



EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA PRODUCTIVA DE VACAS EN PASTOREO SUPLEMENTADAS CON DOS VARIEDADES DE SORGO ENSILADO, EN LA ÉPOCA DE ESTIAJE EN EL SUROESTE DEL ESTADO DE MÉXICO †

[EVALUATION OF THE PRODUCTIVE RESPONSE OF GRAZING COWS WITH TWO VARIETIES OF SORGHUM SILAGE SUPPLEMENTED DURING THE DRY SEASON IN THE SOUTHWEST OF THE STATE OF MEXICO]

Azael Brito-Navarro¹, Anastacio García-Martínez¹, Carlos M. Arriaga Jordán², Felipe López-González², Sherezada Esparza Jiménez¹ and Benito Albarrán-Portillo^{1*}

¹ Centro Universitario UAEM Temascaltepec, Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca - Tejupilco Km. 67.5, Barrio de Santiago, 51300 Temascaltepec de González, México. Tel. (716) 2665209. Emails: britoazael036@gmail.com; agarciam@uaemex.mx; sesparzaj@uaemex.mx; balbarranp@uaemex.mx*

² Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Universidad Autónoma del Estado de México. Campus "El Cerillo Piedras Blancas" Toluca, Estado de México, México. CP 50090. Tel. (722) 2965552. Emails cmarriagaj@uaemex.mx; flopezg@uaemex.mx

*Corresponding author

SUMMARY

Background. The southwestern region of the state of Mexico is an area with a livestock vocation. Cattle graze grasslands dominated by African Star (EA) grass (*Cynodon plectostachyus*) with scattered trees. In the dry season and due to the lack of forage of adequate quality and quantity, farmers use grain-based supplements. Forage conservation practices are little practiced. **Objective.** To evaluate two varieties of sorghum silage in the productive response of dual-purpose cows in the dry season. **Methodology.** 12 multiparous cows of different racial composition (GR) were used Holstein (H), Brown Swiss (PS), Girolando (GI), Beefmaster (BM) and Brahman x PS (BPS), at different stages of lactation (early, medium and late), divided into two groups with the same number of cows, randomly assigning sorghum silages of the Top Green (TG) or Sweet Cane (CD) variety (treatment (TX)), 1.7 and 1.8 kg of matter dry (DM) cow/day, respectively. In addition, the cows received 5 kg DM cow/day of a balanced concentrate of 18% crude protein (CP). The cows grazed during the day in pastures dominated by EA grass with scattered trees. The experiment lasted 8 weeks, two weeks of habituation period and six weeks (experimental periods (EP)) for sampling and recording of productive variables. **Results.** There were no significant differences ($P > 0.05$) in the productive response due to the variety of sorghum silage, racial group, or lactation stage. Significant differences were detected in dry matter intake (kg/cow/day), milk yield (kg/cow/day), weight and weight change (kg), due to PE. The lactation stage had no significant effect on the response variables ($P > 0.05$), except on DM intake. The TX*PE interaction had no effect on the productive response variables, while the GR*PE interaction had significant effects on CMS, weight and weight change. **Implications.** Knowledge of other forage species conserved as silages, alternatives to corn in the supplementation of dairy cattle, contributes to the development of supplementation strategies less susceptible to current climatic variations. **Conclusion.** The silage of two varieties of sorghum, Top Green or Caña Dulce, did not have significant differences in the productive response of lactating cows in the dry season. The Top Green variety produced 22% more dry matter than the Caña Dulce variety, so under the conditions in which the experiment was carried out it would be the most recommended variety to grow as a forage supplement.

Key words: Feeding strategy; dual purpose cows; non-conventional forage; dry season.

† Submitted October 19, 2023 – Accepted July 5, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5215>



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

ISSN: 1870-0462.

ORCID = A. García-Martínez: <https://orcid.org/0000-0001-8021-5412>; C.M. Arriaga-Jordán: <https://orcid.org/0000-0002-6140-0847>; F. López-González: <https://orcid.org/0000-0002-5518-5458>; S. Esparza-Jiménez: <https://orcid.org/0000-0003-4413-7079>; B. Albarrán Portillo: <https://orcid.org/0000-0001-9807-8452>

RESUMEN

Antecedentes. La región suroeste del estado de México es una zona de vocación ganadera. Los bovinos pastorean praderas dominadas por pasto Estrella de África (EA) (*Cynodon plectostachyus*) con árboles dispersos. En la época de estiaje y ante la falta de forraje de calidad y cantidad adecuada, los productores utilizan suplementos basados en granos. Las prácticas de conservación de forrajes son poco practicadas. **Objetivo.** Evaluar dos variedades de sorgo forrajero ensilado en la respuesta productiva de vacas de doble propósito en la época de estiaje. **Metodología.** Se utilizaron 12 vacas multíparas de diferente composición racial (GR) (Holstein (H), Pardo Suizo (PS), Girolando (GI), Beefmaster (BM) y Brahman x PS (BPS), en diferentes etapas de lactación (temprana, media y tardía), divididas en dos grupos con el mismo número de vacas, asignando al azar los ensilados de sorgo de la variedad Top Green (TG) o Caña Dulce (CD) (tratamiento (TX)) (1.7 y 1.8 kg de materia seca (MS) vaca/día, respectivamente). Además, las vacas recibieron 4 kg MS vaca/día de un concentrado balanceado al 18% de proteína cruda (PC). Las vacas pastorearon durante el día una pradera dominada por pasto EA con árboles dispersos. El experimento duró 8 semanas, dos semanas de periodo de acostumbramiento y seis semanas (periodos experimentales (PE)) para la toma de muestras y registro de variables productiva. **Resultados.** No existieron diferencias significativas ($P > 0.05$) en la respuesta productiva debida a la variedad de ensilado de sorgo, grupo racial o etapa de lactación. Se detectaron diferencias significativas en el consumo de materia seca (kg/vaca/día), rendimiento de leche (kg/vaca/día), peso y cambio de peso (kg), debido a PE. La etapa de lactación no tuvo efecto significativo sobre las variables de respuesta ($P > 0.05$), excepto sobre consumo de MS. La interacción TX*PE no tuvo efecto sobre las variables de respuesta productiva, mientras que la interacción GR*PE tuvo efectos significativos sobre CMS, peso y cambio de peso. **Implicaciones.** El conocimiento de otras especies forrajeras conservadas como ensilajes, alternativas al maíz en la suplementación de ganado lechero, contribuye al desarrollo de estrategias de suplementación menos susceptibles a las variaciones climáticas actuales. **Conclusión.** El ensilado de dos variedades de sorgo Top Green o Caña Dulce, no tuvo diferencias significativas en la respuesta productiva de vacas en lactación en la época de estiaje. La variedad Top Green produjo 22% mayor materia seca que la variedad Caña Dulce, por lo que bajo las condiciones en las que se realizó el experimento sería la variedad más recomendable para cultivar como suplemento forrajero.

Palabras clave: Estrategias de alimentación; vacas de doble propósito; forrajes alternativos; época de estiaje.

INTRODUCCIÓN

El ensilado de maíz (*Zea mays*) es ampliamente utilizado como forraje conservado en las dietas de ganado lechero tanto en sistemas intensivos (Koenig *et al.*, 2023), como en pequeñas unidades de producción de bovinos en México (Rosas-Dávila *et al.*, 2024). Sin embargo, el cultivo de maíz es susceptible a déficit hídrico lo cual afecta negativamente la productividad del cultivo, así como como el valor nutricional (Avenidaño-Arrazate *et al.*, 2008). El sorgo (*Sorghum bicolor*), es una adecuada alternativa forrajera al cultivo de maíz para la utilización como forraje conservado en la alimentación de ganado lechero, debido a su adaptación a suelos menos deseables para el cultivo de maíz, uso más eficiente del agua, mayor flexibilidad en los tiempos de establecimiento, y alta tolerancia a la sequía en comparación con el cultivo de maíz (Marsalis *et al.*, 2009). Existen factores como especie, variedad, nivel de fertilización, disponibilidad de agua, etapa de cosecha, condiciones ambientales durante el desarrollo del cultivo de sorgo que influyen sobre el rendimiento productivo y valor nutricional del sorgo (Nava-Berumen *et al.*, 2017).

