



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC

LICENCIATURA DE INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

ARTÍCULO ESPECIALIZADO PARA PUBLICAR EN UNA REVISTA INDIZADA:

**EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA PRODUCTIVA DE VACAS EN PASTOEREO
SUPLEMENTADAS CON DOS VARIEDADES DE SORGO ENSILADO, EN LA EPOCA
DE ESTIAJE EN EL SUROESTE DEL ESTADO DE MÉXICO**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO
AGRONOMO ZOOTECNISTA**

QUE PRESENTA:

AZAEEL BRITO NAVARRO

ASESOR DE TESIS

DR. BENITO ALBARRAN PORTILLO

COASESOR

DR. ANASTACIO GARCÍA MARTÍNEZ

TEMASCALTEPEC DE GONZALES, MEXICO NOVIEMBRE 2023

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 5 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.

Contenido

I.- INTRODUCCIÓN	5
II.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
2.1 TEMA.....	6
2.2 JUSTIFICACIÓN.....	6
2.3 OBJETIVO GENERAL.....	7
2.4 ESPECÍFICOS	7
2.5 HIPÓTESIS.....	7
2.6 VARIABLES.....	7
III.- ANTECEDENTES DEL PROBLEMA Y TEMA DE INVESTIGACIÓN ..	8
3.1 MARCO TEÓRICO.....	8
3.1.1 VARIEDADES DE SORGO FORRAJERO.....	8
3.1.2 ENSILADO DE SORGO FORRAJERO	8
3.1.3 MANEJO AGRONÓMICO DEL SORGO.....	10
IV.- MARCO CONTEXTUAL.....	13
4.1 HISTORIA DEL SORGO EN MÉXICO.....	13
V.- MARCO METODOLÓGICO.....	14
5.1 MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
5.1.1 ZONA DE ESTUDIO.....	14
5.1.2 SIEMBRA	14

5.1.3 TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	15
VI.- CARTA DE CONFIRMACIÓN DE ENVÍO.....	16
VII.- RESULTADOS.....	17
VIII.- BIBLIOGRAFÍAS	38

I.- INTRODUCCIÓN

La producción del sorgo forrajero en México está creciendo cada vez más y se ha vuelto uno de los mejores cultivos con mejor rendimiento y adaptabilidad a ambientes más desafiantes, siendo cada vez más utilizado como forraje con un rendimiento promedio de 20t/ha debido a que es una planta que se adapta mejor a sequías, una planta de sorgo consume entre 80 y 100 mililitros de agua menos que el maíz en etapa de producción (Pérez Hernández *et al.*, 2019).

A pesar de que el maíz es el principal cultivo en el sur del estado de México este presenta limitantes a los cambios climáticos (sequías), por lo que el cultivo de sorgo es una buena opción en cuanto a suplementación en la dieta de los animales (vacas lecheras) ya que por su mayor adaptabilidad y el incremento del tenor de materia seca de la planta, puede contribuir a la producción de ensilaje de mejor valor nutritivo, con menores pérdidas durante el proceso de ensilaje y mejor consumo voluntario por los animales (Gustavo *et al.*, 2007).

Por lo anterior el objetivo general es documentar el proceso de cultivo y rendimiento del ensilado de sorgo forrajero en Municipio de Amatepec, Estado de México.

II.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los principales forrajes que se utilizan para la alimentación del ganado en condiciones de trópico seco como en el suroeste del Estado de México, son de baja calidad y menor producción de forraje. El maíz es el recurso forrajero utilizado en la alimentación animal, sin embargo, en la región suroeste del Estado de México las pobres condiciones de suelo, así como la irregular presencia de lluvias limitan su cultivo y rendimientos. Por lo tanto, el implementar el sorgo es una alternativa eficaz ya que este cultivo presenta una gran resistencia a periodos de sequía y suelos sin mucha humedad, por el cambio climático que estamos sufriendo en los últimos años varios cultivos que se utilizan para la producción de forraje no son resistentes a estos cambios de clima y el sorgo es una excelente alternativa por su periodo de latencia y su resistencia a periodos de sequía.

2.1 TEMA

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.

2.2 JUSTIFICACIÓN

El sorgo es uno de los principales cultivos para la producción de grano y forraje para la alimentación del ganado a nivel mundial, ya que existe una mayor digestión de los nutrientes que este aporta. El uso del sorgo en la forma de ensilaje es favorecido ya que este cultivo presenta niveles de carbohidratos solubles, capacidad de tampón relativamente baja, y cuenta con un contenido de materia seca superior al 20 %, su estructura física que favorece la compactación durante el llenado del silo. El ensilaje del sorgo presenta varias ventajas cuando es comparado con el ensilaje de maíz, incluyendo menores costos de producción, mayor tolerancia a sequías, así como, mejor capacidad de recuperación luego de largos periodos de sequía y mayor producción de materia seca bajo estas condiciones. Por lo anteriormente expresado el sorgo representa una alternativa forrajera el maíz, por lo que el estudio de los rendimientos de su cultivo, su composición nutricional y la evaluación de éste en la respuesta animal son importantes de evaluar para poder proponer alternativas productivas que impacten en la ganadería regional.

2.3 OBJETIVO GENERAL

Determinar el rendimiento productivo de dos variedades de sorgo forrajero Top Green y Caña Dulce conservado como ensilado, y evaluar la respuesta productiva de suplementadas con ensilado de sorgo vacas en lactación en la época de estiaje en una unidad de producción en el suroeste del estado de México.

