

CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS Y NUTRICIONALES DEL ENSILAJE DE RASTROJO DE PIÑA (*Ananas comosus*)¹

Michael López Herrera^{2/*}, Rodolfo WingChing-Jones*, Augusto Rojas-Bourrillón*

Palabras clave: Proteína cruda, fibra detergente neutro, capacidad buffer, fibra detergente ácida, densidad energética.

Keywords: Crude protein, neutral detergent fiber, buffer capacity, acid detergent fiber, energy density.

Recibido: 25/09/08

Aceptado: 06/12/08

RESUMEN

Se determinó la composición nutricional y características fermentativas de los rastrojos de piña antes del proceso de ensilaje y en el material ensilado. Los microsilos fueron preparados en bolsas de polietileno de 1 kg, al rastrojo se le adicionó 0, 5, 10, 15, y 20% de pulpa de cítricos deshidratada (PCD) en base fresca y 3% de melaza también en base fresca e inóculo bacteriano ($1,0 \text{ l.t}^{-1}$) dependiendo del tratamiento. El contenido de PC, FDN, FDA, lignina, cenizas, $\text{N-NH}_3\text{.N-total}^{-1}$, capacidad buffer y pH se redujo al incrementar los niveles de carbohidratos. En cambio, el contenido de MS, EE, DIVMS y CNF del forraje, se concentró al aumentar la inclusión de PCD. La densidad energética de los ensilados se incrementó de acuerdo a la adición de carbohidratos. Se determinó, mediante simulación, que los ensilados de rastrojos de piña (20% PCD), sin restricción por consumo de proteína, pueden suplir los requerimientos energéticos de bovinos de 350 kg de peso vivo con una ganancia máxima de 500 g.día^{-1} y una producción láctea menor a 25 kg.día^{-1} con una concentración de 4% de grasa en vacas lecheras de 450 kg de peso vivo, sin tomar en cuenta la tasa de pasaje del alimento a nivel ruminal. Además, el costo del kilo de MS del ensilaje de rastrojo de piña con o sin aditivos fluctuó entre $\$3,95$ y $\$20,84$. Los rastrojos de piña son una alternativa para la suplementación de rumiantes por su perfil nutricional y costo de elaboración.

ABSTRACT

Fermentative and nutritional characteristics of pineapple plant straw silage. Nutritional value and fermentative parameters of pineapple straw (leaves, shoots and stems) in non-fermented and fermented material were determined. Microsilages were made with 1 kg polyethylene bags. Dried citrus pulp (DCP) at 0, 5, 10, and 20% of fresh weight, 3% molasses, and a bacterial inoculum at (1.0 l.t^{-1}) were added to plant straw. Pineapple straw without additives was also evaluated. Nutritional value of pineapple straw fermented and non-fermented, changed according to carbohydrate inclusion. CP, NDF, ADF, lignin, ashes, $\text{N-NH}_3\text{.N-total}^{-1}$, buffer capacity, and pH value decreased when carbohydrate concentration (molasses and DCP) was high. On the other hand, when DCP was high, DM, EE, IVDMD and NFC content of forage increased, as well as energy density. Using a simulation, it was determined that pineapple straw silage (20% DCP), without protein restriction, could fill energy requirements of 350 kg steers with body weight gains of 500 g.day^{-1} and a milk production up to 25 kg.day^{-1} with 4% fat milk in lactating dairy cows weighting 450 kg, not counting the ruminal passage rate. DM cost of 1 kg of pineapple straw silage, with or without additives, ranges from $\$3.95$ to $\$20.8$. Then, pineapple straw silage is an alternative for ruminant animal supplementation due to its nutritional profile and elaboration low cost.

1 Este trabajo forma parte de la tesis de licenciatura del primer autor. Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Escuela de Zootecnia. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

2 Autor para correspondencia:
michael.lopez@ucr.ac.cr

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

INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, el cultivo de la piña (*Ananas comosus*) ha experimentado un incremento en los últimos años, esto le ha permitido establecerse como una alternativa de diversificación agrícola y una importante fuente de divisas. En Costa Rica se produce cerca del 40% de las importaciones de esta fruta por la Unión Europea y el 90% por América del Norte (EARTH 2004).

En los últimos 8 años, las áreas de producción se han triplicado, pasando de 12.500 ha en el 2000 a 40.000 ha en el 2007, para un incremento total de 27.500 ha (Barquero 2007). Tal desarrollo está concentrado casi en su totalidad en empresas transnacionales y solo el 4% de la producción anual (1.100.139 t para el 2007) se estima que es aportado por 1000 medianos y pequeños productores (Barquero 2007).

En la Región Huetar Norte, el sector piñero pasó de 746 productores, con un área total de 11.168,4 ha en el 2004, a 949 productores en el 2005 con un área total productiva de 14.019,4 ha (CANAPEP 2005).

Proporcional al incremento en área cultivada de piña, se da una mayor producción de rastrojos al finalizar cada periodo de cosecha, material que incrementa los costos de producción del nuevo ciclo y se convierte en sustrato para el desarrollo de la mosca palettera (*Stomoxys calcitrans*). Cuando es incorporado como abono al suelo, durante el proceso de descomposición de las partes fibrosas de la hoja y del tallo (Sánchez y Caraveo 1996) se liberan malos olores, se genera calor y alta humedad, condiciones que permiten la reproducción de la mosca. La presencia de la mosca se asocia a daños de la piel en el ganado y provocan problemas en el consumo de materia seca, lo que se refleja en la disminución de la producción de leche y en la ganancia diaria de peso de los animales (Rojas et al. 2003).

Al ser la técnica de ensilaje, una alternativa para la conservación de desechos agrícolas y concentrar la zona Norte y Atlántica el 29,6% y 13,2% de la población bovina nacional, respectivamente; esta práctica podría beneficiar a las 16.811 fincas ganaderas que se encuentran en

estas regiones; las cuales representan el 42,8% del total de fincas en el país (CORFOGA 2000), ya que, se transforma un desecho como los rastrojos de piña, en una fuente forrajera utilizable en la alimentación del ganado.

Por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue determinar el perfil nutricional de los rastrojos de piña en fresco y ensilados, para considerar este forraje en la alimentación de rumiantes, como una alternativa de manejo de estos desechos después de cada ciclo productivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del forraje. Los rastrojos de piña, material forrajero a ensilar, fueron obtenidos de una finca ubicada en Pital de San Carlos, Alajuela, donde se seleccionó 2 lotes que fueron utilizados para la producción de semilla. Los rastrojos fueron picados con cuchillo hasta obtener secciones con un tamaño de partícula promedio de 2,5-3 cm.

Desarrollo del experimento. Con la técnica de microsilos, se evaluó el efecto de la incorporación de aditivos sobre la calidad del ensilado de rastrojo de piña. A los tratamientos se les adicionó 5 niveles de pulpa de cítricos deshidratada (PCD): 0, 5, 10, 15, 20%, 3% de melaza y 1,0 l.t⁻¹ de inóculo bacteriano (EM[®], EARTH). Por último, se evaluó un sexto tratamiento sin ningún aditivo. En todos los casos, los aditivos se aplicaron en relación al peso fresco del material. El experimento se realizó con un diseño irrestricto al azar con 6 tratamientos, cada tratamiento fue repetido 5 veces para un total de 30 microsilos. Los microsilos se elaboraron en bolsas de polietileno para empaque al vacío con una capacidad de 1 kg y un grosor de 0,063 mm.

