

## Nota Técnica

# COMPOSICIÓN NUTRICIONAL Y CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS DEL ENSILAJE DE MANÍ FORRAJERO <sup>1/</sup>

Rodolfo WingChing-Jones<sup>2/\*</sup>, Augusto Rojas-Bourrillón\*

**Palabras clave:** Ensilaje, leguminosa, *Arachis pintoi*, calidad nutricional, ecotipos, aditivos.

**Keyword:** Silage, legumes, *Arachis pintoi*, nutritive value, ecotypes, additives.

Recibido: 25/08/05

Aceptado: 25/01/06

## RESUMEN

Mediante la técnica de microsilos, se determinó el efecto de la edad de rebrote (8 y 12 semanas), de la deshidratación parcial (con oreo y sin este) y de la adición de melaza (0, 3, y 6%) sobre las características fermentativas y el valor nutritivo del ensilaje de maní forrajero de 2 ecotipos (CIAT 17434 Y CIAT 18744). Se ensiló 1 kg de material en cada bolsa, para un total de 24 tratamientos, con 5 repeticiones. El proceso de ensilado se prolongó por 45 días. Los valores de materia seca fueron afectados significativamente por la frecuencia de corta, el oreo y la adición de melaza, no así por el ecotipo ensilado ( $p=0,08$ ). En cambio, el ecotipo y la frecuencia de corta afectaron el contenido de proteína cruda ( $p<0,0001$ ). Los contenidos de fibra detergente neutro y fibra detergente ácida fueron afectados significativamente por los 4 efectos principales. El valor de pH, al igual que la concentración de ácidos acético, butírico y láctico, variaron significativamente en respuesta a la adición de melaza y el oreo, no así por la edad de rebrote y el ecotipo ensilado; en cambio, la capacidad buffer fue alterada por los efectos principales ( $p<0,0001$ ). El contenido de nitrógeno amoniacal varió por efecto del contenido de melaza, edad

## ABSTRACT

### Nutritive value and fermentative characteristics of perennial peanut silage.

Using the micro-silo technique, the effects of cutting frequency (8 and 12 weeks), of partial dehydration (wilting or not) and of molasses addition (0, 3 and 6%) on fermentative characteristics and nutritive value of silage of 2 ecotypes of perennial peanut (CIAT 17434 and CIAT 18744), were studied. Molasses were applied on previously chopped wilted and unwilted perennial peanut, for a total of 24 treatments, with 5 replicates. Silos were opened 45 days after preparation. The dry matter content was significantly affected by cutting frequency, wilting and molasses addition, but not by ecotype ( $p=0.08$ ). Crude protein content was affected only by ecotype and cutting frequency ( $p<0.0001$ ). The cell wall contents and acid-detergent fiber were affected significantly by all four main effects. The pH value and the concentration of acetic, butyric and lactic acid varied significantly in response to the addition of molasses and wilting, but were not affected by cutting frequency, and ecotype. The silage buffering capacity was affected by the main effects ( $p<0.0001$ ); the nitrogen ammonia

1/ Este trabajo forma parte de la tesis de M.Sc. del primer autor. Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

2/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: rwingchi@cariari.ucr.ac.cr

\* Centro de Investigaciones en Nutrición Animal, Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

de rebrote y ecotipo ensilado, no así por el oreo ( $p < 0,621$ ). El tratamiento que obtuvo los mejores parámetros de calidad nutricional y fermentativos fue el ensilaje del ecotipo 17434, con una edad de rebrote de 8 semanas, sin oreo, y con la aplicación de 6% de melaza.

content was affected by molasses content, cutting frequency and ecotype, but wilting did not have effect ( $p < 0.621$ ). The silage with the best nutritive value parameter and fermentative pattern was from ecotype 17434, cut at 8 weeks, without wilting and with the application of 6% molasses.

## INTRODUCCIÓN

La producción de pastos en las regiones tropicales y subtropicales está determinada principalmente por la precipitación pluvial y la temperatura. Dado que durante el año hay una distribución poco uniforme de las lluvias, esta condición determina una estacionalidad en su producción (Gutiérrez 1996).

Durante los periodos secos se reduce la tasa de crecimiento y la calidad nutritiva de los pastos. Estas reducciones repercuten seriamente sobre la producción de leche, la ganancia de peso y la reproducción de los animales, ya que estas características, en buena medida, son dependientes del uso del forraje como alimento. Aunado a esta situación, la búsqueda de la eficiencia a nivel de finca ha intensificado las actividades día con día, lo que hace necesario buscar nuevas alternativas de alimentación durante el periodo seco del año, mediante el mejor uso de los materiales propios de la finca.

La mayoría de las explotaciones lecheras en Costa Rica basan su producción en consumos altos de alimento balanceado, los cuales representan alrededor de 48% de los costos de producción de un litro de leche (Abarca y Madriz 1999). Esta situación será muy importante cuando entren en vigencia los tratados de libre comercio, debido a que se reducirán los aranceles a los productos lácteos, por lo cual los productores para ser competitivos deberán mejorar su nivel de eficiencia.

Los productores que no pueden enfrentar económicamente el costo del uso de mezclas balanceadas han ideado alternativas como:

reducción en la carga animal (venta o traslado de animales); uso de subproductos; reservas de pasturas; irrigación; conservación de forrajes o la combinación de 2 o más de estas alternativas.

La conservación de forrajes mediante el ensilado emerge como una opción útil, fácil de implementar y de costo bajo, que consiste en una fermentación anaeróbica cuyos productos son los ácidos orgánicos láctico, acético y butírico.

El ensilado de materiales de alto valor nutritivo durante los periodos de escasez de forraje, proporciona una fuente alimenticia muy beneficiosa para el desarrollo de los animales. Entre los materiales forrajeros con los atributos antes mencionados se encuentran las leguminosas, las cuales poseen un perfil nutricional elevado, por su alto contenido de proteína, aunque, esta característica promueve una menor disminución del pH, necesaria para un proceso de fermentación adecuado (Plane y McDonald 1966).

Durante los últimos años se ha venido estimulando el empleo del maní forrajero (*Arachis pintoi*) como componente en las dietas del ganado lechero. Las experiencias indican que este puede ser empleado, mediante el pastoreo en bancos de proteína, como única fuente forrajera, forraje de corta o en asociación con gramíneas.

Dada la alta producción de biomasa (24-26 t MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) (Argel y Villareal 1998) y la calidad nutricional del *Arachis pintoi*, y con el objetivo de potenciar su utilización como ingrediente para la alimentación del ganado, se evaluó el efecto de la edad de corte, el pre-marchitamiento (oreo) y la adición de melaza sobre la calidad del ensilaje.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Forraje

El material utilizado fue cosechado en Santa Clara de San Carlos, en la finca de la Sede Regional del Instituto Tecnológico de Costa Rica y luego se trasladó a la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica en San Pedro de Montes de Oca, donde fue picado y empacado al vacío. Para el ensilaje se utilizó material vegetativo de maní forrajero (CIAT 17434 y CIAT 18744), cosechado manualmente a 8 y 12 semanas de edad y picado en picadora a un tamaño de 1,6. Una de las mitades cosechadas en cada edad se sometió a deshidratación (presecado) al sol durante 2 h con un volteo al final de la primera hora.

