

ADICIÓN DE MELAZA DESHIDRATADA Y UREA EN ENSILADOS DE RASTROJOS DE PIÑA¹

Sofía Rodríguez-Chacón², Michael López-Herrera³, Rodolfo WingChing-Jones³, Augusto Rojas-Bourrillón³

RESUMEN

Adición de melaza deshidratada y urea en ensilados de rastrojos de piña. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de urea y melaza deshidratada con minerales en ensilados de rastrojos de piña. El trabajo fue realizado en los meses de abril y junio del año 2010, con base en la técnica de microsilos en bolsas de 1 kg. Se establecieron cuatro tratamientos de urea (0, 0,5, 1, 1,5% p/p), cuatro de melaza deshidratada con minerales (MDM) (0, 0,2, 0,4, 0,6 % p/p) y un único nivel de inóculo bacteriano (1 l/t) para todos. La inclusión de MDM aumentó de forma significativa el pH (2,84 contra 8,23) y las cenizas (8,1 contra 16,1% MS) pero disminuyó la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (67,3 contra 54,0%), conforme se incrementó este aditivo. Al aumentar el nivel de urea en las mezclas ensiladas se afectaron de forma significativa y proporcional las variables de pH, nitrógeno amoniacal (N-NH₃) (3,87 contra 7,10% NH₃/NT) y proteína cruda (PC) (8,2 contra 18,3% MS). Estos aditivos no afectaron la concentración de materia seca, ni el contenido de la fracción fibrosa de los materiales ensilados. El contenido de carbohidratos no fibrosos (CNF) se elevó conforme aumentó el nivel de MDM, sin embargo conforme se incrementó el nivel de urea en la mezcla, el valor de esta fracción se redujo.

Palabras clave: proteína cruda, subproductos agroindustriales, alternativa forrajera, ensilaje, nutrición de rumiantes, forraje.

ABSTRACT

Effect of dehydrated molasses with minerals and urea in pineapple straw silage. The objective of this study was to determine the effect of urea and dehydrated molasses with minerals (DMM) on pineapple straw silage. The preparation of the straw was done from April to June, of 2010, and involved using the micro silage technique in 1kg bags. The treatments were performed using four levels of urea (0, 0.5, 1, 1.5% w/w), four DMM levels (0, 0.2, 0.4, 0.6% w/w) and a single concentration of bacterial inoculum (1 l/t) for all treatments. Results showed that DMM significantly increases the variables of pH (2.84 to 8.23) and ash (8.1 to 16.1% DM), but reduces *in vitro* digestibility (67.3 to 54.0%). Urea also affected significantly and proportionally pH, buffer capacity, ammonia nitrogen (NH₃-TN) (3.87 to 7.10% NH₃/TN) and crude protein (CP) (8.2 to 18.3% DM). Nonetheless these additives had no effect on dry matter and fiber content in ensiled materials. We conclude that the content of non-fibrous carbohydrates (NFC) rises when the level of DDM in silage is increased while urea has the opposite effect.

Keywords: crude protein, agricultural byproducts, forage alternative, silage, ruminant nutrition, roughage.

¹ Recibido: 17 de julio, 2013. Aceptado: 30 de junio, 2014. Trabajo final de graduación del primer autor, para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia, Universidad de Costa Rica.

² Dos Pinos-ELANCO, Costa Rica. sofiroch@hotmail.com

³ Escuela de Zootecnia. Centro de Investigaciones en Nutrición Animal, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. michael.lopez@ucr.ac.cr, rodolfo.wingching@ucr.ac.cr, augusto.rojas@ucr.ac.cr



INTRODUCCIÓN

El cultivo de la piña en Costa Rica, genera entre 240 – 250 toneladas de material verde por hectárea, de acuerdo al peso de las plantas y a la densidad de siembra utilizada, a este material se le conoce como rastrojo de piña (López et al., 2009). Estos residuos pueden ser utilizados y conservados de forma satisfactoria para la alimentación de animales rumiantes, por su alto contenido de energía en términos de nutrimentos digestibles totales (NDT) (>59%); sin embargo, debido a que posee bajo contenido de materia seca (MS) (<11%) y proteína cruda (PC) (<7,5%), su utilización como sustituto de forraje es parcial (López et al., 2009).

En experiencias generadas por la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, se determinó que vacas con producciones de leche de 15 a 18 kg/día consumen entre 6 y 8 kg de rastrojo ya sea fresco o ensilado (Sánchez, 2010). Esta cantidad de material representa entre el 5 al 7% de la materia seca contenida en la ración total diaria (Sánchez, 2010).

El contenido de materia seca y la energía de los rastrojos de piña mejoró al utilizar niveles crecientes de pulpa de cítricos deshidratada (López et al., 2009), sin embargo, no fue posible mejorar los niveles de proteína de estos materiales. El uso de urea permite mejorar el contenido de proteína cruda de forrajes bajos en esta fracción como la caña de azúcar (Borges et al., 2011). Por tal motivo, se requiere profundizar en el uso de aditivos mejoradores del contenido de proteína cruda, para así, complementar las deficiencias que presentan los rastrojos de piña como material forrajero, y así suministrar un material con una mejor proporción de energía y proteína.

