

## CALIDAD FERMENTATIVA Y NUTRICIONAL DE ENSILADOS DE MAÍZ COMPLEMENTADOS CON MANZANA Y MELAZA

### Fermentative and nutritional quality of maize silages complemented with apple and molasses

<sup>1</sup>Elia Esther Araiza-Rosales, <sup>1</sup>Efren Delgado-Licón, <sup>2</sup>Francisco Oscar Carrete-Carreón, <sup>1</sup>Hiram Medrano-Roldán, <sup>1</sup>Aquiles Solís-Soto, <sup>3</sup>Rigoberto Rosales-Serna, <sup>4\*</sup>Carlos Urban Haubi-Segura

<sup>1</sup>División de Estudios de Posgrado e Investigación Instituto Tecnológico de Durango Blvd. Felipe Pescador 1830 Ote., Col. Nueva Vizcaya Durango, Durango; México CP. 34080.

<sup>2</sup>Universidad Juárez del estado de Durango Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia km 11.5 Carretera Durango-El Mezquital, Durango, Durango; México CP. 34170.

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), km 4.5 Carr. Durango-el Mezquital, C. P. 34000, Durango, Dgo, México.

<sup>4</sup>Universidad Autónoma de Aguascalientes, Centro de Ciencias Agropecuarias La Posta, Carretera a Jesús María, Km. 3, Aguascalientes, Aguascalientes; México.

\*drhaubi@yahoo.com

**Artículo científico** recibido: 13 de noviembre de 2013, **aceptado:** 22 de mayo de 2015

**RESUMEN.** Se evaluó la adición de manzana de desecho y melaza sobre la calidad fermentativa y composición nutricional del ensilado de maíz, utilizando cuatro combinaciones de maíz y manzana (100-0, 75-25, 50-50, 25-75) y tres niveles de melaza (0, 5 y 10 %) para obtener 12 tratamientos (100-0-0; 100-0-5; 100-0-10; 75-25-0; 75-25-5; 75-25-10; 50-50-0; 50-50-5; 50-50-10; 25-75-0; 25-75-5 y 25-75-10). El pH disminuyó con manzana a menos de 3.60, pero incrementó con melaza de 0.03 a 0.07 unidades. El nitrógeno amoniacal incrementó (0.59 a 2.44 %), aunque los AGVs se mantuvieron en rangos aceptables (acético de 0.04 a 0.73 %, propiónico de 0.02 a 0.70 %, y butírico de 0.0 a 0.58 %); incrementándose con la melaza y reduciéndose con la manzana. Frente al ensilado control (100-0-0), la MS y las cenizas disminuyeron con la adición de manzana e incrementaron con la melaza ( $p < 0.001$ ), la PC incrementó en la formulación 100-0-5 (5.9 vs 7.5 %), mientras que los carbohidratos no estructurales (CNE) incrementaron en el tratamiento 25-75-10. La manzana incrementó la FDN y FDA, pero a 75 % de manzana ambos disminuyeron, mientras que la melaza redujo la FDN y la FDA. El costo de la MS digestible disminuyó en el tratamiento 75-25-10, el valor relativo calculado por el método de Petersen incrementó de 96.7 a 115.3 %. Dependiendo del precio y disponibilidad, la manzana de desecho y la melaza pueden mejorar la calidad y costo del ensilado de maíz.

**Palabras clave:** Ensilaje, *Malus domestica*, método Petersen, minisilos, pH, *Zea mays*

**ABSTRACT.** The addition of rejected apples and molasses to corn silage was evaluated on fermentation quality and nutritional composition using four combinations of corn silage and apples (100-0, 75-25, 50-50, 25-75) and three levels of molasses (0, 5 y 10 %) to obtain twelve treatments (100-0-0, 100-0-5, 100-0-10, 75-25-0, 75-25-5, 75-25-10, 50-50-0, 50-50-5, 50-50-10, 25-75-0, 25-75-5 and 25-75-10) using 36 minisilos. The pH was reduced with the addition of apples ( $pH < 3.6$ ), while molasses increased pH by 0.03 - 0.07 units. Ammonia nitrogen was increased (0.59 % to 2.44 %) while VFAs maintained acceptable levels (acetic acid: 0.04 - 0.73 %, propionic: 0.02 - 0.70 %; butyric: 0.0 - 0.58 %), increasing slightly with molasses and decreasing with apples. In comparison to control silage (100-0-0) dry matter and ashes were reduced with the addition of apples and increased with molasses ( $p < 0.001$ ). Crude protein increased only in mixture 100-0-5 (5.9 vs. 7.5 %). Non-structural carbohydrates increased only with the highest level of apples and molasses (61.3 vs. 66 %). Apples increased NDF (59.5 vs. 63.1 %) and ADF (30.7 vs. 35.6 %), but at 75 % inclusion, both decreased; molasses reduced NDF and ADF always. The cost of digestible dry matter decreased

in 75-25-10 (\$6.01 to \$5.00 kg<sup>-1</sup>) and relative value calculated by Petersens Method increased (96.7 to 115.3 %). Depending on costs and availability, apples and molasses can be used to improve the quality and cost of corn silage.

**Key words:** Minisilos, *Malus domestica*, Petersen method, pH, silage, *Zea mays*.

## INTRODUCCIÓN

En el estado de Durango, México, la crianza de ganado bovino productor de carne, es una de las principales actividades económicas. En el 2011, la producción estatal de bovinos en pie fue de 122 500 t con precio promedio de 18.38 pesos kg<sup>-1</sup>, lo que generó una producción de 65 573 t de carne en canal con precio de 36.44 pesos (SIAP 2012). En ese mismo año se presentó una sequía importante (SMN-CNA 2012), que ocasionó la falta de forrajes para los animales y el incremento en los costos de producción. El déficit recurrente de forraje para alimentar el ganado de engorda, ocurre por la escasez de agua de lluvia, la reducida productividad de los pastizales durante la temporada de invierno y la falta de planeación estratégica en la producción (Andales et al. 2006). El principal cultivo de la región es el maíz (*Zea mays* L.), el cual se utiliza como forraje fresco y ensilado, además del rastrojo que se emplea en la época de estiaje (Luna-Ortega et al. 2013). Este cultivo se siembra en el ciclo de primavera-verano, principalmente en condiciones de riego y temporal, en áreas con precipitaciones superiores a los 460 mm (Doorenbos y Pruitt 1981).

La manzana (*Malus domestica* Borkh) se produce principalmente en los estados de Chihuahua y Durango, los cuales en el año 2011 sembraron 26 076 y 10 924 ha, con una producción de 462 180 y 64 559 t, respectivamente (SIAP 2012). En el municipio de Nuevo Ideal, Durango, se tenía plantadas con manzano una superficie de 1 898 ha, que produjeron 11 956 t de manzana el 2013 (SIAP 2015). Este municipio utiliza el bagazo de manzana, el cual es el residuo de la extracción de jugo y representa entre el 15 y 20 % de la biomasa de la manzana procesada, en la alimentación del ganado bovino productor de leche. El bagazo se caracteriza por presentar elevados niveles de azúcares solubles, baja proteína, ácidos orgánicos, pectinas, ceras y taninos (Manterola y Cerda 1993, Mirzaei et al. 2011).

Estudios sobre el ensilaje de residuos de manzana muestran un incremento en MS, PC, FC, FDA (Anrique y Viveros 2002), por lo que se puede utilizar en la alimentación del ganado lechero en inclusiones entre 15 y 30 % (Anrique y Dossow 2003).

