



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC

LICENCIATURA DE INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

**ENSILADO DE SORGO (*SORGHUM BICOLOR*) COMO ALTERNATIVA
FORRAJERA EN UNA UNIDA DE PRODUCCIÓN DE DOBLE PROPÓSITO EN
AMATEPEC, ESTADO DE MÉXICO**

**QUE PRESENTAN COMO OPCIÓN DE EVALUACION PROFESIONAL PARA
OBTENER EL TITULO DE INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA**

JUAN DE DIOS BRITO NAVARRO

ASESOR DE TESIS

DR. BENITO ALBARRAN PORTILLO

COASESOR

DR. JOSÉ FERNANDO VÁZQUEZ ARMIJO

TEMASCALTEPEC DE GONZALES, MEXICO

Resumen

La región suroeste del estado de México es una zona de vocación ganadera con una amplia disponibilidad de recurso tierra; sin embargo, ésta se encuentra en lomeríos con endientes pronunciadas, lo que hace que los cultivos establecidos bajo estas condiciones tengan bajos rendimientos productivos. 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, lo cual incrementa los costos de producción de leche y carne. Las estrategias de conservación de forrajes son poco practicadas. El objetivo del trabajo fue evaluar el potencial productivo de dos variedades de sorgo forrajero ensilado; así, como 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

The southwestern region of the state of Mexico is a livestock-oriented area with a wide availability of land resources; However, it is found on hills with steep slopes, which means that crops established under these conditions have low productive yields. 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, producers use grain-based supplements, which increases milk and meat production costs. Forage conservation strategies are little practiced. The objective of the work was to evaluate the productive potential of two varieties of silage forage sorghum; as well as 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), in 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 a meadow dominated by EA grass with trees dispersed. 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 sorghum silage variety, breed group or lactation stage. Significant differences were detected in dry matter consumption (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 consumption. 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.

Keywords: Feeding strategies, dual-purpose cows, alternative forages, dry season.

Índice general

Resumen	2
Abstract.....	4
Introducción.....	12
Objetivos.....	12
Objetivo general	18
Objetivos particulares	18
Hipótesis	17
Justificación	19
Revisión de literatura.....	20
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SORGO.....	20
HISTORIA DEL SORGO.....	20
HISTORIA DEL SORGO EN MÉXICO	21
SITUACIÓN ACTUAL DEL CULTIVO DE SORGO FORRAJERO EN MÉXICO	23
FIGURA 1. TENDENCIAS DE LA PRODUCCIÓN DE SORGO FORRAJERO EN MÉXICO, PERIODO 2013 – 2022.	23
VARIACIÓN EN LA PRODUCCIÓN MENSUAL DE SORGO FORRAJERO	26
COMERCIO EXTERIOR DE SORGO FORRAJERO	27
ORIGEN Y DESTINO COMERCIAL DEL SORGO FORRAJERO	28
EVOLUCIÓN DEL COMERCIO EXTERIOR EN MÉXICO DEL SORGO FORRAJERO	28
SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE GRANO DE SORGO EN MÉXICO.....	29
EVOLUCIÓN DEL COMERCIO EXTERIOR DE GRANO DE SORGO	30
FIGURA 2. EVOLUCIÓN DEL COMERCIO EXTERIOR EN MILLONES DE DÓLARES DEL AL 2015 AL 2022	30
FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DEL COMERCIO EXTERIOR DE GRANO DE SORGO EN EL AÑO 2022.....	31

FLUJO COMERCIAL.....	32
FIGURA 4. VOLUMEN DE PRODUCCIÓN DE GRANO DE SORGO (MILES DE T) EN EL PERIODO 2013-2022	33
FIGURA 5. PORCENTAJE DE PRODUCCIÓN MENSUAL DE GRANO DE SORGO	36
RESISTENCIA DEL SORGO A LA SEQUÍA	37
USO ALTERNATIVO DEL SORGO ANTE EL DÉFICIT HÍDRICO.....	39
COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL SORGO	39
MANEJO AGRONÓMICO DEL SORGO.....	42
<i>Preparación del terreno</i>	<i>42</i>
<i>Híbridos y variedades.....</i>	<i>43</i>
<i>Fecha, método y densidad de siembra.....</i>	<i>43</i>
<i>Fertilización.....</i>	<i>44</i>
<i>Control de plagas</i>	<i>44</i>
<i>Control de maleza</i>	<i>45</i>
<i>Cosecha.....</i>	<i>46</i>
VARIETADES DE SORGO FORRAJERO.....	46
FERTILIZACIÓN DEL SORGO.....	47
ENSILADO DE SORGO FORRAJERO	48
Materiales y métodos.....	50
ZONA DE ESTUDIO.....	50
UNIDAD DE PRODUCCIÓN PARTICIPANTE.....	51
VACAS EXPERIMENTALES	51
RAZA DE LAS VACAS EXPERIMENTALES	52
VARIABLES DE RESPUESTA ANIMAL	52
PERIODOS EXPERIMENTALES.....	53
SIEMBRA.....	53

FIGURA 6. IMÁGENES DE LOS CULTIVOS DE SORGO	54
INDICADORES DE RENDIMIENTO	54
PROCESO DE ENSILADO	55
FIGURA 7. PROCESO DE CORTE Y ACARREO, PICADO, COMPACTADO Y TAPADO DEL SILO.....	56
RENDIMIENTO DE FORRAJE	56
COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	56
EXPERIMENTO DE RESPUESTA ANIMAL.....	57
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	57
Resultados.....	59
ALTURA DE LAS VARIEDADES DE SORGO	59
RENDIMIENTO DE FORRAJE	59
COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LAS VARIEDADES DE SORGO Y PRADERA	60
RESPUESTA ANIMAL	63
Discusión general	68
IMPACTO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/VINCULACIÓN	70
Conclusiones.....	72
Referencias	73

Índice de cuadros

Cuadro 1. Principales estados productores de sorgo forrajero en el año 2023, y variaciones en la producción.....	24
Cuadro 2. Indicadores productivos de sorgo forrajero en México 2022	26
Cuadro 3. Variación mensual en la producción de sorgo forrajero.....	27
Cuadro 4. Flujo comercial de sorgo en los años 2021 y 2022	28
Cuadro 5. Evolución del valor de las importaciones y exportaciones de sorgo forrajero en el periodo 2015 a 2022	29
Cuadro 6. Variación en el flujo comercial del grano de sorgo en los años 2021 y 2022.....	32
Cuadro 7. Principales estados productores de grano de sorgo en el año 2022, volumen y variación entre el año 2021 y 2022.....	34
Cuadro 8. Indicadores productivos de grano de sorgo en México 2022	36
Cuadro 9. Comparación de la composición nutricional de ensilado de maíz, sorgo fresco y sorgo ensilado	41
Cuadro 10. Características de las vacas utilizadas en el experimento de suplementación con ensilado de sorgo	52
Cuadro 11. Altura promedio de plantas de sorgo y rendimiento de variedades Top Green y Caña Dulce	55
Cuadro 12. Altura promedio de plantas de sorgo y rendimiento de variedades Top Green y Caña Dulce.	59

Cuadro 13. Rendimiento de variedades Top Green y Caña Dulce en base fresca y base seca	60
Cuadro 14. Composición nutricional de los ensilados de sorgo variedades Top Green, Caña Dulce, así como los concentrados que recibía cada grupo de vacas y la pradera que pastoreaba cada grupo	61
Cuadro 15. 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 e interacción grupo racial*periodo experimental sobre las variables de respuesta	64
Cuadro 16. Efecto de la variedad de ensilado de sorgo, grupo racial y etapa de lactación sobre las variables de respuesta animal	65
Cuadro 17. Efecto del periodo experimental (PE) sobre las variables de respuesta animal.	67

Índice de Figuras

FIGURA 1. TENDENCIAS DE LA PRODUCCIÓN DE SORGO FORRAJERO EN MÉXICO, PERIODO 2013 – 2022.	23
FIGURA 2. EVOLUCIÓN DEL COMERCIO EXTERIOR EN MILLONES DE DÓLARES DEL AL 2015 AL 2022	30
FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DEL COMERCIO EXTERIOR DE GRANO DE SORGO EN EL AÑO 2022.....	31
FIGURA 4. VOLUMEN DE PRODUCCIÓN DE GRANO DE SORGO (MILES DE T) EN EL PERIODO 2013-2022	33
FIGURA 5. PORCENTAJE DE PRODUCCIÓN MENSUAL DE GRANO DE SORGO	36
FIGURA 6. IMÁGENES DE LOS CULTIVOS DE SORGO	54
FIGURA 7. PROCESO DE CORTE Y ACARREO, PICADO, COMPACTADO Y TAPADO DEL SILO.	56

Introducción

El presente trabajo pertenece a un proyecto de investigación financiado por la Universidad Autónoma del Estado de México, a través de la Secretaría de Investigación y Estudios Avanzados, con clave: 6623/2022CIP, que se presentó dentro de la convocatoria 2022. El proyecto de aplicación del conocimiento para innovar en las estrategias de alimentación de ganado lechero en beneficio de los productores de doble propósito en la región suroeste del Estado de México, se basó en un enfoque participativo en conjunto con los productores que permite un proceso más rápido para “el desarrollo de tecnología, la evaluación, transferencia y adopción ... a través de ... investigación bio-física adaptativa y descriptiva en finca que es sustentada con investigación socioeconómica en las unidades de producción ... y la simultánea diseminación y difusión de resultados” (Stroup et al., 1993).