Características organolépticas. Se determinó las características organolépticas del material ensilado por medio de los indicadores planteados por Betancourt (2005) para color, olor, textura y humedad. Para color se evaluó como excelente una coloración verde olivo; como bueno un verde

amarillento; como regular el color verde oscuro; y como malo un ensilaje con coloración oscura (negro). Para la evaluación del olor se tomó como excelente una sensación a fruta madura; como bueno un ligero olor a vinagre; un fuerte olor a vinagre como regular y por último, un olor putrefacto como malo. En el caso de la textura de los ensilados, se consideró excelente o buena aquella donde el material conserva todos sus contornos definidos; como regular los bordes del material aparecen mal definidos; cuando no se aprecia diferencia entre hojas, hijos y tallos, se forma una masa amorfa y jabonosa al tacto, se calificó como malo. Por último, la determinación de la humedad en el material fermentado, se consideró como excelente o bueno el material que no humedece las manos al ser comprimido dentro del puño y se mantiene suelto después de retirada la presión; si presenta goteo cuando se comprime y forma una masa compacta se calificó como regular; y si el material se moldea con facilidad y genera efluentes se valoró como malo.

Características nutricionales. Las muestras fueron analizadas tanto antes como después del proceso fermentativo. Se les analizó el porcentaje de materia seca (MS) en estufa a 60°C durante 48 h; la proteína cruda (PC) mediante el método de Kjeldahl; extracto etéreo (EE), cenizas, digestibilidad in vitro de la materia seca (AOAC 1991), carbohidratos no fibrosos (CNF) (Eastridge 1994), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina (Van Soest y Robertson 1985).

Características fermentativas. La capacidad buffer del material después de ensilar se determinó mediante la metodología de McDonald y Henderson (1962), al mismo tiempo se realizó la determinación del pH. El $N-NH_3$.N-total⁻¹ se determinó mediante el método empleado por Tobía (2004).

Estimación del costo de producción. La estimación del costo de producción de 1 t de ensilado de rastrojo de piña se realizó considerando los

requerimientos básicos de cosecha, compactación y sellado. Para tal fin, se asumió un rendimiento de rastrojo en fresco de 245 t.ha⁻¹, que se obtiene de una densidad de siembra de 70.000 plantas.ha⁻¹ con un peso promedio por planta de 3,5 kg, sin considerar la parte radical. Se empleó un silo de montón con 10 m de largo, 6 m de ancho y una altura de 1,5 m, el cual permite una capacidad de almacenaje de 58,5 t de material.

Fraccionamiento de la energía. Para la determinación del NDT, se empleó los resultados obtenidos para PC, EE, FDN, FDA, contenido de cenizas y lignina (Van Soest et al. 1991). Para la determinación de los contenidos de N-FDN y N-FDA se empleó la metodología descrita por Chalupa y Sniffen (1996).

Mediante las ecuaciones descritas por Weiss (2004) se determinó el contenido de NDT de los materiales. Con el valor de NDT se estimó los contenidos de energía digestible (ED), energía metabolizable (EM), energía neta de lactancia (EN_l), energía neta de mantenimiento (EN_m) y energía neta de ganancia (EN_g) para cada tratamiento (NRC 2001) todo expresado, sin tomar en cuenta la tasa de pasaje del rumiante (IX).

Análisis de la información. Con el programa ANOVA de SAS (2003) se analizó la información del perfil nutricional y patrones fermentativos del material ensilado para cada tratamiento. Además del análisis de variancia, se realizó una prueba de correlación entre los efectos principales y las variables nutricionales y fermentativas. Para determinar diferencias entre medias se utilizó la prueba de Waller-Duncan a $p < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del material previo a la fermentación

Tanto el pH como la capacidad buffer, obtenidos en este trabajo, indican que los rastrojos de piña en fresco con o sin la adición de aditivos, poseen características favorables para ser ensilados. Esto debido a que el pH es menor

al del forraje fresco de maíz y al de pastos, una capacidad buffer similar a la del forraje de maíz fresco pero menor a la que poseen las leguminosas (Moore y Peterson 1995); además, la adición de fuentes de carbohidratos como la melaza y la PCD potencia la capacidad de ensilarse de este material (Cuadro 1).

En relación con el contenido de MS, este se incrementa en un promedio de 2% al adicionar melaza; mientras que los niveles crecientes de PCD generan un incremento de 3-11% adicional al efecto de la melaza. Los niveles de PC son similares a los del pasto Jaragua (*Hyparrhenia rufa*) y menores a los que presentan la mayoría de los pastos tropicales (Sánchez 2006).

Al incluir pulpa de cítricos, el extracto etéreo tiende a aumentar; sin embargo, resulta ser una fracción con poca relevancia energética (Church et al. 2003).

La composición de la pared celular (FDN, FDA), en el rastrojo sin ensilar, es menor a la que presentan las pasturas tropicales descritas

por Sánchez y Soto (1997), los contenidos de FDN tienden a reducirse conforme se aumenta la inclusión de PCD, igual comportamiento presenta la FDA, salvo que la reducción porcentual es menor con relación a la FDN. En cuanto a los CNF ocurre un incremento en el contenido de esta fracción debido al aporte de carbohidratos que hacen la melaza y los niveles crecientes de PCD. En cambio, los contenidos de cenizas se reducen al incrementar la inclusión de aditivos. Por último, se da un aumento en la DIVMS del material, por efecto de la adición de la melaza y la PCD, superando los valores informados para pastos tropicales (Sánchez y Soto 1997).

Características del ensilado de rastrojo de piña

Evaluación organoléptica

Color. Cada uno de los tratamientos presentó una coloración de verde olivo a amarillento, con lo que el material obtenido se calificó de excelente

Cuadro 1. Caracterización nutricional (%MS) de los rastrojos de piña frescos con adición de niveles crecientes de pulpa de cítricos deshidratada (PCD), 3% de melaza e inóculo microbial y sin aditivos.

Variables	Tratamientos					
	Sin aditivos	PCD (%)				
		0	5	10	15	20
Propiedades químicas						
pH	4,17	4,05	4,01	4,02	4,01	4,08
Capacidad buffer ¹	20,49	18,41	12,38	10,05	11,62	12,45
Composición nutricional (%)						
MS	11,20	12,30	15,00	20,40	21,00	23,30
PC	7,42	7,62	6,34	6,39	6,40	6,63
EE	1,43	1,83	1,58	1,72	1,68	1,83
FDN	57,70	53,40	45,80	40,20	41,70	39,60
FDA	32,10	29,20	26,50	23,40	23,10	22,70
CNF	24,10	27,80	38,10	43,90	42,80	45,10
Cenizas	9,42	9,31	8,15	7,75	7,36	6,88
DIVMS	73,10	74,30	79,50	79,80	77,50	80,40

1 meq NaOH.100 g⁻¹ MS.

calidad a bueno según lo señalan Betancourt et al. (2005).

Olor. En la determinación del olor se distinguió 3 olores y sus mezclas, el olor ligero a vinagre, dulce y a naranja. En la mayor parte de los tratamientos se presentó el olor a vinagre, mientras que en los tratamientos con 20% de PCD predominó un aroma dulce. Por último, conforme se incrementó el nivel de inclusión de la PCD, el aroma a naranja se tornó predominante. En todos los casos, los ensilados fueron clasificados como de buena calidad según lo señalado por Betancourt et al. (2005).