El sorgo (*Sorghum bicolor*) es el tercer grano en importancia utilizado en la alimentación animal después del maíz y del mijo; siendo México el quinto productor mundial de sorgo con 4.37 millones de toneladas en el año 2021 (FAOSTAT, 2021). El sorgo, es utilizado principalmente en la elaboración de

alimentos balanceados en la alimentación animal, y en menor medida para la elaboración de galletas y pan de consumo humano (SIAP-SAGARPA, 2023).

En general, el cultivo de maíz bajo condiciones climáticas favorables produce una mayor cantidad de forraje y de un mejor valor nutricional en comparación con el ensilado de sorgo. El ensilado de maíz (Em) contiene una mayor cantidad de almidón, lo cual resulta en una mayor digestibilidad y contenido de energía metabolizable (McCary *et al.*, 2020), en comparación con el sorgo. Por otro lado, el ensilado de sorgo (Es) contiene mayores concentraciones de fibra detergente neutro (FDN), lignina y cenizas en comparación con el Em. Reportes de investigación indican que, bajo condiciones ambientales adversas como bajas precipitaciones, se han obtenido mayores rendimientos de materia seca del cultivo de sorgo forrajero (23 t/MS/ha), en comparación con el cultivo de maíz (15.5 t/MS/ha) (Alix *et al.*, 2019).

Reportes de investigación indican que el sorgo forrajero tiene un adecuado potencial como sustituto del maíz en la dieta de vacas lecheras. Al respecto Cattani *et al.* (2017) compararon el valor nutricional de Em con Es. El Em fue superior al Es en carbohidratos solubles y almidón; por el contrario, el Es tuvo mayores concentraciones de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina detergente ácido (LDA), y ácidos grasos saturados, que el Em. En cuanto a la respuesta animal. Las vacas que

consumieron Es produjeron significativamente menos leche (6%) que las vacas que consumieron Em; mientras que en cuanto a concentración de grasa, proteína y lactosa no existieron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las vacas que consumieron Em vs Es. Por lo que los autores concluyeron que el Es tiene potencial como forraje sustituto al Em en la dieta de vacas lecheras.

Existe poca información sobre la respuesta productiva de vacas lecheras a la suplementación y/o remplazo de ensilado de maíz con ensilado de sorgo. Al respecto Sánchez-Duarte *et al.* (2019), realizó un meta-análisis con un número limitado de artículos ($n = 9$) publicados entre 1984 y 2015 en bases de datos internacionales, sobre el efecto del remplazo de Em con ensilados de sorgos híbridos dulces, indicando inconsistencias en cuanto al efecto del tipo de ensilado (Em vs Es) sobre el consumo de materia seca de vacas en lactación; mientras que en cuanto a producción de leche, esta no se vio afectada por el remplazo de Em con Es en la dieta de las vacas. En México, existen un número importante de publicaciones sobre rendimientos productivos y características nutricionales de sorgo como Berumen *et al.* (2017), Ruz-Reyes y Romero-Arias (2018) y Granados-Niño *et al.* (2021) por citar solo algunas; mientras que las publicaciones de la utilización de ensilado de sorgo en la alimentación de ganado lechero son escasas (Rosas-Dávila *et al.*, 2024).

La región suroeste del Estado de México es una zona de ganadera por excelencia, que al igual que otras regiones del país depende del temporal para el establecimiento de cultivos y producción de forrajes. El incremento en la temperatura ambiental y la disminución en las precipitaciones son factores que afectan los rendimientos de cultivos como el maíz (Vences-Pérez *et al.*, 2021); ante estos escenarios, es importante evaluar alternativas forrajeras como el sorgo que sean resilientes a condiciones ambientales adversa, con un buen potencial forrajero y adecuado valor nutricional.

A pesar de que existen múltiples evidencias de las ventajas de métodos de conservación de forrajes como el ensilaje, la adopción de esta tecnología es poco adoptada por productores pecuarios (Chiambiro *et al.*, 2022). Se mencionan como factores asociados a la baja adopción del uso de sorgo forrajero el precio de la semilla, falta de asistencia técnica, disponibilidad y facilidad de adquisición de semilla, capacitación, aspectos socioeconómicos de los productores (edad, experiencia en la actividad pecuaria y número de integrantes de familia), maquinaria, además del nivel de especialización de la actividad productiva y la disponibilidad de infraestructura (Cuevas-Reyes *et al.*, 2021).

En el municipio de Amatepec que se encuentra en la región suroeste del Estado de México al igual que en la mayor parte de la región, no existe una tradición de conservación de cultivos forrajeros para ser utilizados en la época de estiaje. La forma más difundida de conservación de forrajes en la región es dejar el forraje en pie en los pastizales y potreros para ser consumido por el ganado en la época de estiaje, con la consiguiente pérdida de valor nutricional. Además de lo mencionado por Cuevas-Reyes *et al.* (2021), los principales factores que determinan que no se realicen prácticas de conservación de forrajes son la falta de maquinaria adecuada para el proceso de picado, la falta de recurso económico para cubrir los gastos, así como condiciones agroecológicas limitantes (suelos pobres con pendientes pronunciadas, falta de agua, altas temperaturas etc.) (Albarrán-Portillo *et al.*, 2015; 2019).

Por lo tanto, el objetivo de estudio fue determinar la producción de forraje (kg/MS/ha) y composición química de dos variedades de sorgo forrajero Top Green (TG) y Caña Dulce (CD), y la respuesta productiva a la suplementación en vacas en pastoreo en la época de estiaje en una unidad de producción de doble propósito en el suroeste del Estado de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el Municipio de Amatepec en el suroeste del Estado de México, con las siguientes coordenadas $18^{\circ} 35' - 18^{\circ} 48'$ de latitud norte y $100^{\circ} 00' - 100^{\circ} 30'$ de longitud oeste. La altitud promedio es de 1,598 fluctuando entre los 500 y los 2,400 m.s.n.m. Es clima es subtropical cálido subhúmedo, la temperatura anual promedio es 23°C , con máximas de 31°C y mínimas de 15°C , y una precipitación anual promedio de 1,115 mm de lluvia de junio a octubre (SMN, 2020). La orografía es accidentada con barrancas profundas cuyas pendientes son $> a 20\%$.

Unidad de producción participante

La unidad de producción (UP) participante cuenta con un hato de 18 vacas destinadas a la producción de leche de raza Holstein (H), Pardo Suizo (PD), Beefmaster (BM), Girolando (G) y cruza Brahman x Pardo Suizo (F1). Las vacas fueron alojadas en corrales por la noche, mientras que durante el día pastorean en potreros contiguos a los corrales. La ordeña se realiza una sola vez al día de 6:00 a 7:30 a.m. El ordeño fue manual y durante la ordeña las vacas reciben 4 kg de suplemento de un concentrado comercial con un contenido de 18% de proteína cruda (PC). Después de la ordeña las vacas salían a pastorear en praderas dominadas por pasto Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*), con árboles dispersos de diferentes

especies, varios de los cuáles son utilizados como fuente de forraje alternativo para los animales, constituyendo un sistema agrosilvopastoril.