Las características principales de los sistemas de producción de DP es que se constituyen por unidades de producción con extensiones promedio de 60 h, con pendientes pronunciadas (>20%) y cuentan con hatos de 60 animales en promedio (25 vacas en lactación más sus becerros) y remplazos. La producción de carne (becerro destetado) genera el 46% de los ingresos anuales, mientras que la producción de eche contribuye con el 44%. Los ingresos por venta de leche permiten cubrir los gastos de operación del hato; así como las necesidades de dinero de las familias, mientras que la venta de becerros destinados para el abasto genera las ganancias del sistema, pero estos ingresos se capitalizan solo una o dos veces al año (final de la época de lluvias principalmente) (Albarrán-Portillo et al., 2015).

La leche que se produce en las unidades de DP en su mayoría se vende a pequeños talleres artesanales de queso tipo añejo conocido también como queso refregado, enchilado o añejo

(Rebollar et al. 2011), dinamizando la economía local al generar empleos directos (unidad de producción) e indirectos (talleres de queso, revendedores, compra-venta de alimentos, medicinas, implementos etc.), por lo que son considerados como una alternativa para el desarrollo rural (Martínez-García et al., 2015).

En las últimas décadas, los países en desarrollo han aumentado la producción de leche a nivel mundial caracterizándose por que se produce en sistemas en pequeñas unidades de producción y además contribuye a la seguridad alimentaria y nutrición de los hogares. Alrededor de 150 millones de hogares en todo el mundo se dedican a la producción de leche siendo una fuente importante de ingresos (FAO, 2017).

La producción de leche en pequeñas unidades de producción tanto campesina como de DP es una opción viable tanto para impulsar el crecimiento económico para reducir la pobreza y la necesidad de migrar a las ciudades (Heredia-Nava et al., 2017).

Actualmente la producción agropecuaria enfrenta nuevas exigencias a nivel mundial, sobre todo en el enfoque sustentable basándose en tres contextos principales; ecológicos, económicos y sociales, siendo la escala económica la más limitante en estos sistemas, por los altos costos y la baja eficiencia, ya que la alimentación abarca desde un 60 a un 90 % del total de los costos de producción (Fadul-Pacheco et al., 2013; Salas-Reyes et al., 2015).

La alimentación del ganado representa la mayor parte de los costos de producción sobre todo por la dependencia de alimentos concentrados y otros insumos externos, por lo que se deben desarrollar estrategias de alimentación adecuadas para estos sistemas basadas en forrajes de calidad producidos en las propias unidades de producción. Ya que a nivel mundial los precios

de la leche se encuentran bajos, es una prioridad reducir los costos de producción (SIAP-SAGARPA, 2023).

Por lo tanto, se hace necesario innovar en el desarrollo de estrategias de alimentación apropiadas para estos sistemas de producción que actualmente deben considerar los posibles efectos del cambio climático, como lo son incremento en las temperaturas, lluvias erráticas y escasas, todo esto sumado a los distintos factores agroecológicos y sociales de las unidades de producción, por lo que es importante evaluar estrategias que sean más adaptables a estas condiciones.

La principal limitante en cuanto al rendimiento del forraje en estos sistemas de producción es la sequía (Jensen et al., 2010); por lo que existe gran preocupación en el suministro del forraje de calidad para una época seca prolongada (Özkan et al., 2015), como ocurre en los climas sub-húmedos de México con una época seca marcada de noviembre a abril. En esta época el crecimiento del forraje es prácticamente nulo debido a la falta de agua de riego y a la prolongada sequía (noviembre a mayo). Debido a lo anterior los productores se ven en la necesidad de suplementar a sus vacas con cantidades que oscilan entre 4 y 6 (kg/vaca/día) lo cual tiene un efecto en el incremento en los costos de producción. (Albarrán-Portillo et al. 2015). Rebollar et al. (2011) determinó el costo de producción de un kg de leche en \$4.40 en la época de estiaje, mientras que el precio parado al productor era de \$4.0 por lo que había una pérdida de \$0.4 por kg de leche producido. Por lo tanto, es necesario contar con una provisión de forraje conservado de calidad para cubrir las necesidades de alimentación de los hatos durante esta época con alimentos de bajo costo producidos en la unidad de

producción. El proceso de ensilaje es el mejor método para conservar forraje de buena calidad.

Los sistemas de producción bovina emplean el pastoreo de especies forrajeras para la alimentación porque este sistema demanda un menor costo (Sánchez- Matta, 2005) y en los sistemas de producción de leche de DP el pastoreo de praderas ha demostrado su viabilidad para reducir costos de alimentación (Salas-Reyes et al., 2019).

Las desventajas son los efectos de las variaciones climáticas que ocasionan reducción en la cantidad y calidad del forraje producido en las praderas; por lo que los sistemas de producción de leche de DP en la región suroeste del Estado de México requieren de forrajes conservados durante la época seca por lo que se deben desarrollar alternativas para conservar forrajes y buscar opciones resistentes a la sequía para afrontar los efectos adversos del déficit hídrico (Sánchez-Matta, 2005).

Por ello es necesario innovar con especies forrajeras mejor adaptadas tanto al ambiente como a las condiciones de manejo. Como se mencionó, en los sistemas de producción de leche en pequeñas unidades de producción el riego es limitado y circunscrito a pequeñas superficies de praderas cultivadas (Fadul-Pacheco et al., 2013); por lo que la mayor parte de la superficie de cultivo es de temporal.

Es en estas superficies de temporal donde es necesario implementar cultivos forrajeros para conservación y suministro en la época seca, cultivos que se ven afectados por el déficit hídrico dada la alta evapotranspiración (Segura-Castruita and Ortiz-Solorio, 2017) aunado a

patrones de lluvias erráticos y mayores temperaturas; escenarios que podrían verse agravados a consecuencia del cambio climático.

El ensilaje es un método de conservación de pastos y forrajes basado en la fermentación anaeróbica de la masa forrajera que permite mantener durante periodos prolongados de tiempo la calidad que tenía el forraje en el momento del corte (Sánchez-Matta, 2005).

El sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) es una gramínea tropical originaria de África, es un cereal reconocido como altamente productivo, resistente a la sequía, que se ha difundido en las regiones templadas del mundo y se ha establecido como un cultivo de gran adaptación ambiental. Entre sus usos, la planta se emplea como forraje en la alimentación del ganado, y tanto el grano como el forraje de sorgo se consideran como sustitutos al grano y forraje de maíz. Una característica sobresaliente del sorgo es su periodo de latencia, que le permite suspender el crecimiento hasta que se reestablezcan nuevamente las condiciones favorables. Este cereal tiene un menor requerimiento de agua y se adapta mejor a situaciones de sequía (Ruz-Reyes et al., 2018).

Por lo tanto, se hace necesario evaluar la implementación de ensilado de sorgo como un proceso de innovación de las estrategias de alimentación del ganado lechero de cara ante los retos que enfrentan los sistemas de producción de doble propósito, como fuente de forraje alternativo para la alimentación de vacas en lactación en la época de estiaje en el suroeste del Estado de México.

Hipótesis

No existen diferencias productivas en los rendimientos de producción de dos variedades de sorgo para ensilar, ni de la respuesta productiva de vacas en lactación en una unidad de producción en el Municipio de Amatepec, Estado de México.

Objetivos

Objetivo general

Documentar el proceso de cultivo y rendimiento de dos variedades de sorgo forrajero y el desempeño productivo de vacas en lactación en el Municipio de Amatepec, Estado de México.

Objetivos particulares

- Determinar el rendimiento de dos variedades de sorgo forrajero (kg/MS/ha),
- Determinar la composición química de dos variedades de sorgo forrajero ensilado de sorgo,
- Determinar la respuesta productiva de vacas en lactación de:
 - Rendimiento de leche (kg/vaca/día),
 - Composición de leche: grasas, proteína y lactosa (g/kg),
 - Peso (kg/vaca)
 - Condición corporal,
 - Cambio de peso,

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 al 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.

