



USO DEL ENSILADO DE SORGO VARIEDAD TOP GREEN Y VARIEDAD CAÑA DULCE PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN SISTEMAS DE PEQUEÑA ESCALA †

[USE OF TOP GREEN AND SWEET CANE SORGHUM SILAGE FOR MILK PRODUCTION IN SMALL-SCALE SYSTEMS]

M. Rosas-Dávila¹, E. Morales-Almaráz^{1*}, F. Lopez-Gonzalez²,
and C. M. Arriaga-Jordan²

¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México. Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, México, CP 50090. E-mail: mrosasd153@alumno.uaemex.mx;

emoralesa@uaemex.mx*

² Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM El Cerrillo Piedras Blancas, 50090 Toluca, Estado de México, México. E-mails: flopezg@uaemex.mx; cmarriagaj@uaemex.mx

*Corresponding author

SUMMARY

Background. Sorghum is a crop that stands out as an alternative to maize due to its higher drought tolerance and lower soil fertility demand. **Objective.** To evaluate the productive response of lactating cows fed maize silage (*Zea mays*) in substitution with sorghum silage (*Sorghum bicolor* L.). **Methodology.** The research was carried out in the central highlands of Mexico, in the farmer of a small-scale dairy family. Nine cows were used, distributed in three 3X3 Latin squares with test periods of 14 days, of which 12 were for adaptation of the animals to diets and 2 d to the collection of samples. The treatments were: 1) Top Green = 5 kg DM sorghum silage cv Top Green + 5 kg DM maize silage; 2) Caña Dulce = 5 kg DM sorghum silage cv Caña Dulce + 5 kg DM maize silage; 3) Maize silage = 10 kg DM maize silage (testigo). The study included the productive behaviour of the cows, feed composition and feeding costs. Treatment data were analysed with a split-plot arrangement. **Results.** Inclusion of sorghum silage in the diet reduced dry matter intake ($P<0.05$), but did not affect average production (22.9 kg/day) and milk composition of cows ($P>0.05$). There were no differences ($P>0.05$) for variables related to the nutritional value of the silages. Although there were no significant differences in animal response variables, economic analysis showed that the inclusion of sorghum silage increased feed costs by 15% due to lower dry matter yields. **Implications.** Sorghum has been proposed as a resilient alternative to maize especially in drought stress scenarios, when the availability of quality forages decreases and grain and forage prices increase. **Conclusions.** Although feeding costs were higher, sorghum silage can be a substitute for maize silage.

Key words: milk production; sorghum silage; profitability.

RESUMEN

Antecedentes. El sorgo es un cultivo que se destaca como una alternativa al maíz debido a la mayor tolerancia a la sequía y menor demanda de fertilidad del suelo. **Objetivo.** Evaluar la respuesta productiva de vacas en lactación, alimentadas con ensilado de maíz (*Zea mays*) en sustitución con ensilado de sorgo (*Sorghum bicolor* L.). **Metodología.** La investigación se realizó en el altiplano central de México, en la unidad de producción de una familia productora de leche de pequeña escala. Se usaron 9 vacas distribuidas en tres cuadros latinos 3x3 con periodos de 14 días, de los cuales 12 fueron la adaptación de los animales a las dietas y 2 a la colecta de muestras. Los tratamientos fueron: 1) Top Green = 5 kg MS ensilado de sorgo cv Top Green + 5 kg MS ensilado de maíz; 2) Caña Dulce = 5 kg MS ensilado de sorgo cv Caña Dulce + 5 kg MS ensilado de maíz; 3) Ensilado maíz = 10 kg MS ensilado de maíz (testigo). El estudio comprendió el rendimiento productivo de las vacas, comportamiento productivo de los forrajes, la composición de los alimentos y los costos de alimentación. Las variables agronómicas se analizaron con un diseño completamente al azar, la composición química de los ensilados con un arreglo de parcelas divididas, y el desempeño animal con un diseño cuadro latino 3x3. **Resultados.** La inclusión del ensilado de sorgo en la dieta redujo el consumo de materia seca

† Submitted April 24, 2023 – Accepted March 25, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4917>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = M: Rosas-Dávila: <http://orcid.org/0000-0003-1188-3585>; E: Morales-Almaráz: <http://orcid.org/0000-0003-0675-2193>; F: López-González: <http://orcid.org/0000-0002-5518-5458>; C.M: Arriaga-Jordán: <http://orcid.org/0000-0002-6140-0847>

($P < 0.05$), pero no afectó la producción media (22.9 kg/día) y la composición de la leche de las vacas ($P > 0.05$). No hubo diferencias ($P > 0.05$) para las variables relacionadas con el valor nutricional de los ensilados. En las variables de la respuesta animal, el análisis económico mostró que la inclusión del ensilado de sorgo aumentó los costos de alimentación en un 15% debido a los bajos rendimientos de materia seca. **Implicaciones.** El sorgo ha sido propuesto como una alternativa resiliente al maíz especialmente en escenarios de estrés por sequía, cuando la existencia de forrajes de calidad disminuye y los precios de granos y forrajes aumentan. **Conclusiones.** El ensilado de sorgo puede ser un sustituto al ensilado de maíz, aunque los costos de alimentación fueron más altos.

Palabras clave: producción de leche; ensilado de sorgo; rentabilidad.

INTRODUCCIÓN

México, ha sido categorizado como uno de los principales países afectados por el cambio climático, aun en este estado crítico, el cultivo de maíz y la producción de leche representan dos de las principales actividades económicas del país (Robles-Jiménez *et al.*, 2021a).

