

Respuesta productiva y económica del reemplazo parcial de mazorca de maíz quebrado con maíz molido o melaza para vacas de doble propósito

Isela G. Salas-Reyes ^a

Carlos M. Arriaga-Jordán ^b

Julieta G. Estrada-Flores ²

Anastacio García-Martínez ^a

Rolando Rojo-Rubio ^a

José F. Vázquez Armijo ^a

Benito Albarrán-Portillo ^{a*}

^a Universidad Autónoma del Estado de México. Centro Universitario UAE. Temascaltepec. Km 67.5 Carretera Toluca-Tejupilco, Temascaltepec. 51300. Estado de México. México.

^b Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Estado de México. México.

*Autor de correspondencia: balbarranp@gmail.com

Resumen:

El propósito fue evaluar el efecto del remplazo parcial de mazorca de maíz quebrado con maíz molido (MM) o con melaza de caña de azúcar (MCA) en suplementos para vacas de doble propósito. Dieciocho (18) vacas multíparas (414 ± 13 kg de peso vivo, y 106 ± 32 días en lactación) se asignaron al azar a los tratamientos: 1) suplemento testigo (ST) 87% de mazorca de maíz quebrado (MMQ), 11% pasta de soya y 2% urea; 2) reemplazo de 20% de MMQ con 20% maíz molido (MM); 3) reemplazo de 18% de MMQ por melaza (MCA). Cada vaca recibió 5 kg/día en base materia seca (MS) de suplemento, mientras que sus becerros recibieron 1.8 kg/día base MS del suplemento testigo. El experimento duró 11 semanas y los datos se registraron una vez por semana. Se utilizó un modelo mixto de SAS en un diseño completamente aleatorio. Se determinaron márgenes netos de

ganancia de leche y carne (kilos de becerro destetado) mediante presupuestos parciales. No hubo diferencias ($P>0.05$) entre los tratamientos sobre la composición de la leche, la condición corporal ni el aumento de peso diario de las vacas y terneros. Sin embargo, en comparación con el MM, el ST mostró mayor (9.0 %, $P<0.05$) ingesta de materia seca, y MCA mostró mayor producción de leche (18.6 %, $P<0.05$). No existieron diferencias significativas ($P>0.05$) en las demás variables de respuesta. Los márgenes combinados de ganancias netas (ventas de leche y terneros), fueron 9 % mayores para el tratamiento con MCA en comparación con el resto de los suplementos.

Palabras clave: Leche, Carne, Pardo Suizo, Pastos Tropicales, Suplementación energética.

Recibido: 05/08/2017

Aceptado: 30/04/2018

Introducción

La producción de bovinos de doble propósito (BDP) en las regiones tropicales de México y América Latina se basa en la utilización de los recursos locales tales como pastos, arbustos y árboles en manejo extensivo. En el suroeste del estado de México, así como en la mayoría de las regiones tropicales de México, el ganado se alimenta exclusivamente de forrajes bajo pastoreo extensivo durante la temporada de lluvias. Durante la temporada seca (de diciembre a mayo), la disponibilidad y la calidad nutricional de los forrajes disminuye considerablemente. A fin de minimizar el impacto de la baja disponibilidad de forraje y la disminución de su calidad, los productores suministran a su ganado cantidades variables de suplemento (5 a 9 kg de MS/vaca/día)⁽¹⁾.

La decisión de los granjeros sobre la cantidad de suplemento que ofrecen a cada vaca, y sobre cuándo iniciar la suplementación durante la temporada seca depende de la disponibilidad de forraje en los pastizales. La segunda mitad de la temporada de secas (de marzo a mayo) es la más crítica para los granjeros, ya que el forraje escasea en los pastizales, por lo que los granjeros usan suplementos para sostener la producción animal^(1,2).

Se ha señalado la energía metabolizable como uno de los principales obstáculos para la producción ganadera bajo condiciones tropicales, debido al escaso valor nutritivo de los forrajes (principalmente por su alto contenido de fibra)⁽³⁾.

Los suplementos representan entre el 50 y el 70 % de los costos de producción de la leche y la carne. Debido a la suplementación, los costos de producción de leche aumentan un 22 % en la temporada de secas, en comparación con la temporada de lluvias, reduciendo los márgenes de ganancias, ya de por sí débiles^(1,2).

A fin de mantener los costos de los suplementos lo más bajo posible, las mazorcas de maíz que se producen y cosechan en la granja se quiebran, en lugar de molerse, a fin de reducir el coste de procesamiento. Sin embargo, la digestibilidad total de mazorca de maíz quebrado es menor (87.6 %), en comparación con el maíz molido (91.7 %)⁽⁴⁾. Con frecuencia, grandes partículas de maíz no degradadas aparecen en las heces, lo cual representa un desperdicio y un uso ineficiente de este recurso.

El almidón de maíz es la fuente más común de energía para las vacas lecheras y se degrada a razón de entre 4 y 6.4 %/h. Las fuentes de carbohidratos con índices de degradación más rápidos que el maíz pueden mejorar las condiciones del rumen, dando como resultado una mejor respuesta productiva de los animales a la suplementación⁽⁵⁾.

La melaza de caña de azúcar es una fuente de energía fácilmente digerible, que ha sido utilizada en suplementos para el ganado vacuno que se alimenta de pastos de baja calidad en regiones tropicales^(6,7,8). Sin embargo, pese a su disponibilidad y a su costo relativamente bajo, los granjeros de la región de estudio no incorporan este recurso en los suplementos para su ganado.