2.4 ESPECÍFICOS

Determinar el rendimiento del forraje kg/MS/ha.

Determinar la respuesta productiva de vacas suplementadas con ensilado de sorgo forrajero.

➤ .

2.5 HIPÓTESIS

No existen diferencias productivas en los rendimientos de producción de dos variedades de sorgo para ensilar en una unidad de producción en el Suroeste del Estado de México.

2.6 VARIABLES

- Peso (kg),
- Cambio de peso (kg)
- Rendimiento de leche (kg/día)
- Composición de leche: grasa, proteína y lactosa (g/kg).

III.- ANTECEDENTES DEL PROBLEMA Y TEMA DE INVESTIGACIÓN

3.1 MARCO TEÓRICO

3.1.1 VARIEDADES DE SORGO FORRAJERO

Se distinguen dos tipos de sorgos para la producción de forraje. Para la elaboración de ensilaje se utilizan los sorgos graníferos pertenecientes a la especie *Sorghum bicolor* (L.) Moench, híbridos que en su mayoría tienen un crecimiento erecto que en el momento de la cosecha pueden alcanzar una altura de unos tres metros. Otros tipos de sorgo son los utilizados para pastoreo o soiling de verano, que en su mayoría son el resultado del cruzamiento entre *Sorghum drummondii* (Steud.) Millsp. & Chase (pasto sudan) y *Sorghum bicolor* x *S. bicolor* var. sudanese (pasto sudan híbrido) y se denominan pasto sudan o sudangrass. Estos híbridos, a diferencia de los sorgos graníferos, son plantas frondosas que tienen la capacidad de rebrotar (multi cortes). En comparación con el maíz, tienen mayor área foliar y más raíces secundarias, rasgos que los ayudan a resistir la sequía (Demagnet y Canales, 2020).

3.1.2 ENSILADO DE SORGO FORRAJERO

El uso de sorgo en la forma de ensilaje es favorecido por presentar este cultivo niveles de carbohidratos solubles, capacidad tampón relativamente baja, contenido de materia seca superior al 20 % y estructura física que favorece la compactación durante el llenado del silo. El ensilaje de sorgo presenta varias ventajas cuando es comparado con el ensilaje de maíz, incluyendo menores costos de producción, mayor tolerancia a sequía, así como mejor capacidad de recuperación luego de largos períodos de sequía y mayor producción de materia seca bajo estas condiciones, los sorgos de tipo forrajero son aptos para producción de ensilaje y para corte directo en verde, con altura entre 2 e 3 metros. Además, existen cultivares de doble propósito (forraje y grano), con altura media en torno de 2 metros. Los cultivares de porte alto producen ensilajes con valores nutritivos normalmente inferiores a los de un buen ensilaje de maíz debido a una menor proporción de granos en la masa ensilada. El sorgo forrajero presenta gran potencial para utilización, ya que posee elevada productividad, buena

adecuación a la mecanización y gran versatilidad, pudiendo ser utilizado como heno, pasto, corte directo y ensilaje, uno de los problemas enfrentados en el proceso de ensilaje es el vuelco del forraje. Se ha encontrado una correlación positiva entre la altura de las plantas y el porcentaje de vuelco. Según este autor la posibilidad de vuelco es mayor para cultivares forrajeros, especialmente cuando la densidad de plantas por hectárea es muy alta (Gustavo *et al.*, 2007).

3.1.3 MANEJO AGRONÓMICO DEL SORGO

A continuación, se dan algunas recomendaciones generales de acuerdo con Morado y Martínez, (2011), al margen de las prácticas conservacionistas que se detallan en el apartado correspondiente:

Preparación del terreno: Es importante determinar el tratamiento adecuado al suelo, según las características de cada predio, considerando la topografía, relieve del suelo, historial de manejo y presencia de malezas, bajo la premisa de hacer el menor movimiento posible del suelo, pero sin detrimento de la buena germinación de la semilla. En suelos compactados por pisoteo de ganado o con piso de arado, es recomendable aflojarlo mediante un subsuelo o paso de multiarado, cuidando que esta labor se realice a la profundidad necesaria para romper esta capa y en suelo seco o ligeramente húmedo. Los agregados o terrones deben ser de tamaño reducido alrededor de las semillas y raíces de plantas nuevas, con la finalidad de proporcionar una adecuada humedad y buen contacto entre el suelo, la semilla y las raíces; sin embargo, no deben ser tan pequeños al punto de favorecer la formación de costras y capas compactadas.

Híbridos y variedades: En el mercado actual existe una gran diversidad de semilla de híbridos de sorgo, y sólo unas cuantas, de variedades, en todo caso, las características importantes al elegir el genotipo a sembrar, serían: a) porte intermedio, para disminuir acame de planta ocasionado por vientos, b) panoja semicompacta que le da buena aireación al grano y disminuye la incidencia de hongos, y c) ciclo vegetativo en función de la fecha de siembra, las de ciclo intermedio-tardío para las primeras siembras y los precoces para últimas siembras.