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de adicionar niveles de urea y melaza deshidratada con minerales (MDM) en ensilados de rastrojos de piña.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material forrajero que se utilizó en este estudio fue recolectado en Pital de San Carlos, en la provincia de Alajuela proveniente de una plantación de segunda cosecha, durante el mes de agosto del año 2009. La zona se caracteriza por presentar precipitaciones anuales entre 3000 – 4500 mm y una temperatura

promedio de 25 °C. Se seleccionaron al azar 60 plantas de segunda cosecha con un peso promedio de 3,5 kg/planta.

Los rastrojos de piña (hojas, tallo y parte de las raíces) fueron picados con cuchillo hasta obtener un tamaño de partícula promedio de 3 cm, a estos se les agregaron de acuerdo a cada tratamiento, cuatro niveles de urea de tipo industrial (46% N) (0, 0,5, 1, 1,5% p/p), cuatro niveles de MDM (0, 0,2, 0,4, 0,6% p/p) y un único nivel de inóculo bacteriano artesanal elaborado de acuerdo a la metodología descrita por Cubero et al. (2010) a razón de 1 l/t de material para conformar un diseño factorial (4x4) con dieciséis tratamientos. El inóculo es un fermento de suero de leche, melaza y leche descremada, fermentado por quince días. Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones para un total de 64 microsilos. Para la conservación del material se utilizaron bolsas de polietileno para empaque al vacío con capacidad para 1 kg y con un grosor de 0,0063 mm. Cada bolsa se consideró como una unidad experimental.

Se tomaron muestras compuestas de cada tratamiento previo al proceso de ensilaje, que fueron llevadas al Laboratorio de Bromatología del Centro de Investigaciones en Nutrición Animal (CINA) para analizar su composición nutricional y sus características previas para ser ensilado (pH y Capacidad Buffer). El resto del material fue embolsado para someterlo al proceso de ensilaje. Se utilizó una bomba de succión para extraer el aire de las bolsas y favorecer un proceso anaeróbico. Los microsilos se mantuvieron en condiciones ambientales (25 °C y 70% humedad relativa) controladas por 60 días.

Al momento de apertura de los microsilos, se realizó una valoración organoléptica de acuerdo a los parámetros indicados por Betancourt et al. (2005). Las mezclas ensiladas fueron llevadas al CINA para ser analizadas. Tanto a las muestras previas como a las ensiladas se les realizaron análisis de materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y cenizas de acuerdo a AOAC (1998), carbohidratos no fibrosos (CNF) de acuerdo a Detmann y Filho (2010), además fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina con la metodología descrita por Van Soest y Robertson (1985). Se estimó la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) utilizando la metodología de Tilley y Terry (1963).

El pH se determinó utilizando un potenciómetro con electrodo de hidrógeno, la Capacidad Buffer (CB)

se determinó utilizando la metodología de McDonald y Henderson (1962) y el nitrógeno amoniacal fue analizado utilizando la metodología descrita por Tobía et al. (2004).

A los dos tratamientos que presentaron el mejor perfil nutricional y fermentativo, los cuales obtuvieron el menor valor de pH, menor contenido de nitrógeno amoniacal y mayor contenido de proteína cruda, se procedió a realizar las pruebas de nitrógeno ligado a la FDN, nitrógeno ligado a la FDA (Chalupa y Sniffen, 1996), para así poder determinar el contenido de nutrientes digestibles totales por medio de las ecuaciones descritas por Weiss (2004) y el fraccionamiento de la energía según las ecuaciones del NRC (2001).

Para el análisis de la información se utilizó un modelo de Análisis de Varianza ANOVA de SAS (2003), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$y_{ijkl} = \mu + M_i + U_j + (M \times U)_{ijk} + e_{ijkl}$$

donde

y = es la variable de respuesta obtenida de la ecuación

μ = es la media general

M = es el efecto i-ésimo de la MDM en los tratamientos

U = es el efecto j-ésimo de la urea en los tratamientos

MxU = es el efecto ijk-ésimo de la interacción entre los aditivos urea y minelaza

e = término de error

La comparación entre tratamientos en caso que dicho efecto resulte significativo ($p < 0,05$), se realizó utilizando la prueba de Waller-Duncan (SAS Institute, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de las mezclas de rastrojo de piña y niveles crecientes de urea y minelaza. El pH de los materiales aumentó de forma proporcional al incrementar el nivel de urea (Cuadro 1), además este efecto se potenció por la inclusión de MDM. Esto podría deberse a que la urea como los minerales en la MDM poseen alto potencial amortiguador (Moharrery,

2007). La capacidad buffer de los materiales aumentó al incluir MDM en la mezcla, sin embargo, no parece haber diferencia de acuerdo al nivel de inclusión (Cuadro 1). El valor de pH en las mezclas sin MDM y con 0,2% de MDM fue menor que los valores obtenidos en el experimento de López et al. (2009), probablemente debido al efecto alcalinizante del calcio presente en la MDM. La capacidad buffer de todos los tratamientos fue menor a los valores obtenidos por López et al. (2009) en rastrojos de piña sin aditivos, estos valores apuntan a que los tratamientos evaluados pueden ser ensilados sin problemas.