La inclusión de melaza de caña de azúcar en los estudios *in vitro* mejora la digestibilidad de la fibra en una combinación de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y *Leucaena leucocephala*; mientras que la inclusión del grano de maíz *in vitro* aumenta la producción de ácidos grasos volátiles⁽⁹⁾. Además, la adición de melaza de caña de azúcar a los suplementos basados en el ensilado del maíz mejoró las tasas de crecimiento de las novillas bajo condiciones tropicales, reduciendo al mismo tiempo los costos de producción⁽⁶⁾.

El objetivo de este experimento fue evaluar la respuesta productiva y económica a la sustitución parcial de la mazorca de maíz quebrado (suplemento testigo) con maíz molido (MM) (20 % de inclusión), o a la inclusión de melaza de caña de azúcar (MOS) (18 % de inclusión), en los suplementos ofrecidos a vacas Pardo Suizo de doble propósito bajo pastoreo durante la temporada de secas en una región subtropical de México.

Material y métodos

Descripción de la zona

El estudio se realizó en una granja experimental de doble propósito en el Estado de México, situada en las coordenadas 19° 04' 48" N y 100° 13' 18" O, a una altitud de 1,470 m. El clima es subtropical (cálido sub-húmedo), con una temperatura media anual de 23 °C y una precipitación media anual de 1,115 mm.

Granja experimental

La granja participante tiene las características típicas de TS de la región. Los recursos, la gestión y las características socioeconómicas ya han sido descritos⁽¹⁾. En pocas palabras, la granja produce leche durante todo el año, y la leche y las ventas de terneros representan el 42 % y el 44 % de los ingresos anuales, respectivamente. Los ingresos derivados de la producción diaria de leche cubren los gastos diarios de operación de la granja y las necesidades económicas de la familia. Los terneros son vendidos a la edad de 18 meses, generalmente al final de la temporada de lluvias. La extensión de tierras de la granja donde pasta el ganado durante todo el año es de 100 ha, con el perímetro vallado y sin subdivisiones. Normalmente se mantienen como un solo rebaño alrededor de 35 vacas de ordeña y sus terneros y un toro, mientras que los remplazos se mantienen en una ubicación diferente. El ganado se alimenta exclusivamente de forraje durante la temporada de lluvias, y sólo recibe suplementación de minerales. Durante la temporada de secas, las vacas se complementan con una mezcla de maíz quebrado y harina de soya (~5 kg/vaca/día).

Animales y manejo

A dieciocho (18) vacas Pardo Suizo multíparas (con un peso de 414 ± 13 kg y 106 ± 32 días de leche) se les asignó aleatoriamente uno de tres tratamientos (seis vacas por tratamiento).

Las vacas participantes en el experimento pastaron junto con el resto del rebaño. La carga animal fue de 0.25 unidades animales (UA) por hectárea. Las vacas tuvieron acceso a agua y a minerales a libre acceso. Se ordeñó manualmente a las vacas una vez al día, desde las 0700 hasta las 0900 horas. Antes de la ordeña, se permitió al becerro mamar durante unos segundos la primera leche, para hacerla bajar, y después se lo ató al cuello de la vaca hasta el final de la ordeña. Posteriormente, los becerros mamaron la leche residual y permanecieron con sus madres en las zonas de pastoreo hasta las 1400 h.

Después de haber sido separados de sus madres, los terneros permanecieron en un potrero diferente hasta la mañana siguiente, donde pastorearon en potreros de características similares a los de las vacas. Los terneros recibieron 1.8 kg MS/día de GM suplemento (Cuadro 1), y tuvieron acceso a agua y a una mezcla de minerales a voluntad.

Cuadro 1: Ingredientes y composición química de los suplementos testigo (ST), maíz molido (MM) y melaza de caña de azúcar (MCA) (g/kg MS)

	ST	MM	MCA	SEM
Composición de los ingredientes:				
Mazorcas maíz quebrado	866	696	693	
Harina de soya	111	81	107	
Maíz molido		200		
Melaza			177	
Urea	23	23	23	
Composición química:				
Materia seca	873	870	849	4.1
Proteína bruta	124	113	119	14.4
Fibra detergente neutro	379	218	214	2.7
Fibra detergente ácido	55.7	63.0	48.9	0.6
Lignina	11.0	11.5	11.4	8.5
DMS	903	908	940	5.2
DMO	895	901	933	11.3
DFDN	792	715	809	3.2
EM, MJ/kg MS	14.1	14.1	14.6	16.1
Solubles (a)	59.8	46.5	68.1	
Tasa de solubles (0-1).	0.098	0.128	0.153	
Insolubles (b)	256.8	274.2	255.7	
Tasa de insolubles (0-1).	0.062	0.067	0.065	
Retardo (h)	5.8	5.5	4.2	

DMS= digestibilidad de la materia seca; DMO= digestibilidad de la materia orgánica; DFDN= digestibilidad de la fibra detergente neutro; EM= energía metabolizable.

A partir de un estudio previo (inédito), los becerros consumieron en promedio 3.0 kg de leche, calculados mediante las diferencias de peso antes de amamantamiento (ordeña de las 0900 h) y después de ser apartados de sus madres (1400 h).

El manejo de las vacas y becerros durante el experimento fue mínimo para evitar el estrés en los animales, y no interferir con las actividades diarias del granjero. Por lo tanto, se pesó a las vacas y a los becerros una vez a la semana.

Tratamientos

El suplemento testigo (ST) fue a base de mazorca de maíz quebrado (MMQ) (hoja, granos y olate) (86.6 %), complementadas con harina de soya (11.1 %) y urea (2.3 %). En el primer suplemento experimental se remplazó parcialmente la mazorca de maíz quebrado con un 20 % de maíz molido para formar el suplemento de maíz molido (MM). Para el segundo suplemento experimental se remplazó la misma proporción de mazorca de maíz quebrado con 18 % de melaza (MCA). El Cuadro 1 muestra los ingredientes y composición química de los suplementos.