La manzana de baja calidad o de desecho generalmente se destina a la industria alimenticia, sin embargo, debido a las sequías de los años 2009 al 2011 (SMN-CNA 2012), la manzana alcanzó un precio alto, mientras que el ripio tuvo un precio por tonelada de sólo \$ 500, brindando la oportunidad de utilizar este último como una alternativa en la alimentación animal. Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo es evaluar la manzana de desecho como aditivo en la producción de ensilado de maíz, como fuente importante de carbohidratos y de energía para el ganado bovino, así como posible sustituto de la melaza.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia prima

El forraje se obtuvo del híbrido de maíz Hércules 34 (Unisem) recomendado para forraje, el cual se cortó en un estado de madurez lechoso-masoso. Mientras que el producto de desecho de la manzana de la variedad Double Red Delicious se obtuvo de productores del municipio de Canatlán, Durango, la cual tenía un 70 % de MS y 42.5 °Brix.

### Preparación de minisilos

Se prepararon 36 minisilos, que se generaron de las tres repeticiones de los 12 tratamientos, resultado de las cuatro proporciones de maíz y manzana (100-0, 75-25, 50-50 y 25-75) a las cuales se les añadieron tres proporciones de melaza (0, 5 y 10 %). En la preparación, primero se mezcló el maíz y la manzana para luego agregar la melaza y mezclar. La fermentación se realizó en cubetas de PVC de 19 L, cubiertas en su interior con bolsas de polietileno negro, a las cuales se les agregó 8 kg de la mezcla,

se compactó de forma manual, cerrando las bolsas, para luego almacenar a temperatura ambiente por 50 d.

### Variables en estudio

En las muestras molidas se evaluó el contenido de materia seca (MS, #930.15), extracto etéreo (EE, #920.23), cenizas (Cen, #924.05) y proteína cruda (PC, #990.03), de acuerdo con la AOAC (1995). Los componentes de la pared celular (fibra detergente neutra, FDN; fibra detergente ácida, FDA; Hemicelulosa, Celulosa y Lignina en detergente ácido, LAD) con el ANKOM Fiber Analyzer (Van Soest *et al.* 1991), mientras que los carbohidratos no estructurales totales (CNE), se determinaron por diferencia con la ecuación  $CNE = [100 - (PC + EE + Cen + FDN)]$ . Las variables de fermentación del ensilado, pH y nitrógeno amoniacal ( $N-NH_3$ ), se determinaron mediante los métodos descritos por Gupta y Pradhan (1977); la producción de ácidos grasos volátiles (acético, propiónico y butírico) por cromatografía de gases (Kung *et al.* 2003). El análisis estadístico del pH requirió transformar los valores logarítmicos de pH a concentración de iones de hidrógeno ( $[H^+] = 10^{-pH}$ ), para realizar el ANDEVA y la separación de medias, para reconvertir los resultados a valores de pH ( $pH = -\log_{10}[H^+]$ ) (Häubi-Segura 2010). La digestibilidad verdadera *in vitro* a las 48 h (IVTD) se estableció por el método ANKOM (DaisyII Incubator) (Araiza-Rosales *et al.* 2013).

### Análisis de costos

En cada tratamiento se efectuó un análisis a partir del precio de mercado del año 2011 por ingrediente (ensilado de maíz: \$ 1.00, manzana (ripio): \$ 0.50, melaza: \$ 4.50  $kg^{-1}$ ), el porcentaje de materia seca (Tabla 2) y el porcentaje de digestibilidad verdadera *in vitro* (Araiza-Rosales *et al.* 2013), el cual se utilizó para obtener el precio del kilogramo de materia seca digestible (Tabla 3). Posteriormente, se estableció el valor económico de los nutrientes aportados por el método de Petersen (Petersen 1932), utilizando los precios y características nutricionales de los ingredientes de referencia, con valores nutri-

cionales conocidos: grano de maíz molido (GMM: \$ 5.0  $kg^{-1}$ , 88.1 % MS, 88.7 % TND, 9.4 % PC) y pasta de soya 44 % (PSy: \$ 7.0  $kg^{-1}$ , 89.1 % MS, 80.0 % TND, 49.9 % PC). A partir de un sistema de ecuaciones simultáneas resueltas por el método algebraico lineal, se establecieron las ecuaciones donde la suma del valor de los nutrientes es igual al valor total del ingrediente en materia seca:

$$GMM\$ = \$ 5.6754 = 88.7 \text{ TND\$} + 9.4 * PC\$$$

$$PSy\$ = \$ 7.8563 = 80.0 \text{ TND\$} + 49.4 * PC\$$$

Donde: GMM\$ = costo del grano de maíz por kg de MS, PSy\$ = costo de la pasta de soya por kg de MS, PC\$ = costo de una unidad de proteína cruda, y TND\$ = costo de una unidad de total de nutrientes digestibles.

A continuación se muestra la solución del sistema de ecuaciones para PC\$ y TND\$, que en este caso fue:

$$PC\$ = (TND_{PSy} * GMM\$ - TND_{GMM} * PSy\$) / (TND_{PSy} * PC_{GMM} - TND_{GMM} * PC_{PSy}) = \$0.06609$$

$$TND\$ = (PC_{PSy} * GMM\$ - PC_{GMM} * PSy\$) / (PC_{PSy} * TND_{GMM} - PC_{GMM} * TND_{PSy}) = \$0.056980$$

Con estos valores se calculó el valor relativo de los ingredientes utilizados y de todas las formulaciones, el precio de equilibrio y valor relativo (Tabla 4).

### Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial (4×3) con cuatro combinaciones de forraje de maíz y manzana, y tres niveles de melaza, que dio como resultado 12 tratamientos con tres repeticiones, para un total de 36 unidades experimentales. Los datos obtenidos se analizaron bajo un análisis de varianza, empleando el paquete estadístico SAS ver. 8.1. La comparación de medias se realizó con la prueba de Student-Newman-Keuls (SNK,  $p < 0.05$ ) (SAS 2003).

## RESULTADOS

### Características fermentativas

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) entre tratamientos para las variables relacionadas con la calidad de fermentación del forraje, como pH, ácidos grasos volátiles y nitrógeno amoniacal (Tabla 1). El pH de todos los ensilados de maíz fue inferior a 4.0 (CV = 1.72), sin embargo, el valor de pH del ensilado de maíz control fue de 3.60, mientras que la inclusión de manzana se redujo, aunque se observó un incremento con la inclusión de melaza (Figura 1).

La concentración de ácidos grasos volátiles en los ensilados de maíz fue baja, lo que reflejó un buen proceso de fermentación. En el ensilado control, los valores de ácido acético fueron bajos, disminuyendo con la inclusión de manzana, pero incrementando con la melaza. Los tratamientos 50-50-10 y 75-25-0 fueron estadísticamente similares al valor más bajo. El contenido de ácido propiónico mostró un valor medio (0.1 %), inferior al del ácido acético y menor al ácido butírico (0.3 %). El mayor valor de ácido propiónico (0.7 %) se observó en el tratamiento 75-25-5, que también tuvo el máximo valor de acético (0.7 %), pero alcanzó el valor más bajo de ácido butírico. De forma general se puede observar aumento en el butirato cuando se incrementan las proporciones de manzana y melaza.

El contenido de nitrógeno amoniacal varió de forma significativa con la adición de manzana y melaza; sin embargo, no se pudo mostrar una tendencia clara. Por ejemplo, en el ensilado de maíz control, la adición de melaza redujo el nitrógeno amoniacal, al igual que en el tratamiento con 25 % de manzana, pero en los ensilados con alto contenido de manzana (50 y 75 %), la adición de melaza incrementó el contenido de N-NH<sub>3</sub>, aunque las diferencias estadísticas no fueron significativas (Tabla 1).