Revisión de literatura

Descripción general del sorgo

La semilla de sorgo (*Sorghum bicolor*) mide 3 mm de forma esférica y oblongas, de color que van de negro, rojizo o amarillento. Sus características nutricionales constan de azúcares de lenta digestión, alta calidad y bajo contenido de grasas. La planta es originaria de la India, perteneciente a la familia de las gramíneas, con cañas de 1.5 m de altura llenas de tejido de color blanco de sabor dulce y contiene vellosidades en los nudos, con hojas de tamaño lampiñas, ásperas en los bordes, presentan flores en la panoja floja, grande y derecha o espesa, con racimo y colgante, los granos son mayores que los cañamones (Sagarpa, 2017).

El sorgo se ha consolidado como una alternativa forrajera al maíz, pudiéndose diferenciar variedades especializadas en la producción de grano y otras hacia la producción de forraje. Además, algunas variedades se consideran como de doble propósito ya que tienen buenos rendimientos de grano y forraje (Dahlberg, 2000).

Historia del sorgo

Existen varias teorías con respecto al origen y diseminación del sorgo. Algunos primeros informes muestran que el sorgo existió en India en el siglo I d.C. Se han encontrado esculturas que lo describen y que fueron halladas en ruinas asirías de 700 años a. C. Sin embargo, los sorgos cultivados en la actualidad son originarios del silvestre *Sorghum bicolor* subsp. *Arundinaceum* y la mayor variación en el género *sorghum* se encuentra en la región noreste de África, abajo del Sahara, en la región Etiopía-Sudan, donde el género ancestral, con un número básico de cinco cromosomas, probablemente se originó hace 5,000 o 6,000 años. Su

distribución se debió a una serie de ondas, dentro de un arco de África a Australia y llegando posteriormente al continente americano. La expectación ocurrió a través del aislamiento, la poliploidía y de otras maneras. El movimiento hacia el sur fue restringido por los bosques lluviosos del Congo y los sorgos cultivados continuaron cruzándose con las especies silvestres generando nuevas formas de ambos tipos. La evidencia existente sugiere que el sorgo llegó de Etiopia a África Oriental alrededor del año 200 DC y de allí, la tribu Bantú lo llevo a los países de la sabana del este y sur de África, usando el grano principalmente para elaborar cerveza. Los sorgos actualmente cultivados en África Central y África del Sur, se asemejan más a los tipos de África oriental que a los de África Occidental (Buenavista, Gutierrez, 2003).

El movimiento del sorgo (guinea y durra) de África a la India, fue probablemente vía naves de vela a lo largo de la ruta oceánica de los Sabeos de Arabia del Sur, aproximadamente en el año 1500 AC. Desde la India, el cereal llegó a China por la Ruta de la Seda en el siglo III y dio lugar a las características distintivas del grupo kaoling cultivado en China Oriental y Central. Para el año 700 AC, el sorgo se había movido de la India hasta los países del Mediterráneo (notablemente Italia) vía Arabia. La llegada del cereal a varias partes del hemisferio occidental fue a través del comercio de esclavos (Buenavista, Gutierrez, 2003).

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, los productores pecuarios pronto se dieron cuenta 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 (t). 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 entre 2010 y 2014, 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 nacional. 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).

Situación actual del cultivo de sorgo forrajero en México

En el año 2022 México tuvo una producción promedio de sorgo forrajero de 4,079 (miles de toneladas) (Figura 1). En el año 2013 la producción de sorgo fue de 4,786 (miles de toneladas) y a partir de ese año la producción disminuyó alcanzando los niveles más bajos en el año 2016 con 3,000 (miles de toneladas), para posteriormente mostrar un incremento en la producción, para que en el año 2022 alcanzar una producción de 4079 (miles de toneladas). En promedio la producción nacional disminuyó en 1% por año del año 2013 al 2022 (SIAP-SAGARPA, 2023).

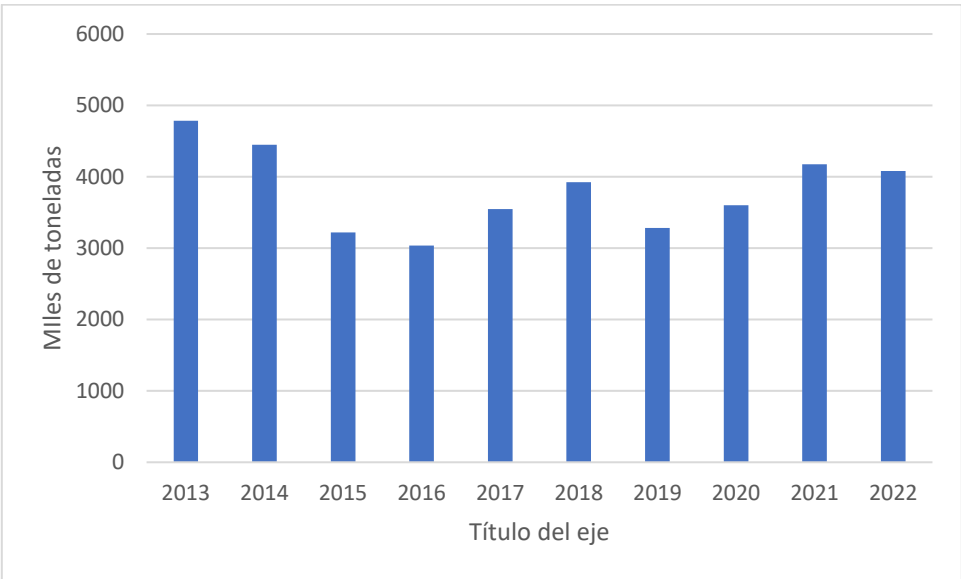


Figura 1. Tendencias de la producción de sorgo forrajero en México, periodo 2013 – 2022.

Del total de producción de sorgo, 10 estados dominan la producción siendo Durango el estado de mayor nivel de producción con 876,417 (miles de toneladas) seguido por los estados de Coahuila, Sinaloa, Chihuahua, Sonora Jalisco, Michoacán, Guerrero, Baja California, y Zacatecas, como se puede observar en el Cuadro 1. Los 10 estados antes mencionados

contribuyen con el 95% de la producción nacional, es decir 3,880,128 (miles de toneladas) mientras que el resto de los estados con el restante 5%, lo que representa 199,003 (miles de toneladas) (SIAP-SAGARPA, 2023).

Cuadro 1. Principales estados productores de sorgo forrajero en el año 2023, y variaciones en la producción

Posición	Estado	Volumen (Toneladas)	Variación (%) 2021-2022
1	Durango	876,417	-2.3
2	Coahuila	833,193	10.0
3	Sinaloa	572,184	3.5
4	Chihuahua	376,934	-25.6
5	Sonora	369,003	-3.4
6	Jalisco	255,405	-0.3
7	Michoacán	221,276	-1.8
8	Guerrero	194,337	23.7
9	Baja California	130,490	3.8
10	Zacatecas	50,899	-11.9
	Resto	199.003	4.7
	Total Nacional	4,079,129	-10.4

Fuente SIAP-SAGARPA

Los estados de Coahuila, Sinaloa, Guerrero y Baja California tuvieron incrementos en el volumen de la cosecha en el año 2022 con respecto al año 2021. Mientras que los estados que tuvieron disminución en el volumen cosechado fueron Durango, Chihuahua, Sonora, Jalisco, Michoacán y Zacatecas. El resto de los estados tuvieron una disminución en el nivel de cosecha de 10.2%. Por ejemplo, Coahuila cosechó 833 mil 193 t de sorgo forrajero en el año 2022, lo que implica un incremento de 3.5% en comparación con el año 2021. Tal

producción generó ingresos por 777 millones de pesos, y representó 24.9% del valor de la producción nacional de sorgo.

En el cuadro 2 se observan los indicadores productivos de sorgo en México en el año 2022. Se observa que en el periodo de 2021 a 2023, la superficie sembrada disminuyó en 9%; mientras que la tasa media anual de crecimiento (TMAC) en el periodo 2013-2022 fue de -3.1%. El número de ha de cultivo siniestradas fue mucho mayor en el periodo 2021-2023 con 649.6 mil ha, mientras que en el periodo 2013-2020 fue de 6.3 mil ha. En ambos periodos se observan disminuciones en el número de ha cosechadas teniendo para el periodo 2021-2023 un retroceso de 11.2 y de 3.2 en el periodo 2013-2022. Similares tendencias negativas se observan en los volúmenes de toneladas cosechadas con -2.3% en el periodo 2021-2023, mientras que la TMCA en el periodo 2013-2023 fue de -1.8%.