Las vacas del experimento recibieron individualmente su suplemento asignado (5 kg de MS/vaca/día) durante la ordeña, en una bolsa de tela atada a su cuello. Todas las vacas consumieron el suplemento completo. El experimento comenzó el 19 de febrero y concluyó el 8 de mayo de 2015. Antes del inicio, las vacas pasaron un periodo de una semana de adaptación a los suplementos. Posteriormente, el experimento se realizó durante las siguientes 11 semanas (periodos experimentales).

Producción de leche y su composición

La producción de leche se registró en el último día de cada semana. Después de la ordeña se pesó a las vacas y a los becerros. La calificación de la condición corporal (CCC) de vacas se determinó según una escala de puntuación de 1 a 5. La composición de la leche (grasa, proteína y lactosa g/kg) se determinó dentro de las 2 hs después de la ordeña en el día del registro con un analizador portátil de la composición de la leche por ultrasonido. Posteriormente se determinó en el laboratorio el nitrógeno ureico en la leche (NUL) por colorimetría enzimática.

Muestreo y análisis químico del alimento

Las variables de la pastura se determinaron cada dos semanas (semanas 1, 3, 5, 7, 9 y 11). La masa de herbácea disponible (MHD) (kg MS ha/día) se determinó mediante la colocación de seis cuadrantes (de 0.25 m²) adyacentes a un área donde las vacas pastaban en el momento del muestreo. La masa de forraje (MH) dentro de los cuadrantes fue recortada a nivel de suelo con tijeras de esquila para determinar la MHD en las áreas de

pastoreo. Se tomó de los cuadrantes una muestra de 25 g, los cuales fueron separados en materia viva y materia muerta, y se pesó cada una de éstas.

Se determinaron las siguientes variables de la pastura (kg MS/ha): la masa de forraje disponible (MHD) y sus correspondientes cantidades de hoja (CH), de tallo (CT), de materia muerta (CMM) y de materia viva (CMV).

La materia verde se consideró como materia viva, y la materia no verde, como materia muerta. La CH y la CT se calcularon a partir de las muestras de 25 g recolectadas de cada cuadrante separando las hojas de los tallos y pesando unos y otras por separado. Por último, se tomó una muestra compuesta de los seis cuadrantes (100 g) por semana para determinar la composición química de las pasturas.

Se tomaron muestras de los suplementos en dos días consecutivos al final de cada semana, a fin de determinar la composición química de una muestra compuesta. Las muestras de alimento se secaron a 60 °C hasta que alcanzaron un peso constante a fin de determinar la MS. También se analizó su contenido de ceniza y proteínas brutas (PB) mediante el método micro Kjeldahl⁽¹⁰⁾. Se determinaron los contenidos de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina detergente ácido (LDA) mediante el método ANKOM⁽¹¹⁾. Se calculó la EM de los suplementos y de la pastura utilizando los valores de DMO a partir de la producción de gas *in vitro*, utilizando la siguiente ecuación⁽¹²⁾:

$$\text{EM (MJ/kg MS)} = (\text{DMO}) (0.0157)$$

Donde: EM= energía metabolizable (MJ/kg MS); DMO= digestibilidad de la materia orgánica (g/kg MS).

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), la digestibilidad de la materia orgánica (DMO) y la digestibilidad de la FDN (DFDN) se determinaron utilizando la técnica de producción de gas *in vitro*. Las fracciones de degradación *a*, *b* y *L* del forraje se calcularon según la siguiente ecuación⁽¹³⁾:

$$y = A \left\{ 1 - \exp[-b(t - T) - c(\sqrt{t} - \sqrt{T})] \right\}$$

Donde:

y = producción de gas acumulativa (mL);

t = el tiempo de incubación en horas;

A = la asíntota del total del gas producido (mL/g MS);

b= la constante de gas producido por hora;

c= una constante, y

T= un lapso de retardo en horas en el que los microorganismos colonizan el sustrato e inician la fermentación.

La tasa de fracciones de degradación (μ) se calculó utilizando la siguiente ecuación⁽¹³⁾:

$$\mu = b + \mu = b + \frac{c}{2\sqrt{t}}, t \geq T$$

Ingesta de materia seca de forraje

La ingestión de material seco de forraje por las vacas se estimó de manera indirecta con base en el rendimiento de los animales, calculando las necesidades de energía de los alimentos de las vacas de ordeña y su contenido de EM según un análisis químico⁽¹⁴⁾.

$$\text{Ingesta de material seco de forraje (kg/día)} = \frac{EMm + EMml + EMLw + EMSup}{\text{EM del herbaje}}$$

donde MEm, EMpl y EMpv son las necesidades estimadas de EM para la manutención, la producción de leche y el cambio de peso vivo, respectivamente. La EMSup es la EM proporcionada por el suplemento (MJ/kg MS), y la EM del forraje es la concentración estimada de EM en las muestras de forraje. Las concentraciones de EM de los suplementos y de la pastura se calcularon utilizando los resultados de la DMO a partir de la producción de gas *in vitro*⁽¹³⁾:

$$EM \left(\frac{MJ}{kg} MS \right) = (DMO)(0.0157)$$

Análisis económico

El análisis económico se realizó utilizando el enfoque presupuestal parcial⁽¹⁵⁾, a fin de determinar las ganancias económicas derivadas del uso de suplementos exclusivamente para la producción de leche y de carne de vacuno (es decir, el kilo de becerros destetados). Los resultados de los análisis económicos se expresan en dólares estadounidenses.

Análisis estadísticos

Los datos se analizaron utilizando el procedimiento MIXED de SAS 9.0⁽¹⁶⁾ para un diseño experimental completamente aleatorizado, con las vacas como efecto aleatorio, lo que justifica las mediciones repetidas del mismo animal a lo largo de todo el experimento.