A nivel nacional, la lechería de pequeña escala ha sido reconocida como un medio de vida de las comunidades rurales por su contribución a la reducción de la pobreza (Rosas-Dávila *et al.*, 2020). En este contexto, estos sistemas agrupan 80% de las fincas lecheras, contribuyen con el 35% del suministro de leche y aportan 20% del valor económico al producto interno bruto (Posadas *et al.*, 2018). El maíz (*Zea mays*) aun con sus limitaciones adaptativas (altos requerimientos hídricos y nutricionales; fertilización nitrogenada, etc), vinculadas al cambio climático (alta temperatura ambiental, reducido temporal de lluvias, lluvias erráticas y menor fertilidad del suelo), es el principal cultivo utilizado para la producción de leche en el país (Sainz-Ramírez *et al.*, 2021).

En este punto de irrupción del cambio climático, la gestión de cultivos tolerantes al calor resulta relevante en los esfuerzos de adaptación frente a las experiencias que vulneran la productividad y la rentabilidad del sector agropecuario: altos costos de producción de cultivos, alteración del régimen estacional de precipitaciones, escasez de reservas de forraje y aumento de los precios de forrajes y cereales (Yang *et al.*, 2019). Bajo estos escenarios, el ensilado representa una parte esencial de las dietas, especialmente durante la época seca (invierno-primavera) (Vega-García *et al.*, 2020) cuando la alimentación es insuficiente, altamente costosa y de mala calidad (Prospero-Bernal *et al.*, 2017).

El sorgo (*Sorghum bicolor* (L)), es una planta perenne, originaria de África oriental, propuesta como un cultivo alternativo para satisfacer las demandas de forraje de la producción de leche en el altiplano central de México, en virtud a sus características en términos de alta eficiencia de uso de nitrógeno y de agua (requerimientos hídricos 53% menores al maíz), tolerancia a las altas temperaturas, resistencia al encharcamiento, de amplia adaptabilidad a suelos bajos en nutrientes, alto potencial de producción de

forraje con capacidad de rebrote, y a su valor nutricional comparable al maíz (Colombini *et al.*, 2012; Candido *et al.*, 2014; Yang *et al.*, 2019; McCary *et al.*, 2020), lo cual, lo convierte en un cultivo apto para su establecimiento en regiones húmedas, semihúmedas, áridas y semiáridas de zonas tropicales, subtropicales y templadas (Ran *et al.*, 2021).

De manera que, el sorgo se está convirtiendo en un recurso valioso de secano que no se debe ignorar su uso para la producción de ensilados frente a la fluctuación de alimentos de la estación seca, no obstante, los ensayos que evalúan el efecto de la inclusión del ensilado de sorgo en el ganado lechero en sistemas de producción de pequeña escala en México son limitados. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la sustitución parcial del ensilado de maíz con ensilado de sorgo sobre la producción y la composición de la leche, el peso vivo e índice de condición corporal de vacas lecheras en sistemas de producción de leche de pequeña escala en el centro de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en el periodo seco de primavera (12 de marzo al 22 de abril de 2022) en Aculco (20° 17' N y 100° 00' O; altitud 2440 m sobre el nivel del mar) en el altiplano central de México. El clima de la región es templado-subhúmedo, con un rango de precipitación anual de 800 a 1000 mm y una temperatura media diaria de 13.5°C (INEGI, 2010). El experimento se llevó a cabo en la unidad de producción de leche en pequeña escala, bajo el esquema de investigación participativa rural.

Ensilados

Los cultivos se establecieron el 20 de mayo de 2021 en parcelas de 1 hectárea en surcos separados a 80 cm con una densidad de 36.2 kg de semilla de maíz/ha (híbrido variedad Cenzontle) y 20 kg de semilla de sorgo/ha (Caña Dulce o Top Green). La fertilización se realizó con 302.5 kg N, 92 kg P y 120 kg K/ha. Para el control de malezas se utilizó un herbicida post emergente a base de atrazina (1 l/ha) + prosulfuron (30 g/ha). Las plantas se cosecharon a los 150 días después de la siembra, en un estado lechoso-masoso del grano. El forraje se conservó en tres silos tipo pastel, dos de sorgo y uno de maíz.

Animales, diseño experimental

Nueve vacas Holstein con un rendimiento promedio de 22.1 ± 3.7 kg leche/día, 110.1 ± 59.4 días en lactación y un peso corporal de 486.7 ± 73.4 kg fueron agrupadas aleatoriamente en lotes de 3 animales, las vacas se mantuvieron en estabulación. El diseño experimental fue un cuadro latino 3x3 replicado tres veces. El experimento tuvo una duración de 42 días, con tres periodos de 14 días (12 días de adaptación y 2 días de muestreo).

Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron tres: 1) Top Green= 5 kg MS de ensilado de maíz + 5 kg MS de ensilado de sorgo cv Top Green/vaca/día; 2) Caña dulce= 5 kg MS de ensilado de maíz + 5 kg MS de ensilado de sorgo cv Caña Dulce/vaca/día; y 3) Ensilado maíz (testigo) T3= 10 kg MS de ensilado de maíz/vaca/día. Adicionalmente, se proporcionó 3.7 kg MS de concentrado comercial (206 g de proteína cruda y 12 MJ de energía metabólica/kg MS) y 2.4 kg MS de heno de alfalfa (194 g de proteína cruda y 11.9 MJ de energía metabólica/kg MS) por vaca al día. La asignación de alimentos (kg MS/vaca/día) se estimó con base al 3.2% del peso vivo medio pre-experimental de los animales y se ofreció en partes iguales después de cada ordeño (8:00 y 16:00 h). La cantidad de suplementos se estableció según las prácticas habituales del productor participante.