Fecha, método y densidad de siembra: Para la depresión central, la siembra debe realizarse desde la última semana de junio y durante todo el mes de julio; se debe procurar utilizar genotipos tardíos para las siembras tempranas, y precoces para las tardías. La siembra debe hacerse sobre terreno húmedo, preferentemente a capacidad de campo, con lo cual se asegura buena germinación, independientemente del tipo de labranza que se elija. La densidad de siembra varía según el tamaño de la semilla, desde 8 kg en genotipos de semilla pequeña como es el caso de algunas variedades, hasta 12 kg/ha en semilla de híbridos. Hay que

considerar que en esta etapa el objetivo final es asegurar una buena emergencia inicial de plántulas, por lo que las densidades de siembra deberán basarse en el número de semillas por kilogramo. Para determinar la cantidad de semilla a sembrar, el criterio final es el establecimiento de las plántulas, por lo que las densidades de siembra deberán basarse en una evaluación del grado de riesgo acorde con la situación existente, que lleve a la predicción de una emergencia efectiva de plántulas. Se debe usar semillas de buena calidad junto con un equipo de siembra que proporcione un establecimiento confiable de las plántulas en un amplio rango de condiciones de textura de suelo y humedad.

Fertilización: Si consideramos que para una cosecha de grano de 6 t ha, el sorgo extrae por hectárea 153 kg de nitrógeno, (N), 66 kg de fósforo (P O) y 213 kg de 2 5 potasio (K O) (Compton, 1990), es imprescindible la aplicación de fertilizante 2 para obtener cosechas aceptables. De manera general, se recomienda para la 8 9 región de la Depresión Central, el tratamiento 80-40-00, y para la región de la Costa, 90-40-00; dosificándolos en 1/3 del nitrógeno y todo del fósforo en la siembra, y los 2/3 restantes a los 20-25 días (Ramírez, 1990). En algunos terrenos, principalmente en donde se ha sembrado por varios ciclos consecutivos el sorgo, puede ser necesaria a aplicación de potasio en cuyo caso, puede ser de 30 a 60 unidades por hectárea. De cualquier forma, en la medida de lo posible es recomendable hacer un análisis físico químico del suelo previo para definir el tratamiento de fertilización preciso.

Control de plagas: Bajo condiciones normales de lluvia, en las regiones sorgueras de Chiapas, las plagas no constituyen un problema importante, salvo en años con períodos de sequía prolongados, en donde se presenta principalmente diabrotica (*Diabrotica balteata*), gusano trozador (*Agrotis epsilon*), gusano falso medidor (*Trichoplusia ni*), gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y mosquita de la panoja (*Contarinia sorghicola*), en cuyo caso se recomienda aplicar un insecticida de contacto e ingestión como la cipermetrina (Arrivo 21%) o bien clorpirifos (Lorsban 480 E.), el cual además de ser de contacto e ingestión, es translaminar. En caso de tener plagas de raíz, lo más práctico es tratar la semilla, para lo cual existen diversos productos, desde los de extrema toxicidad como los carbamatos (Semevín, Furadán), hasta los de baja toxicidad para animales de sangre caliente como los piretroides sintéticos (deltametrinas, cipermetrinas). Cabe mencionar que en siembras tardías es mayor

el riesgo de incidencia de mosquita de la panoja, cuya hembra oviposita sus huevecillos en las espiguillas en floración y al eclosionar, sus larvas parasitan y destruyen el ovario impidiendo la fertilización de la flor.

Control de maleza: El cultivo de sorgo debe estar libre de maleza en los 35 días posteriores a la siembra, puesto que el período crítico de competencia es en las primeras 3-4 semanas después de la emergencia. El control de la maleza debe ser preferentemente químico, o en su caso mecánico siempre y cuando el sistema de labranza lo permita. El control mecánico se realiza con un paso de cultivadora entre los 15 o 20 días de nacido el sorgo, y el control químico con herbicidas, en cuyo caso, lo más recomendable es el control preemergente de maleza, con los diversos productos comerciales que hay a base de atrazina (Gesaprim, Atranex, etc.), que es un herbicida sistémico inhibidor de la fotosíntesis, selectivo para control de numerosas malezas de hoja ancha y gramíneas anuales. Se puede aplicar en pre o postemergencia temprana al sorgo, cuando éste tenga como máximo dos a tres hojas. Se recomienda utilizar la presentación de gránulos dispersables al 90% -1 de concentración, en dosis de 0.9 kg de i.a. ha. Para el caso de maleza en postemergencia, se debe hacer entre 5 y 10 días de nacido el sorgo, utilizando 2,4-D -1 amina y atrazina 50%, en dosis de 0.5 y 1 kg de i.a. ha. En todos los casos es conveniente utilizar un coadyuvante (adherente-dispersante) para mayor eficacia, y en su caso un regulador del pH del agua cuando ésta sea alcalina o “dura”, ya que ésta contiene carbonatos de calcio que desactivan el ingrediente activo de los herbicidas.

Cosecha: En los genotipos de ciclo intermedio, el grano de sorgo alcanza su madurez fisiológica entre los 25 y 30 días después de la antesis, con una humedad de grano de 30 a 35%; sin embargo, es necesario esperar otros 30 o 40 días a que pierda humedad el grano para poder cosecharlo y se encuentre con 15-17 % de humedad, lo cual ocurre entre los 120 y 130 días después de la siembra, dependiendo del híbrido o variedad utilizado y las condiciones climáticas. Algunas formas prácticas de saber si el grano ya está en condiciones de cosechar son: cuando los granos del tercio inferior de la panoja truenen al morderse, o bien si al apretar la panoja de abajo hacia arriba los granos se sueltan con facilidad.