Textura. El material de cada tratamiento se segregaba con facilidad, no produjo ningún tipo de aglomeración, lo que indica una adecuada textura (Betancourt et al. 2005).

Humedad. Debido al tipo de microsilo utilizado no hubo pérdida por efluentes, lo que provoca una retención de la humedad, que al momento de abrir las bolsas y revolver, se combinó con todo el material presente. En este punto Betancourt et al. (2005) señalan que el ensilado es de calidad regular, debido a que cuando se comprimió se observó la presencia de efluentes.

Composición nutricional

Materia seca (MS). La adición de melaza y PCD provocan un incremento en el contenido de MS ($R^2=0,99$). Además, se determinó una correlación ($r=0,99$) entre los niveles de adición de PCD y la concentración de MS en los ensilados de rastrojos de piña, tal comportamiento se explica por el alto contenido de MS de los aditivos empleados en este trabajo. El contenido de MS no varió significativamente al adicionar la melaza (Cuadro 2); sin embargo, se encontró un efecto adicional al de la melaza al incluir niveles mayores del 5% de PCD ($p<0,05$). Los valores obtenidos en esta investigación, son menores a los descritos por Jones et al. (2004) en sorgo (*Sorghum* sp.) que fueron de 28,8% MS y por Tobía et al. (2004) quien reporta 24,5% MS en ensilados de maíz

(*Zea mays*) y 27,5% MS en la soya CIGRAS 06 (*Glicine max*).

Proteína cruda (PC). La inclusión de las fuentes de carbohidratos en los ensilados de rastrojo de piña se correlacionaron negativamente ($r=-0,98$) con el contenido de proteína en los materiales posfermentación. Esto es provocado por los valores bajos de proteína en la melaza ($\approx 4,3\%$ PC) y la PCD ($\approx 6,4\%$ PC), los cuales producen un efecto de dilución. Los tratamientos analizados no presentan diferencias significativas en el contenido de proteína cuando se adicionó melaza con 0 y 5% de PCD, pero la disminución del contenido de proteína cruda es significativa ($p<0,05$) cuando se adiciona un nivel del 10% de PCD. Los valores obtenidos son mayores a los obtenidos por Kellems et al. (1979) en plantas de piña en edad poscosecha (4,85%) quizás, debido a un mejor manejo agronómico de las plantaciones; pero menor a los niveles en ensilados de maíz (9,1%), sorgo (9,1%) y soya (17,4%) indicados por Jones et al. (2004).

Extracto etéreo (EE). Conforme se aumentó la inclusión de PCD en el ensilado se observó un efecto lineal y una alta correlación ($r=0,90$) que favorece la concentración de extracto etéreo en el material, debido a una concentración mayor de EE en la pulpa deshidratada ($\approx 2,1\%$) que en el rastrojo de piña empleado. Los tratamientos con más de 10% de inclusión de PCD no presentaron diferencias significativas. El valor obtenido en todos los tratamientos, es menor al 2,6% que presenta el pasto Gigante (*Pennisetum purpureum*) a los 60 días de corta (Espinoza et al. 2001); al 2,35% del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*); y al 2,57% del pasto San Juan morado (*Setaria anceps*); pero similar al 1,89% del pasto Estrella Africana (Sánchez y Soto 1996).

Fibra detergente neutro (FDN). La concentración de FDN se reduce conforme aumenta el nivel de PCD, esto debido a un contenido menor de FDN en la PCD ($\approx 24,6\%$); además, se determinó un efecto adicional, de la inclusión de PCD

Cuadro 2. Caracterización nutricional (%MS) y fermentativa de los ensilajes de rastrojos de piña con la adición de niveles crecientes de pulpa de cítricos deshidratada (PCD), 3% de melaza e inóculos microbiales y sin aditivos.

Variables	Sin aditivos	Tratamientos				
		PCD (%)				
		0	5	10	15	20
Características fermentativas						
pH	4,40 ^a	3,53 ^b	3,33 ^{bc}	3,45 ^{bc}	3,62 ^c	3,46 ^{bc}
Capacidad buffer ¹	139,28 ^a	91,71 ^b	86,59 ^{bc}	74,11 ^{bc}	75,21 ^{bc}	69,14 ^c
Nitrógeno amoniacal ²	6,69 ^a	3,99 ^b	3,27 ^{bc}	2,84 ^{cd}	2,67 ^d	2,36 ^{cd}
Características nutricionales (%)						
MS	12,30 ^a	14,00 ^a	16,60 ^b	18,80 ^{bc}	21,10 ^{cd}	22,00 ^d
PC	8,08 ^{ab}	8,24 ^a	7,84 ^{abc}	7,56 ^{bcd}	7,50 ^{cd}	7,08 ^d
EE	1,71 ^a	1,56 ^a	1,64 ^a	2,04 ^b	2,09 ^c	2,24 ^c
FDN	56,00 ^a	48,00 ^b	42,90 ^c	41,80 ^c	41,90 ^c	43,40 ^c
FDA	35,00 ^a	29,90 ^b	27,40 ^c	26,50 ^c	27,70 ^c	27,30 ^c
Celulosa	32,20 ^a	27,20 ^b	24,60 ^c	23,60 ^c	24,80 ^c	24,80 ^c
Hemicelulosa	21,00 ^a	18,90 ^b	15,50 ^c	15,30 ^c	14,10 ^c	16,10 ^c
Lignina	2,83 ^a	2,66 ^a	2,82 ^a	2,89 ^a	2,93 ^a	2,46 ^a
CNF	23,50 ^a	31,40 ^b	38,50 ^c	39,10 ^c	38,60 ^c	37,20 ^c
Cenizas	10,80 ^a	10,00 ^b	9,30 ^c	9,00 ^{cd}	8,90 ^{cd}	8,70 ^d
DIVMS	74,88 ^a	77,72 ^a	84,54 ^b	84,82 ^b	85,12 ^b	84,06 ^b

1 meq NaOH.100 g⁻¹ MS.

2 N-NH₃-N-total⁻¹. Los valores con letras diferentes en la misma fila son diferentes (p<0,05).

sobre el efecto de la melaza por si sola (p<0,05). Otra posible causa de la reducción de la FDN en las mezclas ensiladas, es la participación de esta fracción en el proceso fermentativo, como fuente de carbohidratos (McDonald 1981). El tratamiento control posee un nivel de FDN similar al informado por Tobía et al. (2004) en ensilado de maíz (51,7%); sin embargo, los tratamientos con aditivos presentan niveles menores a los descritos por este mismo autor. Al utilizar la técnica propuesta por Belyea et al. (1996); la cual utiliza la FDN y la FDA para balancear dietas (CMS=120/FDN%), se estima que el consumo de materia seca (CMS) del ensilado de rastrojo de piña, sin limitación de proteína y palatabilidad, podría alcanzar de 2,5-2,9% del peso vivo del animal, de acuerdo al nivel de inclusión de aditivos, en comparación

al consumo estimado de forrajes tropicales con contenidos de FDN de 65-72% (Sánchez y Soto 1997).