Por el contrario, no obstante, en las disminuciones en el número de ha sembradas, se observan crecimientos en el valor de lo sembrado de 16.7 millones de pesos en el periodo 2021-2023, mientras que en la TMAC el incremento en el valor fue de 2.9%. De igual forma, se observan incrementos en los rendimientos de semilla por ha en el periodo 2021-2023 de 9.9 T/ha, con una TMAC de 1.5%. El precio promedio de latde sorgo en el periodo 2021-2023 fue de 19.5, lo que representó una TMAC de 4.8%. Todo lo anterior indica que no obstante las disminuciones en las superficies sembradas, los rendimientos (T/ha) y los precios portse incrementaron de forma importante (SIAP-SAGARPA, 2023).

Cuadro 2. Indicadores productivos de sorgo forrajero en México 2022

Variaciones	Superficie			Volumen	Valor	Rendimiento	Precio medio rural
	Miles de hectáreas						
	Sembrada	Siniestrada	Cosecha	Miles de T	Millones de \$	T/ha	\$/T
	178	4	174	4,079	3,125	23.4	766
Anual 2021-2023	-9.4	649.6	-11.2	-2.3	16.7	9.9	19.5
TMAC 2013-2022	-3.1	6.3	-3.2	-1.8	2.9	1.5	4.8

Tasa media anual de crecimiento. Fuente SIAP-SAGARPA, 2023

Variación en la producción mensual de sorgo forrajero

La producción de sorgo en los diferentes estados del país muestra variaciones importantes, con cosechas estacionales, entre los meses de agosto y septiembre en el ciclo otoño e invierno; y de octubre de un año a enero del año siguiente en el ciclo primavera verano. En el cuadro 3 se puede observar el porcentaje de variación en la cosecha de sorgo. En los ciclos de Otoño e invierno se cosecha el 77.2% de la producción nacional, mientras que en el ciclo primavera verano se cosecha el restante 22.8%.

Cuadro 3. Variación mensual en la producción de sorgo forrajero

Mes	Variación (%)
Enero	9.9
Febrero	2.3
Marzo	1.5
Abril	1.8
Mayo	1.4
Junio	1.6
Julio	4.3
Agosto	13.6
Septiembre	12.4
Octubre	16.9
Noviembre	19.2
Diciembre	15.1

Fuente SIAP-SAGARPA

Comercio Exterior de sorgo forrajero

México tiene un intercambio comercial poco importante en este producto. No obstante, La capacidad productiva del país permitió generar excedentes destinados al mercado internacional generando divisas por 6 mil 300 dólares, por el contrario, no se presentaron importaciones del producto (SIAP-SAGARPA, 2023).

Origen y destino comercial del sorgo forrajero

Tradicionalmente el sorgo nacional se vende en Estados Unidos con compras ocasionales del producto, es decir, sin ninguna tendencia estable en las exportaciones. Japón, China y Corea del Sur son los principales países importadores de sorgo en el mundo, lo que representa el 67% del total mundial (SIAP-SAGARPA, 2023).

Cuadro 4. Flujo comercial de sorgo en los años 2021 y 2022

	2021			2022	
	Importaciones	Exportaciones	Saldo	Importaciones	Exportaciones
Volumen (T)	0	288	288	NA	418
Valor (millones de dólares)	0	0.006	0.006	NA	-10.8

Fuente SIAP-SAGARPA

Evolución del comercio exterior en México del sorgo forrajero

México ha mantenido una tendencia de exportación de sorgo en el periodo de 2015 al 2022 con un promedio de 0.01 millones de dólares de acuerdo con información de SIAP-SAGARPA (2023). En general, el país no ha importado sorgo excepto en los años 2018, 2019 y 2020 en que las importaciones superaron el valor del sorgo forrajero exportado como se observa en el cuadro 5.

Cuadro 5. Evolución del valor de las importaciones y exportaciones de sorgo forrajero en el periodo 2015 a 2022

Año	Millones de dólares	
	Importaciones	Exportaciones
2015	0	0.004
2016	0	0.002
2017	0	0.002
2018	0.23	0.003
2019	0.048	0.044
2020	0.077	0.012
2021	0	0.007
2022	0	0.006

Fuente SIAP-SAGARPA 2023

Situación actual de la producción de grano de sorgo en México

México ocupa el 5° lugar a nivel mundial como productor de grano de sorgo, con un nivel de producción de 4,8 millones de toneladas. Lo anterior representa un 3.2 de la producción mundial de sorgo para grano. Como punto de referencia tenemos que Estado Unidos incrementó su producción de sorgo en 20.1% en el año 2022, por lo que sigue siendo el productor número 1 de este grano a nivel mundial (SIAP-SAGARPA, 2023).

México importó 8.5 % de grano de sorgo de la oferta nacional, en el año 2019 el nivel de importación de este granó representó el 16.9% de la producción mundial. Estados Unidos es el principal país de dónde México importa grano de sorgo para abastecer el mercado interno, aunque también se importa grano de sorgo de Canadá, pero en mucho menor proporción, ya

que la distancia incrementa el precio del grano de este país, lo que lo hace menos competitivo con respecto a Estados Unidos (SIAP-SAGARPA, 2023).

Evolución del comercio exterior de grano de sorgo

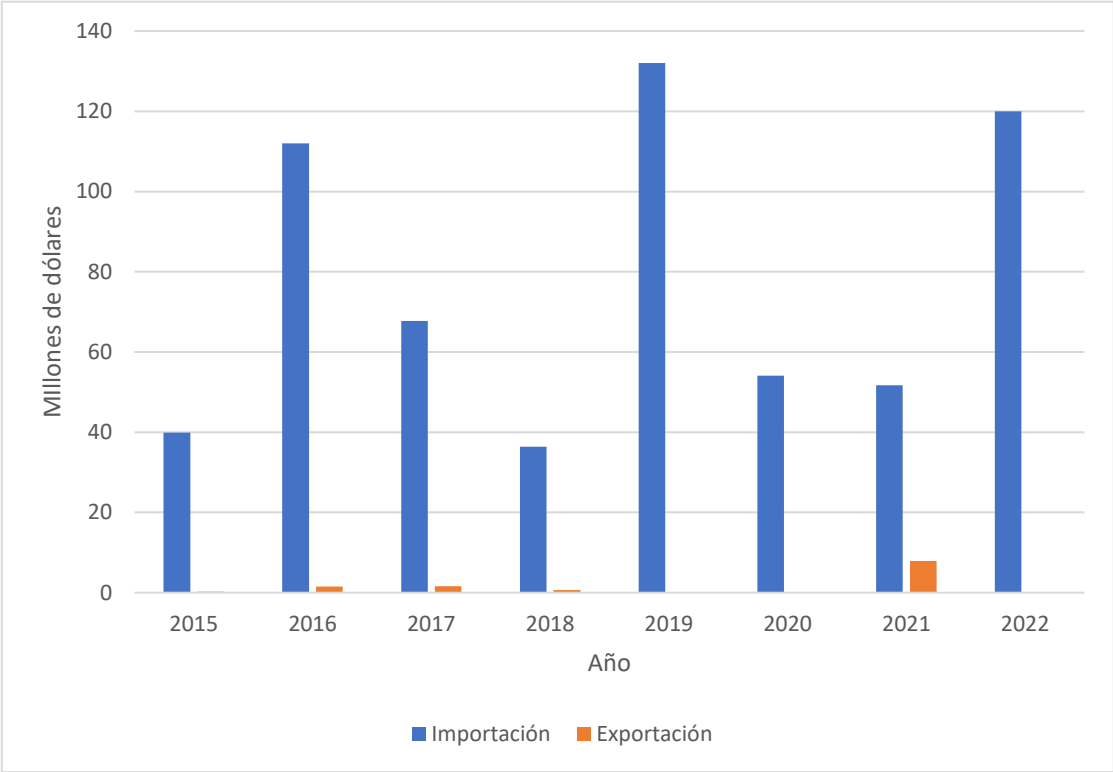


Figura 2. Evolución del comercio exterior en millones de dólares del al 2015 al 2022

En la figura 2 se observa la evolución de la importación y exportación de grano de sorgo. En el periodo de 2015 a 2022, el valor promedio de las importaciones de grano de sorgo fue de 76.7 millones de dólares, mientras que el valor de las exportaciones de grano de sorgo fue de 1.5 millones de dólares. El valor de las importaciones de grano de sorgo en los años 2016, 2017, 2019 y 2022 fueron mucho mayores que el resto de los años del periodo reportado. Por el contrario, el valor máximo de las exportaciones de grano de sorgo mexicanas se presentó en el año 2021 siendo de 7.9 millones de dólares (SIAP-SAGARPA, 2023).