IV.- MARCO CONTEXTUAL

4.1 HISTORIA DEL SORGO EN MÉXICO

El sorgo fue introducido a México en el año de 1944. En 1960, el cultivo llegó a 116,000 hectáreas y por considerar esta superficie significativa se empezó a registrarlo en las estadísticas nacionales. Principalmente, el uso que se le ha dado al sorgo en México es forrajero para alimento de aves, ganado y porcino. El desarrollo de la avicultura y la porcicultura que inició en esa misma época causó una demanda creciente de sorgo. Asimismo, el agricultor descubrió que éste tuvo una mejor productividad y rentabilidad que la de maíz en condiciones similares de temporal o de riego. La problemática en el cultivo de sorgo fue más sencilla de resolver, originando una competencia y desplazamiento de superficie cultiva de maíz (Trujillo, 1987).

En México, la producción de sorgo creció entre 2013 y 2014, con un incremento de 33.1 por ciento, con lo que se alcanzó un nivel máximo histórico superior a ocho millones de toneladas. Una parte de este incremento se atribuye al aumento de la superficie cosechada que creció 19.2 %, alcanzando más de 2 millones de hectáreas cosechadas en el año agrícola 2014, Contrario a la tendencia decreciente registrada en los últimos 4 años, el consumo nacional aumentó en 2014. Este incremento puede deberse a la caída de los precios vinculada a una mayor producción. Las importaciones han disminuido en parte por el aumento en la producción. En 2014, se observó una caída de 94 % respecto al nivel de las importaciones de 2013. Para el año comercial 2014/15, la SAGARPA prevé una reducción en la producción a un nivel de 6.3 millones de toneladas. La caída sería en su mayoría en el ciclo otoño-invierno 2014/15 con un 43.8 % respecto a la producción del mismo ciclo 2013/14. Entre los factores que pueden explicar esta situación están la menor superficie plantada, así como las afectaciones por plaga de pulgón amarillo del sorgo, pues los reportes de la presencia de la plaga han crecido desde su aparición en Tamaulipas a finales de 2013 (FIRA, 2016).

V.- MARCO METODOLÓGICO

5.1 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1.1 ZONA DE ESTUDIO

El trabajo se realizó en el municipio de Amatepec, Estado de México, en el Rancho Acatempan que se encuentra a 1200 metros sobre el nivel de mar, se localiza a 139 kilómetros de la capital del Estado de México, y se ubica entre los paralelos 18°40'58" de latitud norte y entre los meridianos 100°11'11" de longitud oeste, con una extensión de terreno de 638 kilómetros cuadrados.

Se caracteriza por tener climas templado y subtropical, la vegetación es variada se tienen árboles de pino, encinos de diferentes especies, ocotes, sabinos y cedros. Su principal fuente de ingresos se da a base del cultivo del café, en este municipio se dan dos tipos de cultivo de café los cuales son: café orgánico y café de sombra.

5.1.2 SIEMBRA

La siembra se realizó el día 17 de julio del 2022 en aproximadamente dos hectáreas de terreno, con una densidad de siembra de 24 kg/ha de cada una de las variedades de sorgo Top Green (TP) y Caña dulce (CD). 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 por la dificultad del terreno que se encontraba en ladera con una pendiente pronunciada de más de 20%.

Alrededor del día 80 de establecimiento se inició con el seguimiento del contenido de materia seca (MS) tomando una muestra de 20 plantas a azar en diferentes 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 las plantas estaban cerca del contenido de MS objetivo de 33%, se procedió a ensilar.

5.1.3 TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar analizados con un procedimiento Mixed del programa SAS-Ondemand (2023), utilizando la siguiente ecuación

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

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

VI.- CARTA DE CONFIRMACIÓN DE ENVÍO

Benito Albarran Portillo

De: Carlos A. SANDOVAL-CASTRO <revistaccba_boletines@correo.uady.mx>
Enviado el: jueves, 19 de octubre de 2023 09:58 a. m.
Para: Benito Albarran Portillo
Asunto: [TSAES] Submission Acknowledgement

Tropical and Subtropical Agroecosystems
Benito Albarran Portillo:

Thank you for submitting the manuscript, "CON DOS VARIEDADES DE SORGO ENSILADO, EN LA ÉPOCA DE ESTIAJE EN EL SUROESTE DEL ESTADO DE MÉXICO" to Tropical and Subtropical Agroecosystems. With the online journal management system that we are using, you will be able to track its progress through the editorial process by logging in to the journal web site:

Manuscript URL:
<https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/author/submission/5215>
Username: balbarranpmx

If you have any questions, please contact me. Thank you for considering this journal as a venue for your work.

Carlos A. SANDOVAL-CASTRO
Tropical and Subtropical Agroecosystems

Tropical and Subtropical Agroecosystems
<http://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA>

VII.- RESULTADOS

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 y 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.* ² *Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Universidad Autónoma del Estado de México. Campus "El Cerillo Piedras Blancas" Toluca, Estado de México. CP 50090. Tel. (722) 2965552. Emails: britoazael036@gmail.com; agarciam@uaemex.mx; cmarriagaj@uaemex.mx; flopezg@uaemex.mx; sesparzaj@uaemex.mx; balbarranp@uaemex.mx.*

**Corresponding author*

Autor para correspondencia:

Benito Albarrán Portillo. Centro Universitario UAEM Temascaltepec, Universidad Autónoma del Estado de México, Carretera Toluca-Tejupilco Km.67.5, C.P. 51300, Temascaltepec, México

balbarranp@uaemex.mx

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 5 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.

ABSTRACT

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. Aim. 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.