Fibra detergente ácida (FDA). Se determinó una correlación negativa entre el incremento en el nivel de PCD y los contenidos de FDA del material (r=-0,607) esto provocado por el bajo nivel de FDA (≈18,5%) presente en la pulpa de cítricos. Al incluir melaza se produce una reducción del 15% en el contenido de FDA, además al adicionar PCD se genera una merma adicional de esta fracción en 8,4%, para una disminución total por efecto de aditivos de 23,4% en el contenido de FDA; sin embargo, no hubo diferencia significativas al adicionar más de 5% de PCD (p<0,05). Los resultados obtenidos en esta investigación son

menores a los obtenidos por WingChing y Rojas (2007) en ensilaje de maní forrajero (*Arachis pintoi*) ecotipo 34 a los 20 días posfermentación (31,2%) y Jones et al. (2004) en ensilados de soya (36,9%).

Hemicelulosa, celulosa y lignina. En el caso de la hemicelulosa y la celulosa los valores mayores se determinaron en el tratamiento control. Al adicionar la melaza los contenidos de hemicelulosa y celulosa se reducen en 10-15,5%, pero al incluir la pulpa de cítricos, la merma total (efecto aditivo melaza + PCD) en la concentración de hemicelulosa y celulosa promedian el 19-25,5% con respecto al tratamiento control. El nivel de inclusión de PCD no resultó ser significativo para ninguna de las variables anteriormente citadas. Con relación al contenido de lignina, este no presentó diferencias significativas por efecto de la adición de melaza y niveles crecientes de PCD. La concentración de lignina en los ensilados de rastrojos de piña son más bajos que los obtenidos en pastos tropicales como Estrella Africana (*Cynodon nlemfluensis*) (5,3% MS), Ruzi (*Brachiaria ruziziensis*) (5,2% MS) y King Grass (6,9% MS) informados por Sánchez y Soto (1997); sin embargo, son similares para el ensilado de maíz (2,6-3,5% MS) (Jones et al. 2004).

Carbohidratos no fibrosos (CNF). Los resultados obtenidos presentan una tendencia cuadrática, el solo hecho de adicionar la melaza como aditivo mejora la concentración de esta variable en los ensilados en 7,9% ($p < 0,05$), pero el efecto aditivo al incluir PCD sobre la melaza, se traduce en una mejora de 13,7-15%, dependiendo del nivel de inclusión ($p < 0,05$).

Cenizas. Los valores obtenidos en los tratamientos, muestran que la concentración de cenizas en los rastrojos de piña ensilados, presentan una correlación negativa conforme se incluyen los aditivos ($r = -0,936$), esto debido a que el tratamiento control presenta un nivel mayor de cenizas que las mezclas con aditivos (Cuadro 2). En esta investigación se determinó que la reducción

que causa la adición de melaza es menor a la determinada con los niveles crecientes de PCD ($p < 0,05$), comportamiento debido al contenido de cenizas de cada aditivo. El contenido de cenizas encontrado en los rastrojos de piña ensilados es mayor que los contenidos informados por McDonald (1981) para el ensilado de maíz (5,5% MS), Ryegrass (*Lolium perenne*) (6,8%) y soya (5,5% MS), descrito por Tobía y Villalobos (2004).

Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS). La inclusión de PCD presentó un comportamiento cuadrático en el aprovechamiento de la MS del ensilado. La inclusión de melaza no provocó una mejora significativa en la digestibilidad del material evaluado, en cambio, la adición de PCD mejoró la digestibilidad en 7-9% ($p < 0,05$), pero no se encontró diferencias entre los niveles de inclusión. Los valores obtenidos en este trabajo son mayores a los informados por Di Marco et al. (2005) en ensilados de maíz (61,6% DIVMS), cosechado en estado lechoso; Salazar (2007) para pasto Estrella Africana (68,52%), Villalobos (2006) para Ryegrass (77,95%), y a la digestibilidad obtenida por Andrade (2006) en el pasto Kikuyo (65,3%), cuando se adicionó la PCD a los ensilados.

Patrones fermentativos

pH. La adición de melaza y PCD presentan un efecto significativo sobre el pH ($p < 0,05$). No se encontró efecto entre fuentes de carbohidratos. Según Moore y Peterson (1995), el valor de pH del ensilado de rastrojo de piña sin aditivos se considera como aceptable, pues en ensilados altos en humedad un valor óptimo se encuentra de 4-4,2. Los valores obtenidos en los ensilados con aditivos son menores a los informados en ensilados de maíz (3,9) (Giger-Riverdin et al. 2002), de Ryegrass (3,9) y de trébol rojo (*Trifolium* sp.) (4,2) (McDonald 1981).

Capacidad buffer (meq NaOH.100 g⁻¹ MS). Se obtuvo una correlación negativa entre la capacidad buffer del material ensilado y los niveles de

PCD ($r=-0,93$). El resultado del tratamiento sin aditivos indica que hay una mayor cantidad de sustancias capaces de neutralizar los cambios en pH que en los demás tratamientos, lo que supone un proceso heterofermentativo en este tratamiento. La reducción en la capacidad amortiguadora por la adición de la pulpa de cítricos indica que la pulpa contiene compuestos (pectatos de calcio y carbonato de calcio) capaces de alcalinizar en forma rápida la solución, por lo que se consume menor cantidad de NaOH en estos materiales. El cambio más fuerte en la capacidad buffer del material se dio con la adición de melaza ($p<0,05$), pero al adicionar 20% de PCD se determinó un efecto adicional al de la melaza ($p<0,05$). Todos los tratamientos con aditivos presentaron valores menores a los obtenidos por McDonald (1981) para ensilados de Ryegrass (112 meq NaOH.100 g⁻¹ MS) y de Alfalfa (*Medicago sativa*) (115 meq NaOH.100 g⁻¹ MS). El valor obtenido en el tratamiento sin aditivos es mayor a los anteriores pero menor al de ensilado de maíz (342 meq NaOH.100 g⁻¹ MS) descrito por Giger-Riverdin et al. (2002).

Nitrógeno amoniacal (N-NH₃.N-total⁻¹). Los niveles crecientes de inclusión de PCD presentaron un efecto cuadrático, además se determinó una correlación negativa ($r=-0,89$) entre la

inclusión de PCD y el nivel N-NH₃. Contrario a los resultados obtenidos en la determinación de pH y la capacidad buffer, se encontró diferencias significativas entre los tratamientos, en los niveles de 10, 15 y 20% de inclusión ($p<0,05$). Todos los tratamientos mostraron valores de N-NH₃ que indican un buen proceso fermentativo, ya que se presentan concentraciones por debajo de 5-8% en relación al N-total, valor mínimo esperado para ensilajes de excelente calidad (Peña y Del Pozo 1992). Por su parte, Moreno (1977) indica que concentraciones menores al 11% N-NH₃.N-total⁻¹ se califican como ensilajes aceptables, mientras que ensilajes de mala calidad se relacionan con valores superiores a 15% N-NH₃.N-total⁻¹.

Composición energética

Nutrientes digeribles totales (NDT). Se observó en la concentración de NDT una tendencia lineal y una correlación positiva ($r=0,99$) en relación con el incremento en la inclusión de PCD en los ensilajes (Cuadro 3). Los valores obtenidos fluctuaron entre 59% para el tratamiento sin aditivos y 67% para el tratamiento con el nivel mayor de adición de PCD. Tal comportamiento se debe a los aportes de la melaza y de la PCD al rastrojo de piña, ya que ambos materiales presentan valores de NDT superiores al material sin aditivos.

Cuadro 3. Valor energético en base seca de los ensilados de rastrojos de piña con la adición de niveles crecientes de pulpa de cítricos deshidratada (PCD), 3% de melaza e inóculos microbiales y sin aditivos.