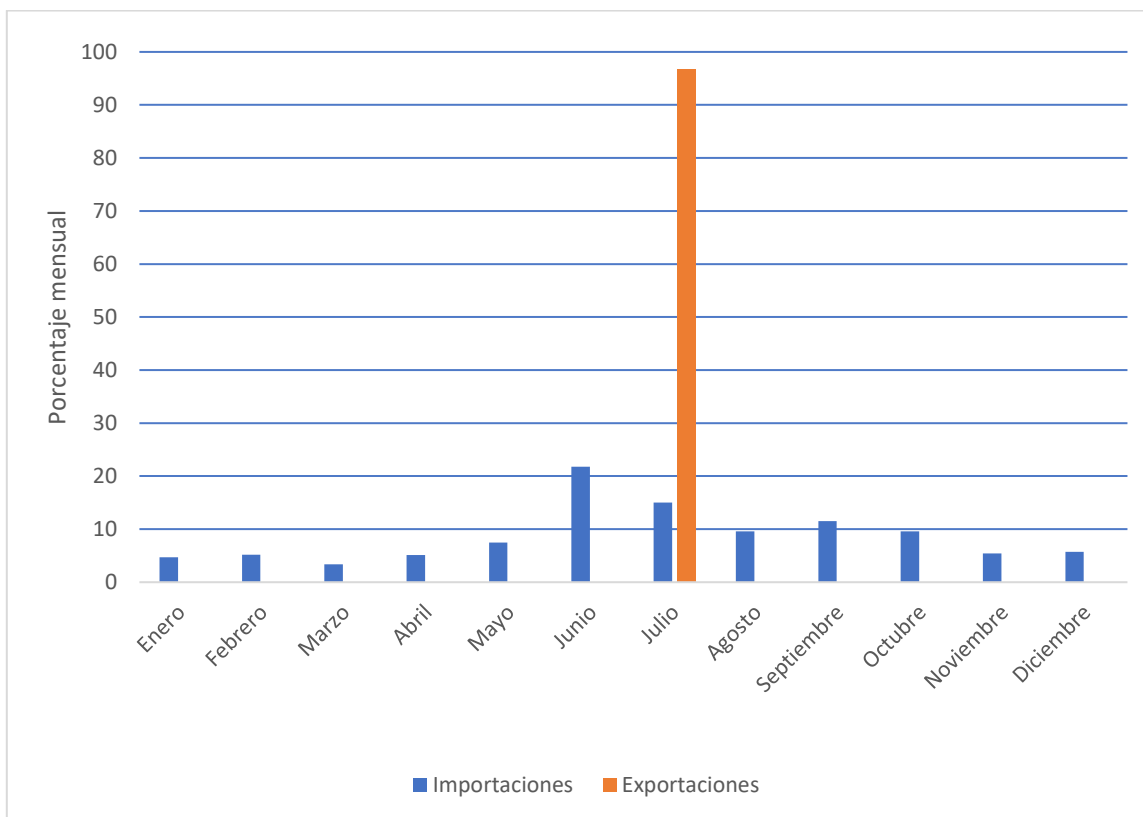


Figura 3. Distribución mensual del comercio exterior de grano de sorgo en el año 2022

En la figura 3 se observa la distribución mensual de las importaciones y exportaciones de grano de sorgo en el año 2022. El porcentaje de las importaciones se mantiene constante mes con mes, presentándose incrementos en los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre. Por el contrario, las exportaciones mexicanas de grano de sorgo solo se realizaron en el mes de julio representaron el 96.7 del total exportado en ese año.

Flujo comercial

En el cuadro 6 se observan las variaciones en el flujo comercial del grano de sorgo. El volumen de las importaciones en el año 2021 fue de 403,885 T, mientras que las exportaciones fueron de 3.8 para un saldo en la balanza comercial de -403,881 T. Mientras el valor comercial de las importaciones fue de 120 millones de dólares y el valor de las exportaciones fue ínfimo con 0.001 millones de dólares. Para el año 2022, el volumen de las importaciones aumentó en 94.4%, aumentando también el valor de las importaciones en 132%. Las exportaciones en este periodo fueron negativas (-100) de acuerdo con la información reportada por el SIAP-SAGARPA, 2023.

Cuadro 6. Variación en el flujo comercial del grano de sorgo en los años 2021 y 2022

	2021			2022	
	Importaciones	Exportaciones	Saldo	Importaciones	Exportaciones
Volumen (T)	403,885	3.8	-403,881	94.4	-100
Valor (millones de dólares)	120	0.001	-120	132	-100

Fuente SIAP-SAGARPA

La producción de grano de sorgo (SG) en México se utiliza para la alimentación animal en forma de suplementos balanceados o en la fabricación de harinas para galleta y pan de consumo humano. En el año 2022, se cosecharon 4 millones 763 miltlo que representó un crecimiento de 9% con respecto al año anterior. No obstante, la TAMC en los 10 años

anteriores a 2022 fue negativa, es decir, 3% menor en promedio por año. El SG representa 3.6% de la producción nacional de forrajes (SIAP-SAGARPA, 2023).

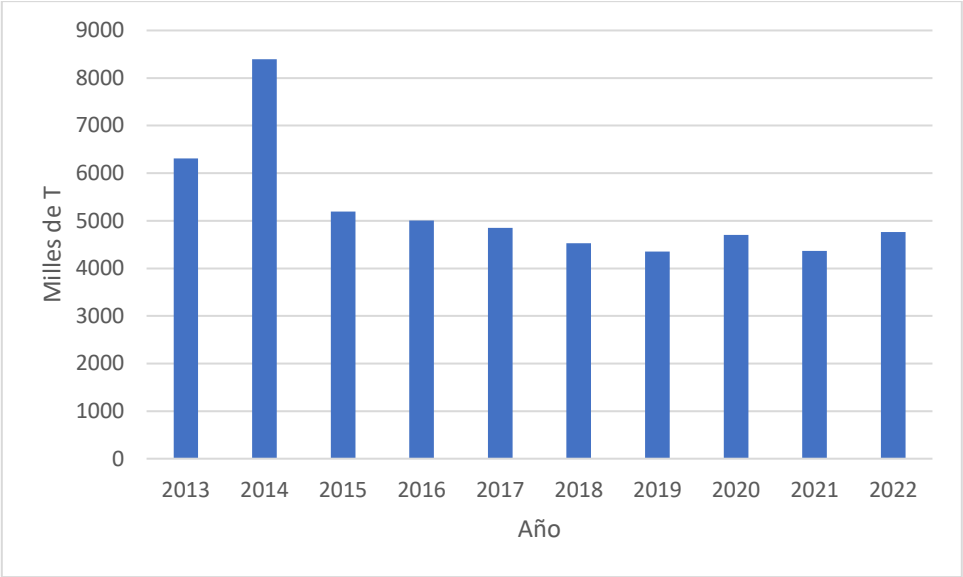


Figura 4. Volumen de producción de grano de sorgo (miles de T) en el periodo 2013-2022. Los mayores niveles de producción de grano de sorgo se obtuvieron en los años 2013 y 2014 con 6,308 y 8,394 (miles de T) (Figura 4). A partir del año 2014 en que se alcanzó el máximo volumen de cosecha, la cosecha de SF muestra una disminución anual promedio de 6%, para obtener en el año 2022 una producción de 4,8 millones de T, lo que representa el 57 % del volumen cosechado en el año 2014.

En el cuadro 7 se observa los principales estados del país productores de grano de sorgo, así como el volumen de producción (t) y la variación entre los años 2021 y 2022. El estado de Tamaulipas es por mucho el mayor productor de grano de sorgo en el país con un volumen de 2,170,904 T, lo que representa el 46% de la producción nacional total. En segundo lugar, se observa al estado de Guanajuato con un volumen de 878,655 T, lo que representa el 18.4

de la producción nacional. El resto de los estados que producen grano de sorgo contribuyen con el 6% de la producción nacional total.