INTRODUCCIÓN

El ensilado de maíz (*Zea mays*) es ampliamente utilizado como forraje conservado las dietas de ganado lechero tanto en sistemas intensivos (Koenig et al., 2023), como en pequeñas unidades de producción en México (Martínez-García et al., 2015). Sin embargo, el cultivo de maíz es susceptible al déficit hídrico afectando tanto la productividad como su composición nutricional (Avendaño-Arrazate et al., 2008).

Debido a lo anterior, se han propuesto alternativas forrajeras resilientes a condiciones ambientales adversas como la sequía prolongada. El sorgo (*Sorghum bicolor*), es una 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 (Berumen et al., 2017).

México es el quinto productor mundial de sorgo con 4.37 millones de toneladas en el año 2021 (FAOSTAT, 2021). No obstante lo anterior, Cuevas-Reyes et al. (2021) reportan que el nivel de adopción de semillas de sorgo para la producción de grano o forraje es baja, por lo que se requiere de esfuerzos de extensionismo agrícola para la difusión e incremento en la aceptación del cultivo en la producción animal.

Cattani et al. (2017) compararon la composición nutricional de ensilado de maíz (EM) vs ensilado de sorgo (ES), encontrando que ES tuvo menor contenido de materia seca (MS),

carbohidratos no estructurales y almidón en comparación con EM. Por el contrario, el ES tuvo un mayor contenido de FDN, FDA, LDA, ácidos grasos saturados en comparación con EM. En cuanto a la respuesta animal, no existieron diferencias significativas en el consumo de materia seca entre ensilados ($P > 0.05$). Se observó que las vacas que consumieron ES produjeron 6% menos leche que las vacas que consumieron EM ($P < 0.05$); mientras que los rendimientos de grasa, proteína y lactosa (kg/día) no fueron afectados por el tipo de ensilado. Tampoco se vieron afectadas las propiedades de coagulación de la leche de vacas alimentadas con ES. Los autores concluyen que el ES tiene potencial como forraje sustituto al EM en la dieta de vacas lecheras.

Barile et al. (2007) compararon ensilado de sorgo vs maíz en la dieta de búfalas sobre rendimiento productivo y características de la leche, concluyendo que no hubo efectos del tipo de ensilados sobre los rendimientos de leche, así como sobre las características físico – químicas de la leche como grasa, proteína, lactosa, propiedades coagulativas o conteo de células somáticas.

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 las temperaturas ambientales 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 el sorgo que es resiliente a condiciones ambientales adversa, con un buen potencial forrajero y adecuado valor nutricional (Hernández-Espinal et al., 2010).

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), además del nivel de especialización de la actividad productiva y la disponibilidad de infraestructura (Cuevas-Reyes et al., 2021).

Por lo tanto, el objetivo de estudio fue evaluar dos variedades de sorgo forrajero Top Green (TG) y Caña Dulce (CD) como suplemento a 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° 35' - 18° 48' de latitud norte y 100° 00' - 100° 30' de longitud oeste. La altitud promedio es de 1,598 fluctuando entre los 500 y los 2,400 m.s.n.m. El 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 cruce Brahman x Pardo Suizo. Las vacas son 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 es 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 salen 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 (TP) 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.

Alrededor del día 80 de establecimiento se inició con el monitoreo del contenido de materia seca (MS) tomando una muestra de 20 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.

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.

Estimaciones de rendimiento del sorgo y toma de muestras

El rendimiento del forraje producido por cada variedad de sorgo fue determinado a partir de registrar el peso en fresco de la cantidad de forraje que se utilizaba diariamente durante la duración del experimento. El ensilado se colocaba en bolsas de plástico para ser transportado del silo a los corrales en donde se ordeñaban las vacas. Cada día se obtenían cuatro bolsas de forraje las cuáles se pesaban con una báscula electrónica. El peso aproximado de las bolsas fue de 30 kg en base fresca. A partir de la suma del ensilado utilizado a diario durante los días de duración del experimento, se obtuvo el rendimiento total de cada variedad de sorgo en base fresca, para posteriormente ser expresado en base seca.

Vacas experimentales

De 18 vacas en el hato se seleccionaron 12 vacas multíparas 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 ($n = 1$). 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 (LT) con 62 ± 39 , media (LM) 187 ± 13 y tardía (LT) con 428 ± 192 días.

Tratamientos y manejo de los animales

Las variedades de sorgo ensilado Top Green (TP) y Caña Dulce se asignaron al azar a los grupos de vacas. La cantidad diaria de ensilado de sorgo (ES) suministrado fue de 5 kg vaca/día en base fresca (BF), lo que representó 1.7 y 1.8 kg de MS vaca/día. El ES se suministraba diariamente en comederos dentro de los potreros a las 12:00 h todos los días para cada grupo de vacas. La cantidad de ensilado de sorgo (kg/vaca/día BF) se determinó durante el periodo de acostumbramiento (semanas 1 y 2), ajustando a la baja la cantidad diaria de ES suministrada hasta que el ensilado remanente en los comederos representaba 10% del total de total ofrecido. El experimento duró 8 semanas, dos semanas de periodo de acostumbramiento y seis semanas de toma de muestras y registro de variables productivas. La semana 1 a 6 fueron consideradas como periodos experimentales (PE).

Mediciones y toma de muestras

Los rendimientos de leche (kg/vaca/día) se registraron los sábados y domingos de cada PE durante la ordeña. El rendimiento de leche individual se pesó con una báscula electrónica colgante de 20 kg de capacidad. 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 ®, durante dos días consecutivos. 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.

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, 2010). La eficiencia de alimentación (EA) se estimó dividiendo el rendimiento de leche entre consumo de materia seca (kg/día).