### Microsilos y tratamientos

Al material con deshidratación (presecado) y sin esta, y previamente picado, se le adicionó melaza al 0, 3 y 6% con base en el peso fresco. Luego se depositaron muestras de 1 kg en bolsas de plástico de 0,063 mm de espesor, a las cuales se les extrajo el aire con una bomba de vacío e inmediatamente se sellaron. Las bolsas se colocaron en posición horizontal en una estantería bajo condiciones ambientales de temperatura y humedad durante 45 días.

### Manejo de las muestras y análisis químico

El día cero del proceso fueron recolectadas 6 submuestras de cada tratamiento, a las cuales se les realizó un análisis de composición nutritiva. Una vez abiertos los microsilos (45 días después) se procedió a descartar el material descompuesto (putrefacto) registrando el peso del mismo. Los casos donde todo el material estuvo putrefacto, se consideraba como efecto de tratamiento.

Tanto en las muestras tomadas antes como en las tomadas después de la fermentación, se analizó el contenido de materia seca (MS) en estufa a 60°C durante 48 h, proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y cenizas (AOAC 1980); carbohidratos no fibrosos (Eastridge 1994), fibra

detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) (Van Soest y Robertson 1985), mientras que el contenido de nitrógeno amoniacal (porcentaje del nitrógeno total) fue determinado después del proceso fermentativo (AOAC 1980).

La capacidad buffer del material después de ensilar se determinó mediante la metodología de McDonald y Henderson (1962), y para la determinación de los ácidos grasos volátiles se siguió la metodología descrita por Tobía (2004) por medio de cromatografía de gases.

### Análisis estadístico

Se utilizó un diseño irrestricto al azar con un arreglo factorial de tratamientos. Los factores considerados fueron: el ecotipo de maní forrajero (2 ecotipos), el presecado (2 niveles), la frecuencia de cosecha (2 niveles) y el nivel de adición de melaza (3 niveles), generando así 24 tratamientos que se repitieron 5 veces para un total de 120 microsilos. Se evaluó los efectos principales, así como sus interacciones, la comparación entre medias se realizó por medio de la prueba de Waller Duncan (SAS 1985).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Composición de las mezclas antes de ensilar

En los cuadros 1 y 2 se indica el valor nutritivo de los materiales a ensilar de maní forrajero de los ecotipos CIAT 18744 y CIAT 17434, respectivamente. Se nota que el oreo incrementa los contenidos de materia seca en estas mezclas, siendo superior en el material con una frecuencia de corta de 8 semanas en ambos ecotipos, lo cual se podría deber a una mayor relación hoja:tallo. En el ecotipo CIAT 17434 los incrementos de MS del material deshidratado rondan entre 2,28 a 1,67 veces su contenido sin marchitado (8 y 12 semanas, respectivamente), mientras que en el ecotipo CIAT 18744 las relaciones son de 1,93 y 1,49 veces, respectivamente. Según Marsh (1979) el efecto del deshidratado es la reducción del contenido de humedad en los

Cuadro 1. Composición nutricional de las mezclas a ensilar de *Arachis pintoi* (CIAT 18744)

Variables	Unidades	<i>Arachis pintoi</i> CIAT 18744											
		8 semanas						12 semanas					
		Con deshidratación			Sin deshidratación			Con deshidratación			Sin deshidratación		
0	3	6	0	3	6	0	3	6	0	3	6		
Materia seca 60°C	%	39,33	38,84	38,83	18,82	20,49	21,18	31,46	32,77	34,01	20,86	21,94	23,19
Proteína cruda	% MS	20,88	19,90	19,58	21,20	20,79	18,86	17,63	19,75	19,26	19,75	18,32	19,08
Fibra detergente neutra	% MS	67,28	63,36	60,71	58,16	51,88	53,56	54,73	51,52	51,76	52,65	51,66	50,92
Fibra detergente ácida	% MS	36,24	31,51	29,96	35,20	32,63	29,87	39,45	37,33	33,91	38,31	34,97	35,21
Extracto etéreo	% MS	2,37	2,98	1,52	2,78	1,56	1,64	2,17	1,42	1,51	1,50	1,40	2,86
Carbohidratos no fibrosos	%MS	0,07	4,81	9,13	7,89	15,8	15,95	13,60	17,71	18,38	15,93	18,44	17,58
Cenizas	% MS	9,40	8,95	9,06	9,34	9,97	9,99	11,87	9,60	9,09	10,17	10,18	9,59

Cuadro 2. Composición nutricional de las mezclas a ensilar de *Arachis pintoi* (CIAT 17434).

Variables	Unidades	<i>Arachis pintoi</i> CIAT 17434											
		8 semanas						12 semanas					
		Con deshidratación			Sin deshidratación			Con deshidratación			Sin deshidratación		
0	3	6	0	3	6	0	3	6	0	3	6		
Materia seca 60°C	%	43,85	47,88	48,27	19,08	20,57	21,57	32,29	34,02	35,19	19,07	20,50	21,03
Proteína cruda	% MS	18,52	17,23	17,51	15,36	18,59	19,40	17,48	19,30	17,64	18,08	18,33	17,79
Fibra detergente neutra	% MS	64,51	61,66	55,15	59,49	57,67	53,07	61,11	56,60	56,91	55,88	54,70	54,36
Fibra detergente ácida	% MS	38,51	36,36	32,47	36,45	34,23	34,45	43,06	37,16	37,04	40,91	37,94	36,33
Extracto etéreo	% MS	2,69	2,96	3,42	1,11	2,57	2,52	2,12	1,61	1,44	1,00	1,44	1,18
Carbohidratos no fibrosos	% MS	4,70	7,93	24,55	13,59	10,76	14,20	8,31	13,13	14,76	13,58	14,66	15,42
Cenizas	% MS	9,58	10,22	9,37	10,45	10,41	10,81	10,98	9,36	9,25	11,46	10,87	11,25

materiales, lo que provoca una concentración de los nutrimentos. En estas mezclas el valor de fibra detergente neutro a las 8 semanas de corta, presentó un aumento porcentual con relación a su tratamiento sin marchitamiento, ya que en los otros análisis la diferencia no es tan marcada. Con relación a la frecuencia de corta, a las 8 semanas en los ecotipos CIAT 17434 y CIAT 18744 se encontró valores promedio mayores para el contenido de MS ( $29,58\% \pm 10,35$  y  $33,54\% \pm 14,49$ , respectivamente), fibra detergente neutro ( $58,59\% \pm 4,21$  y  $59,16\% \pm 5,85$ , respectivamente) y el contenido de proteína cruda fue mayor solo en el ecotipo CIAT 18744 ( $20,20\% \pm 0,90$  contra  $18,97\% \pm 0,84$ ), resultados similares informa Valencia *et al.* (1997) al obtener mayor contenido de proteína cruda a una frecuencia de corta de 6 semanas con relación a la semana 12. A las 12 semanas los valores de fibra detergente ácida ( $38,74\% \pm 2,65$  y  $36,53\% \pm 2,16$ ), carbohidratos no fibrosos ( $13,31\% \pm 2,59$  y  $16,94\% \pm 1,87$ ) y el contenido de PC del ecotipo CIAT 17434 ( $18,10\% \pm 0,66$  contra  $17,77\% \pm 1,42$ ) fueron altos. La adición de melaza a estas mezclas presentó una tendencia lineal en las variables analizadas, el contenido de MS y los carbohidratos no estructurales se incrementaron por los aportes de melaza a los materiales (3% y 6%), en cambio, el contenido de proteína cruda, FDN y FDA tendió a disminuir.