Se determinó una tendencia en el aumento del contenido de materia seca al acrecentar la inclusión de MDM; sin embargo, los valores estuvieron por debajo de los de López et al. (2009), esto pudo ser debido a la edad fenológica de la planta o a la condición climatológica al momento de la toma de la muestra. El contenido de PC tendió a elevarse conforme se aumentó el nivel de inclusión de urea, esto es esperable debido a que la urea posee 287,5% PC, sin embargo, conforme se agrega más MDM en la mezcla el contenido de PC tiende a la baja (Cuadro 1).

La fracción fibrosa presentó valores mayores a los obtenidos por López et al. (2009), lo que pudo deberse a la edad fenológica de las plantas utilizadas o a la presencia de raíces y trozos de madera que pudieron ser introducidos durante el picado del material. Ninguno de los aditivos utilizados, generó un cambio en el contenido de FDN y FDA de los materiales a ensilar (Cuadro 1).

La DIVMS de los materiales tendió a elevarse conforme se incrementó el nivel de inclusión de minelaza; sin embargo, al aumentar la cantidad de urea dentro de la mezcla se generó una tendencia cuadrática, donde se alcanzó el punto más bajo en los tratamientos con 1,5% de urea (Cuadro 1).

Cuando se agregó MDM a la mezcla para ensilar se incrementó de forma proporcional el contenido de cenizas, debido al elevado contenido de fracción mineral presente en este material (19 a 21% de calcio, 4,60% fósforo, 5,1% sodio y 11% cloruros).

Características fermentativas de los rastrojos de piña ensilados

pH. El grado de acidez de los materiales ensilados fue afectado de manera altamente significativa ($p < 0,05$)

Cuadro 1. Composición química y variables fermentativas de la mezcla compuesta (n=1) de rastrojo de piña con niveles crecientes de urea y de melaza deshidrata con minerales. San Pedro San José, Costa Rica. 2011.

Variables	Inclusión de melaza deshidrata con minerales (p/p) (%)															
	0				0,2				0,4				0,6			
	Inclusión de urea (p/p) (%)															
	0	0,5	1,0	1,5	0	0,5	1,0	1,5	0	0,5	1,0	1,5	0	0,5	1,0	1,5
	Variables fermentativas															
pH	3,03	3,91	3,38	3,96	3,71	3,65	3,69	3,88	4,21	3,90	5,92	5,75	3,51	6,61	5,89	5,49
CB (mEq NaOH/100g MS)	6,7	10,0	8,5	9,3	17,0	10,1	11,3	12,4	12,3	11,0	12,9	11,9	7,4	11,2	11,8	9,7
	Variables bromatológicas															
MS (%)	10,0	10,3	9,4	9,2	10,3	9,3	9,8	11,5	9,7	9,7	11,0	9,1	11,5	10,4	10,2	10,5
PC (%MS)	8,7	16	14,9	18,5	8,7	12,7	14,7	19,1	8,7	11,0	15,5	14,6	8,6	12,1	14,6	15,4
EE (%MS)	1,8	1,9	1,6	1,1	1,2	1,6	2,1	1,1	1,4	1,8	1,8	1,4	1,2	1,2	1,4	◆
CNF (%MS)	14,4	9,1	13,2	4,7	12,3	8,8	7,3	6,5	10,5	10,1	9,0	15,2	23,6	18,9	15,2	◆
FDN (%MS)	69,7	64,6	62,2	67,6	68,4	66,4	66,6	65,1	66,8	66,0	62,0	57,8	54,4	50,2	54,4	◆
FDA (%MS)	37,9	38,3	37,3	37,1	36,5	37,4	36,7	36,2	35,1	36,7	34,9	35,0	33,0	32,7	33,3	◆
DIVMS (%)	67,0	71,4	70,6	65,9	69,6	◆	72,5	70,4	73,3	72,8	◆	◆	71,1	77,5	77,0	◆
Cenizas (%MS)	8,2	8,4	8,8	8,1	9,4	10,5	9,3	8,3	12,6	11,1	11,7	11,0	12,3	17,6	14,4	16,1

◆ Datos perdidos.