Variables ¹	Tratamientos					
	Sin aditivos	PCD (%)				
		0	5	10	15	20
Fraccionamiento de la energía ¹ (Mcal.kg ⁻¹ MS)						
NDT (%)	59,03 ^a	61,96 ^b	64,01 ^c	65,15 ^{cd}	66,06 ^{de}	67,14 ^e
E. digestible	2,60 ^a	2,73 ^b	2,82 ^c	2,87 ^{cd}	2,91 ^{de}	2,96 ^e
E. metabolizable	2,13 ^a	2,24 ^b	2,31 ^c	2,36 ^{cd}	2,39 ^{de}	2,43 ^e
E. neta de mantenimiento	1,28 ^a	1,38 ^b	1,44 ^c	1,48 ^{cd}	1,51 ^{de}	1,54 ^e
E. neta de lactancia	1,33 ^a	1,40 ^b	1,45 ^c	1,48 ^{cd}	1,50 ^{de}	1,52 ^e
E. neta de ganancia	0,71 ^a	0,79 ^b	0,86 ^c	0,89 ^{cd}	0,92 ^{de}	0,95 ^e

1 Datos expresados a 1X. Los resultados con letras distintas en la misma fila son diferentes ($p<0,05$).

Con respecto a la adición de melaza, se encontró diferencias significativas al compararse con el tratamiento sin aditivos ($p < 0,05$). Además, se determinó un efecto adicional al de la melaza producto de los niveles crecientes de PCD, en donde se observó que por cada 5% adicional de PCD en la mezcla ensilada, se incrementa en 1% el valor de NDT.

Los resultados obtenidos en este trabajo para el contenido de NDT del ensilaje de rastrojo de piña, sin aditivos, son superiores a los descritos por Sánchez y Soto (1999) para pastos de uso común en la producción de rumiantes en el trópico, como es el caso del pasto Estrella Africana (53,8%), pasto Ruzi (53,7%), pasto Kikuyo (56,7%), pasto San Juan blanco y morado (56,2-52,8%, respectivamente) y el pasto King Grass (47,8%). También a los valores informados por Sánchez (2006) para pasto Guinea (54,4%) y Jaragua (49,8%), además, presentó una mayor concentración de NDT que el heno de plantas de piña descrito por Otagaki et al. (1961) (53,1%). Sin embargo, la concentración de NDT es menor a los resultados obtenidos por Villalobos (2006) en pasto Ryegrass (61,9%), un pasto de zona templada que posee un alto valor nutricional. Por presentar un NDT superior a la mayoría de forrajes

de uso en sistemas de producción de rumiantes, se puede considerar a los ensilados de rastrojos de piña sin aditivos (control) como un forraje de alta calidad para la suplementación de los animales en el trópico.

Al comparar la concentración de NDT de los ensilados de rastrojos de piña con aditivos con ensilajes de maíz elaborados en Costa Rica (Betancourt 2004) (60,91%), promedios de ensilados de maíz elaborados en EE. UU. (Jurgens 1997) (70%), sorgo (49,8%), soya (Jones et al. 2004) (58%), avena (*Avena sativa*) (62,5%), alfalfa (Berndt 2002) (61,6%) y ryegrass (McDonald 1981) (73,5%), se nota que el nivel de NDT varía según el nivel de aditivos aplicados (Cuadro 1), pero permite clasificarlo como un material de alta calidad, que puede competir con el ensilaje de maíz como fuente forrajera, ya sea en sustitución parcial o total, dependiendo del costo de producción.

Al analizar los requerimientos de NDT en la ración total de diferentes especies de rumiantes, en estados fisiológicos específicos, se nota que el ámbito de acción de los ensilajes de rastrojo de piña con o sin aditivos, podría ser una fuente forrajera adecuada para la mayoría de las especies analizadas, debido a su concentración de NDT y a su bajo contenido de FDN (Figura 1).

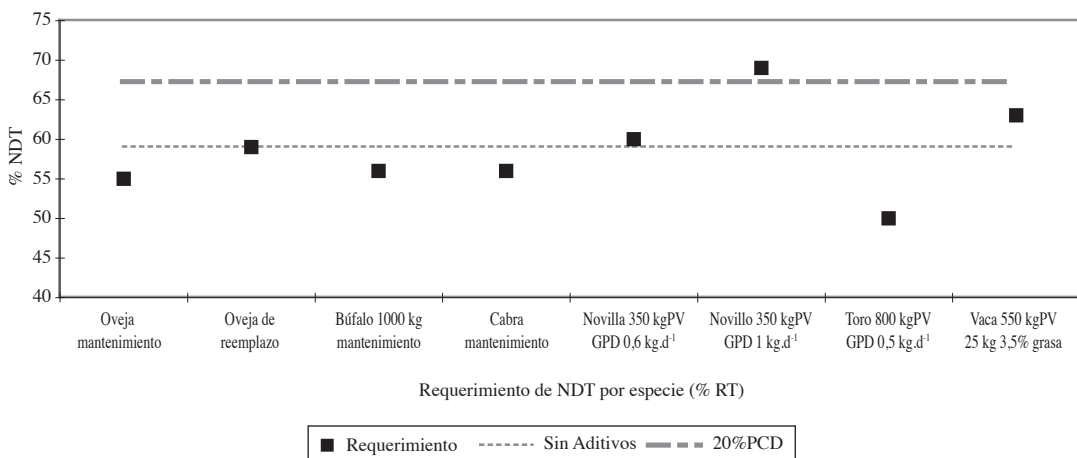


Fig. 1. Requerimientos diarios de NDT de diferentes especies rumiantes comparados con el potencial energético de los ensilados de rastrojos de piña.

Energía para la producción de leche (EN_l) (IX). La concentración energética de los ensilados de rastrojos de piña fluctuó de 1,33-1,52 Mcal.kg⁻¹ (Cuadro 3). Se determinó un efecto significativo en relación con la adición de la melaza de 0,07 Mcal.kg⁻¹, mientras que el efecto aditivo de la PCD permite alcanzar concentraciones de 0,12-0,19 Mcal.kg⁻¹ en el tratamiento sin aditivo ($p < 0,05$). Esto puede convertirse en una producción adicional de leche expresada a **3X** de 0,92-1,67 kg.día⁻¹ con 3,5% de grasa en un animal de 550 kg, donde el requerimiento por litro de leche es de 1,01 Mcal (NRC 2001), con un consumo de 2,79-2,76% de su peso vivo en MS, estimado a partir del contenido de FDN de los ensilajes de rastrojo de piña con 5%-20% de PCD.

De acuerdo con la figura 2, se estima que los ensilados de rastrojos de piña evaluados en este trabajo, de acuerdo al nivel de inclusión y tipo de aditivo, podrían satisfacer los requerimientos de EN_l de una vaca de 454 kg con un potencial productivo menor a 20 kg.vaca⁻¹.día⁻¹,

debido a los bajos contenidos de FDN que permiten un mayor consumo. Al considerar el efecto de tasa de pasaje sobre el contenido energético del ensilaje de rastrojo, el nivel máximo de producción de leche que estos materiales pueden satisfacer es de 20 kg.vaca⁻¹.día⁻¹. En el caso de animales con mayor requerimiento energético se hace necesario el uso de un alimento balanceado como complemento en la dieta.