El ecotipo CIAT 17434 presenta un contenido promedio mayor de MS ( $30,28\% \pm 11,53$  contra  $28,48\% \pm 8,14$ ), fibra detergente ácida ( $37,08\% \pm 2,88$  contra  $34,55\% \pm 3,11$ ), fibra detergente neutro ( $57,59\% \pm 3,44$  contra  $55,68\% \pm 5,44$ ) y carbohidratos no fibrosos ( $12,97\% \pm 4,94$  contra  $12,94\% \pm 6,05$ ), pero un menor contenido de proteína cruda con relación al ecotipo CIAT 18744 ( $17,94\% \pm 1,07$  contra  $19,58\% \pm 1,05$ ).

Según Weiss (1999), el rango óptimo de MS que debe tener un material a ensilar es de 30-45%, debido a que se requiere una humedad adecuada para una buena compactación y proceso fermentativo, en esta investigación a los materiales que se les aplicó deshidratación se encuentran dentro de este rango, mientras que los materiales sin deshidratación presentan

contenidos de materia seca de 20-25% en ambos ecotipos, lo cual podría favorecer fermentaciones acéticas y clostridiales en aquellos materiales que la concentración de carbohidratos fácilmente fermentables sea < a 8% de la MS.

## 2. Composición de las mezclas ensiladas

En los cuadros 3 y 4 se encuentran los resultados, tendencias y significancias con respecto al valor nutricional de los ensilados de maní forrajero, además de las características fermentativas que gobernaron el proceso del ensilaje en cada tratamiento.

### a. Materia Seca (MS)

El contenido de MS en el ecotipo CIAT 17434 fue mayor en la frecuencia de corta de 8 semanas que a las 12 semanas ( $37,31\% \pm 15,62$  contra  $30,26\% \pm 7,52$ ) ( $p < 0,0001$ ), un comportamiento similar se encontró en el ecotipo CIAT 18744 ( $37,13\% \pm 8,68$  contra  $30,31\% \pm 6,49$ ) ( $p < 0,0001$ ). Con relación a la diferencia del contenido de MS entre ecotipos esta no fue significativa ( $p = 0,08$ ). Staples *et al.* (1997) informan de contenidos de MS de 26,5% en *Arachis glabrata* cosechado con una frecuencia de corta de 7 semanas y con 3 horas de deshidratación, en esta investigación se obtuvo mayores contenidos promedio de MS ( $33,72\% \pm 8,13$  para el ecotipo CIAT 18744 y de  $33,79\% \pm 12,25$  en el ecotipo CIAT 17434 ( $p = 0,08$ )) tal diferencia se podría deber a una mayor frecuencia de corta (8 y 12 semanas), al uso de otra especie (*A. pintoi*) y a las condiciones de temperatura y humedad relativa predominantes en el momento del secado del material. Tobia (2004), informa de valores menores de MS ( $24,8\% \pm 1,6$ ) para el ensilaje de soya cosechada en un estado de desarrollo  $R_6$ . En cambio, Broderick *et al.* (2002) informan de contenidos de MS mayores para el ensilaje de alfalfa, cosechada en estado intermedio de la floración, con deshidratación (36,2% MS). La técnica del deshidratado en el ensilaje con el ecotipo CIAT 18744 incrementó la MS 1,53

Cuadro 3. Composición nutricional y parámetros fermentativos del material ensilado de *Arachis pintoi* (CIAT 18744)

Variables	Unidades	<i>Arachis pintoi</i> CIAT 18744															
		8 semanas						12 semanas									
		Con deshidratación			Sin deshidratación			Con deshidratación			Sin deshidratación						
0	3	6	T/R <sup>2</sup> *	0	3	6	T/R <sup>2</sup>	0	3	6	T/R <sup>2</sup>						
Materia seca 60°C	%	44,39c	45,64a	44,76b	Cuadr. 1	27,62c	28,39b	31,97a	Lineal 0,87	34,56c	36,55b	36,95a	Lineal 0,87	22,07c	24,86b	26,85a	Lineal 0,99
Proteína cruda	% MS	17,94c	19,11b	19,22a	Cuadr. 1	19,96b	19,00c	20,41a	Cuadr. 1	19,10b	19,47a	18,63c	Cuadr. 1	17,63a	16,89b	17,74a	Cuadr. 1
Fibra detergente neutra	% MS	50,04a	50,20a	42,93b	Cuadr. 1	46,04b	46,09b	47,19a	Cuadr. 1	61,74a	58,29c	60,12b	Cuadr. 1	54,73a	50,40b	45,77c	Lineal 0,99
Fibra detergente ácida	% MS	36,96a	35,46b	33,82c	Lineal 0,99	39,57a	37,16b	35,40c	Lineal 0,99	38,41a	36,72c	37,60b	Cuadr. 1	39,46c	43,15a	41,78b	Cuadr. 1
Extracto etéreo	% MS	2,05b	2,47a	2,30a	Cuadr. 1	2,68b	3,45a	2,20c	Cuadr. 1	2,02a	1,83a	1,50b	Lineal 0,97	2,17a	1,59c	1,79b	Cuadr. 1
Carbohidratos no fibrosos	% MS	20,77	19,05	25,96	Cuadr. 1	21,06	20,93	20,09	Lineal 0,84	7,01	10,14	9,43	Cuadr. 1	13,6	19,69	23,35	Lineal 0,97
Cenizas	% MS	9,20	9,17	9,59	Cuadr. 1	10,26	10,53	10,11	Cuadr. 1	10,13	10,27	10,32	Lineal 0,93	11,87	11,43	11,35	Lineal 0,86
pH		5,07a	4,71b	4,44c	Lineal 0,99	5,42a	4,07b	3,85c	Lineal 0,85	5,32a	4,29b	3,99c	Lineal 0,90	5,33a	4,39b	4,25c	Lineal 0,84
N-amoniacoal	N/N-Total	13,53a	11,19b	10,88c	Lineal 0,83	19,68a	8,50b	8,06c	Lineal 0,77	17,50a	12,59b	11,72c	Lineal 0,86	26,35a	11,97b	10,34c	Lineal 0,85
Capacidad Buffer	meq 100 g <sup>-1</sup> MS	35,74a	33,24c	33,78b	Cuadr. 1	70,54a	54,51b	48,39c	Lineal 0,93	74,10c	83,15a	79,71b	Cuadr. 1	149,3a	96,46c	106,6b	Cuadr. 1
Ácido láctico	% MS	0,10c	2,13b	2,45a	Lineal 0,85	0,63c	2,43b	4,59a	Lineal 0,99	0,00c	1,99b	2,16a	Lineal 0,80	0,53c	2,42b	2,75a	Lineal 0,85
Ácido acético	% MS	2,16a	1,23b	0,79c	Lineal 0,95	2,45a	1,96b	1,19c	Lineal 0,98	2,26a	1,45b	0,89c	Lineal 0,98	2,56a	2,23b	1,03c	Lineal 0,90
Ácido butírico	% MS	1,11a	0,25b	0,06c	Lineal 0,88	1,56 <sup>a</sup>	0,16b	0,00c	Lineal 0,82	1,36a	0,53b	0,13c	Lineal 0,82	1,73a	0,50b	0,08c	Lineal 0,92