### Características nutricionales

Se observaron diferencias ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos para las características relacionadas con la calidad nutricional de los ensilados (Tabla 2).

El contenido de materia seca del ensilado control incrementó con la adición de melaza y se redujo a medida que se aumentó la proporción de manzana. Los mayores valores de materia seca se registraron con la proporción de 75.0 % de maíz, 25.0 % de manzana y 10.0 % de melaza.

El contenido de cenizas incrementó con la adición de melaza, mientras que con la manzana se redujo; sin embargo, en la proporción con 50.0 % de manzana al incrementar la melaza se observó una disminución importante de la ceniza. El extracto etéreo fue estadísticamente similar en todas las formulaciones evaluadas con rango entre 1.3 y 1.6 %. El contenido de proteína cruda fue bajo (6.3 %), pero fue estadísticamente diferente al contenido del ensilado control. En el tratamiento con 5 % de melaza se observó un aumento de la PC. El contenido de carbohidratos no estructurales del ensilado control disminuyó ligeramente con la adición de melaza, pero aumentó con el incremento de contenido de manzana y melaza.

Se observaron diferencias ( $p < 0.01$ ) entre tratamientos para las variables relacionadas con la composición de la pared celular (Tabla 2). El contenido de FDN del ensilado control disminuyó con la incorporación de melaza y subió con el incremento de manzana, pero cuando la proporción fue superior la cantidad la FDN bajó (25-75-0). Los valores más bajos se situaron en las mezclas con mayor cantidad de manzana y melaza (25-75-5, 50-50-10 y 25-75-10). La hemicelulosa presentó cambios similares, donde la adición de manzana inicialmente aumentó la proporción de hemicelulosa, pero con la inclusión progresiva de manzana (50.0 y 75.0 %) los valores de ésta volvieron a bajar. Lo mismo se observó con la FDA, donde hubo un incremento inicial conforme se sustituyó el ensilado de maíz con manzana, pero reduce cuando la cantidad de manzana sobrepasó el 50.0 % de la mezcla. En todos los tratamientos, la melaza disminuye la proporción de los componentes de la pared celular.

### Análisis de costos

Los costos de preparación de las diferentes formulaciones se encuentran en la Tabla 3 y el

**Tabla 1.** Variables de calidad en la fermentación evaluadas en forraje ensilado de maíz con diferentes concentraciones de manzana y melaza.

**Table 1.** Fermentation quality variables evaluated in corn-silage forage with different concentrations of apple and molasses.

Relación Maíz-Manzana-Melaza	PH	Ácido Acético (%)	Ácido Propiónico (%)	Ácido Butírico (%)	Nitrógeno amoniaco (%)
100-0-0	3.600 <sup>ab</sup>	0.147 <sup>d</sup>	0.058 <sup>c</sup>	0.000 <sup>f</sup>	1.280 <sup>b</sup>
100-0-5	3.631 <sup>a</sup>	0.096 <sup>d</sup>	0.254 <sup>b</sup>	0.310 <sup>cd</sup>	4.082 <sup>b</sup>
100-0-10	3.664 <sup>a</sup>	0.332 <sup>b</sup>	0.027 <sup>c</sup>	0.444 <sup>b</sup>	0.587 <sup>c</sup>
75-25-0	3.531 <sup>ab</sup>	0.073 <sup>e</sup>	0.134 <sup>c</sup>	0.382 <sup>cb</sup>	2.439 <sup>a</sup>
75-25-5	3.657 <sup>a</sup>	0.672 <sup>a</sup>	0.699 <sup>a</sup>	0.000 <sup>f</sup>	1.500 <sup>b</sup>
75-25-10	3.631 <sup>a</sup>	0.224 <sup>c</sup>	0.047 <sup>c</sup>	0.239 <sup>cd</sup>	1.030 <sup>b</sup>
50-50-0	3.431 <sup>bc</sup>	0.385 <sup>b</sup>	0.029 <sup>c</sup>	0.290 <sup>cd</sup>	0.631 <sup>c</sup>
50-50-5	3.564 <sup>ab</sup>	0.134 <sup>d</sup>	0.044 <sup>c</sup>	0.289 <sup>cd</sup>	0.966 <sup>b</sup>
50-50-10	3.600 <sup>ab</sup>	0.050 <sup>e</sup>	0.035 <sup>c</sup>	0.191 <sup>d</sup>	0.772 <sup>b</sup>
25-75-0	3.364 <sup>c</sup>	0.044 <sup>e</sup>	0.0388 <sup>c</sup>	0.000 <sup>f</sup>	0.853 <sup>b</sup>
25-75-5	3.492 <sup>abc</sup>	0.254 <sup>c</sup>	0.048 <sup>c</sup>	0.578 <sup>a</sup>	1.063 <sup>b</sup>
25-75-10	3.592 <sup>ab</sup>	0.350 <sup>b</sup>	0.058 <sup>c</sup>	0.355 <sup>bc</sup>	1.286 <sup>b</sup>
Promedio	3.553	0.230	0.123	0.342	1.379
CV (%)	1.72	9.56	13.48	12.41	11.73

Literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas con base en la prueba SNK ( $p < 0.05$ ). \*CV= coeficiente de variación.

**Tabla 2.** Variables de calidad nutricional evaluadas en forraje ensilado de maíz con diferentes concentraciones de manzana y melaza.

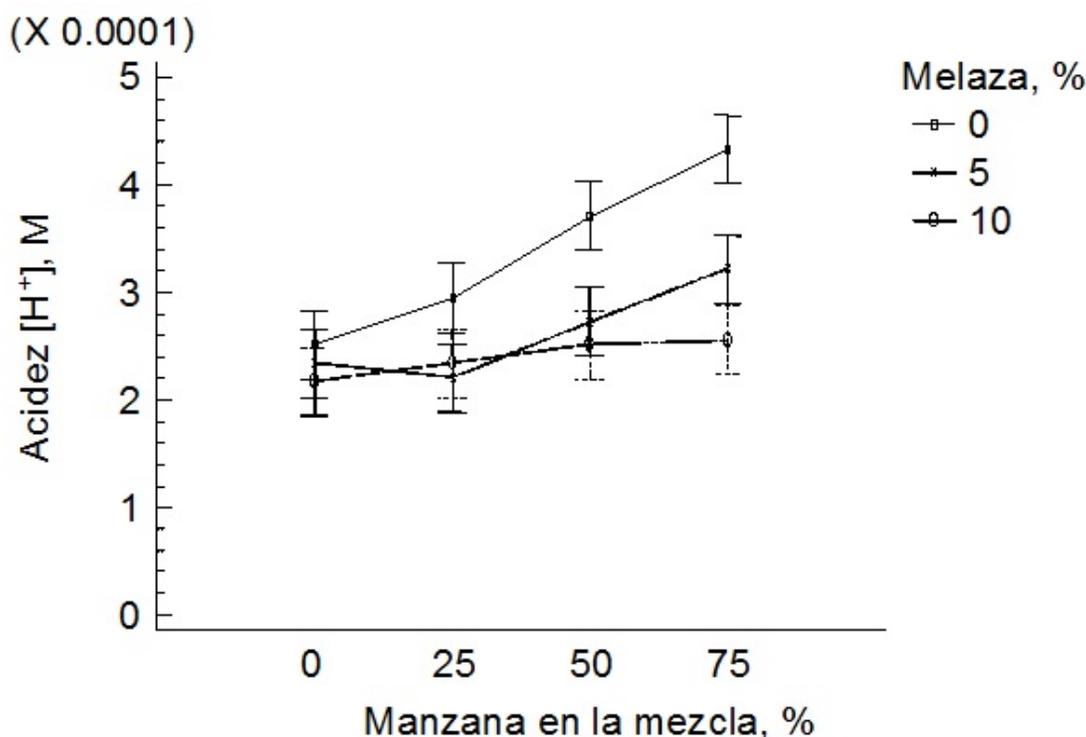
**Table 2.** Nutritional quality variables evaluated in corn-silage forage with different concentrations of apple and molasses.

