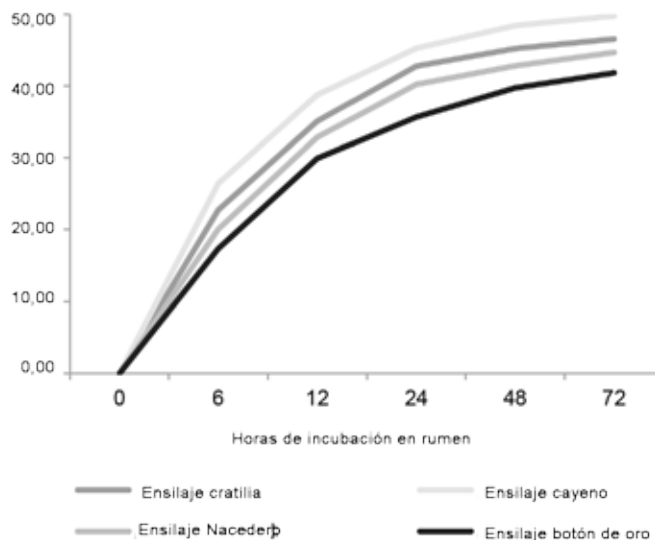


Figura 4. Degradabilidad de la fracción B (%) de fibra detrgente neutro de los ensilajes a los 90 dias de conservaci6n

Para establecer la proporción de fracciones nutricionales que son –o no– degradadas en el rumen, es necesario estimar la digestibilidad efectiva (DE). Los forrajes están constituidos por tres fracciones: la de rápida degradación, la de lenta degradación, y la indigestible. En la primera se encuentran los azúcares y algunos compuestos nitrogenados solubles que desaparecen en las primeras seis horas; mientras que en la segunda se incluyen parte de los componentes de la FDN, la celulosa y la

hemicelulosa, que son degradadas hasta las 72 h y sus valores dependen del tipo de forraje y su estado de madurez (Rosero *et al.*, 2010).

La DE de la FDN fue superior en T2 y T3, lo cual indica que el contenido celular quedó disponible para las bacterias del rumen; ello permitió incrementar su población y, por tanto, su eficiencia en la degradación de otros nutrimentos (Correa, 2008). Además, al ser degradada la proteína en el rumen se libera amoniaco, que es una base débil y puede

Tabla 4. Parámetros de cinética ruminal de la digestibilidad de la fibra detergente neutro

Días de conservación	Indicador	Tratamiento				EE (\pm)
		T1	T2	T3	T4	
0	A (%)	3,25 ^a	4,32 ^b	4,51 ^b	3,73 ^a	0,144
	B (%)	58,20 ^{ab}	65,96 ^b	63,05 ^b	50,44 ^a	1,696
	c fracción/h(%)	0,078 ^b	0,088 ^c	0,084 ^{bc}	0,068 ^a	0,002
	DE (%)	40,94 ^{ab}	48,88 ^c	46,48 ^{bc}	34,72 ^a	1,576
30	A (%)	3,18 ^a	4,23 ^b	4,42 ^b	3,66 ^a	0,141
	B (%)	56,98 ^{ab}	64,57 ^c	61,73 ^{bc}	49,38 ^a	1,660
	c fracción/h(%)	0,076 ^b	0,087 ^c	0,083 ^c	0,066 ^a	0,002
	DE (%)	40,08 ^{ab}	47,85 ^c	45,50 ^{bc}	33,99 ^a	1,543
60	A (%)	3,08 ^a	4,09 ^b	4,28 ^b	3,54 ^a	0,136
	B (%)	52,44 ^a	62,56 ^b	59,80 ^b	47,84 ^a	1,685
	c fracción/h(%)	0,074 ^b	0,084 ^c	0,080 ^c	0,064 ^a	0,002
	DE (%)	39,23 ^a	46,84 ^b	44,54 ^{ab}	33,27 ^a	1,511
90	A (%)	2,93 ^a	3,89 ^b	4,06 ^b	3,36 ^a	0,129
	B (%)	46,60 ^{ab}	49,79 ^b	44,72 ^{ab}	41,87 ^a	0,831
	c fracción/h(%)	0,065 ^{ab}	0,069 ^b	0,062 ^a	0,058 ^a	0,001
	DE (%)	35,13 ^a	42,98 ^b	37,94 ^b	29,71 ^a	1,385

Letras diferentes en la misma fila a igual tiempo de conservación del ensilaje son diferentes ($p < 0,05$).