Variables de las parcelas

Cada parcela se dividió nominalmente en tres subparcelas como replicas para el análisis estadístico. La altura de las plantas se determinó con cinta métrica en 90 plantas por parcela (30 por subparcela), desde la superficie del suelo a la punta de la espiga (maíz) o panoja (sorgo). Para el rendimiento de materia seca por hectárea (RMS) se tomaron al azar 3 muestreos por subparcela de 1 metro lineal a 20 cm del suelo, y se calculó con el peso seco (g MS/kg MF) de cada muestra, multiplicado por el número de metros lineales por hectárea ($RMS = g\ MF\ m^{-1} * 100\ m * 125\ surcos * g\ MS/kg\ MF\ de\ la\ muestra\ de\ forraje\ m^{-1}$) (Bolaños-Aguilar *et al.*, 2012).

La composición morfológica de los cultivos se determinó mediante la recolección al azar de 9 muestras de forraje por parcela de 1 metro lineal, cortadas a 20 cm del suelo. Manualmente cada muestra se separó en fracciones (tallos, hoja, panoja o mazorca, arvenses), con la suma de los pesos secos de los tallos, hojas y panoja/mazorcas y arvenses se obtuvo el peso de la materia viva, materia muerta y plantas de sorgo o maíz, la parte porcentual de cada componente se expresó en g/kg MS.

Variables animales

Las vacas fueron ordeñadas diariamente a las 8:00 y 16:00 h, la producción de leche por vaca se midió los últimos dos días de cada periodo experimental, utilizando una báscula colgante de reloj (Thor modelo C), con capacidad de 20 kg. El rendimiento de leche corregido en grasa (LCG 3.5%) se calculó de acuerdo con Robles-Jiménez *et al.* (2021b): $LCG\ 3.5\% (Kg/día) = (Kg\ leche * 0.432) + ((Kg\ grasa/día) * 16.23)$. El contenido de grasa y proteína se determinó mediante un analizador de leche por ultrasonido (Lactoscan Ultrasónico Farm Eco) y el nitrógeno ureico en leche (NUL) según el método colorimétrico de Chaney y Marbach (1962). El peso vivo de las vacas se midió al inicio y final de cada periodo experimental, utilizando una báscula de barras (Gallagher modelo W210), el índice de condición corporal (1-5 puntos) se registró al comienzo y al final de cada periodo experimental (Edmonson *et al.*, 1989). El consumo de concentrado y ensilado se midió por diferencia entre la oferta y el rechazo.

Análisis químicos de los alimentos

Se tomaron muestras de los ensilados y suplementos al final de los periodos experimentales, y se determinó el contenido de materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína bruta (PB) por el método Kjeldahl, fibra neutro detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y digestibilidad de la materia seca (DIVMS) por la técnica de micro bolsas (Ankom Technology 2020). La energía metabolizable (EM) se calculó según Mackle *et al.* (1999): $eEM = ((0.0156) (DIVMS) - (0.535))$. Para determinar el pH se hizo una dilución del ensilado en agua destilada y se usó un electrodo de pH (OAKTON, Fairfax country, VA) (Vega-García *et al.*, 2020).

Análisis económico

Se realizó un análisis de presupuestos parciales para comparar los costos de producción de los tratamientos, considerando los costos de los concentrados, ensilados y los retornos por la venta de leche (Dillon and Hardaker, 1980).

Análisis estadísticos

Las variables animales fueron analizadas como un diseño de cuadro latino 3x3, con el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + C_{j(i)} + P_K + t_l + e_{ijkl}$$

Donde, μ = media general; S = efecto debido a los cuadros, $i = 1, 2, 3$; C = efecto debido a las vacas dentro de los cuadros, $j = 1, 2, 3$; P = efecto debido a los periodos experimentales, $k = 1, 2, 3$; t = efecto debido a los tratamientos, $l = 1, 2, 3$; y e = error residual. Las

diferencias significativas ($P < 0.05$) se evaluaron por comparación de medias de Tukey.

Las características agronómicas (altura, rendimiento de materia seca/ha, composición botánica y morfológica) se analizaron bajo un diseño experimental completamente al azar, con el modelo:

$$Y_i = \mu + T_i + e_i$$

Donde, μ = media general; T = efecto debido a los tratamientos; e = error residual.

Las variables de composición química (MO, PB, FDN, FDA, DIVMS, eEM) se evaluaron con un diseño de parcelas divididas, donde los tratamientos fueron el efecto fijo (parcelas principales), y los periodos de medición efectos aleatorios (parcelas divididas), el modelo estadístico para el análisis fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + T_j + E_K + p_l + T_{pj} + e_{ijk}$$

Donde, μ = media general; R = efecto debido a las réplicas (divisiones de las parcelas), $i = 1, 2$; T = efecto debido a los tratamientos (parcela principal), $j = 1, 2, 3$; E = error de las parcelas principales; p = efecto debido a los periodos experimentales (parcelas divididas), $k = 1, 2, 3$; T_p = efecto debido a la interacción entre tratamientos y periodos experimentales; y e = error residual.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de los forrajes

La Tabla 1 muestra el rendimiento de materia seca, altura, proporción de los cereales (planta completa de