Establecimiento del sorgo

La siembra se realizó el día 17 de julio del 2022 en dos parcelas contiguas de 1.0 ha cada una, en ladera con pendiente pronunciada (> 20%), con una densidad de siembra de 24 kg/ha de semilla. Las variedades (Tratamientos) de sorgo evaluadas fueron Top Green (TG) y Caña dulce (CD) de la marca Berentsen ®. Las labores de establecimiento (preparación de la tierra y siembra), mantenimiento del cultivo (deshierbe y fertilización), así como de cosecha se realizaron de forma manual, debido a la falta de maquinaria, así como a las difíciles condiciones del suelo.

Alrededor del día 80 de establecimiento se inició con el monitoreo del contenido de materia seca (MS) tomando una muestra de 35 plantas a azar en dos puntos de las parcelas. Las plantas se pesaron y se picaron para secar a una temperatura de 60°C por 24 h en una estufa de aire forzado. Cuando el contenido de MS de los cultivos se encontraba cercano a 33% se procedió a realizar el corte, acarreo y picado del forraje para ser ensilado.

Estimaciones de rendimiento del sorgo y toma de muestras

Se realizaron muestreos en los cultivos de sorgo para determinar el rendimiento de materia seca de cada variedad de sorgo siguiendo el procedimiento descrito por Rosas-Dávila *et al.* (2024). De manera general, se realizaron al azar tres muestreos por subparcela (tres subparcelas por cultivo), de 1 metro lineal a 20 cm del suelo, y se calculó el peso fresco (g MS/kg materia fresca) de cada muestra, y se multiplicó por el número de metros lineales por ha. Adicionalmente, se registró la altura (cm) promedio de 90 plantas por variedad de sorgo.

Proceso de ensilado

El proceso de ensilaje inició el día 24 de octubre cuando el cultivo tenía 99 días. El proceso inició con el corte manual de las plantas y su almacenamiento en un terreno plano. El proceso de corte y acarreo duró dos días, posteriormente se picó el forraje colocándolo a ras de suelo para ser compactado con tractor y posteriormente tapado con plástico negro de 600 micras de grosor. Los ensilados se destaparon el día 20 de marzo a los 147 días post sellado del silo. No fueron utilizados aditivos en los ensilados.

Vacas experimentales

De 18 vacas en el hato se seleccionaron 12 vacas múltiparas en lactación, las cuáles se asignaron al azar a dos grupos; grupo 1 (G1) y grupo 2 (G2), con mismo número de vacas. El número de partos fue de 2.0 ± 1 (Promedio, \pm desviación estándar), días en lactación 270 ± 195 , peso (kg) 503 ± 7 kg y, rendimiento de leche (kg/día) 9.0 ± 3 .

La composición racial de las vacas experimentales del G1 fue Pardo Suizo (n = 2), Girolando (n = 2), Beefmaster (n = 1), y Brahman x Pardo Suizo (F1) (n = 1). Grupo 2 Girolando (n = 1), Holstein (n = 3), Pardo Suizo (n = 2). Para el análisis estadístico del factor raza se crearon dos clases, la raza Pardo Suizo y Holstein fueron codificadas como Europeo, el resto se codificó como Cebú. Se crearon tres clases para la etapa de lactación siendo temprana (LTE) con 62 ± 39 , media (LME) 187 ± 13 y tardía (LTA) con 428 ± 192 días.

Tratamientos y manejo de los animales

Las variedades de sorgo ensilado Top Green (TG) y Caña Dulce (CD) se asignaron al azar a los grupos de vacas. El ES se suministró diariamente en comederos dentro de los potreros a las 12:00 h todos los días a cada grupo de vacas. Al inicio del periodo de acostumbramiento se suministró en ES a libre acceso a los grupos de vacas. Al final de los primeros tres días del periodo de acostumbramiento, se pesaron los rechazos para hacer ajustes a la cantidad de ES ofrecida al siguiente día y, evitar desperdicio de ensilado. De esta forma, se determinó la cantidad de sorgo a ofrecer durante el experimento, que fue de 5 kg vaca/día en base fresca (BF), lo que representó 1.7 y 1.8 kg de MS vaca/día, más un 10% adicional para asegurar que los animales no tuvieran restricciones de consumo de ES por falta de alimento, es decir, consumo a libre acceso. Los grupos de vacas pastorearon por separado en praderas de similares características.

Mediciones y toma de muestras

El experimento duró 8 semanas, las dos primeras semanas fueron consideradas como periodo de acostumbramiento, y las seis semanas siguientes se dividieron en tres periodos experimentales (PE) de dos semanas cada uno, para la toma de muestras y registro de variables productivas en los animales. Los rendimientos de leche (kg/vaca/día) se registraron por dos días consecutivos (días sábados y domingos) de cada PE durante la ordeña, pesando con una báscula electrónica colgante de 20 kg de capacidad (Albarrán-Portillo *et al.*, 2024). Al término de la ordeña se tomó una muestra de leche de cada vaca (80 ml) para determinar la composición de grasa, proteína y lactosa (g/kg) inmediatamente después de la ordeña, mediante el equipo portátil Lactoscan Milk Analyzer ®, serial 9414, Milkotronic, Bulgaria (2008). De la misma manera, las vacas fueron pesadas al término de la

ordeña utilizando una báscula ganadera portátil de la marca Gallagher ® con capacidad de 1,000 kg. El cambio de peso (kg/día), se determinó por la diferencia de peso al inicio del experimento y entre cada periodo experimental, dividiendo la diferencia entre el número de días de cada periodo.

Los cálculos de leche corregida a grasa y proteína (LCGP) se realizaron utilizando la siguiente ecuación $LCGP = \text{rendimiento de leche (kg/día)} \times 0.1226 \times \text{grasa (\%)} + 0.0776 \times \text{proteína verdadera (\%)} + 0.253$ (IDF, 2015). El cálculo de leche corregida a energía se realizó utilizando la siguiente fórmula $(0.327 * \text{kg de leche kg}) + (12.95 * \text{grasa en leche (kg/día)}) + (7.65 * \text{Proteína en leche (kg/día)})$ (DRMS, 2014). La eficiencia de alimentación (EA) se estimó dividiendo el rendimiento de leche entre consumo de materia seca (kg/día) (Uddin *et al.*, 2020).

El consumo de materia seca total (CMS) (kg/vaca/día) se estimó utilizando el programa NASEM Dairy-8, (2021), introduciendo información de las características de cada vaca utilizada en el experimento tales como días en leche, edad en meses, edad a primer parto, peso (kg/vaca), días de gestación, rendimiento de leche (kg/día) y composición de leche (grasa, proteína y lactosa; g/kg). Por diferencia entre la cantidad de concentrado ofrecido y el consumo de materia seca total estimado, se determinó el consumo de materia seca de pradera.

Muestreos y análisis de laboratorio

Durante los mismos días de registro de variables productivas de las vacas experimentales, se tomaron muestras de las variedades de ensilado, las cuáles se conservaron en refrigeración. Posteriormente, las dos muestras se juntaron y se revolvieron para tomar una submuestra la cual fue transportada a laboratorio para determinar el contenido de materia seca en una estufa de aire forzado a 60°C durante 48 h, así como la composición química. De la misma forma, se tomaron muestras del concentrado ofrecido a los grupos experimentales para determinar su composición química en laboratorio.

La masa herbácea disponible en las praderas se determinó mediante el corte de tres cuadrantes de 40 x 40 cm adyacentes a las áreas dentro de las praderas en donde pastoreaban los animales, durante el pastoreo de la mañana los días sábado y domingo de cada PE, con el objetivo de tener una muestra representativa, de la masa herbácea presente durante el pastoreo de los animales, así como de la composición química del forraje. El forraje cada cuadrante se cortó al ras de suelo con tijeras de esquila colocándose en bolsas de plástico para ser transportadas a laboratorio en donde se pesaron y procesaron para determinar el contenido de materia seca y composición química.