CB= capacidad buffer, MS= materia seca, PC= proteína cruda, EE= extracto etéreo, CNF= carbohidratos no fibrosos, FDN= fibra detergente neutro, FDA= Fibra detergente ácido, DIVMS= Digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

por la adición de urea y de MDM, el aumento de pH en los tratamientos fue proporcional a la inclusión de urea mostrando un comportamiento lineal en cuanto a la adición de urea (Cuadro 2), mas no cuando se incorpora el efecto conjunto de ambos aditivos. Los resultados obtenidos son esperados de acuerdo con Hiriart (2008) y McDonald (1981) quienes indican que los forrajes con altos contenidos de humedad presentan un pH más elevados que los forrajes que poseen menos de 70% de humedad. Además, de acuerdo a estos mismos autores, el valor de pH puede afectarse por la capacidad amortiguadora de los forrajes en mayor medida por los ácidos orgánicos e iones solubilizados, y en menor medida por el contenido de proteína (Moore y Peterson, 1995). De acuerdo a lo descrito por McDonald (1981), cuando se adiciona urea a materiales bajos en PC durante el proceso de ensilaje se obtienen ensilados con pH mayor y más producción de ácidos orgánicos, este aumento en el valor de pH podría ser producto de la hidrólisis de la urea en el

siló debido a la actividad de las ureasas (Borges et al., 2011). Por tanto, el contenido de ácidos orgánicos en el ensilado, el contenido de iones en la MDM y el contenido nitrógeno en la urea favorecen el aumento en el pH de los materiales ensilados.

Los valores obtenidos se presentan en el Cuadro 2, los valores de pH en los materiales ensilados con inclusión de urea y MDM fueron mayores a los obtenidos por López et al. (2009) en rastrojos de piña con niveles crecientes de pulpa de cítricos deshidratada (PCD). De igual manera, son mayores a los obtenidos por Cunha et al. (2009) en cáscaras y pulpa de piña sin ensilar, Gutiérrez et al. (2003) en cáscara de piña y da Costa et al. (2007) en cáscara y pulpa de piña, lo cual se debió a una posible alcalinización proveniente de la MDM y por aumento de la CB de las mezclas, lo que reduce la capacidad de conservación de los materiales (McDonald, 1981).

Nitrógeno amoniacal (NH₃/NT). El contenido de nitrógeno amoniacal de las mezclas ensiladas, fue

Cuadro 2. Composición nutricional y variables fermentativas de los ensilados de rastrojo de piña con niveles crecientes de urea y melaza deshidrata con minerales a los 60 días de proceso de ensilaje. San Pedro Montes de Oca, San José, Costa Rica. 2011.

Variables	Inclusión de melaza deshidrata con minerales (p/p) (%)															
	0				0,2				0,4				0,6			
	Inclusión de urea (p/p) (%)															
	0	0,5	1,0	1,5	0	0,5	1,0	1,5	0	0,5	1,0	1,5	0	0,5	1,0	1,5
Variables fermentativas																
pH	2,84 ^h	3,44 ^{gh}	4,60 ^c	6,10 ^{bc}	2,85 ^h	2,93 ^h	4,37 ^{ef}	6,32 ^b	3,10 ^{gh}	4,11 ^{efg}	6,17 ^{bc}	6,91 ^b	4,86 ^{de}	5,16 ^{de}	5,85 ^{bcd}	8,23 ^a
N-NH ₃ /NT (%)	3,87 ^{bcd}	0,87 ^{cde}	3,07 ^{bcde}	5,78 ^{ab}	0,74 ^{cde}	0,46 ^e	2,61 ^{bcde}	5,05 ^{abc}	0,65 ^{cd}	0,83 ^{cde}	1,88 ^{cde}	3,19 ^{cde}	0,62 ^{cde}	1,14 ^{cde}	2,68 ^{bcde}	7,10 ^a
Variables bromatológicas																
MS (%)	8,67 ^{ab}	9,17 ^{ab}	7,92 ^{ab}	8,09 ^{ab}	9,05 ^{ab}	9,18 ^{ab}	8,34 ^{ab}	6,84 ^b	8,68 ^{ab}	8,93 ^{ab}	8,84 ^{ab}	8,72 ^{ab}	9,69 ^a	8,35 ^{ab}	8,65 ^{ab}	8,68 ^{ab}
PC (%MS)	8,2 ^f	15,7 ^{abc}	16,3 ^{abc}	13,2 ^{bcd}	9,0 ^{def}	18,7 ^{ab}	15,9 ^{abc}	13,1 ^{bcd}	8,4 ^{ef}	15,7 ^{abc}	15,5 ^{abc}	18,3 ^{ab}	11,6 ^{def}	13,8 ^{cde}	14,4 ^{bed}	11,5 ^{def}
EE (%MS)	2,5	2,8	2,9	3,0	2,8	3,2	3,5	2,7	2,5	2,1	2,1	2,7	1,9	2,4	2,3	1,6
CNF (%MS)	15,8	10,1	6,59	12,7	13,1	8,87	8,72	13,6	21,2	11,4	12,9	8,5	13,1	10,6	13,0	14,2
FDN (%MS)	65,1 ^{ab}	62,9 ^{abcd}	64,8 ^{ab}	62,7 ^{abcd}	63,5 ^{abc}	59,9 ^{def}	61,5 ^{bcde}	60,3 ^{cde}	56,6 ^f	59,7 ^{def}	60,0 ^{de}	59,7 ^{def}	61,1 ^{cde}	60,2 ^{cde}	58,2 ^{ef}	59,1 ^{ef}
FDA (%MS)	39,5 ^a	39,3 ^a	42,5 ^a	41,2 ^a	37,8 ^a	38,2 ^a	38,7 ^a	41,2 ^a	38,0	40,1	39,3	39,1	37,9	39,9	37,7	39,1
DIVMS (%)	67,3 ^{ab}	66,6 ^{ab}	60,3 ^{def}	65,3 ^{bc}	58,5 ^{efg}	69,4 ^a	57,5 ^{efgh}	62,6 ^{cd}	60,1 ^{def}	59,2 ^{defg}	58,4 ^{efg}	61,3 ^{cde}	56,4 ^{fgh}	50,8 ⁱ	55,5 ^{sh}	54,0 ^{hi}
Cenizas (%MS)	8,5	8,5 ^b	9,4 ^{ab}	9,1 ^b	11,3 ^{ab}	9,3 ^{ab}	10,3 ^{ab}	10,4 ^{ab}	11,3 ^{ab}	11,1 ^{ab}	11,1 ^{ab}	11,0 ^{ab}	12,3 ^{ab}	13,0 ^a	12,1 ^{ab}	13,6 ^{ab}