sorgo o maíz), arvenses, tallos, hojas, panoja o mazorcas, materia vegetal muerta y materia vegetal viva. No hubo diferencias ($P > 0.05$) en el rendimiento de materia seca de los forrajes; sin embargo, numéricamente el tratamiento de ensilado de maíz superó 132.4% (7657 kg MS/ha) a los tratamientos de ensilado de sorgo, a su vez ensilado de sorgo Top Green produjo 36.8% (1797.2 kg MS/ha) más materia seca que sorgo Caña dulce. El rendimiento de materia seca varió de 4.8 a 6.6 t/ha en sorgo y 13.4 t/ha en maíz, que es inferior a las 13 y 16.9 t MS/ha reportadas por Amer *et al.* (2012) y Bolaños-Aguilar *et al.* (2019) de 13.8 a 17.1 t MS/ha de ensilado de sorgo, donde, además, obtuvieran plantas más altas (171 a 202.5 cm) y una relación tallo/hoja similar a la obtenida en el ensilado de maíz (0.80) que fue el tratamiento con mayor rendimiento de materia seca de este estudio. Al momento de la cosecha (150 días), el tratamiento testigo presentó mayor altura de plantas (210 cm), seguido de Top Green (150 cm) y Caña dulce con el valor más bajo (120 cm), sin embargo, no se presentaron diferencias significativas para rendimiento de forraje y altura de las plantas entre cultivares ($P > 0.05$). Para todos los tratamientos la materia muerta contribuyó al rendimiento de forraje (t MS/ha) el 49% en promedio, el resto correspondió a la materia viva (51%) (arvenses (34%) + planta de sorgo (66%)). La contribución de arvenses, materia viva y materia muerta en la composición botánica entre tratamientos no fue variable ($P > 0.05$). La relación de tallos, hojas y panoja o mazorca proyectó un patrón de desarrollo similar entre los forrajes, la proporción de tallos en el Top Green, Caña dulce y el testigo fue 27:25:22; hojas 33:31:31 y panoja o mazorcas 40:44:48, respectivamente. La proporción de hojas y panoja/mazorca fue significativa entre los tratamientos ($P < 0.05$).

Tabla 1. Producción de forraje, altura, composición botánica y morfológica de los forrajes.

Variables	Tratamientos [∞]			EEM
	Top Green	Caña dulce	Ensilado Maíz	
Rendimiento de MS (t MS/ha)	6,682.0	4,884.0	13,440.0	4324.04 ^{NS}
Altura (m)	1.5	1.3	2.1	0.44 ^{NS}
Arvenses (g/Kg ⁻¹ MS)	188.5	178.9	0.0	98.17 ^{NS}
Cereal (planta completa de sorgo o maíz) (g/kg ⁻¹ MS)	334.4 ^b	379.3 ^a	460.1 ^a	62.81 [*]
Materia muerta (g/kg ⁻¹ MS)	477.2	441.8	539.9	64.57 ^{NS}
Materia viva (g/kg ⁻¹ MS)	522.9	558.2	460.1	62.11 ^{NS}
Tallos (g/kg ⁻¹ MS)	269.7	254.0	217.7	27.14 ^{NS}
Hojas (g/kg ⁻¹ MS)	329.1 ^a	311.8 ^a	306.9 ^b	10.84 [*]
Panoja/Mazorca (g/kg ⁻¹ MS)	401.1 ^b	434.2 ^a	475.4 ^a	36.46 [*]

[∞]Tratamientos: Top Green= 50 % ensilado de sorgo cv Top Green + 50% ensilado de maíz; Caña dulce= 50% ensilado de sorgo cv Caña Dulce + 50% ensilado de maíz; Ensilado Maíz= 100% ensilado de maíz cv Cenzontle; EEM= Error estándar de la media; NS ($P > 0.05$); * ($P < 0.05$).

En la Tabla 2 se observan las características nutricionales de los tratamientos. La concentración media de MS mostró un estado de madurez de las plantas homogéneo ($P>0.05$). De manera similar, los valores de MO, PB, FDN, FDA, DIVMS y EM no fueron diferentes ($P>0.05$), a excepción del valor medio de pH de los ensilados ($P<0.05$).

El contenido de MS de los ensilajes (>300 g/kg MS a los 150 días de cosecha) fue superior a lo reportado por Sabertanha *et al.* (2021) con 208 g/kg MS a 135 días y Bolaños-Aguilar *et al.* (2012) con 320 g/kg MS a 108 días; lo que indica que estas variaciones pueden deberse al estado fenológico de las plantas al momento del corte, a la variedad y a la relación de sus componentes morfológicos y botánicos (Gómez-Miranda *et al.*, 2022). Por otro lado, el bajo contenido de fibras (FDN y FDA) en el ensilado de maíz comparado con los ensilados de sorgo, probablemente estuvo relacionado con una mayor degradación de la pared celular en el proceso de ensilaje (hidrólisis ácida), que además influiría sobre la digestibilidad de la materia seca y la mayor ingesta de ensilado de maíz (Testigo) ($P<0.05$). El contenido de PB de todos los ensilados superó los 10 g/kg MS lo que indica un nivel adecuado de nitrógeno amoniacal para una actividad óptima del rumen. Para el contenido de energía metabolizable, ensilado de maíz fue ligeramente mayor que los ensilados de sorgo, debido a la mejor relación de grano en las plantas (almidón), por otra parte, aunque el pH entre los ensilados fue diferente

($P<0.05$) los valores medios obtenidos estuvieron dentro de los límites que caracterizan una fermentación deseable para la conservación del forraje (3.5 a 3.75) (Amer *et al.*, 2012; Sabertanha *et al.*, 2021).

Variables animales

La Tabla 3 muestra las variables de desempeño animal. La incorporación de ensilado de sorgo en la dieta numéricamente incrementó el contenido de grasa y el volumen de leche de las vacas comparado con el sistema de alimentación convencional (testigo) ($P>0.05$). Al respecto, la composición de la leche de los tratamientos rebaso los estándares de grasa y proteína establecidos en la norma mexicana NMX-F-700-COFOCALEC-2012 para leche cruda. De manera similar, la concentración de nitrógeno ureico en leche, el peso vivo e índice de condición corporal no se vieron afectados por los tratamientos ($P>0.05$).