Cuadro 7. Principales estados productores de grano de sorgo en el año 2022, volumen y variación entre el año 2021 y 2022

Lugar	Estado	Volumen (T)	Variación (%) 2021-2022
1	Tamaulipas	2,170,904	23.5
2	Guanajuato	878,655	2.4
3	Sinaloa	363,664	11.1
4	Michoacán	345,173	9.9
5	Nayarit	192,456	-4.8
6	Morelos	181,718	1.1
7	Jalisco	151,283	-17.0
8	Puebla	85,864	-8.1
9	Oaxaca	66,416	-1.8
10	San Luis Potosí	58,806	-24.3
Resto		268,022	-14.0
Total Nacional		4,762,962	9.0

Los estados que muestran incrementos en los volúmenes de producción entre el año 2021 y 2022 son Tamaulipas, Guanajuato, Sinaloa, Michoacán y Morelos. Por el contrario, los estados con decrementos fueron Nayarit, Jalisco, Puebla, Oaxaca y San Luis Potosí, éste último junto con Jalisco fueron los estados con el mayor retroceso con -24.3 y -17, respectivamente.

En el cuadro 8 se observa la superficie sembrada de grano de sorgo en el año 2022, así como el volumen producido, valor, rendimiento por ha y precio promedio rural. La superficie sembrada en 2022 fue de 1,34 millones de has, que con respecto al año 2021, presentó un decremento de 15.7%, con una TMAC de -4.1%. La superficie siniestrada fue de 17 mil has con un decremento con respecto al año 2021 de -94.7 y una TMAC de -27.8%. La superficie cosechada fue de 1,4 millones de t con un incremento de 4.1 millones de has en comparación con el año 2021, y una TMAC de -2.5. El volumen cosechado en el año 2022 fue de 7,8 millones de toneladas con un incremento de 9 mil ha en comparación con 2021, y una TMA de -3.1. El valor de la cosecha de sorgo en el periodo mencionado fue de 29,303 millones de pesos, con un incremento de 32.1 millones y una TMAC de 5.3%. El rendimiento de grano/ha fue de 3.5 en el año 2021, mientras que en el año 2022 el promedio de rendimiento fue de 4.7 T/ha, con una tasa anual de crecimiento en el periodo 2013-2022 de -0.6. El precio promedio a nivel rural en el año 2021 fue de \$6,152, mientras que en el año 2022 se incrementó en 21.2%, para una TMAC en el periodo 2013-2022 de 8.6% (SIAP-SAGARPA, 2023).

Cuadro 8. Indicadores productivos de grano de sorgo en México 2022

Variaciones	Superficie			Volumen	Valor	Rendimiento	Precio medio rural
	Miles de hectáreas						
	Sembrada	Siniestrada	Cosecha	Miles de T	Millones de \$	T/ha	\$/T
	1,369	17	1,351	4,763	29,303	3.5	6,152
Anual 2021-2023	-15.7	-94.7	4.1	9.0	32.1	4.7	21.2
TMAC 2013-2022	-4.1	-27.8	-2.5	-3.1	5.3	-0.6	8.6

Tasa media anual de crecimiento. Fuente SIAP-Sagarpa, 2023

En la figura 5 se observa el porcentaje de la producción mensual de sorgo en el año 2022. La mayor producción de grano de sorgo se obtiene en los meses de junio y julio para los ciclos primavera y verano; y en noviembre y diciembre para el ciclo otoño e invierno.

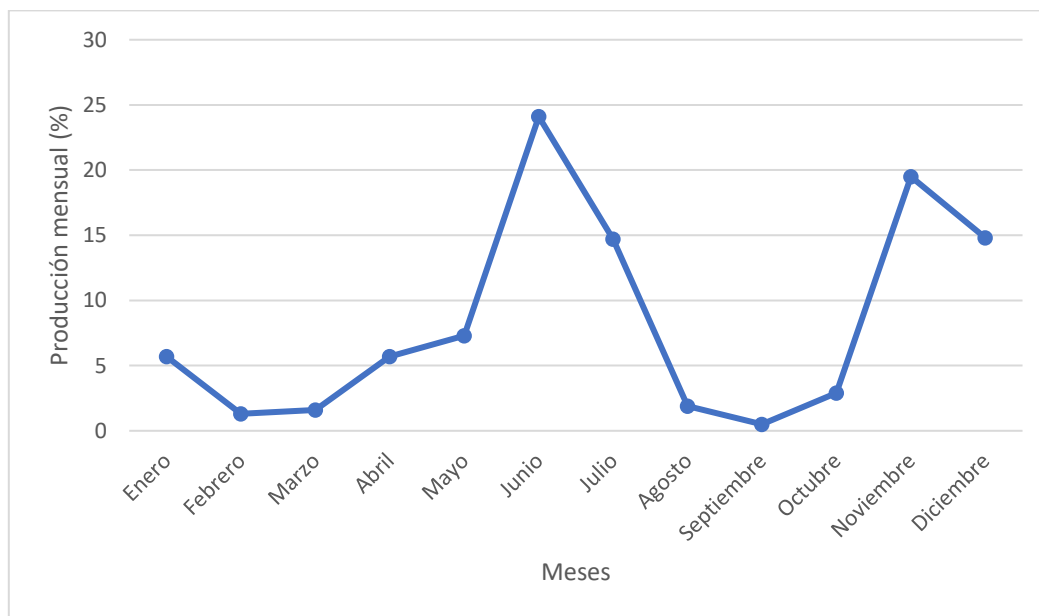


Figura 5. Porcentaje de producción mensual de grano de sorgo

Resistencia del sorgo a la sequía

El maíz (*Zea mays*) es el grano de mayor cultivo y consumo en México tanto para la alimentación humano como animal; sin embargo, es altamente susceptible al déficit de agua tanto en etapas tempranas como en etapas tardía de su desarrollo. En las etapas tempranas, ocasionando una reducción del número de granos en etapas tempranas de desarrollo reproductivo, debido a la absorción del ovario a la producción de polen estéril. El déficit hídrico inhibe la fotosíntesis disminuyendo el flujo de fotosintatos a los órganos en desarrollo. Durante la etapa de floración o el llenado de grano si ocurre déficit hídrico afectará el rendimiento del grano. Se ha observado que durante la formación de los gametos de la planta, esta es altamente susceptible al déficit hídrico, siendo el gameto masculino el más sensible, lo que ocasiona esterilidad en el grano (Boyer and Westgate, 2004).

Para evitar pérdidas en la producción de maíz grano se debe evitar el déficit hídrico para evitar que las estructuras reproductivas como el pistilo se inhiban y resulte en la falta de crecimiento del estigma y del jilote. Esto ocasiona una asincronía entre la caída del polen y la emergencia del estigma y con ello ocurra una falta en la polinización (Herrero and Jonhson, 1981). Esta asincronía afectó el rendimiento de grano entre 21 y 40%, siendo la variable de peso de grano la más afectada (NeSmith and Ritchie, 1992).

El estrés hídrico afecta el crecimiento del embrión, reduce el flujo de sacarosa, así como una alteración en el metabolismo de los carbohidratos a nivel de los ovarios (Zinselmeier et al., 1995). Durante la etapa de cigoto en caso de que ocurra estrés hídrico se ocasiona absorción del saco embrionario lo que puede afectar en un 15 a 43%, induciendo una asincronía en la síntesis y floración femenina (Ouattar et al., 1987).

El déficit hídrico afecta la producción de materia seca, así como carbohidratos, nitrógeno en los granos de maíz. Mientras que en las hojas y tallos la acumulación de carbohidratos continúa posterior a la polinización; por lo que se atribuye que la pérdida de grano debido a la sequía se debe a la reducción en el suministro de carbohidratos en la mazorca (Schussler and Westgate, 1991)

En México se ha realizado investigación orientada a la selección de plantas resistentes a sequía, con particular énfasis a la mazorca y grano como los principales componentes, siendo el método de selección masal visual estratificado el más utilizado. Este método permite el incremento de la resistencia a la sequía (Molina, 1980).

En el país existen variedades mejoradas mediante la metodología de selección masal como Zacatecas 58 y Cafime, las cuáles han demostrado mayor tolerancia a la sequía, además se cree que pudieron haber desarrollado el mecanismo de sobrevivencia denominado “latencia”, mecanismo que se caracteriza por que la planta de maíz detiene su crecimiento y entra en un estado de latencia reactivándose el crecimiento una vez que vuelve a existir humedad en el suelo hasta que el crecimiento se complete (Avendaño et al., 2005).

Sin embargo, el uso y adopción variedades de maíz mejoradas en México es muy bajo debido a la falta de conocimiento de este tipo de alternativas, falta de conocimiento técnico adecuado, así como recurso económico; así como la costumbre de los productores del uso de las semillas que tradicionalmente han utilizado durante generaciones.