Relación Maíz-Manzana-Melaza	MS (%)	Cenizas (%)	PC (%)	EE (%)	CNE (%)	FDN (%)	FDA (%)	Hemicel (%)	Celulosa (%)	LAD (%)
100-0-0	25.0 <sup>d</sup>	8.3a <sup>bc</sup>	5.96 <sup>b</sup>	1.4 <sup>a</sup>	61.3 <sup>bc</sup>	59.5 <sup>ab</sup>	30.7 <sup>ab</sup>	28.8 <sup>a</sup>	24.7 <sup>b</sup>	6.0 <sup>a</sup>
100-0-5	27.5 <sup>c</sup>	9.0ab	7.5 <sup>a</sup>	1.3 <sup>a</sup>	60.4 <sup>bc</sup>	62.7 <sup>a</sup>	31.9 <sup>ab</sup>	30.9 <sup>a</sup>	25.3 <sup>b</sup>	6.6 <sup>a</sup>
100-0-10	29.9 <sup>b</sup>	9.5 <sup>a</sup>	6.7 <sup>b</sup>	1.5 <sup>a</sup>	60.7 <sup>bc</sup>	52.4 <sup>bcd</sup>	26.0 <sup>b</sup>	26.4 <sup>a</sup>	20.3 <sup>b</sup>	5.7 <sup>ab</sup>
75-25-0	23.0 <sup>d</sup>	7.3 <sup>c</sup>	6.3 <sup>b</sup>	1.4 <sup>a</sup>	66.2 <sup>c</sup>	63.3 <sup>a</sup>	33.2 <sup>ab</sup>	30.1 <sup>a</sup>	26.3 <sup>ab</sup>	6.9 <sup>a</sup>
75-25-5	24.5 <sup>d</sup>	8.0 <sup>bc</sup>	6.3 <sup>b</sup>	1.4 <sup>a</sup>	59.3 <sup>c</sup>	60.0 <sup>ab</sup>	30.3 <sup>ab</sup>	29.7 <sup>a</sup>	27.5 <sup>ab</sup>	2.8 <sup>de</sup>
75-25-10	34.6 <sup>a</sup>	8.0 <sup>bc</sup>	6.3 <sup>b</sup>	1.6 <sup>a</sup>	64.0 <sup>abc</sup>	55.5 <sup>abc</sup>	27.1 <sup>b</sup>	28.1 <sup>a</sup>	24.8 <sup>b</sup>	2.3 <sup>e</sup>
50-50-0	17.6 <sup>f</sup>	8.9 <sup>ab</sup>	6.3 <sup>b</sup>	1.4 <sup>a</sup>	60.0 <sup>c</sup>	63.1 <sup>a</sup>	35.6 <sup>a</sup>	30.5 <sup>a</sup>	31.8 <sup>a</sup>	3.8 <sup>cd</sup>
50-50-5	20.9 <sup>e</sup>	8.1 <sup>bc</sup>	6.2 <sup>b</sup>	1.4 <sup>a</sup>	61.9 <sup>abc</sup>	56.0 <sup>abc</sup>	28.4 <sup>b</sup>	27.6 <sup>a</sup>	25.6 <sup>b</sup>	2.9 <sup>de</sup>
50-50-10	20.2 <sup>e</sup>	7.3 <sup>c</sup>	6.0 <sup>b</sup>	1.5 <sup>a</sup>	65.5 <sup>ab</sup>	47.1 <sup>cde</sup>	27.4 <sup>b</sup>	19.8 <sup>b</sup>	23.2 <sup>b</sup>	4.1 <sup>c</sup>
25-75-0	13.2 <sup>g</sup>	6.1 <sup>d</sup>	5.9 <sup>b</sup>	1.5 <sup>a</sup>	62.8 <sup>abc</sup>	54.0 <sup>abcd</sup>	32.8 <sup>ab</sup>	21.2 <sup>b</sup>	26.1 <sup>ab</sup>	6.7 <sup>a</sup>
25-75-5	13.4 <sup>g</sup>	8.5 <sup>abc</sup>	5.8 <sup>b</sup>	1.5 <sup>a</sup>	66.3 <sup>a</sup>	43.3 <sup>e</sup>	27.7 <sup>b</sup>	15.5 <sup>c</sup>	21.9 <sup>b</sup>	5.8 <sup>ab</sup>
25-75-10	15.2 <sup>g</sup>	9.7 <sup>a</sup>	6.1 <sup>b</sup>	1.5 <sup>a</sup>	65.5 <sup>a</sup>	46.0 <sup>de</sup>	27.8 <sup>b</sup>	18.2 <sup>bc</sup>	23.0 <sup>b</sup>	4.8 <sup>bc</sup>
Promedio	22.1	8.2	6.3	1.5	62.4	55.0	29.6	25.4	24.7	4.9
*CV (%)	6.91	10.16	10.86	17.93	4.52	6.86	7.70	7.64	8.62	10.65

MS-materia seca, PC-proteína cruda, EE-extracto etéreo, CNE: carbohidratos no estructurales, FDN= fibra en detergente neutro; FDA= fibra en detergente ácido; LAD= lignina en detergente ácido, CV= coeficiente de variación, Medias con literales diferentes dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes con base en la prueba SNK ( $p < 0.05$ ).

análisis de los nutrientes en la Tabla 4. Al efectuar el presente trabajo, el costo del ensilado de maíz era de \$ 1.0/kg. La adición de manzana y melaza se llevó a cabo para bajar su costo y mejorar las

características de fermentación del ensilaje; sin embargo, en la mayoría de las formulaciones el costo por kilogramo de materia digestible fue superior al del ensilado control. Los precios por kilogramo de



**Figura 1.** Efecto de la proporción de manzana y melaza en la acidez del ensilado de maíz. La acidez está presentada como concentración de ion de Hidrógeno ( $[H^+] = 10^{-pH}$ ), medias y error estándar.

**Figure 1.** Effect of apple and molasses on corn silage acidity. Acidity is presented in Hydrogen ion concentration ( $[H^+] = 10^{-pH}$ ), means and standard error of the mean.

**Tabla 3.** Cálculo del costo de preparación y de materia seca digestible de los diferentes ensilados a base de maíz, manzana de desecho y melaza.

**Table 3.** Calculation of preparation costs and costs for digestible dry matter of the different corn silages added with apple and molasses.