La determinación de la composición química de los alimentos de la ración de las vacas se realizó en el Laboratorio de nutrición del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México. El contenido de proteína cruda se determinó utilizando el método Kjeldahl (AOAC, 1995); mientras que la fibra detergente neutro (FDN) y detergente ácido (FDA) se determinaron mediante la técnica de microbolsa de Ankom (ANKOM Technology, Macedon, New York, USA).

Eficiencia de utilización de nitrógeno

Como un indicador de eficiencia, se estimó la eficiencia de utilización de nitrógeno (EUN), a partir de calcular los consumos totales de nitrógeno (CTN) (g/vaca/día), dividiendo el contenido de proteína cruda de los alimentos (g/kg de MS) (concentrado, pradera y variedad de ensilado) entre la constante 6.2514. La excreción de nitrógeno en leche (ENL) (g/día), se estimó dividiendo el rendimiento de proteína en leche (g/kg) entre la constante 6.38, y el resultado se multiplicó por el rendimiento de leche de acuerdo con Chagas *et al.* (2021).

Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó mediante un diseño experimental de bloques completos al azar, analizados con un procedimiento Mixed del programa SAS-Ondemand (2023), utilizando la siguiente ecuación (Kaps y Lamberson, 2004):

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + PE_j + R_k + EL_l + T*PE_{ij} + PE*R_{jk} + PE_j + V(T)_{im} + e_{ijkl}$$

dónde: y_{ijkl} la variable de respuesta animal, μ media general, T_i efecto fijo de la variedad de sorgo ($i = \text{Top green y Caña dulce}$), PE_j efecto del periodo experimental ($j = 1, 2 \dots 6$), R_k efecto fijo de la raza de la vaca ($k = \text{Europeo y Cebú}$) + EL_l efecto fijo de la etapa de lactación ($i = \text{temprana, media y tardía}$), T_i*PE_j efecto fijo de la interacción tratamiento por periodo experimental. Los factores periodo experimental PE y vaca dentro de tratamiento $V(T)_{im}$ fueron considerados como efectos aleatorios y, e_{ijkl} fue el error aleatorio.

Las variables de la pradera como masa herbácea (kg de MS/ha), y composición química como: materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) (g/kg/MS), fueron analizadas con un procedimiento Mixed del programa SAS-Ondemand (2023), mediante un diseño experimental con un diseño de parcela divididas utilizando la siguiente ecuación (Gómez-Miranda *et al.*, 2022):

$$Y_{ij} = \mu + T_i + PE_j + e_{ij}$$

dónde: Y_{ij} = variable de respuesta, μ = media general, T_i = efecto fijo del tratamiento (parcela principal) ($i = 1$ y 2), PE_j = efecto aleatorio del periodo experimental (periodo $j = 1, 2$ y 3) y, e_{ij} = error residual.

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 (Harper, 2013).

RESULTADOS

Rendimiento de forraje

La variedad de sorgo CD tuvo una altura de plantas mayor en 4% que el cultivo de sorgo variedad TG (Tabla 1); mientras que el rendimiento de forraje en fresco (kg/ha) y en base seca fueron 24 y 22% mayores en la variedad TG, respectivamente.

En la tabla 2 se observa la masa herbácea (MH) presente en las praderas que pastorearon los grupos de vacas durante los periodos experimentales. La MH promedio de la pradera en donde pastoreo el grupo de vacas que recibieron el ensilado de sorgo CD fue 3,167

(kg de MS/ha), siendo significativamente mayor ($P = 0.04$) a la MH promedio en la pradera en donde pastorearon las vacas del grupo uno que recibieron el ensilado TG, con un promedio de 2,196 (kg/MS/ha).

Tabla 1. Altura de plantas y rendimiento de cultivo de ensilado (kg/ha) de variedad de sorgo Top Green y Caña Dulce.

	Top Green	Caña Dulce
Altura (cm)*	188 ± 29	195 ± 33
Base fresca	9,800	7,469
Materia seca	3,332	2,614

* Altura promedio de 35 plantas por cultivo

En cuanto a las variables nutricionales como MO, PC, FDN y FDA, solo se detectaron diferencias significativas en el contenido de FDN entre praderas ($P = 0.02$), siendo mayor el contenido en la pradera en donde pastoreó el grupo de vacas que recibió en ensilado de sorgo CD. En cuanto a PE, se detectaron diferencias significativas en MO teniendo valores mayores en los PE 1 y 3, con respecto al PE2. Los contenidos de FDN tendieron a incrementarse con el avance de los periodos experimentales, detectándose los valores más altos en los PE 2 y 3, con respecto al PE1 ($P = 0.03$).

Tabla 2. Promedio de cuadrados mínimos para masa herbácea disponible (kg/MS/ha) y composición nutricional (g/kg de MS) por periodo experimental (PE), de las praderas en que pastorearon los grupos de vacas que recibieron los ensilados de sorgo Top Green (TG), grupo 1 (Gpo1) y Caña Dulce (CD) grupo 2 (Gpo2).

	PE1	PE2	PE3	Promedio	P =	Pradera	PE
Masa Herbácea							
TG	2,794	2,448	1,345	2,196		0.04	0.09
CD	3,646	3,115	2,740	3,167			
Promedio	3,220.0	2,781.5	2,042.5				
Materia Orgánica							
TG	889.9	874.3	884.7	882.9		0.16	0.01
CD	886.6	872.0	884.5	881.0			
Promedio	888.2 ^a	873.1 ^b	884.6 ^a				
Proteína Cruda							
TG	66.4	68.0	58.0	64.1		0.28	0.17
CD	68.1	58.1	51.4	59.2			
Promedio	67.3	63.0	54.7				
Fibra Detergente Neutro							
TG	501.9	544.4	544.6	530.3		0.02	0.03
CD	538.2	572.3	567.0	559.2			
Promedio	520.1 ^a	558.3 ^b	555.8 ^b				
Fibra Detergente Ácido							
TG	272.1	281.5	272.3	275.3		0.70	0.21
CD	273.9	285.9	258.9	272.9			
Promedio	273.9	283.7	265.6				

En la tabla 3 se observa la composición química del suplemento ofrecido a las vacas experimentales, así como de los ensilados experimentales de las variedades TG y CD ofrecidos a los grupos de vacas. Los valores promedio de MO, PC, FDN y FDA del concentrado fueron 903.1, 169.8, 302.2 y 120.8 (g/kg de MS), respectivamente. No existieron diferencias significativas en las variables de composición química entre las variedades de sorgo, así como tampoco debido a periodos experimentales ($P > 0.05$). Los valores promedio de PC, FDN y FDA entre los ensilados fueron 900.1, 92.0, 665.0 y 417.0, respectivamente, siendo muy similares entre sí con coeficientes de variación (no mostrados) que oscilaron entre 1 (FDN) y 5% (PC).

Respuesta animal

La suplementación con ensilados de sorgo TG y CD, no tuvo un efecto significativo sobre las variables productivas en las vacas ($P > 0.05$) (Tabla 4). El periodo experimental (PE) tuvo un efecto significativo sobre consumo de materia seca (CMS) (kg/día), rendimiento de leche (kg/vaca/día), rendimiento de proteína y lactosa en leche (kg/día) (Tabla 5). No existieron diferencias significativas del factor grupo racial sobre las variables productivas de las vacas ($P > 0.05$); mientras que la etapa de lactación tuvo un efecto significativo únicamente sobre CMS (kg/día) y grasa (g/kg) ($P < 0.01$ y 0.01 , respectivamente). La interacción TX*PE, no tuvo efecto significativo sobre las variables de respuesta animal ($P > 0.05$); por

último, la interacción GR*PE tuvo efectos significativos sobre CMS y peso ($P < 0.05$) (No mostrado en tablas).