Tabla 5. Parámetros de cinética ruminal de la digestibilidad del nitrógeno total

Días de conservación	Indicador	Tratamiento				EE (\pm)
		T1	T2	T3	T4	
0	A (%)	11,15 ^a	18,28 ^b	18,35 ^b	9,173 ^a	1,194
	B (%)	70,3 ^{ab}	72,5 ^b	69,8 ^{ab}	65,3 ^a	0,755
	c fracción/h(%)	0,098 ^{ab}	0,101 ^b	0,096 ^b	0,096 ^a	0,001
	DE (%)	59,58 ^a	65,50 ^b	63,21 ^{ab}	50,56 ^a	1,643
30	A (%)	10,26 ^a	16,81 ^b	16,88 ^b	8,44 ^a	1,098
	B (%)	64,65 ^a	66,69 ^a	64,19 ^a	60,09 ^a	0,691
	c fracción/h(%)	0,090 ^b	0,093 ^b	0,089 ^b	0,083 ^a	0,001
	DE (%)	53,64 ^a	62,03 ^b	59,85 ^b	47,78 ^a	1,609
60	A (%)	9,59 ^a	15,72 ^b	15,78 ^b	7,89 ^a	1,027
	B (%)	60,43 ^a	62,34 ^a	60,00 ^a	56,17 ^a	0,646
	c fracción/h(%)	0,084 ^b	0,087 ^b	0,083 ^b	0,078 ^a	0,001
	DE (%)	46,82 ^a	54,33 ^b	52,41 ^b	41,63 ^a	1,436
90	A (%)	7,69 ^a	13,05 ^b	12,23 ^b	6,12 ^a	0,847
	B (%)	52,44 ^{ab}	59,43 ^b	56,81 ^{ab}	45,45 ^a	1,528
	c fracción/h(%)	0,070 ^b	0,080 ^c	0,076 ^b	2,93 ^a	0,357
	DE (%)	38,41 ^{ab}	45,86 ^b	43,61 ^b	32,57 ^a	1,479

Letras diferentes en la misma fila a igual tiempo de conservación del ensilaje son diferentes ($p < 0,05$).

reaccionar con las paredes celulares (FDN) o con sus productos de fermentación, los ácidos grasos volátiles, formando la proteína bacteriana.

Estos resultados son similares a los hallados por Kyaw San *et al.* (2015), quienes alimentaron con ensilaje de maíz a bovinos canulados, y observaron un efecto cuadrático ($p < 0,01$) en la digestibilidad total de la FDN y la FDA a medida que se incrementó el tiempo de conservación.

En la nutrición de los rumiantes, el contenido de NT de los forrajes y su comportamiento en la cinética ruminal son indicadores importantes (Valencia, 2010). Tales premisas se cumplieron para T4 y T3, pues estos ensilajes fueron los que menos se afectaron en el contenido de NT durante el proceso de conservación, con disminución a los 90 días de 20 y 30 % vs. 42,2 y 37,1 % para T1 y T2, respectivamente. Sin embargo, en T2 las variables de la cinética fermentativa en el rumen (DE y *c*) fueron superiores a las de T1 y T4 durante todos los tiempos de conservación, lo que permite inferir que la calidad de la pared celular es determinante en la disponibilidad de NT en el rumen.

Mahecha y Rosales (2005) informaron, para la fracción B de la MS de ensilajes de nacedero y tintonia (74,0 y 90,0 %) a cero días de conservación, valores superiores a los del presente estudio. Esta diferencia pudiera estar asociada a valores diferentes en los componentes químicos de los forrajes, los cuales están relacionados con sus rasgos morfológicos, pero también con el suelo y el clima donde estos se desarrollan.