Estos resultados muestran que las vacas alimentadas con forrajes y bajas cantidades de suplementación (dieta: 77% forraje; 23% concentrado) se producen buenos rendimientos de leche (22.6 kg/vaca d^{-1}) cuando los requerimientos de energía y proteína se satisfacen con forrajes de calidad (Heredia-Nava *et al.*, 2007). La efectividad de la inclusión del ensilado de sorgo se observó desde que el desempeño animal (rendimiento de leche, peso vivo y la condición corporal de los animales) se mantuvo constante a lo largo de los periodos experimentales. De acuerdo con

Tabla 2. Composición química de los tratamientos.

Periodo	1			2			3			EEM _T	EEM _{PE}	EEM _{T*PE}
Tratamiento	Top Green	Caña Dulce	Ensilado Maíz	Top Green	Caña Dulce	Ensilado Maíz	Top Green	Caña Dulce	Ensilado Maíz			
Componente (g/kg MS)												
Materia Seca	343.2	345.6	374.3	363.5	347.2	369.6	355.2	346.6	374.9	13.62 ^{NS}	3.02 ^{NS}	2.17 ^{NS}
Materia Orgánica	935.6	931.4	951.8	931.1	936.4	945.4	934.8	935.1	943.9	7.49 ^{NS}	1.06 ^{NS}	1.21 ^{NS}
Proteína Bruta	106.8	103.3	117.2	108.6	110.3	105	110.3	108.6	119	3.39 ^{NS}	2.44*	1.77*
Fibra detergente neutro	552.5	560.9	454.4	551.4	536.9	503.9	562.3	566.6	555.9	29.05 ^{NS}	20.59 ^{NS}	9.39*
Fibra detergente ácido	613.4	585.6	712	658.7	733.2	697.9	622.7	640	627.9	21.03 ^{NS}	18.16 ^{NS}	7.26*
Digestibilidad <i>in vitro</i> de materia seca	613.4	585.6	712	658.7	733.2	697.9	622.7	640	627.9	23.87 ^{NS}	36.52 ^{NS}	15.22*
Energía Metabolizable (MJ/kg MS)	9	8.6	10.6	9.7	10.9	10.4	9.2	9.5	9.3	0.37*	0.57 ^{NS}	0.23*
pH	3.9	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.8	3.8	0.05*	0.04 ^{NS}	0.01 ^{NS}

[∞]Tratamientos: Top Green= 50 % ensilado de sorgo cv Top Green + 50% ensilado de maíz; Caña dulce= 50% ensilado de sorgo cv Caña Dulce + 50% ensilado de maíz; Ensilado Maíz= 00% e1nsilado de maíz cv Cenzontle; EEM_T= Error estándar de la media de los tratamientos; EEM_{PE}= Error estándar de la media de los periodos experimentales; EEM_{T*PE}= Error estándar de la media de la interacción entre tratamientos y periodos experimentales; NS ($P>0.05$); * ($P<0.05$).

Tabla 3. Producción de leche, composición química de la leche, peso vivo e índice de condición corporal.

Variables	Tratamientos [∞]			EEM	Periodos experimentales			EEM
	Top Green	Caña dulce	Ensilado Maíz		PE1	PE2	PE3	
LC 3.5% (kg/d)	23.1	22.8	21.9	0.54 ^{NS}	23.0	22.6	22.1	0.54 ^{NS}
Grasa (g/kg)	40.5	40.8	39.3	0.90 ^{NS}	39.4 ^b	39.5 ^b	41.6 ^a	0.90*
Proteína (g/kg)	30.9	30.9	31.0	0.16 ^{NS}	30.7 ^b	31.0 ^a	31.1 ^a	0.16*
NUL (mg/dL)	11.0	10.8	11.6	0.51 ^{NS}	11.0	10.6	11.8	0.51 ^{NS}
PV (kg)	502.7	501.2	494.9	3.62 ^{NS}	503.7 ^a	494.2 ^b	500.8 ^a	3.62*
ICC (1-5)	2.9	2.9	2.8	0.04 ^{NS}	2.9	2.9	2.9	0.04 ^{NS}
Eficiencia alimenticia	1.6 ^a	1.5 ^b	1.3 ^c	0.04*	1.5	1.5	1.5	0.04 ^{NS}

[∞]Tratamientos: Top Green= 50 % ensilado de sorgo cv Top Green + 50% ensilado de maíz; Caña dulce= 50% ensilado de sorgo cv Caña Dulce + 50% ensilado de maíz; Ensilado Maíz= 100% ensilado de maíz cv Cenzontle; LC 3.5%= Leche corregida en grasa al 3.5%; NUL= Nitrógeno ureico en leche; PV= Peso vivo; ICC= Índice de condición corporal; PE= Periodo experimental; EEM= Error estándar de la media; NS (P>0.05); *(P<0.05).

lo reportado por Sainz-Ramírez *et al.* (2021), podemos afirmar que no solo el nivel de concentrado influye en la producción de leche sino también en la cantidad y la calidad del forraje suministrado.

El rendimiento medio de leche en este estudio (22.6 kg/vaca/d) fue superior a lo reportado en el Salvador por Castro-Montoya *et al.* (2018) con ensilado de sorgo (19.4 kg/vaca/d) o ensilado de sorgo con haba (20.8 kg/vaca/d), y a los reportados en el área de estudio por Sainz-Ramírez *et al.* (2021) con ensilados de maíz (15.6 kg/vaca/d) o maíz con girasol (18.9 kg/vaca/d) y a los 15.5 kg/vaca/d observados por Celis-Alvarez *et al.* (2016) con ensilado de ryegrass, avena y maíz. Así, la producción de leche de las vacas de este estudio se encuentra dentro de los parámetros habituales (14 a 20 kg de leche/vaca/día) de los sistemas de producción de leche de pequeña escala (Heredia Nava *et al.*, 2017; Celis-Alvarez *et al.*, 2021). De acuerdo con los efectos de las dietas sobre el consumo de materia seca, el aumento de la proporción de forraje en la alimentación, tiende a aumentar el contenido de grasa de la leche, probablemente debido a la producción de acetato a partir de la degradación de las fibras (Castro-Montoya *et al.*, 2018; Gómez-Miranda *et al.*, 2020). La concentración media de nitrógeno ureico en leche (NUL) fue de 11 mg/dL, los valores observados (10.8 a 11.6 mg/dL) se encuentran dentro de las concentraciones típicas de 8.5 a 11.5 mg/dL reportados por López-González *et al.* (2017) y Gómez-Miranda *et al.* (2022) que indican una adecuada nutrición proteica del ganado lechero con estrategias de alimentación convencionales.