Uso alternativo del sorgo ante el déficit hídrico

El sorgo es un cultivo de verano en condiciones agronómicas similares a las del maíz, es tolerante a la sequía. Esta resistencia se atribuye a la densidad y a la prolificidad del sistema radicular de la planta, lo que la hace capaz de extraer humedad del suelo profundo. Su capacidad de mantener abiertos los estomas a bajos niveles en las hojas a través de ajuste osmótico, así como a su habilidad de retrasar el desarrollo reproductivo. Aunado a lo anterior, el periodo de crecimiento es menor en comparación con el maíz contribuye a esta habilidad de escapar a la sequía. El sorgo es ampliamente cultivado en zonas áridas y semi-áridas del mundo debido a su habilidad de rendir buenas cosechas en condiciones de escasa precipitación. Además, el sorgo posee la propiedad de quitinización de las hojas durante los periodos secos, lo que retarda el proceso de desecación de las hojas (Muchow, 1989).

Debido a que el sorgo es más resistente al déficit hídrico se presenta como una buena alternativa al cultivo de maíz, bajo condiciones de restricción de agua.

Composición nutricional del sorgo

En el cuadro 9 se observa la composición nutricional de ensilado de maíz, sorgo fresco y ensilados de sorgo de algunos estudios. El contenido de promedio de materia seca (MS) de los ensilados de maíz es 345.0 (g/kg de MS), mientras que el contenido de materia seca del sorgo fresco es de 260 (g/kg de MS), pero mayor que el contenido promedio de los ensilados de sorgo que es de 224 (g/kg de MS). Los contenidos de MS promedio de estos estudios son menores a los valores reportados para ensilados de sorgo inmaduro 29.2 (g/kg de MS), y maduro de 28.7 (g/kg de MS). Mientras que en el caso de los ensilados de maíz el valor

promedio de los estudios aquí presentados se encuentra dentro del rango de ensilados de maíz inmaduro, maduro típico de 31.3, 39.6 35.4 (g/kg de MS), respectivamente de acuerdo con el NASEM Dairy-8 (2021).

Los contenidos promedio de proteína cruda de los ensilado de maíz son de 78.9, siendo muy cercanos el valor promedio que se reporta para maíz utilizado en la alimentación animal en el NASEM Dairy-8 (2021), inmaduro, maduro y típico de 79, 75 y 77 (g/kg de MS), respectivamente. En el caso de los ensilados de sorgo, el rango de valores reportado por el NASEM Dairy-8 (2021), va de 117 y 113 (g/kg de MS), siendo muy superiores al valor promedio reportado en los estudios mostrados en el cuadro 9 de 69.0 (g/kg) (NASEM Dairy-8, 2021).

Los contenidos promedio de fibra detergente neutro de los ensilados de maíz en el cuadro 9 fueron 410 .5 estando dentro del rango de los valores reportados por el NASEM Dairy-8, (2021), los cuales van de 425.9, 393.0 y 409.3 para ensilados de maíz inmaduros, maduros y típicos, respectivamente. En comparación los ensilados de sorgo de los estudios presentados en el cuadro 9, tienen valores promedio de 583. (g/kg de MS), los cuáles son cercanos a los valores de ensilado de sorgo inmaduro y maduro de 567.0 y 615.7 (g/kg de MS), respectivamente. Los mayores valores de FDN del sorgo en comparación con el ensilado de maíz implican una menor digestibilidad y por lo tanto un menor aporte de energía para procesos productivos.

Cuadro 9. Comparación de la composición nutricional de ensilado de maíz, sorgo fresco y sorgo ensilado

Tipo de alimento	Fuente	MS	PC	FDN	FDA	EE	Cenizas	Almidón	CNF	ENL (Mcal/k g/MS)
Ensilado de maíz	Cattani et al., 2017	331.9	76.8	348.7	197.4	29.0	43.2	351.9	502.4	1.82
Ensilado de maíz	Barile et al., 2007	360.0	81.0	472.2	250.0	27.8	36.8	265.4		
Sorgo Fresco	Rodrigues et al., 2020	260	49.0	552.0	359	12.3	51.0	460.0	107	
Ensilado de sorgo	Barile et al., 2007	213.0	80.0	450.0			12.3	120.0		
Ensilado de sorgo	Cattani et al., 2017	222.7	73.7	71.13	45.99	24.7	79.3	257.0	111.9	0.92
Ensilado de sorgo	Rodrigues et al., 2020	237.0	52.0	588	423	17.0	0.61	441.0	14.6	
Ensilado de maíz típico	NASEM Dairy-8, 2021	354.0	77.0	409.3	243.3	29.1	38.5	328.7	29.7	
Ensilado de Sorgo	NASEM Dairy-8, 2021	287.2	113.0	615.7	392.3	30.7	99.0	27.4	52.8	

De la misma forma que en el párrafo anterior, los contenidos de fibra detergente ácido de los ensilados de sorgo van a ser mayores que en los ensilados de maíz. Los valores promedio de la FDA en los ensilados de sorgo en el cuadro 9 son de 441.5 (g/kg de MS) siendo el doble que los valores promedio de los ensilados de sorgo con 223.7 (g/kg de MS). Como valores de referencia de nuevo se vuelven a mencionar los valores reportados para ensilados de maíz inmaduro, maduro y típico del NASEM Dairy-8, (2021), con 246.0, 231.8 y 243.3, respectivamente. Mientras que para ensilados de sorgo inmaduro y maduro se reportan valores de 364.0 y 392.3, respectivamente.

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 multi-arado, 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 semi compacta 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 diabrótica (*Diabrótica 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.

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).

El sorgo dulce [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] se cultiva en áreas tropicales y subtropicales del mundo y se caracteriza por sus altos contenidos de carbohidratos estructurales (lignina, celulosa y hemicelulosa) y de azúcares solubles (sacarosa, fructosa y glucosa) que pueden emplearse para producir etanol. En México, el sorgo dulce se ha evaluado como cultivo alternativo en Tamaulipas para el ciclo otoño-invierno (O-I) y primavera verano (P-V). En climas donde la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) se cultiva ampliamente, o en áreas marginales donde la caña ya no es rentable, el sorgo dulce podría ser un sistema de producción complementario (Montes-García et al., 2019).

Fertilización del sorgo

El programa de fertilización del cultivo está definido por el nivel de extracción y el contenido de nutrientes del suelo. La corrección de la acidez del suelo y la neutralización es una práctica ineludible que se debe realizar aplicando dosis controladas de enmienda calcárea. En la corrección de la acidez hay que tener en cuenta que, en suelos de origen volcánicos, por cada tonelada de Cal incorporada al suelo se estima que habrá un incremento de 0,15 puntos de pH, mientras que, utilizando Dolomita este cambio será de 0,2 puntos de pH. Por otra parte, en la neutralización de los fertilizantes amoniacales utilizados en el cultivo, hay que considerar que por cada kilo de nitrógeno amoniacal que se aplique al suelo se requieren entre 4 y 6 kg Cal para su neutralización. Respecto a los nutrientes en el momento de la siembra, la mezcla de fertilizantes se incorpora con la máquina sembradora y la fertilización nitrogenada (220 a 240 kg N/ha) se aplica en forma secuencial: 35% pre - siembra

incorporado, 30% en el momento de la siembra y 35% post utilización en pastoreo o cuando las plantas posean entre 4 y 6 hojas expandidas (lígula visible). En sistemas de riego tecnificado (pivote), la fertilización post emergente se realiza a través del agua, utilizando para ello urea disuelta en los estanques de fertiirrigación o mezclas completas de fertilizantes líquidos (Demagnet and Canales, 2020).

La recirculación de nutrientes es un componente muy importante al momento de recomendar la dosis de fertilización y varía en función del recurso forrajero. Los requerimientos de N del cultivo de sorgo son muy bajos en los primeros 20 días posteriores a la emergencia, pero a partir de los 25/35 días, las necesidades de nitrógeno aumentan mucho. Deficiencias a partir de ese período afectan no sólo al rendimiento sino también a la calidad del grano, por una disminución en el contenido de proteínas. El balance de nutrientes del sistema se ve afectado por la forma de utilización del forraje. Las reservas de fósforo (P) del suelo dependen del balance entre la extracción en planta, los productos animales y la reposición por la aplicación de fertilizantes, abonos o enmiendas. El ensilado y la henificación exportan una gran cantidad de nutrientes del suelo que deben reponerse al sistema en el corto plazo (Silos y Galpones para Fertilizantes, 2010).

Ensilado de sorgo forrajero

Existen diferentes formas de conservar los forrajes una de ellas y la que más se maneja es el ensilado ya que es una forma de guardar los alimentos en épocas donde se cuenta con abundante producción de forraje y poder ofrecerlos a los animales en tiempo de escasos, este método de conservación aporta una gran palatabilidad y conserva los nutrientes de la materia

verde esta técnica es muy eficaz ya que se conserva un 80 o 90 por ciento de la disposición nutritiva de la planta (Torres et al., 2020).