MS= materia seca, PC= proteína cruda, EE= extracto etéreo, CNF= carbohidratos no fibrosos, FDN= fibra detergente neutro, FDA= fibra detergente ácido, DIVMS= digestibilidad *in vitro* de la materia seca.
 Letras diferentes en la misma fila difieren significativamente (p<0,05).

afectado de forma altamente significativa (p<0,05) por el contenido de proteína en la mezcla. De esta manera conforme aumentó el contenido de urea en la mezcla mayor fue el contenido de N-NH₃/NT; sin embargo, esta fracción tendió a bajar conforme se adicionó MDM debido a un mayor aporte de carbohidratos (Cuadro 2). De acuerdo con varios autores (McDonald, 1981; Taiwo et al., 1995; Kleinschmit y Kung Jr, 2006; Borges et al., 2011), el nitrógeno amoniacal puede ser afectado por el nivel de pH dentro del silo, si el pH es ácido el contenido de N-NH₃/NT es menor y cuando el pH es menos ácido los valores de N-NH₃/NT son mayores, debido a la hidrólisis de la urea, por actividad de las ureasas de organismos oportunistas

como bacterias y hongos quienes deterioran la calidad de los forrajes.

El contenido de nitrógeno amoniacal en todos los tratamientos fue menor a los valores descritos por Peña y Del Pozo (1992), Moreno (1977) e Hiriart (2008) para ensilados de buena calidad. El contenido de N-NH₃/NT de los ensilados analizados fue menor que los resultados presentados por Gutiérrez et al. (2003), para mezclas ensiladas de cáscaras y pulpa de piña mezcladas con pollinaza y que los valores obtenidos por López et al. (2009), quienes trabajaron con rastrojos de piña con niveles crecientes de PCD, lo cual indica que durante el proceso fermentativo, se conserva la proteína del material y el nitrógeno no proteico de la urea.

Características bromatológicas de los materiales ensilados

Materia seca (MS). Ninguno de los aditivos utilizados cambia de forma significativa el contenido de MS en los materiales ensilados, esto debido a que a pesar de su alto contenido, el nivel de inclusión no es suficiente para reducir el contenido de humedad (Cuadro 2). El contenido de MS en los tratamientos es menor que el obtenido por López et al. (2009) en rastrojos de piña sin aditivos, resultados que concuerdan con los valores presentados por Lallo et al. (2003), Azevedo et al. (2011), Kellems et al. (1979) y Cunha et al. (2009), las fuentes de variación en el contenido de MS pueden ser la época de recolección del material, la edad de la planta o el manejo agronómico de la plantación.

El ensilaje de materiales altos en humedad pueden generar efectos adversos en los materiales ya que, altos contenidos de agua en los materiales pueden promover una fermentación por clostridios, los cuales producen pérdidas de nutrientes y calidad de los ensilados (McDonald, 1981). Además aunque se posean altos contenidos de carbohidratos solubles y el proceso de ensilaje sea exitoso, los ensilados con alto contenido de humedad, reducen el consumo voluntario de los animales. Finalmente, este autor indica que los ensilados con alto contenido de humedad produjeron altos contenidos de efluentes, los cuales pudieron llevarse gran parte de los nutrientes digestibles de las plantas.

Proteína cruda (PC). El contenido de proteína de los materiales ensilados estuvo influenciado por la inclusión de urea en la mezcla, las diferencias con respecto al tratamiento control fueron significativas ($p < 0,05$), sin embargo, no existieron diferencias significativas entre los tratamientos con inclusión de urea (Cuadro 2). La adición de MDM no influyó sobre el contenido de esta fracción y la interacción entre los aditivos resultó de poca importancia (Cuadro 2). Debido al aporte de nitrógeno no proteico (NNP) procedente de la urea, los tratamientos con mayor inclusión de este material presentaron también mayor contenido de NH_3/NT . Los materiales ensilados obtenidos en este trabajo, presentaron un contenido de PC mayor que el presentado por López et al. (2009), Kellems et al. (1979) y Prado et al. (2003), lo cual mejoró el perfil de esta fracción en los ensilados,

limitante que concluyen estos autores. Los materiales a los que se les adicionó urea incrementaron su contenido de PC de manera similar que los ensilados obtenidos en el trabajo de Gutiérrez et al. (2003), quienes trabajaron con cáscaras y pulpa de piña mezclada con pollinaza, lo que reafirma que fuentes altas en nitrógeno permiten mejorar el contenido de PC en ensilados de rastrojos de piña.