En la tabla 4 se observan los valores promedio de las variables de respuesta animal a la suplementación con las variedades de sorgo (tratamientos), grupo racial y etapa de lactación. Para CMS (kg/día) solo se detectaron diferencias estadísticas debido a la etapa de lactación observando los mayores consumos en las etapas de lactación temprana y tardía con 10.9 y 10.5 (kg/MS/día), siendo estadísticamente iguales entre ellas. Mientras que las etapas media y tardía con 9.2 y 10.5 (kg/MS/día) fueron estadísticamente iguales entre ellas; mientras que etapa de lactación temprana y tardía fueron estadísticamente diferentes ($P < 0.01$). Existieron tendencias en cuanto a grupo racial en favor del grupo Cebú con mayores rendimientos en leche (kg/día) ($P = 0.05$), contenido de grasa (g/kg) ($P = 0.05$), rendimiento de proteína y lactosa (kg/día), ($P = 0.7$ para ambas variables).

El promedio de producción de leche de los tratamientos que fue de 9.1 (kg/vaca/día); mientras que en leche corregida a energía (LCE), y leche corregida a grasa y proteína (LCGP), existieron ventajas numéricas, pero no estadísticas ($P > 0.05$) en favor del tratamiento con CD 10.9 vs 9.5 (kg/vaca/día) en LCE, y de 8.6 vs 9.9 (kg/vaca/día) de LCGP. Lo mismo para los rendimientos de grasa, proteína y lactosa (kg/día), existiendo una ventaja numérica pero no estadística ($P > 0.05$) en favor del tratamiento con CD.

Tabla 3. Composición química de los ensilados (g/kg MS) de sorgo variedades Top Green (TG), Caña Dulce (CD), así como del concentrado que recibieron las vacas por periodo experimental (PE).

Variable	PE1	PE2	PE3	Promedio	P - valor	
					TX	PE
Materia Orgánica						
Concentrado	907.9	902.2	899.4	903.1		
TG	897.0	900.3	912.1	903.1	0.57	0.08
CD	898.6	895.7	898.0	897.1		
Proteína Cruda						
Concentrado	184	167	158	169.8		
TG	83	97	93	90.9	0.75	0.71
CD	93.0	92.4	93.7	93.0		
Fibra Detergente Neutro						
Concentrado	291.6	289.8	325.1	302.2		
TG	669.7	664.1	657.8	663.9	0.90	0.43
CD	675.7	656.0	669.8	666.0		
Fibra Detergente Ácido						
Concentrado	116.3	116.2	129.8	120.8		
TG	397.4	424.6	414.0	412.0	0.66	0.73
CD	427.5	416.8	421.2	422.2		

Tabla 4. Cuadrados medios del efecto de la variedad de ensilado de sorgo (ES) Top Green (TG) vs Caña Dulce (CD), grupo racial (GR) (Europeo (EU) o Cebú (CB)), y etapa de lactación (EL) (Lactación temprana (LTE), media (LME) y tardía (LTA)) sobre las variables de respuesta animal.

Variable	Ensilado		Grupo Racial		Etapa de lactación			P - valor		
	TG	CD	EU	CB	LTE	LME	LTA	ES	GR	EL
CMS (kg/día)	11.6	11.6	10.6	12.5	10.9 ^a	9.2 ^b	10.5 ^{ab}	0.91	0.07	<0.01
Leche (kg/día)	8.4	9.8	5.8	8.7	8.2	7.3	6.4	0.40	0.05	0.19
LCE (kg/día)	9.5	10.9	7.9	12.5	10.9	9.2	10.5	0.43	0.15	0.68
LCGP (kg/día)	8.6	9.9	7.2	11.3	9.9	8.4	9.5	0.43	0.15	0.70
Grasa (g/kg)	43.8	43.4	50.7	36.5	35.9 ^a	52.6 ^b	42.3 ^{ab}	0.91	0.05	0.01
Grasa (kg/día)	0.35	0.41	0.34	0.42	0.37	0.40	0.37	0.38	0.45	0.89
Proteína (g/kg)	33.8	32.3	33.1	32.3	32.5	32.1	34.6	0.05	0.89	0.12
Proteína (kg/día)	0.28	0.31	0.20	0.40	0.35	0.22	0.33	0.60	0.07	0.22
Lactosa (g/kg)	51.0	48.9	50.1	49.8	49.0	48.7	52.1	0.08	0.86	0.22
Lactosa (kg/día)	0.43	0.47	0.31	0.60	0.52	0.34	0.49	0.60	0.07	0.25
Peso (kg)	489	500	465	525	466	430	589	0.77	0.38	0.13
Cambio de peso (kg)	-0.32	-0.35	0.48	-1.2	-0.81	0.73	-0.92	0.95	0.11	0.11
EA (%)	0.71	0.83	0.58	0.96	0.80	0.70	0.81	0.39	0.13	0.80
CTN (g/día)	191.7	186.3	182.8	195.2	202.3 ^a	180.1 ^b	184.6 ^b	0.23	0.12	<0.01
ENL (g/día)	44.7	49.5	31.5	62.3	54.5	35.1	51.6	0.59	0.07	0.22
EUN (%)	0.23	0.26	0.18	0.31	0.26	0.21	0.26	0.50	0.13	0.57

CMS = consumo de materia seca (kg/día); LCE = Leche corregida a energía (kg/día); LCGP = leche corregida a grasa y proteína (kg/día); EA = Eficiencia alimenticia (Leche kg/CMS kg); CTN = Consumo total de nitrógeno; ENL = Excreción de nitrógeno en leche; EUN = Eficiencia de utilización de nitrógeno.

En cuanto a cambio de peso, los dos grupos de vacas perdieron peso de entre 0.32 y 0.35 kg/día para las vacas que recibieron TG y CD, respectivamente. En cuanto a grupo racial, las vacas del grupo cebú tuvieron un cambio de peso de -1.2 kg/día, mientras que en las del grupo racial europeo el cambio de peso fue de 0.48. De acuerdo con la etapa de lactación, las vacas en lactación temprana y tardía tuvieron un cambio de peso de -0.81 y -0.92 kg/día, respectivamente, mientras que las vacas en etapa media tuvieron una ganancia de peso de 0.73 kg/día. La eficiencia de alimentación (EA) fue 0.71 y 0.83 kg siendo estadísticamente iguales entre tratamientos. En las variables antes mencionadas las diferencias numéricas no fueron estadísticamente significativas ($P > 0.05$).

En cuanto a CTN (g/día), solo se detectaron diferencias significativas debidas a la etapa de lactación ($P < 0.01$), estimándose un mayor consumo de nitrógeno en la etapa de lactación temprana, con respecto a las etapas media y tardía, siendo éstas últimas iguales estadísticamente. Para la ENL se detectó una tendencia ($P = 0.07$) en favor del grupo racial Cebú con 62.3 mientras que el grupo Europeo la excreción de nitrógeno en leche fue 31.5 (g/día). Finalmente, en cuanto a la EUN (%) no se detectaron diferencias significativas ($P > 0.05$) debida a los factores analizados.

En la tabla 5 se observa el efecto de los periodos experimentales sobre las variables de respuesta animal.

Las variables en las cuáles se detectaron diferencias significativas fueron CMS, rendimiento de leche (kg/día), leche corregida a energía, rendimiento de proteína y lactosa (kg/día); así como, ENL (g/día). La tendencia general en estas variables fue de reducciones en los niveles conforme avanzaron los periodos experimentales, con la excepción de rendimiento de lactosa, en dónde los rendimientos en la PE 1 y 3 fueron estadísticamente iguales. En cuanto a EUN se detectó una tendencia ($P = 0.07$), hacia una mayor eficiencia en el PE1 con 0.25%, mientras que en los PE 2 y 3 la eficiencia disminuyó a 0.24 y 0.23%, respectivamente.