Formulación	Composición ensilado (%)			Costo del ensilado (kg BH)			Cálculo precio kgMS digestible en pesos				
	Maíz	Manzana	Melaza	Maíz (\$1.00)	Manzana (\$0.509)	Melaza (\$4.50)	Total	MS (%)	kgMS	IVTD (%)	kmMSD
100-00-00	100.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	25.00	4.00	66.60	6.01
100-00-05	95.00	0.00	5.00	0.95	0.00	0.23	1.18	27.50	4.27	67.60	6.32
100-00-10	90.00	0.00	10.00	0.90	0.00	0.45	1.35	29.90	4.52	68.30	6.61
75-25-00	75.00	25.00	0.00	0.75	0.13	0.00	0.88	23.00	3.80	64.50	5.90
75-25-05	71.25	23.75	5.00	0.71	0.12	0.23	1.06	24.50	4.31	67.90	6.35
75-25-10	67.50	22.50	10.00	0.68	0.11	0.45	1.24	34.60	3.58	71.50	5.00
50-50-00	50.00	50.00	0.00	0.50	0.25	0.00	0.75	17.60	4.26	67.80	6.29
50-50-05	47.50	47.50	5.00	0.48	0.24	0.23	0.94	20.90	4.49	70.70	6.34
50-50-10	45.00	45.00	10.00	0.45	0.23	0.45	1.13	20.20	5.57	73.00	7.63
25-75-0	25.00	75.00	0.00	0.25	0.38	0.00	0.63	13.20	4.73	67.90	6.97
25-75-5	23.75	71.25	5.00	0.24	0.36	0.23	0.82	13.40	6.11	74.10	8.25
25-75-10	22.50	67.50	10.00	0.23	0.34	0.45	1.01	15.20	6.66	76.00	8.77

Costo del ensilado por kg base húmeda (BH), Cálculo de costo de kg de materia seca digestible:  $MSD = (/kg BH) \times (\$ kg MS) \times (\% IVTD MS)$ , Porcentaje de materia seca del ensilado, Digestibilidad verdadera *in vitro* (IVTD) a 48 h, Cálculo del costo por kg de materia seca digestible.

**Tabla 4.** Valor económico de las características nutricionales de los ensilados a base de maíz, manzana de desecho y melaza, según el método de Petersen (1932) utilizando grano de maíz molido y pasta de soya como ingredientes de referencia.

**Table 4.** Economical value of the nutritional characteristics of corn silages added with apple and molasses, according to Petersen's Method (1932) using ground corn grain and soya bean meal as reference feeds.

Ingredientes	Precio (\$/Kg BH)	MS (%)	Precio MS (Kg MS)	PC (%)	TD (%)	TND		Valor Total (kg)	Diferencia Valor (Kg)	Valor relativo (%)
						Valor TND\$	Valor TND\$			
Grano Maíz	\$ 5.00	88.1	\$ 5.6754	9.4	88.7	\$ 0.62	\$ 5.05	\$ 5.68	\$ 0.0000	100.0
Pasta de soya	\$ 7.00	89.1	\$ 7.8563	49.9	80.0	\$ 3.30	\$ 4.56	\$ 7.86	\$ 0.0000	100.0
Melaza	\$ 4.17	74.3	\$ 5.61	5.8	81.0	\$ 0.38	\$ 4.62	\$ 5.00	-\$ 0.6070	89.2
Manzana	\$ 0.50	17.9	\$ 2.79	2.8	69.7	\$ 0.19	\$ 3.97	\$ 4.16	\$ 1.3633	148.8
100-00-00	\$ 1.00	25.0	\$ 4.00	5.9	61.0	\$ 0.39	\$ 3.48	\$ 3.87	-\$ 0.1317	96.7
100-00-05	\$ 1.18	27.5	\$ 4.29	7.5	59.7	\$ 0.50	\$ 3.40	\$ 3.90	-\$ 0.3955	90.8
100-00-10	\$ 1.35	29.9	\$ 4.52	6.7	66.5	\$ 0.44	\$ 3.79	\$ 4.23	-\$ 0.2859	93.7
75-25-00	\$ 0.88	23.0	\$ 3.83	6.3	58.2	\$ 0.42	\$ 3.31	\$ 3.73	-\$ 0.0952	97.5
75-25-05	\$ 1.06	24.5	\$ 4.33	6.3	61.5	\$ 0.42	\$ 3.50	\$ 3.92	-\$ 0.4056	90.6
75-25-10	\$ 1.24	34.6	\$ 3.58	6.3	65.2	\$ 0.42	\$ 3.71	\$ 4.13	\$ 0.5468	115.3
50-50-00	\$ 0.75	17.6	\$ 4.26	6.3	55.4	\$ 0.42	\$ 3.16	\$ 3.57	-\$ 0.6877	83.9
50-50-05	\$ 0.94	20.9	\$ 4.50	6.2	63.7	\$ 0.41	\$ 3.63	\$ 4.04	-\$ 0.4588	89.8
50-50-10	\$ 1.13	20.2	\$ 5.59	6.0	64.8	\$ 0.40	\$ 3.69	\$ 4.09	-\$ 1.5029	73.1
25-75-0	\$ 0.63	13.2	\$ 4.77	5.9	58.6	\$ 0.39	\$ 3.34	\$ 3.73	-\$ 1.0421	78.2
25-75-5	\$ 0.82	13.4	\$ 6.12	5.8	64.5	\$ 0.38	\$ 3.67	\$ 4.06	-\$ 2.0612	66.3
25-75-10	\$ 1.01	15.2	\$ 6.64	6.1	64.4	\$ 0.40	\$ 3.67	\$ 4.07	-\$ 2.5732	61.3

PC= 0.066091; TND = 0.056980, Precios de mercado, Durango, julio 2011, MS, PC, y TDN (NRC 2001); para las formulaciones de ensilado-manzana-melaza,  $MS=BH * 100 MS^{-1}$ , PC y TDN se presentan en base materia seca, TDN =  $96.35 - (ADF*1.15)$ , La pasta de soya se utiliza como ingrediente de referencia para calcular el valor económico de la PC: (=  $PC\$ * \% PC$ ), El grano de maíz molido se utiliza como ingrediente de referencia para calcular el valor económico del TND: (=  $TND\$ * \% TND$ ), Valor\$ =  $PC\$ + TND\$$ , Diferencia entre el valor nutricional del ingrediente y su valor comercial ( $Dif\$ = Valor\$ - PrecioMS\$$ ), Valor relativo en base al valor de los nutrientes del ingrediente dividido entre el precio de la materia seca ( $Valor \% = Valor total \$ / Precio \$$ ).

materia seca variaron de \$ 3.58 para 75-25-10 hasta \$ 6.66 para 25-75-10, mientras que el ensilado control tuvo un precio de \$ 4.0  $kg^{-1}$  de MS. La digestibilidad verdadera *in vitro* (IVTD) varió de 64.5 % para 25-75-00 hasta 76.0 % para la formulación con mayor contenido de manzana y melaza (75-25-00), mientras que para el ensilado control fue 66.6 %. El precio de materia seca digerida varió entre \$ 5.00 y \$ 8.77, mientras que el ensilado control tuvo un precio de \$ 6.01.

El análisis del valor de los nutrientes según el método de Petersen (Tabla 4), basado en los precios de mercado y valor nutricionales del grano de maíz y de la pasta de soya, permiten hacer comparaciones entre los diferentes ingredientes. El ensilado de maíz control a \$ 1.00  $kg^{-1}$  tiene un valor de nutrientes inferior a su precio de mercado, con valor relativo de 96.7 %. La melaza tuvo un valor de \$

5.00, inferior a su precio de mercado, siendo su valor relativo del 89.2 %. La manzana, debido a su bajo precio de mercado, tuvo un valor total superior al precio de mercado, lo que le da un valor relativo de 148.8 %. Esto sugiere que la inclusión de manzana en la mezcla incrementa su valor relativo, mientras que la melaza lo disminuye. Sin embargo, la adición de manzana y/o melaza, no siempre incrementa el valor económico de la mezcla, ya que a mayor proporción, es mayor la dilución de nutrientes, por lo que se presentan valores negativos, en especial en las formulaciones con 50 y 75 % de manzana, y 10 % de melaza. La formulación con mayor valor nutricional fue la 75-25-10, con precio de equilibrio de \$ 3.71 y valor relativo de 115.3 %, con ganancia de \$ 0.5468  $kg^{-1}$  MS.