El consumo de materia seca (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).

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 colocados al azar dentro de las praderas, durante el pastoreo de la mañana los días sábado y domingo de cada PE. 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 las fibras detergente neutro (FDN) y detergente ácido (FDA) se determinaron mediante la técnica de microbolsa de Ankom (ANKOM Technology, Macedon, New York, USA).

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

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

donde: y_{ijkl} la variable de respuesta animal, T_i efecto fijo de la variedad de sorgo ($i =$ Top green y Caña dulce), PE_j efecto fijo del periodo experimental ($j = 1, 2 \dots 6$), R_k efecto fijo de la raza de la vaca ($k =$ Europeo y Cebú) + EL_l efecto fijo de la etapa de lactación ($l =$ 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.

RESULTADOS

En el cuadro 1 se observa la masa herbácea (MH) disponible en las praderas que pastorearon los grupos de vacas durante la realización del experimento. La MH promedio en las praderas que pastorearon el grupo TG y CD fue de 2,692 y 3,167 (kg/MS/ha).

Cuadro 1. Masa herbácea disponible (kg/MS/ha) (promedio y desviación estándar) por periodo experimental (PE), en las praderas que pastorearon los grupos de vacas que recibieron los ensilados de sorgo Top Green (TG) y Caña Dulce (CD).

Grupo	PE1	PE2	PE3	PE4	PE5	PE6
TG	3,421 ± 348	2,167 ± 344	3,208 ± 295	1,688 ± 216	2,688 ± 125	2,979 ± 109
CD	3,709 ± 217	3,583 ± 786	4,313 ± 901	1,917 ± 72	2,625 ± 125	2,854 ± 626

La altura promedio de las plantas al momento del corte fue de 188 ± 29 y 194 ± 33 cm, para TG y CD, respectivamente. Mientras que los rendimientos de forraje fueron 3,332 y 2,614 (kg/ha MS) para TG y CD, respectivamente, por lo que TG fue 22% superior a CD en rendimiento de forraje. En el cuadro 2 se observa la composición química de los ensilados experimentales de las variedades TG y CD, así como del concentrado que recibían las vacas, y la pradera en la que cada grupo de animales pastoreó. El contenido de materia seca (MS) del ensilado TG fue 337.1 mientras que CD tuvo 353.8 (g/kg de MS). El contenido de MS de la pradera que pastorearon los grupos de vacas fue de 607.5 y 589.5 (g/kg de MS), TG y CD, respectivamente. Mientras que el contenido de MS del concentrado que recibieron las vacas fue de 925 (g/kg de MS).

El contenido de proteína cruda del ensilado TG y CD fue 90.4 y 92.7 g/kg de MS, respectivamente. El contenido de PC del concentrado fue de 175.6 g/kg de MS; mientras que el contenido de PC de las praderas en las que pastoreaba cada grupo fue de 67.4 y 61.8 g/kg de MS, para los grupos TG y CD, respectivamente. Los contenidos de fibra detergente neutro de los ensilados fueron muy similares teniendo 665.1 y 665.8 (g/kg de MS), para TG y CD, respectivamente.

Cuadro 2. Composición química de los ensilados (g/kg MS) de sorgo variedades Top Green (TG), Caña Dulce (CD), así como los concentrados que recibía cada grupo de vacas y la pradera que pastoreaba cada grupo.

Grupo	Alimento	MS	PC	FDN	FDA
TG	Ensilado	337.1	90.4	665.1	409.6
	Concentrado	925.0	175.6	290.7	116.2
	Pradera	607.5	67.4	533.0	280.0
CD	Ensilado	353.8	92.7	665.8	422.1
	Concentrado	925.0	175.6	290.7	116.2
	Pradera	589.5	61.8	562.6	282.5

Respuesta animal

En el cuadro 3 se observan las significancias estadísticas de los factores analizados sobre las variables de respuesta animal. Los ensilados de sorgo TG y CD, no tuvieron efecto significativo sobre las variables productivas de las vacas ($P > 0.05$). 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), peso y cambio de

peso ($P < 0.05$). 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, solo tuvo un efecto significativo sobre los rendimientos de leche (kg/día); por último, la interacción GR*PE tuvo efectos significativos sobre CMS, peso y cambio de peso ($P < 0.05$).

Cuadro 3. Análisis de varianza de los factores tratamiento (silo Top Green vs Caña Dulce), periodo experimental (PE); grupo racial (GR), etapa de lactación (EL), interacción tratamiento*periodo experimental (TX*PE) e interacción grupo racial*periodo experimental (GR*PE) sobre las variables de respuesta.

	TX	PE	GR	EL	TX*PE	GR*PE
CMS	0.91	<0.001	0.13	<0.01	0.78	<0.01
Leche	0.40	<0.001	0.12	0.05	0.01	0.88
LCE	0.43	0.25	0.14	0.67	0.38	0.85
LCGP	0.43	0.27	0.15	0.70	0.38	0.85
Grasa (g/kg)	0.92	0.33	0.05	0.01	0.78	0.26
Grasa (kg/d)	0.38	0.64	0.46	0.87	0.40	0.66
Proteína (g/kg)	0.04	0.42	0.87	0.11	0.37	0.83
Proteína (kg/d)	0.61	0.01	0.07	0.22	0.36	0.91
Lactosa (g/kg)	0.07	0.07	0.82	0.21	0.51	0.75
Lactosa (kg/d)	0.61	0.01	0.08	0.24	0.29	0.93
Peso (kg)	0.77	<0.01	0.38	0.13	0.98	<0.001
Cambio de Peso	0.82	<0.001	0.23	0.19	0.84	<0.001
EA	0.40	0.10	0.13	0.79	0.18	0.23