1 T/R = Tendencia/Significancia; Cuadr.= cuadrática, NS = No significativo

Cuadro 4. Composición nutricional y parámetros fermentativos del material ensilado de *Arachis pintoi* (CIAT 17434)

Variables	Unidades	8 semanas						12 semanas									
		Con deshidratación			Sin deshidratación			Con deshidratación			Sin deshidratación						
		0	3	6	T/R <sup>2*</sup>	0	3	6	T/R <sup>2</sup>	0	3	6	T/R <sup>2</sup>				
Materia seca 60°C	%	44,16c	53,68b	55,02a	Lineal 0,84	19,08c	25,29b	26,64a	Lineal 0,89	35,83c	37,19b	37,82a	Lineal 0,95	20,75c	24,59b	25,40a	Lineal 0,87
Proteína cruda	% MS	18,32a	18,03b	17,00c	Lineal 0,90	18,09c	18,21b	20,60a	Lineal 0,78	17,41b	17,75a	17,19c	Cuadr. 1	16,21b	17,45a	15,75c	Cuadr. 1
Fibra detergente neutra	% MS	53,16b	53,47a	53,02b	Cuadr. 1	53,01a	52,16b	48,49c	Lineal 0,88	64,23a	55,97b	55,14c	Lineal 0,81	57,40a	53,09c	55,21b	Cuadr. 1
Fibra detergente ácida	% MS	41,09a	40,11b	36,77c	Lineal 0,90	46,11a	40,66b	38,07c	Lineal 0,95	43,07a	42,55b	35,98c	Lineal 0,80	45,58a	40,49b	37,71c	Lineal 0,97
Carbohidratos no fibrosos	% MS	16,42	16,20	17,84	Cuadr. 1	14,41	16,22	15,49	Cuadr. 1	4,91	13,98	14,96	Lineal 0,82	10,77	15,63	14,78	Cuadr. 1
Extracto etéreo	% MS	2,02c	2,56a	2,25b	Cuadr. 1	2,83b	2,49c	5,05a	Cuadr. 0,99	2,27a	1,89b	1,83b	Lineal 0,85	2,12a	2,08a	1,73b	Lineal 0,82
Cenizas	% MS	10,08	9,74	9,89	Cuadr. 1	11,66	10,92	10,37	Lineal 0,99	11,18	10,41	10,88	Cuadr. 1	13,50	11,75	12,53	Cuadr. 1
pH		4,90a	4,49b	4,46b	Lineal 0,80	5,36a	4,49b	3,89c	Lineal 0,98	5,32a	4,55b	4,38c	Lineal 0,88	5,18a	4,21b	4,02c	Lineal 0,86
N-amoniacoal	N/N-total	13,64	11,85	11,15	Lineal 0,94	17,46a	9,47b	6,59c	Lineal 0,93	16,32a	12,67b	11,66c	Lineal 0,90	23,18a	8,43bc	8,93b	Cuadr. 1
Capacidad Buffer	meq 100 g <sup>-1</sup> MS	47,51a	42,47b	47,12a	Cuadr. 1	88,59a	65,99cb	69,92b	Cuadr. 1	65,03c	72,19b	87,65a	Lineal 0,95	193,6a	93,84c	103,1b	Cuadr. 1
Ácido láctico	% MS	0,00c	1,03b	1,89a	Lineal 0,99	0,35c	3,37b	3,77a	Lineal 0,83	0,03c	1,46b	2,16a	Lineal 0,96	0,44c	3,04b	3,70a	Lineal 0,89
Ácido acético	% MS	1,98a	1,23b	0,94c	Lineal 0,93	2,34a	1,86b	1,19c	Lineal 0,99	1,88 <sup>a</sup>	1,37b	1,06c	Lineal 0,98	2,45a	1,79b	1,10c	Lineal 0,99
Ácido butírico	% MS	1,09a	0,31b	0,23c	Lineal 0,81	1,24a	0,09b	0,00c	Lineal 0,80	1,21a	0,38b	0,18c	Lineal 0,88	1,68a	0,00b	0,00c	Lineal 0,75

\* T/R2 = Tendencia/Significancia, Cuadr= cuadrática, NS = No significativo

veces en comparación con el material sin machitar en la frecuencia de corta de 8 semanas, en cambio el incremento a las 12 semanas fue de 1,46 veces. En el ecotipo CIAT 17434, a las 8 semanas, el incremento es de 2,15 veces, en cambio a las 12 semanas el comportamiento es similar al ecotipo CIAT 18744 (1,56 veces). Similar relación (1,77) informan Hristov y Sandev (1998) al comparar el ensilaje de alfalfa con deshidratación con el tratamiento sin deshidratación cosechado a una floración del 10%. La inclusión de melaza (3 y 6%) presenta un efecto creciente en el contenido de la MS de ambos ecotipos (Cuadros 3 y 4) ( $p < 0,0001$ ), igual comportamiento informaron Sibanda *et al.* (1997) con la aplicación de melaza a ensilajes de maíz mezclado con una leguminosa del género *Desmodium sp.* Efectos similares se ha encontrado con la aplicación de materiales altos en carbohidratos a ensilajes, ejemplo de esto son los ensilajes informados por Rojas *et al.* (1998) con adiciones crecientes de fruto de pejíbaye.

Con relación al contenido porcentual de MS antes de ensilar (Cuadros 1 y 2) se encontró un incremento en las mezclas ensiladas del ecotipo CIAT 18744 (Cuadro 3), de 25% ( $37,13\% \pm 8,68$  vs.  $29,58\% \pm 10,35$ ) y 10,74% ( $30,31\% \pm 6,49$  vs.  $27,37\% \pm 5,99$ ) para las edades de 8 y 12 semanas, respectivamente. En el caso del ecotipo CIAT 17434 (Cuadro 4), los incrementos fueron de 11,24% ( $37,31\% \pm 15,62$  vs.  $33,54\% \pm 14,49$ ) y 11,99% ( $30,26\% \pm 7,52$  vs.  $27,02\% \pm 7,55$ ), para las 8 y 12 semanas, respectivamente. Los resultados encontrados en esta investigación no concuerdan con los informados por Mc Donald (1981), quien indica que un ensilaje pierde en promedio 16,1% de su contenido de MS durante el proceso fermentativo, una explicación acerca de nuestros resultados está dada por el tipo de microsilo usado (bolsa plástica sellada al vacío), donde la única pérdida de material que ocurre es la del que se ha transformado en  $\text{CO}_2$ . Además la forma de expresar la pérdida de MS, pues se compara kg de MS antes de ensilar contra kg de MS del material ensilado.