En términos de rendimiento de los componentes de la leche, Ran *et al.* (2021) reportan valores medios semejantes, (38.0 g/kg de grasa y 30.0 g/kg de proteína en leche) con diferentes niveles de sustitución del ensilado de maíz con ensilado de sorgo, así como a los reportados por Morales *et al.* (2014) de vacas en pastoreo suplementadas con altas cantidades de

ensilado de maíz (40.2 g/kg grasa y 32.9 g/kg proteína en leche). Además, las diferencias en la producción y composición de la leche pueden deberse en su mayoría a la etapa de lactación, al mérito genético de los animales y a la calidad de la dieta (Sainz-Sánchez *et al.*, 2017; Vega-García *et al.*, 2021).

La falta de diferencias significativas para peso vivo e índice de condición corporal puede ser explicado por la baja movilización de reservas corporales durante el experimento lo que refleja un efecto positivo del uso y calidad de la dieta (Morales *et al.*, 2014). Otra razón por lo cual no existen diferencias significativas es porque las dietas son similares en cuanto a la composición química (Bargo *et al.*, 2022). La eficiencia alimenticia presentó diferencias significativas (P<0.05), las vacas alimentadas con sorgo variedad caña dulce fue el que obtuvo una mayor eficiencia alimenticia comparado con los otros dos tratamientos.

La Tabla 4 muestra el consumo voluntario de los animales de acuerdo al tratamiento. El consumo total de materia seca fue diferente entre tratamientos (P<0.05), el mayor rechazo de ensilado fue con Top Green y el más bajo para el testigo (P<0.05). La asignación de suplementos fue la misma para todas las vacas sin rechazos. No hubo diferencias significativas (P>0.05) entre periodos experimentales.

Aunque no hubo diferencias significativas en la producción de leche, el consumo total de materia seca reflejó variaciones, lo que implica que la calidad del forraje consumido fue suficiente para producir rendimientos de leche similares entre los tratamientos, probablemente, debido a la composición nutricional similar entre las dietas (Castro-Montoya *et al.*, 2018). El consumo estimado de materia seca total estuvo en el rango de otros estudios (proporcional al 3% del peso vivo) (Albarrán *et al.*, 2012; Gómez-Miranda *et al.*, 2020).

Tabla 4. Consumo estimado de alimento (kg MS/vaca/d).

Variables	Tratamientos [∞]			EEM	Periodos experimentales			EEM
	Top Green	Caña dulce	Ensilado Maíz		PE1	PE2	PE3	
Concentrado	3.7	3.7	3.7		3.7	3.7	3.7	
Alfalfa	2.4	2.4	2.4		2.4	2.4	2.4	
Consumo de ensilado	7.8 ^c	8.4 ^b	9.6 ^a	0.15*	8.6	8.5	8.6	0.15 ^{NS}
Rechazo de ensilado	2.2 ^a	1.6 ^b	0.4 ^c	0.15*	1.4	1.5	1.4	0.15 ^{NS}
Consumo total	13.9 ^c	14.4 ^b	15.6 ^a	0.16*	14.7	14.5	14.7	0.16 ^{NS}

[∞]Tratamientos: Top Green= 50 % ensilado de sorgo cv Top Green + 50% ensilado de maíz; Caña dulce= 50% ensilado de sorgo cv Caña Dulce + 50% ensilado de maíz; Ensilado Maíz= 100% ensilado de maíz cv Cenzontle; EEM= Error estándar de la media; NS (P>0.05); *(P<0.05).

La evaluación económica se presenta en la Tabla 5. Los parámetros económicos develaron una ventaja del uso del ensilado de sorgo sobre los ingresos (3%) por un aumento de la productividad de leche comparado con el testigo, pero, menores márgenes de rentabilidad expresado como la relación ingresos sobre costos de alimentación, influenciado por el bajo rendimiento de materia seca por hectárea del sorgo, y a los gastos de suplementación por concentrados, que reflejaron el 45% de los costos totales de producción.

Examinar el comportamiento de los costos e ingresos, aporta elementos para analizar estrategias que

permitan disminuir los costos de producción y aumentar el grado de rentabilidad de la unidad de producción. En términos de sostenibilidad, Prospero-Bernal *et al.* (2018) y Sainz-Ramírez *et al.* (2021), documentaron como la implementación de estrategias de alimentación basadas en el uso de forrajes de calidad, representan una mejora significativa en la rentabilidad de los sistemas a medida que su uso se optimiza. Bajo esta situación, el ensilado representa una fuente de nutrientes de bajo costo para la alimentación del hato con la posibilidad de producir rendimientos de leche moderados.