La proporción de carbohidratos estructurales de cada ensilaje fue diferente. La FDN y la lignina, que representan la pared celular, fueron menores en T2 y T3, lo que indica que existió una mayor cantidad de compuestos solubles disponibles para el animal, en comparación con T1 y T4 (Palma, 2005). Esta disponibilidad permite que dichos ensilajes tengan un proceso de síntesis más eficiente, al presentar una mayor degradación frente a las bacterias ruminales.

La cinética de fermentación ruminal depende de dos aspectos críticos: la velocidad para iniciar la degradación y la tasa de pasaje “*c*”. La combinación de estos dos aspectos establece la cantidad neta de microorganismos que sintetizan los nutrientes y que después son aprovechados y digeridos en el abomaso y el intestino (Sosa *et al.*, 2004). Los resultados confirman la superioridad de la digestibilidad efectiva de la MS y la FDN y de las fracciones B y *c* de los ensilajes de cayeno (T2) y nacedero

(T3), lo cual se manifestó en el NT disponible en el rumen, debido a que sus altas DE y tasa de pasaje *c* se pueden afectar de manera negativa cuando los microorganismos demoran en fraccionar la pared celular para dejar disponible su contenido, que está constituido por nutrientes solubles como el NT (Rodríguez y González, 2006).

La cratilia y el botón de oro presentaron un mayor contenido de lignina, compuesto que interviene negativamente en las fracciones de la cinética ruminal debido a asociaciones en su composición química, lo que provoca efectos negativos en la disponibilidad de nutrientes.

Se concluye que, desde el punto de vista organoléptico, los ensilajes fueron de óptima calidad, mientras que el nitrógeno amoniacal no superó el 1 % y el ácido láctico varió entre 1,0 y 3,6 %.

Al aumentar el tiempo de conservación de los ensilajes, también se incrementaron los contenidos de MS (12,8 %), FDN (9,8 %) y lignina (2,3 %), mientras que el contenido de NT manifestó una tendencia a disminuir (0,43 %), con una reducción más crítica en *T. diversifolia*.

Los parámetros de la cinética ruminal, como la DE y las fracciones B y *c* en la MS, la NT y la FDN, fueron mayores en el cayeno y el nacedero, a la vez que el tiempo de conservación afectó en menor grado la composición nutricional del ensilaje de cayeno, con respecto a las otras leñosas forrajeras.

Se recomienda ensilar estos forrajes como alternativa de alimentación para la época de escasez de alimentos, aunque se debe tener en cuenta que la calidad nutricional inicial del forraje disminuye después de los 60 días de conservación. Es necesario seguir investigando para encontrar estrategias de conservación en las cuales no se afecten la calidad nutricional y el aprovechamiento de los ensilajes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amata, I. A. & Lebari, T. A. Comparative evaluation of the nutrient profile of four selected browse plants in the tropics, recommended for use as non-conventional livestock feeding materials. *Afr. J. Biotechnol.* 10 (64):14230-14233, 2011.
- AOAC. *Official methods of analysis*. 18th ed. Gaithersburg, USA: AOAC INTERNATIONAL, 2005.
- Araque, H.; González, C.; Pok, L. & Ly, J. Performance traits of finishing pigs fed mulberry and trichanthera leaf meals. *Revista Científica (LUZ)*. XV (6):517-522, 2005.
- Correa, H. J. Estimación de la degradabilidad efectiva en el rumen mediante métodos numéricos. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*. 61 (2):4654-4657, 2008.