Los contenidos altos de MS encontrados en los ensilajes de maní forrajero favorecen

el consumo de MS de los animales cuando son suplementados con este material. Staples *et al.* (1997) informaron reducciones en el consumo de MS por incrementos en la oferta de ensilaje de maní forrajero sustituyendo ensilaje de maíz, debido a la reducción de la digestibilidad de la MS y la materia orgánica (MO) de la ración total.

#### b. Proteína cruda (PC)

El contenido de proteína en los materiales ensilados fue afectada por el ecotipo ( $p < 0,0001$ ), la frecuencia de corta ( $p < 0,0001$ ), pero no fue significativo para el aporte de melaza ( $p > 0,365$ ) y ni para el efecto de deshidratado ( $p > 0,462$ ). El contenido de proteína cruda en el ecotipo CIAT 18744 fue de  $18,76\% \pm 1,03$  comparado con  $17,67\% \pm 1,21$  en el CIAT 17434. Staples *et al.* (1997) informan de valores de 13,9% de PC para el ensilaje de maní forrajero con frecuencias de corta de 7 semanas. Al comparar los contenidos de proteína de otras leguminosas con el ensilaje de maní forrajero se nota cierta similitud en su contenido; así la soya tiene 20,2 % (Tobía 2004), el trébol rojo (18,9%) y la alfalfa (23,4%) (Dewhurst *et al.* 2003), lo que propicia su utilización en sistemas de producción de rumiantes, como material mejorador del ambiente ruminal, debido a su impacto en la relación proteína:energía y en el aporte de formas de N más solubles y de mayor utilización por los microbios del rumen (aminoácidos, péptidos, amidas, amonio y otras formas de N que se derivan durante el ensilaje). En este sentido, Givens y Rulquin (2004) informan de incrementos por efecto del proceso fermentativo de 481% en la concentración de aminoácidos libres en el ensilaje de trébol rojo, de 2070% para ensilaje de *Lolium sp* y de 74% para ensilaje de maíz.

Se cuantificó los efectos de la edad de corte sobre el contenido de PC ( $p < 0,0001$ ). La frecuencia de 8 semanas en el ecotipo CIAT 18744 supera en una unidad porcentual el contenido a las 12 semanas ( $19,27\% \pm 0,85$  vs.  $18,24\% \pm 0,98$ , respectivamente), en cambio en el ecotipo CIAT 17434, esta diferencia se incrementa en 1,42 unidades porcentuales. Por su parte Fraser *et*

*al.* (2005) informan que la frecuencia de corta no tuvo efecto significativo sobre el contenido de proteína cruda del ensilado de lupino blanco (*Lupinus albus*), igual comportamiento encontraron Domínguez y Elías (1981) y Domínguez y Hardí (1981) para ensilados de pasto Bermuda y pasto Pangola, respectivamente.

Con este trabajo la deshidratación del material no condujo a incrementos en el contenido de PC en los materiales ensilados, en cambio Hristov y Sandev (1998) informan de incrementos del 21,9% en el contenido de PC en ensilajes de alfalfa con deshidratación comparado con 18,5% en el material sin marchitar por efecto en la concentración del nutrimento.

#### *c. Extracto etéreo (EE)*

El ecotipo CIAT 17434 presentó mayor contenido de extracto etéreo que el ecotipo CIAT 18744 (2,43%±0,88 contra 2,17%±0,53); en lo que se refiere a la frecuencia de corta a las 8 semanas el EE presentó concentraciones mayores que a las 12 semanas ( $p < 0,0001$ ) (2,87%±1,10 vs. 1,99%±0,20 en el ecotipo CIAT 17434 y 2,53%±0,50 vs. 1,82%±0,25 en el ecotipo CIAT 18744). Con relación al deshidratado ( $p < 0,0001$ ), este provoca reducciones en el contenido de EE en los ensilajes (ecotipo CIAT 18744) alrededor de 3,78 % y 18,34% a las 12 y 8 semanas, respectivamente, mientras que en el ecotipo CIAT 17434 a las 8 semanas la merma es de 34,10%, a las 12 semanas no se presenta ningún cambio. La inclusión de la melaza en niveles crecientes presentó un efecto significativo sobre el contenido de EE ( $p < 0,02$ ). Los datos generados por esta investigación son muy similares a los informados por el NRC (2001) para la alfalfa (2,5% EE) y para ensilajes de leguminosas de clima templado (2,2% EE) y a los informados por Sánchez y Soto (1996) para forrajes tropicales como el pasto King grass (cosechado entre 50 y 60 días) de 1,73%, para pasto Kikuyo (26-30 días de pastoreo) 2,35% y para los ensilados de mezclas de maíz y maní forrajero con diferentes densidades de siembra de maíz: 62500, 75000 y 87500 plantas ha<sup>-1</sup> de 2,42%, 2,97% y 2,28%, respectivamente (Nieto 2004).

#### *d. Cenizas (Ce)*

El ecotipo ( $p < 0,0001$ ), la frecuencia de corta ( $p < 0,0001$ ), la deshidratación ( $p < 0,0001$ ) y el nivel de inclusión de melaza ( $p < 0,01$ ) afectan el contenido de cenizas en los materiales ensilados. Los resultados encontrados en esta investigación (Cuadros 3 y 4) son superiores a los informados por Nieto (2004) de 6,72% y Sibanda *et al.* (1997) de 5,2% para mezclas ensiladas de maíz con leguminosas, pero similares al ensilado de alfalfa cosechado en estados de media a final de la floración (Broderick *et al.* 2002).

#### *e. Fibra detergente ácida (FDA)*

Los efectos de ecotipo, frecuencia de corta, deshidratación y aplicación de melaza son altamente significativos sobre el contenido de FDA. Esta fracción de la fibra es importante debido a que existe una correlación negativa entre el contenido de FDA con la digestibilidad del forraje (Holland *et al.* 1995), los valores obtenidos en esta investigación son muy similares a los informados en otros trabajos con leguminosas (Cuadros 3 y 4), Staples *et al.* (1997) informan valores de 38,8% para ensilaje de maní forrajero, Hristov y Sandev (1998) valores de 34,2% para el ensilaje de alfalfa con deshidratación; en el ensilaje de trébol blanco y rojo de 28,7% y 32,4%, respectivamente (Lee *et al.* 2003). Por su parte McDonald (1981) informa que durante el ensilaje, la fibra puede sufrir reducciones por solubilización, este efecto se ve favorecido en ambientes con pH altos o por presencia de enzimas. Esto podría explicar los valores bajos de FDA en aquellos tratamientos con pH altos.