El modelo utilizado fue:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \delta_{ij} + t_k + (\tau^*t)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde: y_{ijk} = variable dependiente, μ = media general, τ_i = efecto fijo del tratamiento ($i=1, 2$ y 3), t_k = efecto fijo de la semana ($k=1, 2 \dots 11$), $(\tau^*t)_{ik}$ = efecto fijo de la interacción entre el tratamiento i y la semana k , δ_{ij} = efecto aleatorio de la vaca j dentro de cada tratamiento y, ϵ_{ijk} = término de error aleatorio.

Se obtuvieron las medias cuadráticas mínimas y los errores estándar de los efectos fijos y se utilizaron para comparaciones múltiples de medias. Se declararon diferencias entre tratamientos cuando $P<0.05$.

Resultados

El Cuadro 2 muestra la composición química de los pastos de hierba, así como los parámetros de producción de gas *in vitro*. La proteína bruta promedio fue de 58 g/kg MS y alcanzó sus valores máximos en las semanas 3 y 4 (70 y 75 g/kg MS, respectivamente). La digestibilidad de la materia seca (DMS) y la energía metabolizable estimada (EM) alcanzaron los valores más elevados en las semanas 4 y 5 (de 620 y 606 g/kg MS, y de 9.6 y 9.4 MJ/kg MS, respectivamente).

Cuadro 2: Características químicas del forraje (g/kg) y parámetros de la curva de producción de gas

Semana experimental	1	3	5	7	9	11	Media	DE
Materia seca	701	675	648	623	694	613	651	36.8
Proteína cruda	50	75	70	53	46	50	58	12.1
Fibra detergente neutro	716	704	706	703	738	796	728	36.2
Fibra detergente ácido	371	367	360	369	401	424	380	25.0
Lignina detergente ácido	14	14	15	17	14	16	15	1.3
DMS	559	580	620	606	555	497	570	43.7
DMO	552	572	612	599	548	490	564	43.5
DFDN	489	501	523	560	526	423	517	46.4
EM, MJ/kg MS	8.7	9.0	9.6	9.4	8.6	7.7	8.9	0.7
<i>b</i>	200	198	209	213	181	160		
<i>c</i>	0.0	0.031	0.033	0.032	0.03	0.039		
<i>L</i>	32	5.1	5.1	5.3	5.2	5.2		

DMS= digestibilidad de la materia seca; DMO= digestibilidad de la materia orgánica;

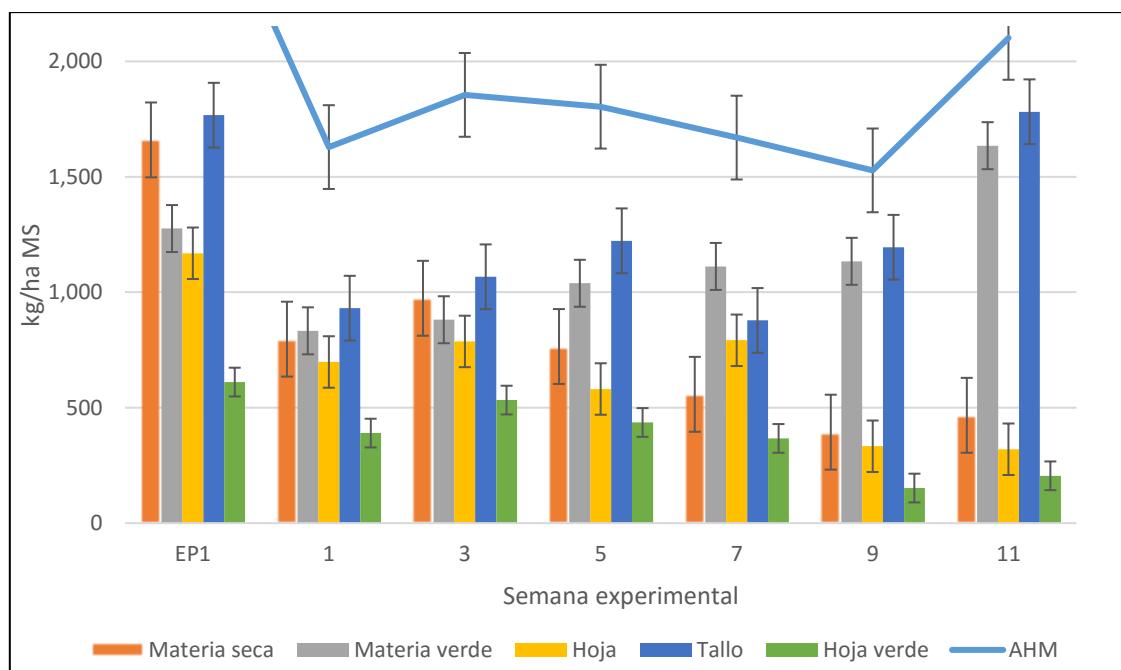
DFDN= digestibilidad de la fibra detergente neutro; EM= energía metabolizable.

La producción asintótica de gas (*b*) (ml/g MS) tuvo los valores más altos en las semanas 4 y 5. La tasa de producción de gas (*c*) mostró los valores máximos en las semanas

6 (0.034) y 7 (0.039), mientras que de la semana 1 a la 5, la tasa permaneció constante ~ 0.032/h. El periodo de retraso previo al inicio de la producción de gas (L) llegó a su menor valor en la semana 1 (4.4), mientras que de la semana 2 a la semana 7 permaneció cercano a 5.2.