Al comparar los contenidos de EN_l obtenidos en este trabajo con los valores calculados de EN_l a partir del NDT informado por Andrade (2006), Villalobos (2006) y Salazar (2007) para los pastos Kikuyo (1,44 Mcal.kg⁻¹), Ryegrass (1,40 Mcal.kg⁻¹) y Estrella Africana (1,13 Mcal.kg⁻¹), se nota que los ensilajes con adición de melaza y PCD según el nivel de inclusión, presentan concentraciones similares o mayores de energía que estos forrajes empleados en sistemas de producción de leche en el país, situación que favorece su utilización como fuente forrajera. Igual comportamiento se observa al analizar

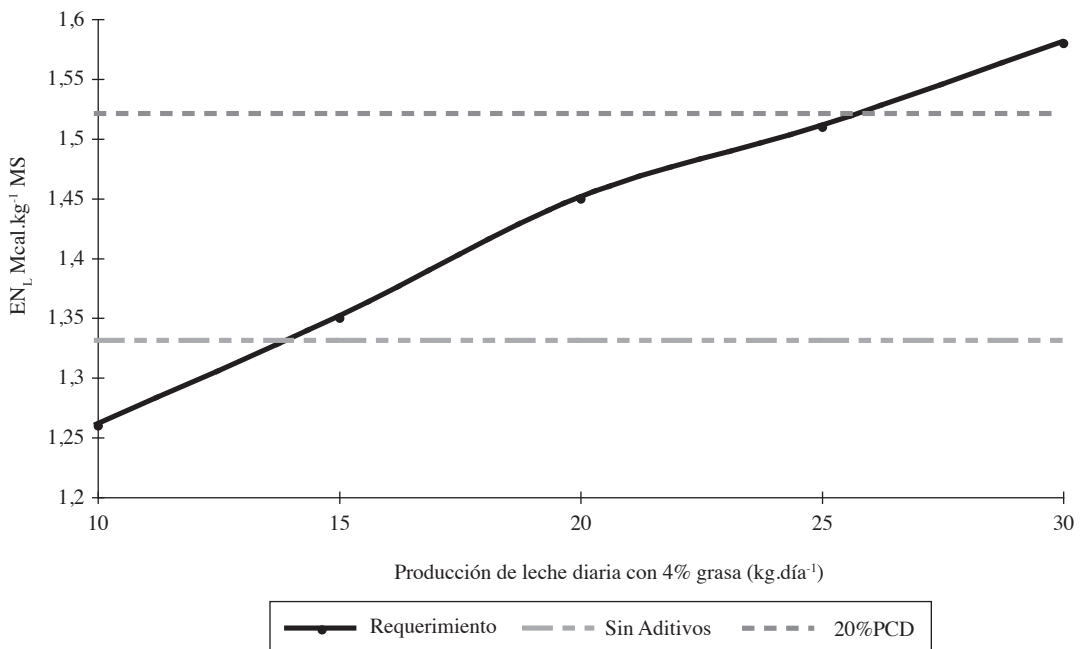


Fig. 2. Ámbito de energía neta de lactancia (IX) de los ensilados de rastrojos de piña en diferentes escenarios de producción de leche.

la información presentada por Sánchez y Soto (1999) para los pastos Estrella Africana (1,23), Kikuyo (1,30), San Juan (1,29), Ruzi (1,23) y King Grass (1,09) en la zona de San Carlos.

Energía para la producción de carne (EN_g).

Los contenidos de EN_g fluctuaron entre 0,71-0,95 Mcal.kg⁻¹ (Cuadro 3). Se determinó un efecto significativo en relación con la adición de PCD, no así en la adición de la melaza. También se obtuvo, que por cada 5% de inclusión de PCD el contenido de EN_g se incrementa en 0,03 Mcal.kg⁻¹, es decir, se obtiene un aporte mayor (0,15-0,24 Mcal.kg⁻¹ según el nivel de PCD) en relación con el tratamiento testigo. Estos valores se traducen en una ganancia de peso diaria adicional en novillas Jersey y Holstein con un peso vivo de 200 kg de 76-122 g.día⁻¹ y de 80-129 g.día⁻¹, respectivamente, con base en el requerimiento de 1,18 Mcal.kg⁻¹ en Jersey y 1,12 Mcal.kg⁻¹ en Holstein, cuando los animales consumen el 2,6% de MS con base en su peso vivo (NRC 2001).

En el caso de animales con fenotipo cárnico, el contenido energético de estos ensilados con o sin aditivos, no es capaz de suplir las necesidades energéticas para ganancia de peso de un novillo de 350 kg PV consumiendo el 2,5% de su PV en MS para superar una ganancia de peso de 500 g.día⁻¹, según los requerimientos de 0,95 Mcal.kg⁻¹, para ganado de carne del NRC (2000); lo que potencia al ensilaje de rastrojo de piña como única fuente forrajera en el engorde de animales, con un rendimiento al día similar a sistemas en pastoreo sin suplementación, siempre y cuando las necesidades de proteína metabolizable y palatabilidad no sean limitantes (Figura 3).

A partir de la información de NDT descrita por Sánchez y Soto (1999) para los pastos Estrella (0,55 Mcal.kg⁻¹), San Juan blanco (0,62 Mcal.kg⁻¹), Ruzi (0,54 Mcal.kg⁻¹) y King Grass (0,33 Mcal.kg⁻¹), se calculó la concentración de EN_g de estos mismos forrajes (datos entre paréntesis), el contenido de EN_g determinado en esta investigación en los ensilajes con adición de

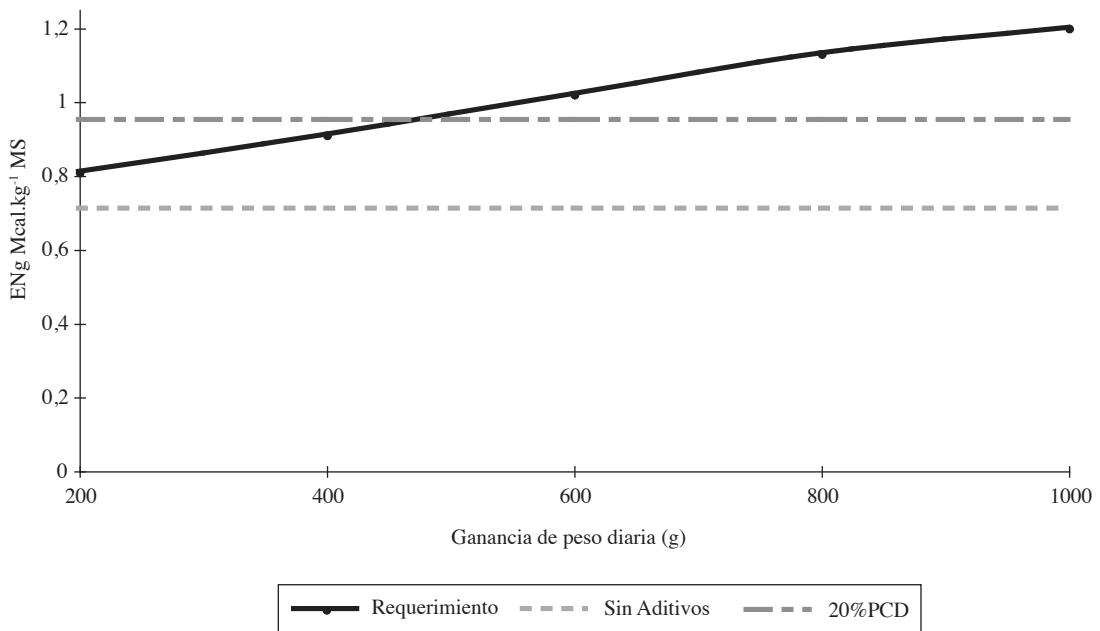


Fig. 3. Ámbito de energía neta de ganancia de los ensilados de rastrojos de piña en diferentes escenarios de cambio de peso diario en animales de engorde.