#### *f. Fibra detergente neutra (FDN)*

El efecto del ecotipo, la frecuencia de corta, la deshidratación y la adición de melaza son altamente significativos ( $p < 0,0001$ ). En esta investigación los datos encontrados son más altos que los informados en ensilado de alfalfa (43,5%) Broderick *et al.* (2002) o que los de trébol blanco y rojo (40,7% y 32,2%, respectivamente (Lee *et*

*al.* 2003), pero similares a los informados por Staples *et al.* (1997) de 54,9%. Esta mayor concentración de FDN podría limitar la capacidad de consumo del animal por un problema de llenado físico (Holland *et al.* 1995). Sumado a esta situación los materiales que fueron previamente deshidratados presentan un mayor contenido de FDN, 47,72%±4,15 vs. 46,44%±0,65 (8 semanas) y de 60,05%±1,73 vs. 50,30%±4,48 (12 semanas) para el ecotipo CIAT 18744, mientras que en el ecotipo CIAT 17434 las relaciones fueron de 53,22%±0,23 vs. 51,22%±2,40 (8 semanas) y 58,45%±5,03 vs. 55,23%±2,16(12 semanas), lo que concuerda con lo informado por Hristov y Sandev (1998), donde la deshidratación provocó un incremento en el contenido de FDN en el ensilaje de alfalfa. En el ecotipo CIAT 17434 se obtuvo un incremento de 3,75% en el contenido de FDN a las 8 semanas por efecto de la deshidratación, mientras que 5,83% fue el aumento obtenido a las 12 semanas, en cambio en el ecotipo CIAT 18744 los porcentajes de incremento para cada frecuencia de corta fue de 2,75 % y 19,38 % para las 8 y 12 semanas, respectivamente. La aplicación de la melaza provocó disminuciones en el contenido de FDN de 56,95%±5,26, 53,67%±1,63 y 52,97%±3,15, para los tratamientos con 0, 3 y 6% de melaza, respectivamente, en el ecotipo CIAT 17434. Los valores encontrados en el ecotipo CIAT 18744 para cada nivel de inclusión de melaza fueron 53,14%±6,75 (0%), 51,25%±5,10 (3%) y de 49%±7,62 (6%), resultado que está ligado a un efecto de dilución en el contenido total.

#### *g. Carbohidratos no fibrosos (CNF)*

El ecotipo, la frecuencia de corta, el deshidratado y la adición de melaza presentan un efecto altamente significativo sobre la concentración de carbohidratos fácilmente fermentables. Dewhurst *et al.* (2003) informan de valores de CNF para ensilajes de trébol blanco (1,8 %), trébol rojo (1,8%) y alfalfa (1,0%), con aplicación de lactobasilos, un aditivo mejorador de la fermentación. Estos valores de ensilajes de leguminosas son más bajos a los determinados en esta investigación (Cuadros 3 y 4), esta diferencia

podría deberse al tipo de silo empleado (bolsas selladas al vacío) lo cual no permite la pérdidas de efluentes, a la presencia de una hidrólisis de los carbohidratos estructurales (McDonald 1981) y a un proceso de fermentación rápido que permite remanentes de melaza u otros carbohidratos fermentables. Las concentraciones de CNF de los ensilajes en esta investigación (Cuadros 3 y 4), son similares a los informados por Tobía (2004) para el ensilaje de soya (25,4% ± 2,3) para la frecuencia de corta de 8 semanas (21,31%±2,40), pero mayores a la frecuencia de corta de 12 semanas en el ecotipo CIAT 18744 (13,87%±6,40), mientras que en el ecotipo CIAT 17434 en ambas frecuencias de corta el contenido de CNF fue menor (16,36%±0,92 y 13,53%±4,78 para las 8 y las 12 semanas, respectivamente). Los ensilajes de maní forrajero presentan una concentración mayor de CNF, al compararlos con los pastos Estrella (8 % MS) y Kikuyo (7,83 % MS) (Sánchez y Soto 1996), principales forrajeras de piso empleadas en la producción de rumiantes en el país.

### **3. Características fermentativas del ensilaje**

#### *a. Acidez*

En esta investigación el efecto del ecotipo ( $p>0,22$ ) y la frecuencia de corta ( $p>0,39$ ) no son significativos, contrario a lo que sucede con la deshidratación ( $p<0,0001$ ) y la adición de melaza ( $p<0,0001$ ) sobre el pH encontrado en cada tratamiento. Los valores de pH disminuyen conforme la inclusión de melaza se incrementa en los ensilados de ambos ecotipos, para el CIAT 18744 los resultados en forma descendente (0, 3 y 6%) son 5,29%±0,15, 4,37%±0,27 y 4,13%±0,26, respectivamente. Similar comportamiento se mantuvo en el ecotipo CIAT 17434 (Cuadros 3 y 4). La aplicación de carbohidratos fácilmente fermentables como los presentes en la melaza, propicia un proceso fermentativo más intenso, favorece las fermentaciones lácticas (McDonald 1981), reduce las pérdidas por descomposición anaeróbica y el crecimiento de bacterias no deseadas (Catchpoole y Henzell 1971), lo que incide en la disminución del pH, una menor capacidad buffer

del material, la reducción de los ácidos grasos acético y butírico y se minimiza la destrucción de la proteína del material (N-amoniaco) por fermentaciones clostridiales. Leibensperger y Pitt (1987) informan que el pH mínimo que se debe alcanzar para reducir el crecimiento clostridial, en un ensilado de leguminosas con alto contenido de humedad, es de 4,0-4,5, en esta investigación los rangos de humedad estuvieron entre 54,36%-77,93% en el ecotipo CIAT 18744 y entre 44,98%-79,25% en el ecotipo CIAT 17434, los ensilados sin aplicación de melaza presentan problemas de inhibición del crecimiento clostridial, por no alcanzar los rangos de acidez descritos anteriormente. Sibanda *et al.* (1997) afirman que las leguminosas por su bajo contenido de carbohidratos no fibrosos y su alta capacidad buffer, hacen difícil que el material se pueda ensilar sin aditivos. Moore y Peterson (1995) informan que en promedio el pH de materiales ensilados, a los cuales se les aplicó el deshidratado, se encuentra alrededor de 4,5. Por el contrario, con el mismo manejo del material, Marsh (1981) informa niveles de  $\text{pH} \geq 5$ , en este estudio los materiales con deshidratado y sin la aplicación de melaza obtuvieron valores de pH de 5,07 y 5,32 para el ecotipo CIAT 18744 (8 y 12 semanas, respectivamente) y de 4,90 y 5,32 para el ecotipo CIAT 17434 (8 y 12 semanas, respectivamente), además presentaron las concentración más altas de ácido butírico, N amoniaco y capacidad buffer (Cuadros 3 y 4). Los valores de pH concuerdan con los informados por Hristov y Sandev (1998) para ensilajes de alfalfa deshidratada o sin deshidratar (pH 5,5 y 5,2, respectivamente) y para el ensilaje de soya sin deshidratar de 5,81 (Tobía 2004). Según Shaver *et al.* (1985) la optimización en el consumo de ensilaje de maíz se da a un pH de 4,46-5,62, paradójicamente ensilajes con un adecuado proceso fermentativo ( $\text{pH} < 3,9$ ) son materiales de menos consumo por los animales, en esta investigación el pH promedio de cada ecotipo fue de  $4,61 \pm 0,51$  (CIAT 17434) y  $4,59 \pm 0,56$  (CIAT 18744), ambos valores se encuentran dentro del rango que no presenta efecto sobre el consumo.