De acuerdo a Yan y Agnew (2004b), la degradabilidad de la proteína a una tasa de pasaje de 0,02/h (consumo una vez mantenimiento (1X)) en un ensilaje aumentó conforme la concentración de proteína en el material aumentó, sin embargo, en materiales con una concentración mayor a 20% PC, la degradabilidad tendió a reducirse. Estos autores utilizan ecuaciones de predicción para estimar la degradabilidad de la proteína de acuerdo a la cantidad de este nutrimento presente. La tasa de degradación estimada de la proteína de acuerdo a Yan y Agnew (2004b), en los tratamientos evaluados fluctuó entre 83 y 91% en el de mayor contenido de PC y entre 72 y 78% para el de menor contenido de PC, estimados de acuerdo a una tasa de pasaje de tres veces mantenimiento (3X) y una vez mantenimiento (1X), respectivamente.

Carbohidratos fibrosos y no fibrosos. Los aditivos utilizados no afectaron la composición de los carbohidratos fibrosos, tanto la FDN como la FDA en los tratamientos permanecieron constantes, debido a que ninguno posee niveles de fibra que afectara positiva o negativamente los valores de estas variables (Cuadro 2).

El contenido de FDN y FDA en los tratamientos evaluados fue mayor que los valores obtenidos por López et al. (2009) para ensilados de rastrojos de piña sin aditivos y con inclusión de niveles crecientes de PCD, también fue mayor que los valores presentados por Lallo et al. (2003), Prado et al. (2003) y Cunha et al. (2009), pero son menores que los valores presentados por Lousada et al. (2005), Azevedo et al. (2011), Rogério et al. (2007) y Gutiérrez et al. (2003) en distintos subproductos de la industria piñera. Esta situación podría afectar el consumo de este material por los animales rumiantes (Belyea et al., 1996). Las diferencias en los contenidos de la fracción fibrosa, entre los materiales ensilados se deben a procesamiento del forraje, ya que en varias de las investigaciones mencionadas, se utilizó la deshidratación como mejorador del contenido de MS, a la edad de la planta, pudiendo ser de primera o

segunda cosecha; también pudo afectar los contenidos de FDN y FDA, la época de cosecha del material o el manejo agronómico de la plantación.

De acuerdo al trabajo realizado por Yan y Agnew (2004 a y b), la degradación de la materia seca en el rumen se reduce conforme aumenta la concentración de FDN en los alimentos para rumiantes. Además, Sánchez y Soto (1998) reafirman lo señalado por diversos autores acerca de la correlación negativa entre la concentración de FDA y la digestibilidad de los alimentos para rumiantes, es decir, a mayor FDA menor digestibilidad del alimento.

El contenido de CNF en los materiales ensilados disminuyó conforme aumentó el nivel de proteína en la mezcla, esto debido a la relación matemática que existe en el cálculo de los CNF; sin embargo, el contenido de esta fracción tendió a aumentar de acuerdo a una mayor inclusión de MDM en la mezcla ensilada (Cuadro 2).

Cenizas. En cuanto a la fracción mineral, los tratamientos fueron afectados por la inclusión de MDM en la mezcla, así conforme se elevó la cantidad de MDM se incrementa el valor de la fracción de cenizas, esto debido al elevado contenido de calcio presente en la minelaza (Cuadro 2). No existieron diferencias significativas entre los tratamientos ($p>0,05$), los valores de cenizas son más elevados que los resultados obtenidos en subproductos de la industria de la piña, por López et al. (2009), Lousada et al. (2005), Rogério et al. (2007) y Kellems et al. (1979), pero menor que los obtenidos por Lallo et al. (2003) y Prado et al. (2003). Debido a la presencia de raíces que poseen mayor contenido de esta fracción (Kellems et al., 1979).

DIVMS. La inclusión de urea no afectó de forma significativa la digestibilidad de los materiales ensilados ($p>0,05$), sin embargo, la inclusión de MDM redujo de manera significativa la DIVMS de las mezclas ensiladas (Cuadro 2). En el 50% de los tratamientos evaluados en este trabajo, se presentó un valor mayor de DIVMS al informado por Kellems et al. (1979) para diferentes partes de la planta de piña, pero menores a los valores obtenidos por López et al. (2009) y Gutiérrez et al. (2003). Esto indica que según la parte con la cual se trabaje, de los subproductos de la industria piñera, se debe de valorar el comportamiento a nivel ruminal de cada material, para así, optimizar el uso de este recurso de forma eficiente.