En la tabla 6 se observa el análisis económico de la respuesta a la suplementación con dos variedades de ensilado de sorgo. El costo de producción de los ensilados variedades TG y CD fue 7.7 y 10.4 (\$/kg de MS), respectivamente. Por lo que los costos totales de suplementación (concentrado y ensilado de sorgo) fueron 10% mayores con el ensilado de sorgo variedad caña dulce. Sin embargo, la producción total de leche en el grupo de vacas que recibió en ensilado CD fue 14 % mayor, lo que permitió lograr un menor costo de producción por litro de leche de 5.9 en comparación con el grupo de vacas que recibieron ensilado TG con 6.2 (\$/kg). Por lo que el margen de ganancia fue de 5.8 vs 6.1 (\$/kg), para los tratamientos TG y CD, respectivamente.

Tabla 5. Efecto del periodo experimental (PE) sobre las variables de respuesta animal.

Variable	PE1	PE2	PE3	P =
CMS (kg/día)	11.9 ^a	11.4 ^b	11.4 ^b	<0.001
Leche (kg/día)	9.6 ^a	8.9 ^b	8.8 ^b	0.02
LCE (kg/día)	10.7 ^a	10.0 ^{ab}	9.8 ^b	0.04
LCGP (kg/día)	9.8	9.1	8.9	0.05
Grasa (g/kg)	42.9	44.3	43.7	0.90
Grasa (kg/d)	0.40	0.37	0.36	0.20
Proteína (g/kg)	33.1	33.8	32.7	0.34
Proteína (kg/d)	0.32 ^a	0.30 ^b	0.29 ^b	0.01
Lactosa (g/kg)	50.2	49.0	49.4	0.42
Lactosa (kg/d)	0.48 ^a	0.43 ^b	0.48 ^a	0.01
Peso (kg)	504	486	524	<0.01
Cp (kg/día)	-1.3	1.5	-1.2	0.06
EA (%)	0.80	0.76	0.75	0.13
CTN (g/día)	191.0	190.8	185.2	0.30
ENL (g/día)	50.0 ^a	46.3 ^b	45.0 ^b	0.02
EUN (%)	0.25	0.24	0.23	0.07

CMS = Consumo de materia seca; LCE= Leche corregida a energía; LCGP = Leche corregida a grasa y proteína; Cp = Cambio de peso (kg/día); EA = Eficiencia de alimentación (Leche kg/CMS kg); CTN = Consumo total de nitrógeno; ENL = Excreción de nitrógeno en leche; EUN = Eficiencia de utilización de nitrógeno.

Tabla 6. Análisis económico de la suplementación con dos variedades de sorgo forrajero ensilado variedad Top Green (TG) y Caña Dulce (CD), suplementado a vacas en pastoreo.

Indicador	TG	CD
Costo concentrado (\$)	9,878.4	9,878.4
Costo ensilado (\$)	3,280.4	4,714.6
Costo total de suplementación (\$)	13,158.8	14,593.0
Producción de leche (42 días) (kg)	2,118.0	2,469.6
Costo de producción de leche (\$/kg)	6.2	5.9
Precio de venta de leche (\$/kg)	\$12.0	\$12.0
Ingresos por venta de leche (\$)	25,401.6	29,635.2
Margen sobre costos de suplementación (\$)	12,242.8	15,042.2
Margen por kg de leche (\$)	5.8	6.1

DISCUSIÓN

En la unidad de producción participante se evaluó por primera vez el cultivo de sorgo forrajero como una alternativa al cultivo de maíz, debido principalmente a su resiliencia a la sequía. Los rendimientos promedio de las dos variedades de cultivo de sorgo fueron 2,973 (kg de MS/ha), los cuáles son 72% menores al rango de rendimiento de diferentes variedades de sorgo reportadas por Pupo *et al.* (2022), con un promedio de 14.5 T/ha de MS con rangos que van de 10.4 a 19.5 T/ha. El estudio mencionado se realizó en Florida, estados Unidos durante 11 años (2008 – 2019),

evaluándose variedades híbridas de sorgo forrajero como alternativa forrajera al maíz para alimentación animal, bajo condiciones experimentales controladas, a diferencia de nuestro estudio, que se realizó en una unidad experimental en donde se experimentó por primera vez con este tipo de cultivo forrajero, las actividades de establecimiento, mantenimiento y cosecha del cultivo se realizaron manualmente, en terrenos con pendiente mayor a 20%, además de que la maquinaria disponible es no adecuada.

Las variedades de sorgo evaluadas en este estudio tuvieron rendimientos de forrajes 63 y 87% menores a los reportados por Nava-Berumen *et al.* (2017) de 8,000 (kg/ha MS) y Granados-Niño *et al.* (2021) de 17,750 (kg/ha MS); ambos estudios se desarrollaron bajo condiciones experimentales controladas en pequeñas parcelas experimentales, y en terreno plano en el estado de Durango, México. Por su parte, en la región norte del Estado de México Rosas-Dávila *et al.* (2024) evaluaron las mismas variedades de sorgo que en el presente estudio, y lo compararon contra en ensilado de maíz, reportando rendimientos de 6,682 y 4,884 (kg de MS/ha) para las variedades TG y CD, mientras que el ensilado de maíz tuvo un rendimiento de 13,440 (kg de MS/ha). En promedio el rendimiento del cultivo de sorgo forrajero en el estudio arriba mencionado fue de 5,783 (kg de MS/ha), lo cual fue 49% mayor al promedio obtenido en el presente estudio. Los resultados de los autores antes mencionados indican los rendimientos potenciales del sorgo forrajero en condiciones agroecológicas más favorables a las del presente estudio.

Los contenidos de PC de ambas variedades de sorgo se encontraron dentro del rango reportado para sorgo forrajero y, que en el caso de PC oscilan entre 5 y 10 % (Nava-Berumen *et al.*, 2017); aunque existen reportes de valores máximos de 14.8 (Vargas-Rodríguez, 2005) y hasta 17.9% (McCary *et al.*, 2020). De igual manera, los contenidos de FDN y FDA se encontraron dentro de los rangos reportados en la literatura de 437 y 717 (g/kg de MS), y 287 y 493 (g/kg MS), para FDN y FDA, respectivamente (McCary *et al.*, 2020; Granados-Niño *et al.*, 2021). La composición química entre ambas variedades de sorgo en este estudio fue similar en cuanto a contenidos de PC, así como las fracciones de fibra. La única diferencia importante entre las variedades evaluadas fue el mayor rendimiento de forraje de TG (+ 22%) con respecto a CD. En general, en cuanto a la composición nutricional el valor nutricional del sorgo resulta ser menor a la del ensilado de maíz en términos de PC, FDN, FDA, digestibilidad y energía metabolizable de acuerdo con Rosas-Dávila *et al.* (2024).

Los contenidos de FDN de la pradera y los ensilados, podrían representar una limitante para que las vacas puedan consumir la mayor cantidad posible de forraje. Sin embargo, los rumiantes tienden a compensar la baja calidad de las fibras en la dieta incrementando el consumo de alimento fibroso (Meyer *et al.*, 2010), gracias a la gran capacidad ruminal que les permite almacenar forrajes fibrosos (Van Soest, 1994). El ensilado de sorgo utilizado en este estudio contribuyó con 15 y 14 % del consumo de materia seca y proteína cruda, respectivamente, de las vacas experimentales, evitando reducciones importantes en los rendimientos de leche y de peso de las vacas experimentales, compensando la reducción en la calidad y cantidad de masa herbácea disponible en las áreas de pastoreo en la época de estiaje.