### b. Capacidad buffer

La resistencia que tiene una planta a un cambio de pH durante el proceso fermentativo se denomina capacidad buffer, en esta investigación esta característica está influenciada por el ecotipo del material ( $p < 0,0001$ ), la frecuencia de corta ( $p < 0,0001$ ), la deshidratación previa del material ( $p < 0,0001$ ) y la adición de melaza ( $p < 0,0001$ ). Valores altos de capacidad buffer se asociaron con pH alto en los materiales ensilados, mayor concentración de N-amoniaco y ácido butírico (Cuadros 3 y 4). En este trabajo los valores de capacidad buffer son similares a los informados en la literatura para otras leguminosas, Dewhurst *et al.* (2003) informan para el trébol rojo y la alfalfa en la primera cosecha valores de 428 y 584  $\text{meq kg}^{-1}$  DM ( $42,8$  y  $58,4$   $\text{meq } 100 \text{ g MS}^{-1}$ ). Playne y McDonald (1966) atribuyen la capacidad buffer del material a la presencia de sales de ácidos orgánicos, ortofosfatos, sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y cloratos ( $\text{ClO}^-$ ), y sólo del 10 al 20% lo atribuyen al contenido de proteína en los materiales ensilados. Tal conclusión podría explicar las diferencias entre el ecotipo CIAT 17434 ( $54,60 \pm 12,43$   $\text{meq } 100 \text{ g MS}^{-1}$ ) y CIAT 18744 ( $46,03 \pm 14,82$   $\text{meq } 100 \text{ g MS}^{-1}$  y  $98,22 \pm 27,69$   $\text{meq } 100 \text{ g MS}^{-1}$ ) para frecuencias de corta de 8 y 12 semanas, respectivamente, en términos de concentración de minerales y proteína cruda. También la reducción de la capacidad buffer por efecto del deshidratado, se debe a la reducción en el contenido de humedad, medio en el cual estos componentes reaccionan con los precursores de acidez (grupo  $\text{H}^+$ ).

Según Moore y Peterson (1995), la alta capacidad buffer de las leguminosas, se contrasta con aproximadamente 6% de ácido láctico en base seca, en esta investigación la mayor concentración es de 3,7%, lo cual evidencia un efecto antagónico sobre el proceso fermentativo.

### c. Ácidos grasos volátiles

Conforme aumenta la aplicación de melaza, la fermentación del material se dirige a la

formación de ácido láctico (homofermentativa), mientras que los materiales con 0% de melaza presentan concentraciones bajas y en algunos casos no se pudo determinar, ya que la fermentación que predominó fue la heterofermentativa, lo que incrementó la concentración de ácido butírico. Estos ensilados con adiciones de 0 y 3% melaza son estabilizados por el contenido de ácido acético. Según Catchpoole y Henzel (1966) un silo de buena calidad presenta concentraciones de ácido butírico < 0,2% MS y menos de 11% de N-amoniaco. En este trabajo los ensilajes con 6% de melaza lograron acercarse a la concentración de ácido butírico y N-amoniaco deseada. Marsh (1981), informa de reducciones en la concentración de ácido láctico por el efecto del deshidratado del material antes de ser ensilado, lo cual concuerda con los resultados de esta investigación (Cuadros 3 y 4). Las concentraciones de ácidos encontradas también concuerdan con el análisis de Yan y Agnew (2004) en 136 ensilajes de gramíneas, donde las concentraciones promedio de ácido láctico, acético y butírico fueron de 6,6%±3,47, 2,9%±1,27 y 0,7%±0,71 de la MS, respectivamente. Huhtanen *et al.* (2003) informan de correlaciones negativas ( $p < 0,0001$ ) entre el contenido de ácido láctico y los contenidos de grasa y proteína en leche, donde lo relacionan con la reducción en producción de los ácidos grasos lipogénicos a nivel ruminal y a una disminución en el contenido de materia seca, respectivamente.

#### d. Nitrógeno amoniacal (N-amoniaco)

El contenido de N-amoniaco en el ensilaje de maní forrajero presenta una variación altamente significativamente dependiendo del ecotipo, la frecuencia de corta y el nivel de melaza adicionada. La deshidratación del material antes de ensilar presentó una significancia menor ( $p > 0,0621$ ) que los otros efectos principales. Hristov y Sandev (1998) informan de 71% de reducción en el contenido de N-amoniaco, cuando aplicaron el marchitado al ensilaje de alfalfa (10,9 a 0,31%  $\text{NH}_3\text{-N N total}^{-1}$ ). En el ecotipo CIAT 18744 la reducción en el contenido de N-amoniaco por efecto del marchitado (0% de melaza) a 8

semanas es de 31,09% (19,68 vs. 13,53%  $\text{NH}_3\text{-N N total}^{-1}$ ), mientras que a las 12 semanas es de 33,58% (26,35 vs. 17,58%  $\text{NH}_3\text{-N N total}^{-1}$ ), en el ecotipo CIAT 17434 las disminuciones para 8 y 12 semanas, son de 21,88% (17,46 vs. 13,64%  $\text{NH}_3\text{-N N total}^{-1}$ ) y 29,59% (23,18 vs. 16,32%  $\text{NH}_3\text{-N N total}^{-1}$ ), respectivamente. Por efecto del deshidratado en ambas frecuencias de corta, se obtuvo concentraciones de N-amoniaco menores en los materiales deshidratados que en los no deshidratados, debido a una reducción de la proteólisis durante el proceso fermentativo. También la adición de niveles crecientes de melaza (0, 3 y 6%) favorece el proceso de fermentación, un pH menor y una concentración de ácido láctico mayor, lo que provocó un comportamiento lineal en la reducción del contenido de N-amoniaco en el ensilaje.

Los contenidos de N-amoniaco para ensilaje de trébol blanco, trébol rojo y alfalfa son de 11,2, 10,4 y 14,4%, respectivamente (Dewhurst *et al.* 2003). En esta investigación los materiales que se sometieron a deshidratación presentan resultados similares, mientras que los valores de materiales sin deshidratado y sin aplicación de melaza presentaron valores superiores, debido a que la cantidad de CNF presente en las leguminosas no es suficiente para generar una fermentación láctica y así conservar la proteína del material.

## CONCLUSIONES

Las mejores características en calidad nutricional y fermentativa del ensilaje objeto de este estudio se obtienen con la adición de 6 % de melaza con relación al peso total.

El proceso de deshidratado del material provoca una menor reducción del pH durante el proceso, menor concentración de N-amoniaco, pero los contenidos de otros nutrientes no se ven perjudicados.

La edad de 8 semanas de corta presenta una mejor tendencia hacia los parámetros de importancia relacionados con la calidad en los ensilados, como lo son bajo pH, alta concentración de ácido láctico y menor cantidad de nitrógeno amoniacal.

Se genera una alternativa de alimentación con un perfil nutricional adecuado para lograr la reducción del uso de mezclas balanceadas, la incorporación de ingredientes proteicos de bajo costo en la ración total comparados con ingredientes de importación como la soya o los destilados de maíz, logrando que los productos generen sus propios insumos en la finca. La implementación del uso del maní forrajero en la finca permite la reducción del uso de enmiendas inorgánicas, debido a la capacidad de fijación de nitrógeno que presenta esta leguminosa.