Caracterización energética de los ensilados de rastrojo de piña

Los valores más altos se obtuvieron cuando se ensiló el rastrojo de piña con el inóculo elaborado en finca (1 l/t), 0,5% de urea (p/p) y sin la adición de MDM; y en un segundo caso, inóculo elaborado en finca, con 0,5% de urea y de 0,2% de MDM. Los valores obtenidos para el contenido de nutrientes digestible totales fluctuaron entre 52,7 a 52,8%. Por otro lado, los valores de energía digestible, metabolizable, neta de lactancia, neta para ganancia de peso y neta de mantenimiento, varió entre 2,32 a 2,33; 1,91; 1,17; 0,51 y 1,06 a 1,07 Mcal/kg, respectivamente. Los valores obtenidos presentaron una concentración de energía menor a la obtenida por López et al. (2009), Kellems et al. (1979), Pereira et al. (2009) y Rogério et al. (2007), pero valores similares a los valores presentados por Otagaki et al. (1961), quienes trabajaron con heno de planta piña. Sin embargo, fueron mayores a los presentados por Lousada Jr et al. (2005), quienes trabajaron con subproductos de la industria piñera, debido a una mala conservación de los materiales o a la edad de las plantas, lo que permite desarrollar estrategias de alimentación para utilizar de forma adecuada este material en la alimentación de animales rumiantes.

LITERATURA CITADA

- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1998. Official methods of analysis of AOAC International. 16th ed, 4th rev. Gaithersburg, MD: AOAC International, USA.
- Azevêdo, J.A., S.C. Filho, E. Detmann, D. Pina, L.G. Pereira, K. De Oliveira, H. Fernandes, y N.K. Souza. 2011. Predição de frações digestíveis e valor energético de subprodutos agrícolas e agroindustriais para bovinos. *Rev. Bras. Zootecnia* 40:391-402.
- Betancourt, M., I. González, y M. Martínez de Acurero. 2005. Evaluación de la calidad de los ensilajes. *Revista Digital Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela*. No 8 mayo-agosto. Maracay, Aragua, Venezuela. http://sian.inia.gov.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n8/arti/betancourt_m/betancourt_m.htm (Consultado 2 mayo 2014).

- Belyea, R., B. Steevens, G. Garner, J. Whittier, y H. Sewell. 1996. Using NDF and ADF To Balance Diets. Missouri University Extension: G3161. USA.
- Borges, J.A., Y. Bastardo, E. Sandoval, M. Barrios, y R. Ortega. 2011. Efecto de la adición de urea y el tipo de fermentación en la estabilidad de silajes de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Zootecnia Trop.* 23:283-291.
- Chalupa, W., y C.J. Sniffen. 1996. Protein and amino acid nutrition of lactating dairy cattle – today and tomorrow. *Anim. Feed Sci. Technol.* 58:65-75.
- Costa, R.G., M.X.C. Correia, J.H.V. Da Silva, A.N. De Medeiros, y F.F.R. De Carvalho. 2007. Effect of different levels of dehydrated pineapple by-products on intake, digestibility and performance of growing goats. *Small Rumin. Res.* 71:138-143.
- Cubero J.F., A. Rojas, y R. Wing-Ching. 2010. Uso del inóculo microbiano elaborado en finca en ensilaje de maíz (*Zea mays*). Valor nutricional y fermentativo. *Agron. Costarricense* 34(2):237-250.
- Cunha, M.D.G., E. Oliveira, J.L. Ramos, y M.D. Alcântara. 2009. Conservação e utilização do resíduo de abacaxi na alimentação de ovinos no curimataú ocidental da Paraíba. *Tecnol. & Ciên. Agropec.* 3(3):55-62.
- Detmann E., y S.C. Filho. 2010. Sobre a estimação de carboidratos não fibrosos em alimentos e dietas. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 62(4):980-984.
- Gutiérrez, F., A. Rojas, H. Dormond, M. Poore, y R. WingChing. 2003. Características nutricionales y fermentativas de mezclas ensiladas de desechos de piña y avícolas. *Agron. Costarricense* 27(1):79-89.
- Hiriart, M. 2008. *Ensilados. Procesamiento y calidad.* Editorial Trillas, México.
- Kellems, R.O., O. Wayman, A.H. Nguyen, J.C. Nolan, C.M. Campbell, J.R. Carpenter, y E.B. Ho-A. 1979. Post-harvest pineapple plant forage as a potential feedstuff for beef cattle: evaluated by laboratory analyses *in vitro* and *in vivo* digestibility and feedlot trials. *J. Anim. Sci.* 48:1040-1048.
- Kleinschmit D.H., y L. Kung Jr. 2006. A meta-analysis of the effects of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small-grain silages. *J. Dairy Sci.* 89:4005-4013.
- Lallo, F.H., I. Nunes, W. Gonçalves, L.M. Zeoula, F. Barros, y F. Yoshimi. 2003. Níveis de substituição da silagem de milho pela silagem de resíduos industriais de abacaxi sobre a degradabilidade ruminal em bovinos de corte. *R. Bras. Zootec.* 32:719-726.
- Lopez, M., R. WingChing-Jones, y A. Rojas. 2009. Características fermentativas y nutricionales del ensilaje de rastrojo de piña (*Ananas comosus*). *Agron. Costarricense* 33(1):1-15.
- Lousada, J.E., J. Miranda, N. Rodríguez, J.C. Machado, y R. Braga. 2005. Consumo e digestibilidade de subprodutos do processamento de frutas em ovinos. *R. Bras. Zootec.* 34:659-669.
- McDonald, P. 1981. *The biochemistry of silage.* New York, USA, Wiley.
- McDonald, P., y A.R. Henderson. 1962. Buffering capacities of herbage samples as factor of silage. *J. Sci. Food Agric.* 13:395-400.
- Moharrery, A. 2007. The determination of buffering capacity of some ruminant's feedstuffs and their cumulative effects on TMR ration. *American J. Anim. Vet. Sci.* 2:72-78.
- Moore, K.J., y M.A. Peterson. 1995. Post-harvest physiology and preservation of forages. *Crop Science Society of America Inc. Special publication N.º 22.* Wisconsin, USA.
- Moreno, A.H. 1977. Evaluación de ensilajes de pasto Panamá (*Saccharum sinense*), para la alimentación de vacas de doble propósito. Tesis de maestría, Turrialba, Costa Rica, Universidad de Costa Rica-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- NRC (National Research Council). 2001. *Nutrient Requirements of dairy cattle.* 7 ed. National Academy Press, Washington DC., USA.
- Otagaki, K., P. Lofgreeng, E. Cobb, y G. Dull. 1961. Net energy of pineapple bran and pineapple hay when fed to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 44:491-497.
- Peña, P.M., y P. Del Pozo. 1992. Explotación de pastos y forrajes. ISCAH, La Habana, Cuba.
- Pereira, E.S., J.G. Filho, E.R. Freitas, J.N. Neiva, y M.J. Cândido. 2009. Valor energético de subprodutos da agroindústria brasileira. *Arch. Zootec.* 58:455-458.
- Prado, I., F.H. Lallo, L.M. Zeoula, S. Neto, W. Gonçalves, y J. Marques. 2003. Níveis de substituição da silagem de milho pela silagem de resíduos industriais de abacaxi sobre el desempenho de bovinos confinados. *R. Bras. Zootec.* 32:737-744.
- Rogério, M.C.P., I. Borges, J.N.M. Neiva, N.M. Rodriguez, J.C.M. Pimentel, G.A. Martins, T.P. Ribeiro, J.B. Costa, S.F. Santos, y F.C. Carvalho. 2007. Valor nutritivo do resíduo da indústria processadora de abacaxi (*Ananas comosus* L.) em dietas para ovinos. Consumo, digestibilidade aparente e balanços energético e nitrogenado. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 59:773-781.