La acumulación neta de forraje (ANF) promedio fue de 11 (kg/ha/día), mientras que la MHD fue de 1,923 (kg/ha MS). La composición morfológica de la pastura se muestra en la Figura 1. La pastura verde representó el 58 % de la MHD, con una tendencia creciente hacia el final del estudio, debido a algunas lluvias ligeras, mientras que las hojas representaron el 38 % de la MHD. *Cynodon plectostachyus* fue el pasto predominante, pues representó el 92 % de la composición botánica, mientras que *Paspalum notatum* y *Paspalum convexum* representaron el 5 y el 3 % respectivamente.

Figura 1: Producción de forraje disponible (AHM) (kg/ha MS), y composición morfológica (kg/ha MS) a lo largo de las semanas del experimento



El Cuadro 1 muestra los ingredientes y la composición química de los suplementos. La MS promedio fue de 864 g/kg. Los contenidos de proteína cruda fueron 124 (ST), 113 (MM) y, 119 (MCA) g/kg MS. El contenido de fibra detergente neutra del ST fue 43 % más alto (379 g/kg MS) que el de los suplementos del experimento (218 y 214 g/kg MS para MM y MCA, respectivamente).

La inclusión de melaza incrementó los valores de digestibilidad de la materia seca (DMS), de la digestibilidad de la materia orgánica (DMO) y de la digestibilidad de fibra detergente neutro (DFDN), así como de la energía metabolizable estimada (MJ/kg MS), en comparación con el ST y el MM. El contenido de la fracción soluble en agua de MCA representado por la fracción *a* produjo un volumen de gas más alto (68.1) que el ST (59.8)

y el MM (46.5) (Cuadro 1). La tasa de fermentación soluble del ST fue menor (0.098) que la del MM y de MCA (0.128 y 0.153, respectivamente). Los insolubles (b), que son los materiales insolubles, pero potencialmente fermentables, fueron más altos para el MM (2742) que el ST (256.8) y MCA (255.7). La fase de retardo fue más corta para la MCA (4.2 h), intermedia para el MM (5.5 h) y más largo para el ST (5.8 h).

El Cuadro 3 muestra las variables de respuesta productiva animal. No hubo diferencias significativas debidas a los tratamientos, con excepción de la IMS (kg/d) y la producción de leche (kg/d) ($P<0.01$). El efecto de la semana fue altamente significativo ($P<0.01$) para todas las variables. La ingesta de materia seca (kg/vaca/día) del ST no resultó ser estadísticamente ($P>0.05$) diferente de MCA (12.2 y 11.7 kg/día, respectivamente), pero sí presentó diferencias significativas ($P<0.05$) con respecto al MM (11.1 kg/día); mientras que no hubo diferencias entre MM y MCA ($P>0.05$).

Cuadro 3: Mínimos cuadrados medios de las variables de respuesta animal debidas a los suplementos testigo (ST), maíz molido (MM) y melaza de caña de azúcar (MCA) en vacas lactantes de doble propósito durante la temporada de secas

	ST	MM	MCA	SEM
Ingesta materia seca, kg/día	12.2 ^a	11.1 ^b	11.7 ^{ab}	0.27
Leche, kg/día	6.2 ^{ab}	5.7 ^a	7.0 ^b	0.31
Grasa, g/kg	33.8	34.6	33.2	2.1
Proteínas, g/kg	30.5	30.5	30.6	0.19
Lactosa, g/kg	42.2	43.1	42.7	0.43
Nitrógeno ureico en la leche, mg/dl	8.0	7.5	7.5	0.28
Peso de vaca, kg	430	406	430	16.9
Aumento de peso de la vaca, kg/día	0.283	0.136	0.281	0.13
Calificación de la condición corporal, 1-5	1.5	1.5	1.5	0.03
Aumento diario de peso de los becerros, kg/día	0.68	0.71	0.73	0.07

^{a,b,c} Las medias con diferente superíndice en una misma fila son significativamente diferentes ($P<0.05$).

La producción de leche fue estadísticamente similar entre el ST y MCA, con valores de 6.2 y 7 kg/vaca/día; mientras que el MM difirió de la MCA pero fue similar al ST. No hubo diferencias ($P>0.05$) para el resto de las variables de respuesta. Los contenidos medios de grasa, proteína y lactosa fueron 33.9, 30.5 y 42.7 g/kg, respectivamente. El contenido medio de nitrógeno ureico en la leche (NUL) fue de 7.7 mg/dl.

El peso vivo no difirió entre tratamientos (430, 406 y 430 kg/vaca, para ST, MM y MCA, respectivamente). Las vacas a las que se suministró ST, MM y MCA tuvieron aumentos diarios de peso similares ($P>0.05$) de 0.283, 0.136 y 0.281 kg/día, respectivamente. La calificación de la condición corporal (CCC) promedio fue de 1.5 puntos. El aumento promedio de peso de los becerros fue de 0.7 kg/día (Cuadro 3).

El Cuadro 4 muestra el análisis presupuestario parcial de la leche y la carne de vacuno (becerros destetados), pero obtuvo mejores rendimientos (es decir, un mejor margen de ganancias totales por la leche).