PCD fue mayor en todos los niveles de inclusión, situación que potencia su uso como suplemento o sustituto parcial del componente forrajero en sistemas de engorde de ganado.

Costos

Costo de elaboración del ensilaje. Para la estimación del costo de acarreo y picado del forraje de piña para ensilar, se utilizó el mismo monto requerido para la eliminación de los desechos de cosecha para iniciar un nuevo ciclo productivo (costo de oportunidad). Se simuló 2 sistemas según la eficiencia de la eliminación del rastrojo, cuando la eliminación de los desechos es eficiente el costo fue calculado en $\$4$ por planta; mientras que en fincas ineficientes este proceso se valoró en $\$6$ planta. Para el acarreo del material cosechado el costo se fijó en $\$1.500$ t^{-1} . Según las estimaciones de rendimiento por hectárea y los costos relacionados al corte, picado y acarreo, el rastrojo de piña listo para ensilar tiene un valor entre $\$2.643$ y $\$3.214,3$ t^{-1} , respectivamente.

Para cubrir el material a ensilar se calculó que el monto por el plástico es de $\$593,9$ t^{-1} .

En los 5 tratamientos con aditivos, la cantidad de melaza fue de 30 $kg.t^{-1}$, mientras que la adición de PCD fue de $50, 100, 150$ y 200 $kg.t^{-1}$, dependiendo del porcentaje de inclusión de $5, 10, 15$ y 20% , respectivamente.

Con respecto a la utilización de maquinaria y mano de obra, se estimó una necesidad de 6 h máquina y 2 h mano de obra para la inclusión de aditivos, con un costo de $\$6.600$ h^{-1} y $\$650$ h^{-1} , respectivamente. Además, el costo de compactación de 1 t de material ensilado se consideró en $\$677$ y para realizar la inclusión de aditivos al ensilaje se requiere de $\$22,2$ t^{-1} de material ensilado.

Por último, el costo de sellar el silo de montón con capacidad de $58,6$ t con el plástico, se estimó en 1 h peón, lo que se traduce en $\$11$ t^{-1} de material ensilado.

En el cuadro 4, se resume los montos estimados para cada insumo y actividad requerida para la elaboración del ensilaje de rastrojo de piña, para así calcular el costo de producir 1 kg de

materia fresca o seca, según el tratamiento seleccionado. Se aprecia que la adición de la melaza incrementa en promedio el costo del kilo de MS en $28-34\%$, según la eficiencia del sistema; mientras que las adiciones crecientes de PCD establecen un rango de incremento de $75,8-192,2\%$ en el costo de ese mismo kilo. En comparación, con el costo de producir 1 kg de MS de un ensilado de maíz de 29% MS, con un valor promedio ($\$85$ kg^{-1}), solo el nivel máximo de inclusión de PCD, evaluado en este trabajo, supera este monto por kilo de MS.

CONCLUSIONES

Los rastrojos de piña pueden ser suministrados a los rumiantes tanto frescos como ensilados, debido a que presentan niveles intermedios de nutrientes respecto a los pastos frescos y a los ensilados (maíz, soya, pasto, asociaciones maíz + soya) utilizados en la alimentación de rumiantes en condiciones tropicales. Además poseen niveles de energía mayores a los de las pasturas tropicales, pero comparables a los forrajes de zonas templadas, al adicionar fuentes de carbohidratos como la melaza y la pulpa de cítricos deshidratada se mejora el perfil energético del material, lo que supera el contenido energético de ensilados de maíz elaborados en Costa Rica, pero presenta un valor menor a los ensilados elaborados en zonas de clima templado.

La composición nutricional de los rastrojos de piña tanto en el material fresco como en el ensilado, varió de acuerdo a la adición de carbohidratos. El contenido de PC, FDN, FDA, lignina, cenizas, NH_3 -N-total $^{-1}$, capacidad buffer y pH fue menor al incrementar los niveles de carbohidratos añadidos. Por otra parte, el contenido de MS, EE, DIVMS y CNF, se concentró al aumentar la inclusión de fuentes de carbohidratos.

El perfil nutricional y energético de los ensilados de rastrojos de piña pueden satisfacer los requerimientos nutricionales de bovinos para carne hasta una ganancia diaria de $0,5$ $kg.día^{-1}$ y producciones lácteas menores a 25 $kg.día^{-1}$.

Cuadro 4. Estructura de costos para la elaboración de los ensilados de rastrojos de piña con la adición de niveles crecientes de pulpa de cítricos deshidratada, 3% de melaza e inóculo microbial y sin aditivos.

Variable	Sin aditivos		Solo melaza		Melaza+ 5% PCD		Melaza+10% PCD		Melaza+15% PCD		Melaza+20% PCD	
	SE	SI	SE	SI	SE	SI	SE	SI	SE	SI	SE	SI
Material ensilado kg	1000	1000	1030	1030	1080	1080	1130	1130	1180	1180	1230	1230
Cosecha y picado	1142,9	1714,3	1142,9	1714,3	1142,9	1714,3	1142,9	1714,3	1142,9	1714,3	1142,9	1714,3
Acarreo	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Plástico	593,9	593,9	593,9	593,9	593,9	593,9	593,9	593,9	593,9	593,9	593,9	593,9
Aditivos(Melaza)	0	0	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250
Aditivos (PCD*)	0	0	0	0	4715	4715	9430	9430	14145	14145	18860	18860
Aditivo (IB**)	0	0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Compactación	676,9	676,9	676,9	676,9	676,9	676,9	676,9	676,9	676,9	676,9	676,9	676,9
Inclusión de aditivos	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2
Emplástico	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1
Total	3947	4518,4	6197,03	6768,43	10912,03	11483,43	15627,03	16198,43	20342,03	20913,43	25057,03	25628,43
¢.kg ⁻¹ MF	3,95	4,52	6,02	6,57	10,10	10,63	13,83	14,33	17,24	17,72	20,37	20,84
% MS	12,3	12,3	14	14	16,6	16,6	18,8	18,8	21,1	21,1	22	22
¢.kg ⁻¹ MS	32,11	36,75	43,00	46,93	60,84	64,04	73,56	76,22	81,71	84,00	92,59	94,73

SE= Sistema eficiente en la eliminación del material SI= Sistema ineficiente para la eliminación del material luego de la cosecha de la fruta de la piña. Tipo de cambio ¢550=US\$ 1, *PCD=pulpa de cítricos deshidratada, **Inoculo bacterial.

Los costos de elaboración del ensilaje de rastrojo de piña con adición de 3% de melaza, inóculo bacteriano y hasta un 15% de PCD, permiten que este material se convierta en una alternativa a la producción de ensilajes de maíz, debido a que presenta un ahorro de $\$1$ a $\$52,89 \text{ kg}^{-1}$ MS de ensilaje producido.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica y a la Hacienda La Josefina.