### LITERATURA CITADA

- ABARCA R., MADRIZ A. 1999. Determinar la competitividad económica de la explotación lechera especializada de la zonas alta del Valle Central (Cartago) y San Carlos ante el convenio Marco del GATT. Tesis. Ing. Agr. Escuela de Economía Agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 165 p.
- ARGEL P., VILLAREAL M. 1998. Nuevo maní forrajero perenne (*Arachis pintoi* Krapovickos y Gregory). Leguminosa herbácea para alimentación animal, el mejoramiento y conservación del suelo y el embellecimiento del paisaje. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (MAG), Centro Internacional de Agricultura Tropical. Boletín Técnico: 32 p.
- ASSOCIATION OFFICIAL OF ANALYTICAL CHEMIST (A.O.A.C.) 1980. Methods of analysis. Washington D.C. 69 p.
- BRODERICK G., KOEGEL R., WALGENBACH R., KRAUST J. 2002. Ryegrass or alfalfa silage as the dietary forage for lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 85:1894-1901.
- CATCHPOOLE V., HENZELL E. 1971. Silage and silage making from tropical herbage species. Herbage Abstracts 41(3):212-221.
- DEWHURTS R., FISHER W., TWEED J., WILKINS R. 2003. Comparison of grass and legume silages for milk production. 1. Production responses with different levels of concentrate. J. Dairy Sci. 86:2598-2611.
- DOMÍNGUEZ G., ELÍAS A. 1981. Efectos de la edad de corte, la adición de urea y diferentes niveles de miel final en la calidad del ensilado de bermuda cruzada N° 1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) Rev. Cubana Cienc. Agric. 15: 77.
- DOMÍNGUEZ G., HARDY C. 1981. Efectos de la edad de corte y niveles de miel final en la calidad del ensilado de pangola (*Digitaria decumbens*). Rev. Cubana Cienc. Agri. 15:327.
- EASTRIDGE M. 1994. Influence of fiber intake on animal health and productivity. Tri-State Dairy Nutrition Conference 45 p.
- FRASER M., FYCHAN R., JONES R. 2005. The effect of harvest date and inoculations on the yield and fermentation characteristics of two varieties of white lupin (*Lupinus albus*) when ensiled as a whole crop. Animal Feed Science and Technology 119:307-322.
- GIVENS D., RULQUIN H. 2004. Utilisation by ruminants of nitrogen compounds in silage-based diets. Animal Feed Science and Technology 114:1-18.
- GUTIERREZ M. 1996. Pastos y forrajes en Guatemala, su manejo y utilización, base de la producción animal. Editorial E y G. 318 p.
- HOLLAND C., KEZAR W., QUADE Z. 1995. The pioneer forage manual. A nutritional guide. Pioneer Hi-Bred International, Inc. 45 p.
- HRISTOV A., SANDEV S. 1998. Proteolysis and rumen degradability of protein in alfalfa preserved as silage, wilted silage or hay. Animal Feed Science and Technology 72:175 181.
- HUHTANEN P., NOUSSIAINEN J., KHALILI H., JAAKKOLA S., HEIKKILA T. 2003. Relationships between silage fermentation characteristics and milk production parameters: analyses of literature data. Livestock Production Science 81(1):57-73.
- LEE M., HARRIS L., DEWHURST R., MERRY R., SCOLLAN N. 2003. The effect of clover silages on long chain fatty acid rumen transformations and digestion in beef steers. Animal Science 76:491-501.
- LEIBENSPERGER R., PITT R. 1987. A model of clostridial dominance in silage. Grass Forage Sci. 42:297-317.
- MARSH R. 1979. The effects of wilting on fermentation in the silo and on the nutritive value of silage. Grass and Forage Science 34: 1-10.
- McDONALD P. 1981. The biochemistry of silage. John Wiley & Sons. Chichester, New York, USA. 226 p.

- McDONALD P., HENDERSON A. 1962. Buffering capacities of herbage samples as factor of silage. *Journal of Science and Food Agriculture* (13): 395-400.
- MOORE K., PETERSON M. 1995. Post-harvest physiology and preservation of forages: proceedings of a symposium sponsored by C6 of the Crop Science Society of America. CSSA special publication: 22. 115 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL 2001. Nutrient requirement of dairy cattle. 7 th rev. Ed. Washington D.C. National Academy. 157 p.
- NIETO J. 2004. Caracterización nutricional y productiva del material fresco y ensilado de maní forrajero (*Arachis pintoi*) cultivado en asocio con maíz (*Zea mays*) a tres densidades de siembra. Tesis Programa de Estudios de Posgrado en Ciencia Agrícolas y Recursos Naturales para optar al grado de Magister Scientiae. Universidad de Costa Rica. 68 p.
- PLANE M., McDONALD P. 1966. The buffering constituents of herbage and of silage. *Journal Science Food Agriculture* 17:264-268.
- ROJAS A., UGALDE H., AGUIRRE D. 1998. Efecto de la adición de fruto de pejibaye (*Bactris gasipaes*) sobre las características nutricionales del ensilaje de pasto gigante (*Pennisetum purpureum*) *Agronomía Costarricense* 22(2):145-151.
- SÁNCHEZ J., SOTO H. 1996. Estimaciones de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. I Materia seca y componentes celulares. *Revista Nutrición Animal Tropical* 3(1):3-18.
- SAS. 1985. User guide: Statistic. SAS. Inst. Inc. Cary. NC.
- SHAVER R., ERDMAN R., VANDERSALL J. 1985. Effects of silage pH on voluntary intake of corn silage. *J. Dairy Sci* 67:2045-2049.
- SIBANDA S., JINGURA R., TOPPS J. 1997. The effect of level of inclusion of the legume *Desmodium uncinatum* and the use of molasses or ground maize as additives on the chemical composition of grass- and maize-legume silages. *Animal Feed Science and Technology* 68:295-305.
- STAPLES C., EMANUELE S., PRINE G. 1997. Intake and nutritive value of florigraze rhizoma peanut silage for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:541-549.
- TOBIA C. 2004. Introducción del ensilaje de soya en un sistema de producción intensiva de leche en el trópico húmedo de Costa Rica. Tesis presentada al programa de doctorado en sistemas de producción agrícola tropical sostenible. Universidad de Costa Rica. 120 p.
- VALENCIA E., SOTOMAYOR-RIOS A., TORRES-CARDONA S. 1997. Establishment and effect of cutting interval on yield and nutritive value of rhizoma perennial peanut in northwestern Puerto Rico. *J. Agric. Univ. P.R.* 81(1-2):19-30.
- VAN SOEST P., ROBERTSON J. 1985. Analysis of forages and fibrous food: A laboratory manual for animal science. Cornell University, New York 613 p.
- WEISS W. 1999. Silage for dairy cattle. *In: curso de actualización en nutrición de ganado de leche.* Asociación Americana de la Soya, Indiana Soybean Board, y United Soybean Board. Balsa de Atenas, Costa Rica. 10 p.
- YAN T., AGNEW R. 2004. Prediction of nutritive values in grass silages: I Nutrient digestibility and energy concentration using nutrient compositions and fermentation characteristics. *J. Anim. Sci.* 82:1367-1379.