CMS = consumo de materia seca (kg/día); LCE = Leche corregida a energía (MJ/kg); LCGP = leche corregida a grasa y proteína (kg/día); EA = Eficiencia alimenticia (Leche/CMS)

Variable	Tratamiento		Grupo Racial		Etapa de lactación		
	Top Green	Caña Dulce	Europeo	Cebú	TE	ME	TA
CMS (kg/d)	11.6	11.8	10.9	12.4	13.2 ^a	10.4 ^b	11.4 ^{ab}
Leche (kg/d)	7.2	7.4	5.8	8.7	8.2	7.3	6.4
LCE (kg/d)	9.5	10.8	7.9	12.5	10.9	9.2	10.5
LCGP (kg/d)	8.7	9.9	7.2	11.3	9.9	8.4	9.5
Grasa (g/kg)	43.8	43.4	50.8	36.4	35.8 ^a	52.7 ^b	42.3 ^{ab}
Grasa (kg/d)	0.35	0.41	0.37	0.42	0.37	0.40	0.37
Proteína (g/kg)	33.8	32.3	33.2	33.0	32.5	32.1	34.6

Proteína (kg/d)	0.29	0.32	0.20	0.40	0.35	0.22	0.32
Lactosa (g/kg)	51.0	48.9	50.2	49.7	49.0	48.7	52.1
Lactosa (kg/d)	0.43	0.48	0.30	0.60	0.52	0.34	0.50
Peso (kg)	500	489	465	525	465	430	589
Cambio de peso (kg)	-0.33	-0.20	0.38	-0.92	-0.73	0.65	-0.72
EA (kg)	0.71	0.83	0.58	0.96	0.80	0.70	0.81

TE = Temprana, ME = Media, TA = Tardía, CMS = consumo de materia seca (kg/día); LCE = Leche corregida a energía (MJ/kg); LCGP = leche corregida a grasa y proteína (kg/día); EA = Eficiencia alimenticia (Leche kg / CMS kg).

En el cuadro 4 se observa el promedio de producción de leche de los tratamientos que fue de 7.3 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. Lo mismo para los rendimientos de grasa, proteína y lactosa (kg/día), existió una ventaja numérica pero no estadística ($P > 0.05$) en favor del tratamiento con CD.

Cuadro 4. Cuadrados medios del efecto de la variedad de ensilado de sorgo Top Green (TG) vs Caña Dulce (CD), grupo racial y etapa de lactación sobre las variables de respuesta animal.

En cuanto a cambio de peso, los dos grupos de vacas perdieron peso de entre 0.20 y 0.30 kg/día para las vacas que recibieron CD y TG; respectivamente. En cuanto a grupo racial, las vacas del grupo cebú tuvieron un cambio de peso de -0.92 kg/día, mientras que en las del grupo racial europeas el cambio de peso fue de -0.38. De acuerdo con la etapa de lactación, las vacas en lactación temprana y tardía tuvieron un cambio de peso de -0.73 y -0.72 kg/día, respectivamente, mientras que las vacas en etapa media tuvieron una ganancia de peso de 0.65 kg/día. La eficiencia de alimentación (EA) fue 0.71 y 0.83 siendo estadísticamente iguales entre tratamientos.

En el cuadro 5 se observa el efecto de los periodos experimentales sobre las variables de respuesta animal. Las variables que fueron afectadas por el PE fueron CMS, rendimiento de leche (kg/día), contenido (g/kg) y rendimiento de proteína (kg/día). La tendencia general fue de reducciones en los niveles conforme avanzó el experimento, excepto en la concentración de proteína.

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

Variable	PE-1	PE-2	PE-3	PE-4	PE-5	PE-6	P =	E.E.
CMS (kg/d)	11.9 ^a	12.0 ^b	11.5 ^b	11.6 ^b	11.6 ^b	11.4 ^b	<0.001	0.23
Leche (kg/d)	8.2 ^a	7.4 ^b	7.3 ^b	7.3 ^b	6.6 ^c	6.9 ^{bc}	<0.001	0.74
LCE (kg/d)	10.9	10.5	10.0	10.0	9.7	9.9	0.25	1.18
LCGP (kg/d)	9.9	9.6	9.2	9.1	8.8	9.1	0.27	0.72
Grasa (g/kg)	40.7	44.7	44.8	43.9	43.4	44.0	0.33	2.58
Grasa (kg/d)	0.39	0.40	0.38	0.37	0.36	0.37	0.64	0.03
Proteína (g/kg)	33.6 ^a	32.7 ^b	33.5 ^b	33.1 ^b	32.7 ^b	32.8 ^b	0.42	0.45
Proteína (kg/d)	0.34 ^a	0.30 ^b	0.30 ^b	0.29 ^b	0.29 ^b	0.29 ^b	0.01	0.02
Lactosa (g/kg)	0.34	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	0.01	0.02
Lactosa (kg/d)	0.51	0.46	0.45	0.44	0.42	0.44	0.01	0.06
Peso (kg)	499	511	481	491	498	489	<0.01	16.8
CP (kg/día)	1.68	-4.20	1.53	1.42	-1.27	-0.78	<0.001	0.84
EA	0.83	0.76	0.77	0.76	0.74	0.76	0.10	0.09