LITERATURA CITADA

- ANDRADE M. 2006. Evaluación de técnicas de manejo para mejorar la utilización del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex Chiov) en la producción de ganado lechero en Costa Rica. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 226 p.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). 1991. Methods of analysis. Washington D.C.
- BARQUERO M. 2007. Gran expansión piñera eleva ingresos y causa denuncias. Artículo de Periódico La Nación. Lunes 31 de diciembre de 2007. Página 20A. Costa Rica.
- BELYEA R., STEEVENS B., GARNER G., WHITTIER J., SEWELL H. 1996. Using NDF and ADF to balance diets. Missouri University Extension: G3161. USA.
- BERNDT S.A. 2002. Composición nutricional y calidad de ensilajes de la zona sur. Tesis de Licenciatura, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 126 p.
- BETANCOURT J.C. 2004. Caracterización nutricional y productiva de material fresco y ensilado de maní forrajero (*Arachis pintoi*) cultivado en asocio con maíz (*Zea mays*), a tres densidades de siembra. Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 110 p.
- BETANCOURT M., GONZALEZ I., MARTINEZ DE ACURERO M. 2005. Evaluación de la calidad de los ensilajes. Revista Digital Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela. N° 8 mayo-agosto. Maracay, Aragua, Venezuela. 1-5 p.
- CANAPEP. 2005. Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña. Boletín Digital (<http://canapep.com/produccion.html>). Página única. Consultada el 24 de abril del 2008.
- CHURCH D.C., POND W.G., POND K.R. 2003. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. LIMUSA WILEY. México D.F. 636 p.
- CORFOGA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. 2000. Censo bovino. Costa Rica.
- DIMARCO O.N., AELLO M.S., ARIAS S. 2005. Digestibility and ruminal digestion kinetics of corn silage. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec. 57(2):223-228.
- EARTH. 2004. Perfil de producto. Piña. Centro de formación empresarial. 4 p.
- EASTRIDGE M. 1994. Influence of fiber intake on animal health and productivity. Tri-State Dairy Nutrition Conference. 45 p.
- ESPINOZA F., ARGENTI P., GIL J.L., LEON L., PERDOMO E. 2001. Evaluación del pasto King Grass (*Pennisetum purpureum* cv King Grass) en asociación con leguminosas forrajeras. Revista Zootecnia Tropical 19(1):59-71.
- FARIA J. 2006. Manejo de pastos y forrajes en la ganadería de doble propósito. X Seminario de Pastos y Forrajes. Universidad de Zulia, Maracaibo. 1 p.
- GIGER-RIVERDIN S., DUVAUX-PONTER C., SAUVANT D., MARTIN O., NUNES DO PRADO I., MÜLLER R. 2002. Intrinsic buffering capacity of feedstuffs. Animal Feed Science and Technology 96:83-102.
- JONES C.M., HEINRICHS A.J., ROTH G.W., ISHLER V. A. 2004. From harvest to feed: Understanding silage management. Pennsylvania State University. College of Agricultural Sciences. 2-11 p.
- JURGENS M. 1997. Animal feeding and nutrition. 8th ed. Kendall/Hunt Publishing Co. Dubuque, Iowa. USA. 112 p.
- KELLEMS R.O., WAYMAN O., NGUYEN A.H., NOLAN J.C., CAMPBELL C.M., CARPENTER J.R. HO-A E.B. 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. Journal of Animal Science 48(5):1040-1048.
- McDONALD P. 1981. The biochemistry of silage. John Wiley Ltd. New York. 226 p.

- McDONALD P., HENDERSON A.R. 1962. Buffering capacities of herbage samples as factor of silage. *Journal of Science Food and Agriculture* 13:395-400.
- MOORE K.J., PETERSON M.A. 1995. Post-harvest physiology and preservation of forages. Crop Science Society of America Inc. Special publication N.º 22. Wisconsin, USA. 91-107 p.
- MORENO A.H. 1977. Evaluación de ensilajes de pasto Panamá (*Saccharum sinense*), para la alimentación de vacas de doble propósito. Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 98 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 2000. Nutrient requirements of beef cattle. 7th ed. National Academy Press. Washington DC. 248 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. National Academy Press. Washington DC. 408 p.
- OTAGAKI K., LOFGREEN G.P., COBB E. 1961. Net energy of pineapple bran and pineapple hay fed to lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 44(8):491-497.
- PEÑA P.M., DEL POZO P. 1992. Explotación de pastos y forrajes. ISCAH: La Habana, Cuba. 106 p.
- ROJAS T., CALVO B., PORRAS S., CHAVARRIA A. 2003. Problemática de la mosca del establo, *Stomoxys calcitrans*, originada por los desechos del cultivo de la piña (*Anannas comosus*) en la región Huetar Atlántica de Costa Rica. I Parte. *Boletín de Parasitología* 4(3):1-3. Universidad Nacional. Costa Rica.
- SALAZAR S. 2007. Disponibilidad de biomasa y valor nutricional del pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfluensis*) en el distrito de Quesada, cantón de San Carlos. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 96 p.
- SÁNCHEZ J.M. 2006. Valor nutricional de los forrajes de Costa Rica. *Boletín Centro Investigaciones en Nutrición Animal*. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
- SÁNCHEZ J.M., SOTO H. 1996. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. I. Materia seca y componentes celulares. *Revista Nutrición Animal Tropical (Costa Rica)* 3(1):3-18.
- SÁNCHEZ J.M., SOTO H. 1997. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. II. Componentes de la pared celular. *Revista Nutrición Animal Tropical (Costa Rica)* 4(1):7-19.
- SÁNCHEZ J.M., SOTO H. 1999. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. III. Energía para la producción de leche. *Revista Nutrición Animal Tropical (Costa Rica)* 5(1):31-49.
- SÁNCHEZ J.V., CARAVEO F. 1996. El sistema-producto piña en México: situación, tendencias, problemática y alternativas. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 107 p.
- SAS. 2003. SAS 9.1.3 for Windows. Service Pack 4. Win_Pro plataforma. Copyright © 2002-2003 by SAS Institute Inc. Cary, N.C. USA.
- TOBIA C. 2004. Introducción del ensilaje de soya en un sistema de producción intensiva de leche en el trópico húmedo de Costa Rica. Tesis de doctorado, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 120 p.
- TOBIA C., ROJAS A., VILLALOBOS E., SOTO H., URIBE L. 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. *Agronomía Costarricense* 28(2):27-35.
- TOBIA C., VILLALOBOS E. 2004. Producción y valor nutricional del forraje de soya en condiciones tropicales adversas. *Agronomía Costarricense* 28(1):17-25.
- VAN SOEST P.J., ROBERTSON, J.B. 1985. Analysis of forages and fibrous food. AS 613. Cornell University, A Laboratory Manual. Department of Animal Science. Ithaca NY. 613 p.
- VILLALOBOS L. 2006. Disponibilidad y valor nutricional del pasto Ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) en la zonas altas de Costa Rica. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 127 p.
- WEISS W.P. 2004. Fine-tuning energy calculations. *Proceedings Tri-State Dairy Nutrition Conference*. Purdue University, Michigan State University, Ohio State University, United States. 170 p
- WINGCHING R., ROJAS A. 2007. Dinámica fermentativa y fraccionamiento proteico durante el ensilaje de maíz forrajero (CIAT 17434). *Agronomía Mesoamericana* 18(1):55-63.