De los factores evaluados solo el factor periodo experimental fue significativo sobre algunas variables de respuesta animal como CMS, rendimiento de leche, peso y cambio de peso, lo cual pudo haber sido ocasionado por una combinación entre menor disponibilidad de MH, así como menor valor nutricional como contenido de PC en el forraje de las áreas de pastoreo. Lo anterior, coincide con lo reportado en otros estudios en la región como Salvador-Loreto *et al.* (2016) y Salas-Reyes *et al.* (2019), en cuyos trabajos se asocia una disminución en rendimientos productivos de vacas en lactación con la disminución del forraje disponible en las áreas de pastoreo, así como en la calidad nutricional del mismo en la época de estiaje.

Uno de los principales objetivos de la suplementación a vacas lecheras en la época de estiaje es mantener rendimientos de leche, así como evitar la pérdida de peso y condición corporal. En cuanto a rendimientos

de leche no se detectaron diferencias estadísticas debido a la variedad de sorgo ensilado, grupo racial o etapa de lactación. Sin embargo, numéricamente las vacas que recibieron ensilado de sorgo CD produjeron 14% más kg de leche total, lo que representa un 5 % menos en el costo de producción de un kg de leche. Otros trabajos realizados en la región han reportado ventajas económicas debido a pequeñas diferencias numéricas (pero no estadísticas) en la producción de leche, entre diferentes estrategias de suplementación en la época de estiaje (Salvador-Loreto *et al.*, 2016; Salas-Reyes *et al.*, 2019; Álvarez-Sánchez *et al.*, 2023).

La composición de leche debida a tratamiento tuvo valores promedio de 43.6 grasa, 33.1 proteína y 50 (g/kg) de leche para grasa, proteína y lactosa, respectivamente, lo cuales se encuentran dentro de los rangos normales reportados para ganado lechero (Daley *et al.*, 2022); y mayores a los reportados por Flores-Cocas *et al.* (2021), de vacas cruza *Bos taurus* x *Bos indicus* de 42.6, 29.6, 44.4 (g/kg) para grasa, proteína y lactosa, respectivamente.

El factor etapa de lactación tuvo efectos significativos sobre los promedios de consumo de materia seca, teniendo mayores consumos en las etapas temprana y tardía lo cual está asociado un mayor peso de las vacas en lactación temprana y tardía (Tabla 4). La concentración de grasa (g/kg) en leche, mostró un incremento conforme avanzó la etapa de lactación lo cual coincide con reportes en la literatura que señalan que en las etapas de lactación media y tardía al disminuir el volumen de leche, la concentración de componentes de leche se incrementa (Pollott, 2004). La significativa interacción GR (cebú) por PE, pudo ser ocasionada por el numéricamente mayor rendimiento de leche, así como a la etapa de lactación temprana, ya que las tres vacas en esta etapa de lactación fueron de este grupo racial.

El cultivo de maíz bajo condiciones ambientales adecuadas resultar ser la mejor alternativa como forraje complementario para ganado lechero en términos de potencial productivo, así como composición nutricional (Alix *et al.*, 2019), sin embargo, en la zona en la que se realizó el presente estudio con condiciones de suelo difíciles por las pendientes pronunciadas, suelos pobres y sobre todo en la falta de agua, el sorgo forrajero se representa una alternativa viable al cultivo de maíz para la producción de forraje de calidad aceptable, aunque con menores rendimientos de producción de forraje.

CONCLUSIÓN

El ensilado de dos variedades de sorgo Top Green o Caña Dulce, no tuvo diferencias significativas en la respuesta productiva de vacas en lactación en la época

de estiaje. La variedad Top Green produjo 22% mayor rendimiento de forraje que la variedad Caña Dulce. Sin embargo, el grupo de vacas que recibieron el ensilado de sorgo de la variedad CD produjeron 14 % más leche, lo que permitió un costo de producción por kg de leche 5% más bajo. Por lo que se recomienda realizar más estudios con ensilados de sorgo en la época de sequía para determinar el potencial productivo del cultivo en mejores condiciones agroecológicas, así como evaluar la respuesta animal.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de los productores participantes Vicente y Daniela Macedo Garduño para la realización del proyecto. Así como a la Secretaría de Educación Pública (SEP) y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT).

Funding. Autonomous University of the State of Mexico (Project 6623/2022/CIP), SEP-PROMEP and the National Research Council for Science and Technology – CONACYT.

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

Compliance with ethical standards. The research did involve direct work with farm animals without any management modification that is normally performed by the personnel in the participant farm. The research followed the Institutional Guidelines for the handling of laboratory, teaching, research and production of Centro Universitario UAEM Temascaltepec; Autonomous University of the State of Mexico.

Data availability. The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Author contribution statement (CRediT). **A. Brito-Navarro** – Investigation, Project administration, Data curation., **B. Albarrán-Portillo** – Conceptualization, Methodology, Investigation, writing original draft., **A. García-Martínez** – Formal analysis Writing – review & editing., **C- Arriaga-Jordán**, **F López-Gonzalez** and **S. Esparza-Jiménez** – Laboratory analysis, reviewing and editing.

REFERENCES

- Albarrán-Portillo, B., García-Martínez, A., Ortiz-Rodea, A., Rojo-Rubio, R., Vázquez-Armijo, J.F. and Arriaga-Jordán, C.M., 2019. Socioeconomic and productive characteristics of dual purpose farms based on agrosilvopastoral systems in subtropical highlands of central Mexico. *Agroforestry Systems*, 93(5), pp.1939–1947.
- <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0299-2>
- Albarrán-Portillo, B., Rebollar-Rebollar, S., García-Martínez, A., Rojo-Rubio, R., Avilés-Nova, F. and Arriaga-Jordán, C.M., 2015. Socioeconomic and productive characterization of dual-purpose farms oriented to milk production in a subtropical region of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 47(3), pp.519–523. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0753-8>
- Albarrán-Portillo, B., Salas-Reyes, I., Arriaga-Jordán, C. and García-Martínez, A., 2024. Productive response of lactating dual-purpose cows grazing in an agrosilvopastoral system during the dry season supplemented with low levels of crude protein. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27, pp. 002. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4588>
- Alix, H., Tremblay, G.F., Chantigny, M.H., Bélanger, G., Seguin, P., Fuller, K.D., Bittman, S., Hunt, D., Larney, F.J., Acharya, S.N. and Vanasse, A., 2019. Forage yield, nutritive value, and ensilability of sweet pearl millet and sweet sorghum in five Canadian ecozones. *Canadian Journal of Plant Science*, 99(5), pp.701–714. <https://doi.org/10.1139/cjps-2019-0031>
- Álvarez-Sánchez, A., García-Martínez, A. and Albarrán-Portillo, B., 2023. Productive and economic performance of Brown Swiss cows at different stages of lactation fed two crude protein levels. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(3), p. 070. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4721>
- ANKOM, n.d. *Technology, Macedon, New York, USA*. [online] Available at: https://www.ankom.com/analytical-methods-support/fiber-analyzer-delta?f%5B0%5D=field_faq_group%3A89
- AOAC, 1995. *Official Methods of Analysis. 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA*.
- Avendaño-Arrazate, C.H., Molina-Galan, J.D., Trejo-López, C., López-Castañeda, C. and Cadena-Iñiguez, J., 2008. Respuesta a Altos Niveles De Estrés Hídrico En Maíz. *Agronomía Mesoamericana*, [online] 19(1), pp.27–37. Available at: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43711424004>
- Cattani, M., Guzzo, N., Mantovani, R. and Bailoni, L., 2017. Effects of total replacement of corn