Cuadro 4: Costos de producción de leche y carne debido a los suplementos: testigo (ST), maíz molido (MM) y melaza de caña de azúcar (MCA)

	Producto	ST	MM	MCA	Media
Producción de leche	Total de suplementos, kg/tratamiento	2,730	2,730	2,730	2,730
	Costo del suplemento, \$/kg MS	0.24	0.25	0.27	0.25
	% ^T	-0.05	-0.01	+0.07	
	Costo total de suplementos, \$	655	677	660	664
	% ^T	-0.01	+0.02	-0.01	
	Producción total de leche, kg/tratamiento	3,260	3,041	3,713	3,338
	% ^T	-0.02	-0.09	+0.11	
	Precio de venta de la leche, \$/kg	0.39	0.39	0.39	0.39
	Ingresos por ventas de leche, \$	1,269	1,184	1,446	1,300
	% ^T	-0.02	-0.09	+0.11	
Producción de carne de vacuno	Costo de producción de la leche, \$/kg	0.20	0.22	0.20	0.21
	% ^T	-0.03	+0.06	-0.03	
	Margen de ganancias de la leche, \$/kg	0.19	0.17		0.18
	% ^T	+0.04	-0.07	0.19 0.04	
	Margen total de ganancias de la leche, \$/tratamiento	613	507	721	614
	% ^T	0.0	-0.17	+0.17	
	Margen total de ganancias de la leche, \$/vaca	102	85	120	102
	% ^T	0.0	-0.17	+0.17	
	Suplemento, kg/tratamiento	601	601	601	601
	Costo del suplemento, \$/kg	0.24	0.24	0.24	0.24
	Costo total de los suplementos, \$	144	144	144	144
	Producción de carne de vacuno, kg/tratamiento	371	388	399	386
	% ^T	-0.04	0.0	+0.03	
	Precio de venta de la carne de vacuno, \$/kg	3.24	3.24	3.24	3.24

Ingresos por la carne de vacuno, \$/tratamiento	1,205	1,258	1,293	1,252
% ^F	-0.04	0.0	+0.03	
Costo de producción de la carne de vacuno, \$/kg	0.34	0.34	0.34	0.34
Margen de ganancia por la carne de vacuno, \$/tratamiento	1,064	1,118	1,153	1,112
% ^F	-0.04	+0.01	+0.04	
Margen de ganancia por la carne de vacuno, \$/becerro	177	186	192	185
% ^F	-0.04	+0.01	+0.04	
Margen de ganancia neta total, (\$) (leche + carne de vacuno)	1,678	1,625	1,874	1,726
% ^F	-0.03	-0.06	+0.09	

%^F= Diferencia respecto a la media.

La producción de carne (kg/tratamiento como becerros destetados) para MCA fue mayor (399 kg) que para ST y el MM (371 y 388 kg, respectivamente), dando como resultado mayores ingresos por carne de vacuno y en márgenes de ganancia más alto. El MM quedó en segundo lugar para ambos indicadores.

En general, la MCA fue el tratamiento con el margen de ganancias netas totales más alto para la leche más la carne de vacuno, con \$1,874 ($P<0.01$); mientras que ST fue el segundo, y el MM generó el margen de ganancia netas totales más bajo, de \$1,625.

Discusión

El MHD permaneció bajo pero constante en las zonas de pastoreo. La producción de forraje baja, pero constante durante el experimento pese a las condiciones de secas podrían deberse al agua filtrada a las pasturas de un arroyo que corre a través del área de estudio. Esto puede explicar en parte la presencia constante de material verde en las zonas de pastoreo desde la semana 1 hasta la semana 9, mientras que el marcado incremento se debió a una lluvia inusual al final del estudio. Pese a estos, la composición química de la pastura durante todo el experimento fue baja en cuanto a las PC, la DMS y la EM estimada. Se han reportado características similares y agronómicas de las pasturas dominadas por *Cynodon plectostachyus* en una localidad cercana a este estudio^(17,18).

La melaza incluso mejoró la degradabilidad *in vitro* del suplemento proporcionado por las fracciones a y b, que dieron como resultado 0.5 MJ de EM estimada más que ST y el MM. Esta mejora podría haber tenido un impacto positivo en la digestibilidad del forraje, mejorando el ambiente ruminal debido al suministro de energía inmediatamente disponible, que podría haber incrementado la ingesta de materia seca (efecto aditivo) como se demostró en estudios anteriores^(19,20,21).

El suplemento que siguió al mejor fue el ST según la fracción soluble a. Se esperaba una mejor cinética de degradación en el MM que en ST, puesto que una pequeña partícula del

tamaño de un grano de maíz incrementa la digestibilidad de los almidones (fracción soluble alta)⁽²²⁾. No obstante, ST tuvo una fracción soluble (a) más alta, una insoluble más alta (la potencialmente degradable “b”) y una mayor tasa de fermentación de insolubles que el MM. Éstas pueden deberse a una mayor proporción de hoja y material de olate en ST, los cuales tienen una mayor degradabilidad potencial que el MM.

La baja respuesta de producción de leche de las vacas alimentadas con MM fue inesperada, puesto que se ha reportado que el maíz molido produce más energía en el rumen en forma de propionato. Se ha reportado que la producción de propionato en el rumen es el principal estimulante de la producción de leche en las vacas lecheras lactantes⁽⁴⁾.

Una posible explicación de la baja respuesta de producción de leche podría relacionarse con el hecho de que MM tuvo aproximadamente 20 % menos de soya que los otros dos suplementos. Se ha relacionado una menor digestibilidad de la FDN con un bajo nivel de proteína degradable en rumen^(23,24).

Es más, en condiciones como las de este experimento, en el que los pastos eran de mala calidad, un suplemento de melaza con urea sería una mejor alternativa que el maíz molido como fuente de energía, puesto que los azúcares se fermentan más rápidamente en el rumen que el almidón del maíz, lo cual proporciona energía a los microbios del rumen con mayor rapidez. Esto puede explicar el incremento de la fracción soluble y la reducción del periodo de retardo con el uso de MCA⁽²⁵⁾.

En este estudio, la producción y la composición de la leche fueron inferiores que en las vacas Holstein y en las Pardo Suizo x Cebú^(26,27). Sin embargo, en ambos estudios las vacas perdieron peso (~ 40 kg) y CCC, lo cual se atribuye a que los suplementos no les proporcionaron suficientes nutrientes, al contrario de lo ocurrido en este experimento, en el cual las vacas subieron de peso (~ 0.233 kg/día).