- Sánchez, J. 2010. Práctica en el Programa de Transferencia Tecnológica de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L. Ciudad Quesada, San Carlos. Práctica de Bachillerato, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Sánchez, J.M., y H. Soto. 1998. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. II. Componentes de la pared celular. *Revista Nutrición Animal Tropical* 4(1):7-19.
- SAS Institute. 2003. SAS 9.1.3 for Windows. Service Pack 4. Win_Pro plataforma. SAS Inst., Cary, NC, USA.
- Taiwo A.A., E.A. Adebawale, J.F. Greenhalgh, y A.O. Akinsoyinu. 1995. Techniques for trapping ammonia generated from urea treatment of barley straw. *Anim. Feed Sci. Tech.* 56:133-141.
- Tilley, J.M.A., y R.A. Terry. 1963. A two-stage technique for the *In vitro* digestion of forage crops. *Grass Forage Sci.* 18:104-111.
- Tobia, C., A. Rojas, E. Villalobos, H. Soto, y L. Uribe. 2004. Sustitución parcial del alimento balanceado por ensilaje de soya y su efecto en la producción y calidad de la leche de vaca, en el trópico húmedo de Costa Rica. *Agron. Costarricense* 28(2):27-35.
- Van Soest, P.J., y J.B. Robertson. 1985. Analysis of forages and fibrous food. AS 613. Cornell University, A Laboratory Manual. Department of Animal Science. Ithaca NY.
- Weiss, W.P. 2004. Fine-tuning energy calculations. En: M. Eastridge, editor, Proceedings of the Tri-State Dairy Nutrition Conference. Purdue University, Michigan State University, Ohio State University. April 27 – 28. Fort Wayne, Indiana, United States. p. 131-142.
- Yan, T., y R.E. Agnew. 2004a. Prediction of nutritive values in grass silages: I. Nutrient digestibility and energy concentrations using nutrient compositions and fermentation characteristics. *J. Anim. Sci.* 82:1367-1379.
- Yan, T., y R.E. Agnew. 2004b. Prediction of nutritive values in grass silages: II. Degradability of nitrogen and dry matter using digestibility, chemical composition and fermentation data. *J. Anim. Sci.* 82:1380-1391.