- silage with sorghum silage on milk yield, composition, and quality. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8(1), pp.1–8. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0146-8>
- Chagas, J.L., Delveaux Araujo Batalha, C., de Arruda Camargo Danés, M., Maurício Santos Neto, J., Lopes Macedo, F., da Silva Marques, R. and Augusto Portela Santos, F., 2021. Protein supplementation to early lactation dairy cows grazing tropical grass: Performance and ruminal metabolism. *Animal Science Journal*, 92(1), pp.1–9. <https://doi.org/10.1111/asj.13564>
- Chiambiro, G., Madzimore, J. and Mpfu, I.D.T., 2022. Constraints and opportunities of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) silage production and utilisation by smallholder milk production sector in Zimbabwe. *Tropical Animal Health and Production*, 54(2). <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03084-z>
- Cuevas-Reyes, V., Toledano, B.I.S., Juárez, R.S., Jiménez, J.E.R., Meza, A.L. and Gallegos, T.M., 2021. Determining factors for the use of sorghum as fodder for bovines in Northwestern Mexico. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 11(4), pp.1113–1125. <https://doi.org/10.22319/RMCP.V11I4.5292>
- Daley, V.L., Armentano, L.E. and Hanigan, M.D., 2022. Models to predict milk fat concentration and yield of lactating dairy cows: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, [online] 105(10), pp.8016–8035. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21777>
- DRMS, 2014. Dairy Records Management Systems. DHIA glossary. Accessed March 7th, 2018. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.686.2482&rep=rep1&type=pdf>
- FAOSTAT, 2021. *Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura-Estadísticas*. [online] Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity [Accessed 4 October 2023].
- Flores-Cocas, J.M., Aguilar-Pérez, C.F., Ramírez-Avilés, L., Solorio-Sánchez, F.J., Ayala-Burgos, A.J. and Ku-Vera, J.C., 2021. Use of rice polishing and sugar cane molasses as supplements in dual-purpose cows fed *Leucaena leucocephala* and *Pennisetum purpureum*. *Agroforestry Systems*, 95(1), pp.43–53. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00434-z>
- 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*, [online] 21(1), pp.178–187. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.2022540>
- Granados-Niño, J.A., Reta-Sánchez, D.G., Santana, O.I., Reyes-González, A., Ochoa-Martinez, E., Díaz, F. and Sánchez-Duarte, J.I., 2021. Effect of the cutting height of sorghum at harvest on forage yield and nutritional value of silage. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 12(3), pp.958–968. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.5724>
- Harper, J.K., 2013. *Agricultural budgeting for decision making*. [online] Penn State. U.S. Department of Agriculture-Extension Service. Available at: <https://extension.psu.edu/budgeting-for-agricultural-decision-making>
- IDF, 2015. *A Common Carbon Footprint Approach for the Dairy Sector. The International Dairy Federation Guide to Standard Life Cycle Assessment Methodology*. IDF, Brussels, Belgium.
- Kaps, M. and Lamberson, W., 2004. *Biostatistics for Animal Science*. Wallingford, Oxfordshire. UK: CABI Publishing. CAB International.
- Koenig, K.M., Li, C., Hunt, D.E., Beauchemin, K.A. and Bittman, S., 2023. Effects of sustainable agronomic intensification in a forage production system of perennial grass and silage corn on nutritive value and predicted milk production of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, [online] 106(1), pp.274–293. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22110>
- Marsalis, M.A., Angadi, S., Contreras-Govea, F.E. and Kirksey, R., 2009. Harvest timing and byproduct addition effects on corn and forage sorghum silage grown under water stress. *Research Bulletin BL-799. NM Agric. Exp. St. Las Cruces, NM*, (February 2014). <https://aces.nmsu.edu/pubs/research/agronom/BL799.pdf>
- 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*, [online] 103(6), pp.5783–5790. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-18122>

- Meyer, K., Hummel, J. and Clauss, M., 2010. The relationship between forage cell wall content and voluntary food intake in mammalian herbivores. *Mammal Review*, 40, pp.221–245. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2010.00161.x>
- NASEM Dairy-8, 2021. *The National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. Nutrition Requirements of Dairy Cattle. 8th rev. ed. The National Academies Press, 2021.* Available at: <https://www.nap.edu/catalog/25806/nutrient-requirements-of-dairy-cattle-eighth-revised-edition>
- Nava-Berumen, C.A., Rosales-Serna, R., Jiménez-Ocampo, R., Carrete-Carreón, F.Ó., Domínguez-Martínez, P.A. and Ortiz, M.M., 2017. Rendimiento y valor nutricional de tres variedades de sorgo dulce cultivadas en cuatro ambientes de Durango. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 8(2), pp.147–155. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i2.4426>
- Pollott, G.E., 2004. Deconstructing milk yield and composition during lactation using biologically based lactation models. *Journal of Dairy Science*, 87(8), pp.2375–2387. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73359-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73359-7)
- Pupo, M.R., Wallau, M.O. and Ferraretto, L.F., 2022. Effects of season, variety type, and trait on dry matter yield, nutrient composition, and predicted intake and milk yield of whole-plant sorghum forage. *Journal of Dairy Science*, [online] 105(7), pp.5776–5785. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21706>
- Rosas-Dávila, M., Morales-Almaráz, E., López-González, F. and Arriaga-Jordán, C.M., 2024. Uso del ensilado de sorgo variedad Top Green y variedad Caña Dulce para la producción de leche en sistemas de pequeña escala. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27, p.074. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4917>
- Ruz-Reyes, R., A, E.-P. and Romero-Arias, A., 2018. Evaluación de tres cultivares de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para la alimentación animal. *Pastos y Forrajes*, 41(2), p.9396
- Salas-Reyes, I.G., Arriaga-Jordán, C.M., Estrada-Flores, J.G., García-Martínez, A., Rojo-Rubio, R., Armijo, J.F.V. and Albarrán-Portillo, B., 2019. Productive and economic response to partial replacement of cracked maize ears with ground maize or molasses in supplements for dual-purpose cows. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 10(2), pp.335–352. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4569>
- Salvador-Loreto, I., Arriaga-Jordán, C.M., Estrada-Flores, J.G., Vicente-Mainar, F., García-Martínez, A. and Albarrán-Portillo, B., 2016. Molasses supplementation for dual-purpose cows during the dry season in subtropical Mexico. *Tropical Animal Health and Production*. [online] <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1012-y>
- Sánchez-Duarte, J.I., Kalscheur, K.F., García, A.D. and Contreras-Govea, F.E., 2019. Short communication: Meta-analysis of dairy cows fed conventional sorghum or corn silages compared with brown midrib sorghum silage. *Journal of Dairy Science*, [online] 102(1), pp.419–425. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14552>
- SIAP-SAGARPA, 2023. *Panorama Agroalimentario 2023.* [online] Available at: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035>
- SMN, 2020. Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. <https://smn.conagua.gob.mx/es/>.
- Van Soest, P.J., 1994. *Nutritional ecology of the ruminant.* Ithaca: Cornell University Press.
- Uddin, M.E., Santana, O.I., Weigel, K.A. and Wattiaux, M.A., 2020. Enteric methane, lactation performances, digestibility, and metabolism of nitrogen and energy of Holsteins and Jerseys fed 2 levels of forage fiber from alfalfa silage or corn silage. *Journal of Dairy Science*, [online] 103(7), pp.6087–6099. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17599>
- Vargas-Rodríguez, C.F., 2005. Valor nutricional y degradabilidad ruminal de genotipos de sorgo forrajero (*Sorghum* sp). *Agronomía Mesoamericana*, 16(2), pp.215–223.
- Vences-Pérez, J., Martínez-García, C.G., Morales-Almaraz, E., Albarrán-Portillo, B., Rayas-Amor, A.A., Vázquez-Armijo, J.F. and García-Martínez, A., 2021. Análisis Socioeconómico Y Tendencias De Desarrollo De La Ganadería Doble Propósito En Tropicó Seco. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(57), pp. 57. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2785>