Tabla 5. Análisis económico de los tratamientos (MXN)

	Tratamientos [∞]		
	Top Green	Caña dulce	Ensilado Maíz
Concentrados (\$)	4,254.59	4,254.59	4,254.59
Alfalfa (\$)	1,568.80	1,568.80	1,568.80
Ensilados (\$)	3,411.94	4,537.36	2,696.57
Costo total de alimentación (\$)	9,235.33	10,360.75	8,519.96
Producción de leche (42 d) (kg)	2,692.20	2,649.50	2,583.70
Costo producción kg de leche (\$/kg leche)	3.43	3.91	3.30
Precio de la leche (\$/kg leche)	8.04	8.04	8.04
Ingresos por venta de leche (\$)	21,645.56	21,302.24	20,773.21
Margen sobre los costos de alimentación (\$)	12,410.23	10,941.50	12,253.25
Margen por kg de leche (\$/kg leche)	4.61	4.13	4.74
Ingresos sobre costos de alimentación (\$)	2.34	2.06	2.44

[∞]Tratamientos: Top Green= 50 % ensilado de sorgo cv Top Green + 50% ensilado de maíz; Caña dulce= 50% ensilado de sorgo cv Caña Dulce + 50% ensilado de maíz; Ensilado Maíz= 100% ensilado de maíz cv Cenzontle.

CONCLUSIONES

La respuesta productiva de los bovinos alimentados con ensilados de sorgo presentaron rendimientos y composición nutricional de la leche similares al ensilado de maíz, esto significa que en términos generales el sorgo podría sustituir al maíz en circunstancias desfavorables relacionadas con el cambio climático; asociado a las fluctuaciones térmicas y pluviométricas actuales, debido a su rusticidad, sin embargo, este trabajo promueve el

desarrollo de más estudios locales que demuestren el comportamiento productivo de las distintas variedades de sorgo. Por otra parte, el rendimiento de maíz como recurso forrajero, continúa siendo la mejor alternativa, siempre y cuando las condiciones climatológicas lo permitan.

Acknowledgements. To the participating farmer for allowing us to work on his small-scale dairy farm in the central highlands of Mexico. We also thank the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología for the

postgraduate scholarship awarded to Melchor Rosas Davila.

Funding. The work was funded for Universidad Autónoma del Estado de México, with the project registration number 6217/2020CID.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflict of interest.

Compliance with ethical standards. Statement on ethical standards and animal rights. The on-farm experimental work involved the use of food-producing animals under the consent of the producer. Experimental procedures were approved by the ethics and animal welfare committee of the Universidad Autónoma del Estado de México. Approval number DICARM-1623.

Data availability. Data are available from the correspondence author on request.

Author contribution statement (CRediT). **M. Rosas Dávila**, writing original, draft and methodology, validation, and data curation. **E. Morales-Almaraz**, writing-review and editing, supervision and validation. **F. López-González**, conceptualization, writing-review and editing, methodology. **C.M. Arriaga-Jordán**, conceptualization, writing-review and editing, supervision and validation.

REFERENCES

- Albarrán, B., García, A., Espinosa, A., Espinosa, E. and Arriaga, C.M., 2012. Maize silage the dry season for grazing dairy cows in small-scale production systems in Mexico's highlands. *Indian Journal Animal Research*, 46(4), pp. 317-324.
- Amer, S., Hassanat, F., Berthiaume, R., Seguin, P. and Mustafa, A.F., 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, pp. 23-29. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.024>
- Ankom Technology., 2020. Analytical methods and support for fiber and in vitro Analysis. Available online: <http://www.ankom.com>.
- Bargo, F., Muller, L.D., Delahoy J.E. and Cassidy T.W., 2002. Milk Response to Concentrate Supplementation of High Producing Dairy Cows Grazing at Two Pasture Allowances. *Journal of Dairy Science*, 85, pp. 1777-1792.
- Bolaños-Aguilar, E.D., Claude-Emile, J. and Audebert, G., 2012. Yield and quality of sorghum hybrids with and without brown midrib. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3 (2), pp. 441-449.
- Castro-Montoya, J.M., García, R.A., Ramos, R.A., Flores, J.M., Alas, E.A. and Corea, E.E., 2018. Dairy cows fed on tropical legume forages: effects on milk yield, nutrients use efficiency and profitability. *Tropical Animal Health and Production*, 50(4), pp. 837-843. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1505-3>
- Chaney, A.L. and Marbach, E.P., 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry*, 8, pp. 130-132.
- Colombini, S., Galassi, G., Crovetto, G.M. and Rapetti, L., 2012. Milk production, nitrogen balance, and fiber digestibility prediction of corn, whole plant grain sorghum, and forage sorghum silages in the dairy cow. *Journal Dairy Science*, 95, pp. 4457-4467. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4444>
- Dillon, J. and Hardaker, J. B., 1980. *Farm management Research for Small Farmer Development*, FAO Agricultural Services Bulletin 41, Food and Agriculture Organization (FAO), Rome, Italy.
- Edmonson, A. J., Lean, I. J., Weaver, L. D., Farver, T. and Webster G. 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 72, pp. 68-78. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79081-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79081-0)
- Gómez-Miranda, A., Estrada-Flores, J.G., Morales-Almaraz, E., López-González, F., Flores-Calvete, G. and Arriaga-Jordán, C.M., 2020. Barley or black oat silages in feeding strategies for small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Canadian Journal of Animal Science*, 100(2), pp. 221-227. <https://doi.org/10.1139/cjas-2018-0237>
- Gómez-Miranda, A., López-González, F., Vieyra-Alberto, R. and Arriaga-Jordán, C.M., 2022. Grazed barley for dairy cows in small-scale systems in the highlands of Mexico. *Italian Journal of Animal Science*, 21, pp. 178-187. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.2022540>