## DISCUSIÓN

### Características fermentativas

La velocidad con la que un ensilado logra un pH ácido estable ( $\text{pH} < 4.0$ ) garantiza la estabilidad del mismo y reduce la pérdida de nutrientes por fermentación secundaria y por contaminación de bacterias y hongos (McDonald *et al.* 1991, Cherney y Cherney 2003). La adición de manzana redujo el pH de los minisilos, lo cual es mejor que los niveles mínimos recomendados (Ojeda y Díaz 1991). En otros trabajos se reportaron valores similares, cuando se utilizaron residuos agroindustriales como desperdicios de piña y pulpa de cítricos deshidratados para mejorar la calidad de los ensilados (López *et al.* 2009). El uso de manzana de desecho, combinada con forraje de maíz para ensilar, con o sin la adición de melaza, posee características favorables para el proceso de ensilaje, lo que permite ahorrar en inoculantes comerciales para mantener su calidad (Muck 1988, Kristensen *et al.* 2010).

La mayoría de los ensilados mostraron valores bajos de ácidos grasos volátiles, lo cual puede considerarse como una característica de calidad de la fermentación. Se estima que un ensilado de calidad debe tener valores de ácido acético entre 0.5 y 1.0 %, ácido propiónico de 0.0 a 1.0 % y ácido butírico menor de 0.1 % (INRA 1981). Los AGVs provienen de fermentaciones inducidas por la presencia de bacterias coliformes que transforman el láctico en acético y de gérmenes butíricos, presentes en el estiércol, tierra y especies adventicias que degradan el nitrógeno protídico del forraje, en nitrógeno amoniacal durante la fermentación, lo que puede alcalinizar el medio y permitir la proliferación de otros microorganismos (Woolford 1990). El uso de manzana y melaza permitió que el contenido de ácido acético fuera inferior al reportado en otros trabajos de investigación (Gutiérrez *et al.* 2003, Martínez *et al.* 2007), sin embargo, hay que tener en cuenta que los niveles de éstos incrementan con el tiempo de almacenamiento (Weinberg y Chen 2013). Los valores de ácido butírico fueron superiores a los valores menores de 0.1 % recomendados (INRA 1981, Ward y de Ondarza 2008), pero

similares a los obtenidos en otros trabajos de investigación donde se ensilaron granos de destilería (Gutiérrez *et al.* 2003) y mezclas con desechos de piña y producción avícola (Martínez *et al.* 2007).

Los niveles de nitrógeno amoniacal, como porcentaje del nitrógeno total de los ensilados, registró valores altos, los cuales deben ser menores al 11 %, con respecto al nitrógeno total (Wilkinson 2005). Los mayores valores correspondieron a los ensilados con contenidos de manzana 0 y 25 %, así como los ensilajes con melaza al 5 %; mientras que los valores más bajos corresponden a la manzana al 50 %. Al respecto Erdman (1993) encontró que a niveles de  $\text{N-NH}_3 \cdot \text{N-total}^{-1}$  mayores al 15 % pueden reducir el consumo en 5 %, y con niveles mayores del 20.0 % se puede reducir más del 10.0 % de consumo. De acuerdo con los resultados obtenidos, ninguno de los ensilados puede calificarse como de excelente calidad, para lo cual se requieren valores de  $\text{N-NH}_3$  sobre  $\text{N-total}$  entre 5 y 8 % (Tobia y Villalobos 2004), por lo que se sugiere que los ensilados de maíz sean suplementados con otras fuentes de proteína (Castillo-Jiménez *et al.* 2009, Heinritz *et al.* 2012, Tillman 1951, Becerra - Bernal 2008).

### Características nutricionales

El ensilado control y las mezclas con manzana y melaza presentadas en este trabajo pueden ser clasificados como de alta humedad (Boschini y Elizondo 2003), lo que puede ocasionar contaminación y pérdida del forraje, por la proliferación de bacterias, aumento del ácido butírico y pérdida de carbohidratos por efluentes y respiración (Wing-Ching *et al.* 2006). El contenido de MS incrementó con la adición de melaza, pero disminuyó con la manzana. El contenido de cenizas del ensilado control (8.3 %) aumentó conforme se incrementó la proporción de melaza, ya que ésta presenta una concentración de minerales de entre 9.0 % y 13.3 % (Fajardo y Sarmiento 2007, NRC 2001); mientras que en los ensilados con manzana fue mayor con respecto a los reportados en otros estudios para ensilados de maíz (McDonald *et al.* 1991) y pasto Ryegrass (Tobia y Villalobos 2004). Por otro lado, niveles de cenizas

superiores a 14 % se relacionan con contaminación del suelo, fermentaciones secundarias y reducción en el consumo animal (Chaverra y Bernal 2000).

El contenido de proteína cruda de los ensilados evaluados fue bajo, con valores menores a los óptimos (Chaverra y Bernal 2000, FEDNA 2004, 2010). La adición de manzana no tuvo cambios significativos en el contenido de proteína de los ensilados. En otros estudios se tuvieron contenidos menores de PC, con ensilado de piña (Kellems *et al.* 1979), pero mayores con ensilados de maíz, sorgo y soya (Jones *et al.* 2004). En este sentido, algunos autores recomiendan asociar un cultivo de leguminosas al cultivo de gramíneas para incrementar el contenido proteico de los ensilados, aprovechando que la cantidad de CNE aportados por la manzana y melaza permite alcanzar un pH menor de 4.0 de forma rápida (Castillo-Jiménez *et al.* 2009, Suárez *et al.* 2011). Desde hace tiempo, se conoce que el suplemento de melaza puede tener un efecto ahorrador de nitrógeno, al evitar que los microorganismos lleven a cabo la fermentación de proteínas para obtener energía (Preston *et al.* 1967, Ffoulkes *et al.* 1984).

Los valores de contenido de extracto etéreo fueron bajos, lo cual es bajo para ensilados de maíz (FEDNA 2004) pero similar a lo reportado para ensilados de gramíneas (Sánchez y Soto 1997). Sin embargo, los resultados deben ser tomados con reservas, ya que Palmquist y Jenkins (2003) advierten que el método de Weende no caracteriza de forma correcta los lípidos extraídos, los cuales deben esterificarse en un solo paso, para analizarlos por cromatografía de gases. Al respecto, Alves *et al.* (2011) encontraron que el proceso de ensilaje incrementa el contenido de ácidos grasos polinsaturados del pasto Ryegrass (*Lolium perenne* L.) y de otros tipos de ácidos grasos (AG), no presentes en fresco. Por otro lado, en el caso del ensilado de maíz, el proceso de fermentación no afectó el total de AG pero sí disminuyó las proporciones de 18:2 n-6 y 18:3 n-3.

La adición de manzana y melaza, incrementó el contenido de los CNE, favoreciendo el contenido energético de los ensilados y la velocidad de fermentación (Amer *et al.* 2012), alcanzando niveles

de pH por debajo de 4.0, aunque la humedad y consistencia de éstos, dificultaron el manejo de los minisilos, debido a lo pegajoso y alta humedad presente en los minisilos con mayor contenido de manzana. El incremento de azúcares en dietas de ganado lechero, presenta una tendencia cuadrática; ya que bajos niveles de azúcares, reducen la digestibilidad de la materia seca, pero niveles altos reducen la grasa butírica y la producción de leche corregida a grasa, por lo que se considera que el óptimo es 5 % de azúcares totales en la dieta o una adición de 2.4 % sobre la dieta basal (Broderick y Radloff 2004). Se tuvo una tendencia negativa en el contenido de FDN y FDA, en los ensilados a medida que se incrementó la proporción de melaza, lo que se relacionó con el factor de dilución. Resultados similares fueron observados en estudios realizados con desechos de piña en los que se utilizó melaza como aditivo (López *et al.* 2009).