CMS = Consumo de materia seca; EA = Eficiencia de alimentación (Leche (kg) / CVMS (kg))

DISCUSIÓN

Bajo las condiciones ambientales de la región, se evaluó por primera vez en la unidad de producción participante el cultivo de sorgo forrajero como una alternativa al maíz, debido principalmente a su resiliencia a la sequía. Las variedades de sorgo evaluadas tuvieron rendimientos de forrajes 63 y 87% menores a los reportados por Berumen et al. (2017) (8,000 kg/ha MS) y Granados-Niño et al. (2021) (17,750 kg/ha MS); ambos estudios se desarrollaron en pequeñas parcelas experimentales y en terreno plano. 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 % (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 se encontraron dentro de los rangos en la literatura de 437 y 717 (g/kg MS); mientras que FDA 287 y 493 (g/kg MS) (McCary et al., 2020; Granados-Niño et al., 2021). La composición química entre ambas variedades de sorgo 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.

De los factores evaluados solo el factor PE fue significativo sobre algunas variables de respuesta animal como CMS, rendimiento de leche, peso y cambio de peso (Cuadro 5), lo cual concuerda con el avance de la época de estiaje debido a una disminución en la composición química del forraje disponible en las áreas de pastoreo, coincidiendo con lo reportado en otros estudios en la región (Salvador-Loreto et al., 2016; Salas-Reyes et al., 2019).

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, grupo racial o etapa de lactación. Sin embargo, numéricamente las vacas del grupo cebú produjeron 33% más kg de leche por día, lo cual representa una ventaja económica importante para el productor. Trabajos con realizados en la región con el objetivo de desarrollar estrategias de suplementación en la época de estiaje, han reportado ventajas económicas en la producción de leche entre tratamientos, cuando no se detectaron diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos (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 relacionado un mayor peso de las vacas en lactación temprana y tardía (Cuadro 4). La concentración de grasa (g/kg), 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 la concentración de componentes de leche se incrementa (Schwendel et al., 2015). 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.

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.

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

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).

ANKOM, n.d. *Tecnology, 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>>.

Barile, V.L., Tripaldi, C., Pizzoferrato, L., Pacelli, C., Palocci, G., Allegrini, S., Maschio, M., Mattera, M., Manzi, P. and Borghese, A., 2007. Effects of different diets on milk yield and quality of lactating buffaloes: Maize versus sorghum silage. *Italian Journal of Animal Science*, 6(SUPPL. 2), pp.520–523. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.520>.

- Berumen, C.A.N., Serna, R.R., Ocampo, R.J., Carreón, F.Ó.C., Martínez, P.A.D. 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>.
- 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>.
- Chiambiro, G., Madzimure, J. and Mpofu, 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>.
- 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>.

- 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>.
- Hernández-Espinal, L.A., Moreno-Gallegos, T., Loaiza-Meza, A. and Reyes-Jiménez, J.E., 2010. Gavatero-203, Nueva variedad de sorgo forrajero para el estado de Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(2), pp.727–731.
- IDF, 2010. Bulletin of the IDF No. 445/2010 - A common carbon footprint approach for dairy. The IDF guide to standard lifecycle assessment methodology for the dairy sector. *Bulletin of the International Dairy Federation*, 445, p.46. https://doi.org/Bulletin_445/2010.
- 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 ..., 2009. Harvest timing and byproduct addition effects on corn and forage sorghum silage grown under water stress. *Bull*, (February 2014).
- Martínez-García, C.G., Rayas-Amor, A.A., Anaya-Ortega, J.P., Martínez-Castañeda, F.E., Espinoza-Ortega, A., Prospero-Bernal, F. and Arriaga-Jordán, C.M., 2015. Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies. *Tropical Animal Health and Production*, 47(2), pp.331–337. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0724-0>.
- 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>.

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>>.

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>.

Schwendel, B.H., Wester, T.J., Morel, P.C.H., Tavendale, M.H., Deadman, C., Shadbolt, N.M. and Otter, D.E., 2015. Invited review: Organic and conventionally produced milk-An evaluation of factors influencing milk composition. *Journal of Dairy Science*, [online] 98(2), pp.721–746. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8389>.

SMN, 2020. Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. <https://smn.conagua.gob.mx/es/>.

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.1–10.

ORCID Autores

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>

VIII.- BIBLIOGRAFÍAS

Demagnet, R. and Canales, C. (2020) 'Manual: cultivo del sorgo forrajero', *Plan Lechero, Watts. universidad de la Frontera*, pp. 1–20.

FIRA (2016) 'Panorama Agroalimentario: Sorgo', *Dirección de Evaluación y Evaluación Económica y Sectorial*, pp. 0–39. Available at:

Gustavo, L. *et al.* (2007) 'Consideraciones Sobre Ensilajes De Sorgo', *Jornada sobre Producción y Utilización de Ensilajes*, (1979), pp. 51–68.

Morado, S. and Martínez, L. (2011) *temporal con el uso de prácticas conservacionistas Producción sustentable de sorgo de temporal con el uso de prácticas conservacionistas*.

Pérez Hernández, A. *et al.* (2019) 'Análisis de crecimiento en sorgo forrajero en dos periodos de siembra', *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(5), pp. 1083–1095.

Trujillo, J. (1987) 'El Cultivo de Sorgo en Áreas Tropicales en México', *Ceiba*, 29(2), pp.

Torres, J. H. *et al.* (2020) 'Comparación de tres tipos de ensilaje (maíz, sorgo, y caña de azúcar) en la producción de leche: Revisión de literatura'.