En este estudio, los tratamientos no afectaron la composición de la leche (es decir, la grasa, la proteína o la lactosa); por el contrario, los reportes muestran diferencias significativas en el contenido de proteína (kg/día) debido a una reducción del tamaño de partículas de granos de maíz que incrementó la fermentación de los almidones, lo que dio como resultado una mayor concentración de propionato en el rumen⁽²³⁾.

Pese a que las vacas subieron de peso debido a los suplementos (0.233 kg/día en promedio), la calificación de su condición corporal permaneció igual durante todo el experimento (~1.5). Bajo un manejo típico, a las vacas de doble propósito no se les proporciona suficiente energía, por lo que las vacas son pequeñas, y su limitada ingesta de materia seca limita su producción de leche. Para remediar esta situación se ha propuesto suplementarlas durante todo el año con pastos tropicales de buena calidad (0.6 a 4.4 kg/día) y con suplementos (entre 4.0 y 5.0 kg/día). De ese modo, la condición corporal de las vacas probablemente obtendría una mejor calificación (un balance

positivo de energía), en particular durante períodos críticos como la lactancia temprana, con lo cual se obtendría una mayor producción de leche⁽²⁸⁾.

Es importante señalar que las condiciones climáticas durante la temporada de secas fueron atípicas, de modo que el análisis económico debe ser tomado con reservas. Desde el punto de vista económico, la inclusión de melaza de caña de azúcar en el suplemento elevó las ganancias por la venta de leche y de carne. La pequeña diferencia en la producción de leche entre estos dos tratamientos redundó en una diferencia significativa en el margen de ganancias de la leche y de la carne⁽²⁹⁾.

Los márgenes de ganancias netas combinadas de leche y carne (becerros destetados) fueron de alrededor de 9 % mayores para la MCA que para ST y el MM. Se ha reportado que, como suplemento energético, la melaza da como resultado mayores ingresos por las ventas de leche y de carne^(29,30). No obstante, no siempre se presentan estos efectos. En aquellas situaciones en que la melaza tuvo un costo elevado, su inclusión en los suplementos diarios de las vacas representó una pérdida de ingresos debido a la escasa respuesta de producción de leche⁽³¹⁾.

Las granjas situadas en la región del estudio no pueden adoptar ningún tipo de conservación de forraje debido a lo escarpado de las pasturas, además del incremento de los costos de mano de obra y maquinaria. Por eso, la inclusión de melaza en los suplementos durante la temporada de secas podría ser una suplementación alternativa para mantener los rendimientos productivos de los animales cuando los forrajes son limitados y de mala calidad.

Conclusiones e implicaciones

El remplazo parcial de las mazorcas de maíz quebrado con melaza de caña de azúcar en los suplementos para las vacas de pastoreo Pardo Suizo de doble propósito durante la temporada de secas incrementaron significativamente la producción de leche en comparación con el uso de un suplemento de maíz molido. No hubo diferencias en otras variables de respuesta productiva animal. Los márgenes de ganancias netas combinadas (por las ventas de leche y becerros) fueron en promedio 9 % más altas cuando se añadió melaza de caña de azúcar a los suplementos.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México y la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMEX). También expresar gratitud por el financiamiento de este tipo de investigación mediante subvenciones 1003/2012RCA (UAEMEX) y 129449 CB-2009 (CONACYT).

Literatura citada:

1. Albarrán-Portillo B, Rebollar-Rebollar S, García-Martínez A, Rojo-Rubio R, Avilés-Nova F, Arriaga-Jordán, CM. Socioeconomic and productive characterization of dual-purpose farms oriented to milk production in a subtropical region of Mexico. *Trop Anim Health Prod* 2015;44(3):519-523. doi:10.1007/s11250-014-0753-8.
2. Salas-Reyes IG, Arriaga-Jordán CM, Rebollar-Rebollar S, García-Martínez A, Albarrán-Portillo B. Assessment of the sustainability of dual-purpose farms by the IDEA method in the subtropical area of central Mexico. *Trop Anim Health Prod* 2015;47(6):1187-1194. DOI 10.1007/s11250-015-0846-z.
3. Absalón-Medina VA, Blake RW, Gene Fox D, Juárez-Lagunes EG, Nicholson FC, Canudas-Lara EG. Limitations and potentials of dual-purpose cows herds in central coastal Veracruz, Mexico. *Trop Anim Health Prod* 2011;44(6):1131-1142. doi:10.1007/s11250-011-0049-1.
4. Owens FN, Zinn RA, Kim YK. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *J Anim Sci* 1986;63(5):1634-1648. doi:10.2527/jas1986.6351634x.
5. Gehman AM, Bertrand JA, Jenkins TC, Pinkerton BW. The effect of carbohydrate source on nitrogen capture in dairy cows on pasture. *J Dairy Sci* 2006;89(7):2659-2667.
6. Vélez-Terranova M, Sánchez-Guerrero H, Duran Castro CV. Evaluación de la suplementación energética durante el crecimiento de novillas lecheras de reemplazo utilizando el modelo CNCPS. *Trop Subtropical Agroecosys* 2014;17(1):143-154.
7. Granzin BC, Dryden G McL. Monensin supplementation of lactating cows fed tropical grasses and cane molasses or grain. *Anim Feed Sci Tech* 2005;120: 1-16.
8. Hunter RA, Kennedy PM. Effects of increasing rates of molasses supplementation and forages quality on the productivity of steers. *Anim Prod Sci* 2016;56:871-881. <http://dx.doi.org/10.1071/AN14846>.
9. Estrada-Liévano JM, Sandoval-Castro CA, Ramírez-Avilés L, Capetillo-Leal CM. In vitro fermentation efficiency of mixtures of *Cynodon nlemfuensis*, *Leucaena leucocephala* and two energy sources (maize or sugar cane molasses). *Trop Subtropical Agroecosys* 2009;10(3):497-503.
10. AOAC, Official Methods for Analysis. Association of Official Analytical Chemists 1990, Arlington, VA, USA.
11. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 1991;74(10):3583-97.