#### Análisis de costos

El valor real de un alimento reside en la cantidad de nutrientes digestibles que aporte a los animales, en este caso se enfocó al valor relativo del mismo, primero basado en materia seca digestible (Tabla 3) y posteriormente en PC y TND por el método de Petersen (Tabla 4). Las mezclas con el mayor contenido de manzana, deberían haber obtenido el precio más bajo, pero debido al menor contenido de MS de la misma, se elevó su costo. A causa del alto precio de la melaza, a mayor contenido, se obtuvo un mayor costo de la mezcla. Mientras que el ensilado control tuvo un precio relativamente bajo (\$ 6.01 kg<sup>-1</sup> MSD), sólo menor en la formulación 75-25-10, donde se obtuvo una combinación óptima entre costos. Sin embargo, en situaciones de secano normal y costos bajos en el ensilado de maíz, la suplementación con manzana y melaza encarece el producto final, donde el precio de equilibrio para el ensilado de maíz estaría en los \$ 0.69 kg<sup>-1</sup>, obteniendo un precio de \$ 4.17 kg<sup>-1</sup> MSD tanto para el control como la mezcla 75-25-10.

Al analizar el aporte nutricional con el método Petersen, se encontró que los valores económicos de las diferentes formulaciones de ensilado no siem-

pre mejoran con la inclusión de manzana y melaza (Tabla 4). Esto se debe a que la melaza tuvo un valor relativo menor al de los ingredientes de referencia y al control. El ripo de manzana adquirió un valor relativo alto, por lo que se esperaba que las formulaciones altas con este ingrediente tuvieran un mayor valor relativo, sin embargo, sólo la formulación 75-25-10 presentó un incremento significativo en su valor nutricional y económico. La inclusión de melaza afectó de forma negativa el valor relativo de los ensilados debido a su bajo valor de PC (5.8 %) y, aunque su nivel de TND fue bueno (81.0 %), a los precios de mercado de ese momento (\$ 5.61 kg<sup>-1</sup> MS), su valor total (\$ 5.00 kg<sup>-1</sup>) y su valor relativo (89.2 %) fue bajo, por lo que su inclusión debe limitarse hasta alcanzar su precio de equilibrio. La manzana tiene bajo nivel de proteína y de nutrientes digestibles, por lo que diluye la densidad energética de la formulación, pero, debido a los bajos precios de mercado del momento, su valor relativo, fue positivo (148.8 %) y permitió su uso, hasta alcanzar su precio de equilibrio (\$ 4.16 kg<sup>-1</sup> MS).

## CONCLUSIONES

Los resultados presentados permiten concluir que el uso de manzana incrementa la proporción de humedad en los ensilados de maíz, lo cual influyó en la calidad fermentativa y la proporción de los compuestos nutricionales. La adición de manzana, en combinación con melaza, favoreció la fermentación, redujo el pH e incrementó la cantidad de energía disponible en el ensilado, pero mantuvo sin cambios el déficit proteico que se observa en los ensilados con gramíneas. Sin embargo, el análisis de costos de materia seca digestible y de nutrientes, bajo las condiciones económicas y productivas presentes en este trabajo, muestran que la inclusión de manzana y melaza pueden bajar el valor relativo del ensilado de maíz, recomendando la adición de 25 % de manzana y 10 % de melaza, siempre y cuando existan excedentes en la producción de estos suplementos y el precio del ensilado de maíz sea alto.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Industria Agrotrónica Gaia, S. A. de C. V., así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su apoyo financiero para la realización del experimento.

## LITERATURA CITADA

- Alves SP, Cabrita ARJ, Jerónimo E, Bessa RJB, Fonseca AJM (2011) Effect of ensiling and silage additives on fatty acid composition of ryegrass and corn experimental silages. *Journal of Animal Science* 89: 2537-2545.
- Andales AA, Derner JD, Ahuja LR, Hart RH (2006) Strategic and tactical prediction of forage production in northern mixed-grass prairie. *Rangeland Ecology and Management* 59: 579-584.
- Anrique GR, Viveros MP (2002) Efecto del ensilado sobre la composición química y degradabilidad ruminal de la pomasa de manzana. *Archivos de Medicina Veterinaria* 34:189-197.
- Anrique R, Dossow C (2003) Efectos de la pulpa de manzana ensilada en la ración de vacas lecheras sobre el consumo, la tasa de sustitución y la producción de leche. *Archivos de Medicina Veterinaria* 35: 13-22.
- Amer S, Hassanat F, Berthiaume R, Seguinc P, Mustafaa AF (2012) Effects of water soluble carbohydrate content on ensiling characteristics, chemical composition and *in vitro* gas production of forage millet and forage sorghum silages. *Animal Feed Science and Technology* 177: 23-29.

- Araiza-Rosales EE, Delgado-Licón E, Carrete-Carreón FO, Medrano-Roldán H, Solís-Soto A, Murillo-Ortíz M, Häubi-Segura CU (2013) Degradabilidad ruminal *in situ* y digestibilidad *in vitro* de diferentes formulaciones de ensilados de maíz-manzana adicionados con melaza. *Avances en Investigación Agropecuaria* 17: 79-96.
- AOAC (1995). *Official Methods of Analysis*, 16th ed. Association of Official Analytical Chemist. Washington, DC.
- Becerra-Bernal A, Rodríguez-Muela C, Jiménez-Castro J, Ruiz-Barrera O, Elías-Iglesias A, Ramírez-Godínez A (2008) Urea y maíz en la fermentación aeróbica de bagazo de manzana para la producción de proteína. *Tecnociencia Chihuahua* 2: 7-13
- Boschini C, Elizondo-Salazar J (2003) Curso teórico y práctico de ensilaje de forrajes. Serie Agrotecnológica 1. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 69p.
- Broderick GA, Radloff WJ (2004) Effect of Molasses Supplementation on the Production of Lactating Dairy Cows Fed Diets Based on Alfalfa and Corn Silage. *Journal of Dairy Science* 87: 2997-3009.
- Castillo-Jiménez M, Rojas Bourillón A, WingChing-Jones R (2009) Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asociación con vigna (*Vigna radiata*). *Agronomía Costarricense* 33: 133-146.
- Chaverra-Gil H, Bernal-Eusse J (2000) *Ensilaje en la alimentación de ganado vacuno*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Tercer Mundo Editores. Bogotá, Colombia. 153p.
- Cherney JH, Cherney DJR (2003) *Assessing Silage Quality*. In: Buxton DR, Muck RE, Harrison JH. (eds) *Silage Science and Technology*. Agronomy Series No. 42 American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America, Madison, Wisconsin, USA. pp. 141-198.
- Doorenbos J y Pruitt WO (1981) *Crop water requirements*, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. FAO Rome, Italy. Disponible <http://www.fao.org/docrep/018/s8376e/s8376e.pdf>. Fecha de consulta 12 de octubre de 2014.
- Erdman RA (1993) Silage fermentation characteristics affecting feed intake. Silage production from seed to animal. *Proceedings of the National Silage Production Conference*, Feb 23-25, Syracuse, N.Y. National Resource, Agriculture and Engineering Service (NRAES) 67, pp: 210-219.
- Fajardo E, Sarmiento S (2007) *Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de Saccharomyces cerevisiae*. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 24p.
- Ffoulkes D, Sutherland TM Leng RA (1984) Molasses as an Energy Source for Cattle. *Animal Production in Australia* Vol. 15 p 678. <http://www.asap.asn.au/livestocklibrary/1984/Ffoulkes84.pdf>. Fecha de consulta 1 de agosto de 2012.
- FEDNA (2004) *Ensilado de Maíz*. Fundación para el Desarrollo de la Nutrición Animal. En: Calsamiglia S, Ferret A, Bach A (eds). *Tablas FEDNA de valor nutritivo de forrajes y subproductos fibrosos húmedos*. Fundación para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, España. 70 p. Disponible en: <http://www.fundacionfedna.org/forrajes/ensilado-de-maíz>. Fecha de consulta 1 agosto de 2012.
- FEDNA (2010) *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivos de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (3ª ed)*. In: De Blas C, Mateos GG, García-Rebollar (eds). *Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal*, Madrid, España. 502p.
- Gupta ML, Pradhan K (1977) Chemical and biological evaluation of ensiled wheat straw. *Journal of Dairy Science* 60: 1088-1094.