- Dormond, H.; Rojas, A.; Boschini, C.; Mora, G. & Sibaja, G. Evaluación preliminar de la cáscara de banano maduro como material de ensilaje, en combinación con pasto king grass (*Pennisetum purpureum*). (Nota técnica). *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*. XII (23):17-31, 2011.
- Gallego-Castro, L. A.; Mahecha-Ledesma, L. & Angulo-Arizala, J. Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la producción de vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana*. 25 (2):393-403, 2014.
- Mahecha, Liliana; Duran, C.; Rosales, M.; Molina, C.H. & Molina, E. Consumo de pasto estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*) en un sistema silvo-pastoril. *Pasturas Tropicales*. 22 (1):26-30, 2000.
- Mertens, D. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feed with refluxing in beaker or crucibles collaborative study. *Journal of AOAC International*. 85 (6):1217-1240, 2002.
- Mahecha, L. & Rosales, M. Valor nutricional del follaje de botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, en la producción animal en el trópico. *Livestock Res. Rural Dev.* 17(9), 2005. <http://www.lrrd.org/lrrd19/2/mahe19016.htm>. [09/11/2013].
- Miranda, Taymer; Machado, Hilda; Bover, Katia; Oropesa, Katerine; Suset, A. & Lezcano, J. C. Principales limitantes y soluciones para la producción de alimentos: Contribución del Programa de Innovación en Matanzas, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 38 (3):202-208, 2015.
- Napasirth, V.; Napasirth, P.; Sulinthone, T.; Phommachanh, K. & Cai, Y. Microbial population, chemical composition and silage fermentation of cassava residues. *Anim. Sci. J.* 86 (9):842-848, 2015.
- Nieves, D.; Terán, O.; Cruz, L.; Mena, M.; Gutiérrez, F. & Ly, J. Digestibilidad de nutrientes en follaje de árnica (*Tithonia diversifolia*) en conejos de engorde. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 14 (1):309-314, 2011.
- Ørskov, E. R. *Trails and trials in Livestock Research*. Aberdeen, Scotland: International Feed Resources Unit, 2002.
- Palma, J. M. Los sistemas silvopastoriles en el trópico seco mexicano. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 14 (3):95-104, 2006.
- Pérez, C. *Técnicas de análisis de datos con SPSS 15*. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2009.
- Plazas, C. H. Evaluación agronómica a nivel de finca de bancos forrajeros asociados con *Tithonia diversifolia*, *Verbesina* sp. *Tournefortia* sp., *Cratylia argentea*, y *Acalypha macrostachia*. Experiencias con pequeños productores del Piedemonte del Meta, municipios de Restrepo y Cumaral, Departamento del Meta, Colombia. *Rev. Sist. Prod. Agroecol.* 1 (1):74-94, 2010.
- Reyes, N.; Mendieta, B.; Fariñas, T.; Mena, M.; Cardona, J. & Pezo, D. *Elaboración y utilización de ensilajes en la alimentación de ganado bovino*. Managua: CATIE. Serie técnica. Manual técnico No. 91, 2009.
- Rodríguez, C. & González, J. *In situ* study of relevance of factorial adherence to feed particles for the contamination and accuracy degradability estimates for feeds of vegetable origin. *Brit. J. Nut.* 96:316-325, 2006.
- Rosero, J.; Ortiz, S.; Franco, L.; Peters, M. & Ramírez, G. Sistemas de siembra de *Cratylia argentea* cultivar Veranera en dos localidades del valle del río Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*. 59 (4):429-434, 2010.
- Rosero, R. S. & Posada, S. Modelación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 20:174-182, 2007.
- Ruiz-Sesma, D.; Lara-Lara, P.; Sierra-Vázquez, A.; Aguilar-Urquiza, E.; Magaña-Magaña, M. & Sanginés-García, J. Evaluación nutritiva y productiva de ovinos alimentados con heno de *Hibiscus rosa-sinensis*. *Zootecnia Trop.* 24 (4):467-482, 2006.
- Sosa, E. E.; Pérez, D.; Ortega, L. & Zapata, G. Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para la alimentación de ovinos. *Técnica Pecuaria en México*. 42 (2):129-144, 2004.
- Valencia-Trujillo, Liliana; Restrepo-Paredes, J.; Cerrón-Hernández, D. E. & Herrera-García, W. F. Determinación de la digestibilidad *in vivo* en ovinos utilizando dietas a base de forrajes tropicales. *RIAA*. 1 (1):25-29, 2010.
- Villalba, Diana K.; Holguín, Vilma A.; Acuña, J. A. & Piñeros Varón, R. Calidad bromatológica y organoléptica de ensilajes de residuos orgánicos del sistema de producción café-musáceas. *Rev. Col. Cienc. Anim.* 4 (1):47-52, 2011.
- Win, K. S.; Ueda, K. & Kondo, S. Effects of grass hay proportion in a corn silage-based diet on rumen digesta kinetics and digestibility in dairy cows. *Anim. Sci. J.* 86 (9):833-841, 2015.

Recibido el 27 de mayo del 2015

Aceptado el 12 de octubre del 2015