- Heredia-Nava, D., Espinoza-Ortega, A., González-Esquivel, C.E. and Arriaga-Jordán, C.M., 2007. Feeding strategies for small-scale dairy systems based on perennial (*Lolium perenne*) or annual (*Lolium multiflorum*) ryegrass in the central highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 39, pp. 179-188.
- Hernandez-Mendo, O. and Leaver, J.D., 2004. Effect of replacing time available for grazing with time available for eating maize silage and soyabean meal on milk yield and feeding behavior in dairy cows. *Grass and Forage Science*, 59, pp. 318-330. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2004.00434.x>
- INEGI, 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010 Aculco México.
- López-González, F., Rosas-Dávila, M., Celis-Alvarez, M.D., Morales-Almaráz, E., Domínguez-Vara, I.A. and Arriaga-Jordán, C.M., 2017. Milk production under grazing of different pasture grasses in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *Journal of Livestock Science*, 8, pp. 92-97.
- Mackie, T.R., Bryant, A.M., Petch, S.F., Hill, J.P. and Auldist, M.J., 1999. Nutritional Influences on the Composition of Milk from Cows of Different Protein Phenotypes in New Zealand. *Journal of Dairy Science*, 82, pp. 172-180. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75221-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75221-5)
- McCary, C.L., Vyas, D., Faciola, A.P. and Ferraretto, L.F., 2020. Graduate student literature review: Current perspectives on whole-plant sorghum silage production and utilization by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103, pp. 5783-5790. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-18122>
- Morales, A., Grob, D., Balocchi, O. and Pulido, R., 2014. Productive and metabolic response to two levels of corn silage supplementation in grazing dairy in early lactation during autumn. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(2), pp.205-212. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392014000200012>
- Pereira-Candido, E., Cavalcanti-Pimenta Filho, E., Gonzaga-Neto, S., Mauro-Santos, E., Paulino de Moura, J.F. and Valença-Bispo, S., 2014. Sorghum silage production system in Cariri, Paraíba. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 43(6), pp. 336-342. <https://doi.org/10.1590/rbz.v43n6.20130101>
- Plata-Reyes, D.A., Martínez-García, C.G., Hernández-Mendo, O. and Arriaga-Jordán, C.M., 2023. Dynamics of tall fescue (*Festuca arundinacea*) and Kikuyo grass (*Cenchrus clandestinus*) pastures associated white clover (*Trifolium repens*) in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *African Journal of Range and Forage Science*, pp. 1-13. <https://doi.org/10.2989/10220119.2022.2144946>
- Posadas-Domínguez, R.R., Del Razo-Rodríguez, O.E., Almaraz-Buendía, I., Pelaez-Acero, A., Espinosa-Muñoz, V., Rebollar-Rebollar, S. and Salinas-Martínez, J.A., 2018. Evaluation of comparative advantages in the profitability and competitiveness of small-scale dairy systems of Tulancingo Valley, Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 50(5), pp. 947-856. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1516-8>
- Prospero-Bernal, F., Martínez-García, C.G., Olea-Pérez, R., López-González, F. and Arriaga-Jordán, C.M., 2017. Intensive grazing and maize silage to enhance the sustainability of small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 49(7), pp. 1537-1544. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1360-2>
- Ran, T., Tang, S.X., Yu, X., Hou, Z.P., Hou, F.J., Beauchemin, K.A., Yang, W.Z. and Wu, D.Q., 2021. Diets varying in ratio of sweet sorghum silage to corn silage for lactating dairy cows: Feed intake, milk production, blood biochemistry, ruminal fermentation, and ruminal microbial community. *Journal of Dairy Science*, 104(12), pp.12600-12615. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20408>
- Robles-Jiménez, L.E., Rosas-Dávila, M., Osorio-Avalos, J., Juventino-Chay Canul, A., Palacios-Riocerezo, C., Castelan-Ortega, O.A. and Gonzalez-Ronquillo, M., 2021a. Evaluation of Mexican native and hybrid maize (*Zea Mays*) silages for sustainable milk production. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(3), pp. 124. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3782>
- Robles-Jiménez, L.E., Xochitemol-Hernández, A., Benaouda, M., Osorio-Avalos, J., Corona, L., Castillo-Gallegos, E., Castelan-Ortega, O.A. and Gonzalez-Ronquillo, M., 2021b. <https://doi.org/10.1590/rbz.v43n6.20130101>

- Concentrate supplementation on milk yield, methane and CO₂ production in crossbred dairy cows grazing in tropical climate regions. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 9(2), pp. 2118. <http://dx.doi.org/10.31893/jabb.21018>
- Rosas-Dávila, M., Estrada-Flores, J.G., López-González, F. and Arriaga-Jordan, C.M., 2020. Endophyte free tall fescue pastures for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *Indian Journal of Animal Sciences*, 90(5), pp. 778-783. <https://doi.org/10.56093/ijans.v90i5.104631>
- Sabertanha, E., Rouzbehan, Y., Fazaeli, H. and Rezaei, J., 2021. Nutritive value of sorghum silage for sheep. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105(6), pp. 1034-1045. <https://doi.org/10.1111/jpn.13548>
- Sainz-Ramírez, A., Velarde-Guillén, J., Estrada-Flores, J.G. and Arriaga-Jordán, C. M., 2021. Productive, economic, and environmental effects of sunflower (*Helianthus annuus*) silage for dairy cows in small-scale systems in central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 53(2), pp.256. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02708-0>
- Vega-García, J.I., López-González, F., Estrada-Flores, J.G., Flores-Calvete, G., Prospero-Bernal, F. and Arriaga-Jordán, C.M., 2020. Black oat (*Avena strigosa* Schreb.) grazing or silage for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. Part I. Crop and dairy cow performance. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 80(4), pp. 515-525. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000400515>
- Yang, Y., Ferreira, G., Corl, B.A. and Campbell, B.T., 2019. Production performance, nutrient digestibility, and milk fatty acid profile of lactating dairy cows fed corn silage or sorghum silage-based diets with without xylanase supplementation. *Journal of Dairy Science*. 102, pp. 2266-2274. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15801>