- Gutiérrez F, Rojas BA, Dormond H, Poore M, Ching-Jones RW (2003) Características nutricionales y fermentativas de mezclas ensiladas de desechos de piña y avícolas. *Agronomía Costarricense* 27: 79-89.
- Häubi-Segura CU (2010) Balance Ácido-Básico en Medicina Veterinaria: otra visión. En: Caballero-Chacón S, Villa-Godoy A (eds). *Fisiología Veterinaria e Introducción a la Fisiología de los Procesos Productivos*, Ed. FMVZ-UNAM, México. pp. 435-447.
- Heinritz SN, Martens SD, Avila P, Hoedtker S (2012) The effect of inoculant and sucrose addition on the silage quality of tropical forage legumes with varying ensilability. *Animal Feed Science and Technology* 174: 201-210.
- INRA (1981) *Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*. Institute Nationale de la Recherche Agronomique. I.N.R.A Publications. Paris, France. 590p.
- Jones CM, Heinrichs AJ, Roth GW, Ishler VA (2004) *From Harvest to Feed: Understanding Silage Management*. College of Agricultural Sciences. Pennsylvania State University. PA, USA. 40 p. <http://pubs.cas.psu.edu/freepubs/pdfs/ud016.pdf>. Fecha de consulta 1 de agosto de 2012.
- Kellems RO, Wayman O, Nguyen AH, Nolan JC, Campbell CM, Carpenter JR, Ho-a EB (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: 1040-1048.
- Kristensen NB, Sloth KH, Højberg O, Spliid NH, Jensen C, Thørgensen R (2010) Effects of microbial inoculants on corn silage fermentation, microbial contents, aerobic stability, and milk production under field conditions. *Journal of Dairy Science* 93: 3764-3774.
- Kung LJR, Taylor CC, Lynch MP, Neylon JM (2003) The effect of treating alfalfa with *Lactobacillus buchneri* 40788 on silage fermentation, aerobic stability, and nutritive value for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86: 336-343.
- López HM, Wing-Ching JR, Rojas BA (2009) Características fermentativas y nutricionales del ensilaje de rastrojo de piña (*Ananas comosus*). *Agronomía Costarricense* 33: 1-15.
- Luna-Ortega JG, García-Hernández JL, Preciado-Rangel P, Fortis-Hernández M, Espinoza-Banda A, Gallegos-Robles MA, Chavarría-Galicia JA (2013) Evaluation of hybrids from simple crosses using maize elite landraces with forage outstanding characteristics for a Mexican arid land. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 16: 119-126.
- Manterola H, Cerda D (1993) *Valoración nutritiva, conservación y aprovechamiento de residuos derivados de la producción e industria hortofrutícola en alimentación animal*. Informe Final. Universidad de Chile, Ministerio de Agricultura y Fundación de Investigaciones Agraria FIA. Santiago Chile. 159p.
- Martínez TA, Hernández F, Madrid J, Megías MD (2007) Valor nutritivo *in vitro* y ensilabilidad de los ensilados de los subproductos agroindustriales de alcachofa y maíz dulce. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 41: 43-48.
- McDonald P, Henderson AR, Heron SJE (1991) *The Biochemistry of Silage*, 2nd Edition. Chalcombe Publications. Marlow, Buckinghamshire, United Kingdom. 340p.
- Mirzaei-Agshaghali A, Maheri-Sis N, Mansouri H, Razeghi ME, Shayegh J, Aghajanzadeh-Golshani A (2011) Evaluating nutritional value of apple pomace for ruminants using *in vitro* gas production technique. *Annals of Biological Research* 2: 100-106.
- Muck RE (1988) Factors Influencing Silage Quality and Their Implications for Management. *Journal of Dairy Science* 71: 2992-3002.

- Murphy JJ (1999) The effects of increasing the proportion of molasses in the diet of milking dairy cows on milk production and composition. *Animal Feed Science and Technology* 78: 189-198.
- NRC (2001) Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Research Council. 7th Ed. (rev). Washington D.C., National Academy Press. 408p.
- Ojeda F, Díaz D (1991) Ensilaje de gramíneas y leguminosas para la producción de leche. I. *Panicum maximum* v. Likoni y *Lablabpurpureus* cv. Rongai. *Pastos y Forrajes* 14: 175-184.
- Palmquist DL, Jenkins TC (2003) Challenges with fats and fatty acid methods. *Journal of Animal Science* 81: 3250-3254.
- Petersen J (1932) A formula for evaluating feeds on the basis of digestible nutrients. *Journal of Dairy Science* 15: 293-297.
- Preston TR, Elias A, Willis MB, Sutherland TM (1967) Intensive Beef Production from Molasses and Urea. *Nature* 216: 721-722.
- Sánchez, JM Soto H (1997) Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. II. Componentes de la pared celular. *Revista de Nutrición Animal Tropical* 4: 7-19.
- SAS (2003) SAS/STAT. User's guide (Version 6.0 Ed.) SAS Institute Inc., Cary, NC. USA SIAP (2012) Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/opt/estadistica/siembycos/p-v/secomagpv.pdf>. Fecha de consulta 29 de septiembre de 2012.
- SIAP (2015) Cierre de la producción agrícola por estado. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/opt/estadistica/siembycos/p-v/secomagpv.pdf>. Fecha de consulta 4 de mayo de 2015.
- SMA-CNA (2012) Servicio Meteorológico Nacional - Comisión Nacional del Agua <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/TempsyPrecip/Mensuales/2011Prec.pdf>. Fecha de consulta 12 de octubre de 2014.
- Suárez R, Mejía J, González M, García DE, Perdomo DA (2011) Evaluación de ensilajes mixtos de *Saccharum officinarum* y *Gliricidia sepium* con la utilización de aditivos. *Pastos y Forrajes* 34: 69-85.
- Tillman AD, Singletary CB, Kidwell JF, Bray CI (1951) Methods of Feeding Cane Molasses and Urea to Beef Cattle. *Journal of Animal Science* 10: 939-946.
- Tobia C, Villalobos E (2004) Producción y valor nutricional del forraje de soya en condiciones tropicales adversas. *Agronomía Costarricense* 28: 17-25.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods for dietary fiber neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597.
- Ward RT, de Ondarza MB (2008) Fermentation Analysis of Silage: Use and Interpretation. <http://www.foragelab.com/Media/Fermentation-Silage-NFMP-Oct-2008.pdf>. Fecha de consulta 29 de septiembre de 2012.
- Weinberg ZG, Chen Y (2013) Effects of storage period on the composition of whole crop wheat and corn silages. *Animal Feed Science and Technology* 185: 196-200.
- Wilkinson JM (2005) *Silage*. 7th Edition, Chalcombe Publications. Marlow, UK. 254p.
- Wing-Ching R, Rojas A (2006) Composición nutricional y características fermentativas del ensilaje de maní forrajero. *Agronomía Costarricense* 30: 87-100.
- Woolford MK (1990) The detrimental effects of air on silage. *Journal of Applied Bacteriology* 68: 101-116.