12. AFRC (Agricultural and Food Research Council). An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. Wallingford: CAB International. 1993.
13. Mauricio MR, Mould FL, Dhanoa MS, Owen E, Channa K, Theodorou MK. A semi-automated in vitro gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. Anim Feed Sci Tech 1999;79(4):321-330.
14. Baker RD. Estimating herbage intake from animal performance. In: Leaver, JD editor. Herbage intake handbook. Hurley: British Grassland Society;1982:77-93.
15. Espinoza-Ortega A, Espinosa-Ayala E, Bastida-López J, Castañeda-Martínez T, Arriaga-Jordán CM. Small-Scale dairy farming in the highlands of central Mexico: technical, economic and social aspects and their impact on poverty. Exp Agr 2007;43:241-256.
16. SAS Institute. SAS User's guide. Statistics, Version 9 ed. SAS Inst., Inc., Cary, NC. 2002.
17. López-González F, Estrada-Flores JG, Avilés-Nova F, Yong-Angel G, Hernández-Morales P, Martínez-Loperena R, *et al.* Agronomic evaluation and chemical composition of african star grass (*Cynodon plectostachyus*) in the southern region of the state of Mexico. Trop Subtropical Agroecosys 2010;12(1):1-9.
18. López-González F, Sánchez-Valdés JJ, Castelán-Ortega OA, Albarrán-Portillo B, Estrada-Flores JG. Agronomic and nutritional characteristics of three grass species in the southern region of Mexico. Indian J Anim Sci 2015;85(3):271-274.
19. Morales JL, Van Horn HH, Moore JE. Dietary interaction of cane molasses with source of roughage: intake and lactation effects. J Dairy Sci 1989;72(9):2331-2338.
20. Petty SR, Poppi DP. The live weight gain response of heifers to supplements of molasses or maize while grazing irrigated *Leucaena leucocephala/Digitaria eriantha* pastures in north-west Australia. Anim Prod Sci 2012;52:619-623. <http://dx.doi.org/10.1071/AN11242>.
21. Tuyen DV, Tolosa XM, Poppi DP, McLennan SR. Effect of varying the proportion of molasses in the diet on intake, digestion and microbial protein production by steers. Anim Prod Sci 2014;55:17-26. <http://dx.doi.org/10.1071/AN13225>.
22. Rémond D, Cabrera-Estrada JI, Champon M, Chauveau B, Coudure R, Poncet C. Effect of corn particle size on site and extent of starch digestion in lactating dairy cows. J Dairy Sci 2004;87(5):1389-1399.
23. San Emeterio F, Reis RB, Campos WE, Satter LD. Effect of coarse or fine grinding on utilization of dry or ensiled corn by lactating dairy cows. J Dairy Sci 2000;83(12):2839-2848.

24. Barros T, Quaassdorff MA, Aguerre MJ, Olmos CJ, Bertics SJ, Crump PM, Wattiaux MA. Effects of dietary crude protein concentration on late-lactation dairy cow performance and indicators of nitrogen utilization. *J Dairy Sci* 2017;100:5434-5448.
25. Baurhoo A, Mustafa A. Effect of molasses supplementation on performance of lactating cows fed high-alfalfa silage diets. *J Dairy Sci* 2014;97(2):2072-1076.
26. Tinoco-Magaña JC, Aguilar-Pérez CF, Delgado-Leon R, Magaña-Monforte JG, Ku Vera JC, Herrera-Camacho J. Effects of energy supplementation on productivity of dual-purpose cows grazing in a silvopastoral system in the tropics. *Trop Anim Health Prod* 2012;44(5):1073-1078. doi:10.1007/s11250-011-0042-8.
27. Peniche-González IN, González-López ZU, Aguilar-Pérez CF, Ku-Vera JC, Ayala-Burgos AJ, Solorio-Sánchez FJ. Milk production and reproduction of dual-purpose cows with a restricted concentrate allowance and access to an association of *Leucaena leucocephala* and *Cynodon nlemfuensis*. *J App Anim Res* 2014;42(3):345-351.
28. Absalón-Medina VA, Blake RW, Gene Fox D, Juárez-Lagunes EG, Nicholson FC, Canudas-Lara EG, et al. Limitations and potentials of dual-purpose cows herds in central coastal Veracruz, Mexico. *Trop Anim Health Prod* 2011;44(6):1131-1142. doi:10.1007/s11250-011-0049-1.
29. Salvador-Loreto I, Arriaga-Jordán CM, Estrada-Flores JG, Vicente-Mainar F, García-Martínez A, Albarrán-Portillo B. Molasses supplementation for dual-purpose cows during the dry season in subtropical Mexico. *Trop Anim Health Prod* 2016;48(3):643-648. doi:10.1007/s11250-016-1012-y.
30. Jiménez-Ferrer G, Mendoza-Martínez G, Soto-Pinto L, Alayón-Gamboa A. Evaluation of local energy sources in milk production in a tropical silvopastoral system with *Erythrina poeppigiana*. *Trop Anim Health Prod* 2015;47(5):903-908. doi:10.1007/s11250-015-0806-7.
31. Katongole CB, Kabirizi JM, Nanyeenya WN, Kigongo J, Nviiri G. Milk yields response of cows supplemented with sorghum stover and *Tithonia diversifolia* leaf hay diets during the dry season in northern Uganda. *Trop Anim Health Prod* 2016;48(7):1463-1469. doi:10.1007/s11250-016-1119-1.