Materiales y métodos

Zona de estudio

El trabajo se realizó en el municipio de Amatepec, Estado de México, en el Rancho Acatempan que se encuentra a 1,200 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 clima 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. ('15008a @ www.inafed.gob.mx).

En otoño el campesino recoge las cosechas de maíz, frijol, calabaza, caña de azúcar y ajonjolí; también aparecen las flores en el campo, se recolecta la guayaba, la naranja y la lima, entre otras frutas.

En el invierno los árboles pierden su follaje, se marchitan algunas flores, se obtienen en la región productos de algunos cítricos; jícamas, chirimoya y cacahuates. La temperatura varía de 15° hasta los 40°C.

El clima de la región permite la existencia de una gran variedad de vegetales, los que se producen en hortalizas como: jitomate, cebolla, col, pepino, lechuga, chile verde, rábano, ejote, chayote y chilacayote; entre las plantas frutales se puede citar: al mamey, aguacate, chirimoya, níspero, piña, guayaba, nanche, naranja, lima, mango, plátano, tamarindo,

arrayán, zarzamora, zapote, limón y toronja; entre las plantas medicinales: té negro, de monte, y de limón, ajeno, tila, albahaca, coachalata, colorín, cirian, epazote, manzanilla, eucalipto, mejorana, malva, muiltle, hinojo, tárete, iztafiate, jarilla, yerba de golpe, sávila, altamisa, cola de caballo y meshishe. (Municipio de Amatepec).

Unidad de producción participante

La unidad de producción (UP) participante tiene como objetivos productivos la producción de animales productores de carne de la raza Brahman, aproximadamente existen 200 cabezas de ganado, del cual un 10% aproximadamente es ganado de alto mérito genético. Además de esto, se cuenta con un hato de alrededor de 18 vacas lecheras de diversas razas y cruza.

La extensión de la UP es de 50 ha, de las cuáles en su mayoría están establecidas como praderas dominadas por pasto Estrella Africana (*Cynodon plectostachyus*) con árboles esparcidos de diferentes especies, varios de los cuáles son utilizados como fuente de forraje alterno para los animales.

Vacas experimentales

En el cuadro 10 se observa el número de vacas por tratamiento, número promedio de partos (\pm desviación estándar), promedio de días en lactación, peso (kg) y promedio de rendimiento de leche en las dos semanas previas al inicio del experimento.

Cuadro 10. Características de las vacas utilizadas en el experimento de suplementación con ensilado de sorgo

Grupo	Variedad de sorgo	Número de vacas	N. Partos	D. Lactación	Peso (kg)	Leche (kg/d)
1	Top Green	7	2.3 ± 1	240 ± 223	514 ± 52	9.1 ± 3
2	Caña Dulce	5	3.0 ± 1	344 ± 160	521 ± 66	7.5 ± 4

Raza de las vacas experimentales

A continuación, se mencionan las diferentes razas por grupo experimental de vacas participantes en el experimento. Para el análisis estadístico las vacas Pardo Suizo y Holstein fueron codificadas como Europeo, y las razas índicas fueron codificadas como Cebú.

Grupo 1. Pardo Suizo (n = 2), Girolando (n = 2), Beef Master (n = 1), F1 Brahman x Pardo Suizo,

Grupo 2. Girolando (n = 1), Holstein (n = 3), Pardo Suizo (n = 1).

Variables de respuesta animal

Las variables de respuesta animal fueron:

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

Periodos experimentales

La toma de registros de rendimiento productivo de las vacas se realizó durante dos días consecutivos en los días sábado y domingo de cada semana. Dos semanas previas al inicio de la suplementación con los ensilados de sorgo se inició con el registro de la respuesta animal, las cuáles fueron consideradas como covariable en el análisis estadístico. En estas dos semanas las vacas fueron suplementadas con ensilado de maíz.

El periodo de suplementación con los ensilados de sorgo fue de 6 semanas, con dos semanas previas y posteriormente tres semanas más en las que las vacas fueron suplementadas con ensilado de maíz. Por lo que el total de semanas de monitoreo fue de 11 semanas.

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% (Figura 6).



Figura 6. Imágenes de los cultivos de sorgo

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.

Indicadores de rendimiento

Se determinó el número promedio de plantas por metro lineal (m.l) en las diferentes zonas de los cultivos, a partir de lo cual se estimó un promedio de 19 plantas por ml Posteriormente, se cortaron y pesaron las plantas existentes en dos muestras de 3 m.l en ambos cultivos para determinar el peso en fresco, teniendo un peso de 0.730 kg de forraje fresco por ml, en el cultivo de CD y de 1.1 kg del cultivo TG.

Antes del proceso de corte se tomaron al azar 35 plantas por cultivo para determinar el peso y la altura de las plantas. En el cuadro 11 se observa la altura promedio (cm) y el peso de las 35 plantas muestreadas. La altura de la variedad TG fue de 187.8 ± 29 cm, siendo menor que de CD que registró 194.5 ± 33 cm.

Cuadro 11. Altura promedio de plantas de sorgo y rendimiento de variedades Top Green y Caña Dulce

	Top Green	Caña Dulce
Altura (cm)	187.8	194.5
D.E. (cm)	29.1	33.0
Peso fresco kg/m lineal	1.1	0.70

Proceso de ensilado

El proceso de ensilaje se 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, se colocó sobre el suelo para ser compactado y posteriormente el tapado del silo con plástico negro. Las dimensiones de los silos resultantes fueron de 9 m de largo por 5 m de ancho para el silo de la variedad CD, y 12.5 m de largo por 3 m de ancho para TG (Figura 7).



Figura 7. Proceso de corte y acarreo, picado, compactado y tapado del silo.

Rendimiento de forraje

El rendimiento del forraje producido por cada variedad de sorgo fue estimado partir de pesar la cantidad de forraje que se iba sacando cada día de los ensilados (Cuadro 10). El material se colocaba en bolsas de plástico para ser trasladado del silo a los corrales en dónde se encontraban las vacas. Cada día se obtenían cuatro bolsas de forraje las cuáles se pesaban con una báscula electrónica. El peso aproximado de las bolsas de silo era de 30 kg en base fresca.

Composición química

Los análisis de composición química de los ensilados de sorgo forrajero se realizaron en el laboratorio de bromatología del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Se realizó el análisis de la composición química del forraje en cuanto a: cenizas, contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), y fibra detergente ácido (FDA), y digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) para cada periodo experimental (AOAC, 1995).

Experimento de respuesta animal

Los silos se destaparon a inicios del mes de marzo del 2023, para iniciar con la prueba de respuesta animal para la cual, del total de vacas en el hato (n = 18) se dividió en dos grupos con igual número de vacas para que recibieran los ensilados experimentales. De las 18 vacas en el hato, solo había 10 vacas en lactación en el mes de marzo, por lo que en cada grupo se colocaron cinco vacas lactantes con similar número de días en lactación y tres vacas más no lactantes, pero que parieron durante la realización del experimento, las cuales se incorporaron al experimento una vez que entraron a la línea de producción de leche, siendo manejadas de la misma forma que las vacas experimentales.

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 a variedad de sorgo ($i = \text{Top green}$ 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 ($k = \text{Europeo}$ y Cebuino) + EL_l efecto fijo de la etapa de lactación ($l = \text{temprana}$, 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.

Resultados

Altura de las variedades de sorgo

En el cuadro 12 se observa la altura promedio (cm) y el peso de las 35 plantas muestreadas. La altura de la variedad TG fue de 187.8 ± 29 cm, siendo menor que de CD que registró 194.5 ± 33 cm. La variedad CD tuvo una mayor altura que la variedad TG, sin embargo, ésta tuvo un menor peso fresco (0.70) por metro lineal que la variedad TG 1.1 (g/m lineal).

Cuadro 12. Altura promedio de plantas de sorgo y rendimiento de variedades Top Green y Caña Dulce.

	Top Green	Caña Dulce
Altura (cm)	187.8	194.5
D.E. (cm)	29.1	33.0
Peso fresco kg/m lineal	1.1	0.70

Rendimiento de forraje

El rendimiento de forraje en kg de materia seca (MS) fue mayor para la variedad de sorgo TG con 9,800 kg/MS mientras que la variedad CD rindió 7,469 kg de MS, por lo que el silo la variedad TG rindió 24% más forraje (Cuadro 13). Lo anterior hace más atractiva a la variedad TG sobre la variedad CD. Muchas veces, los productores se guían por la altura pensando que a mayor altura habrá una mayor cantidad de forraje, cosa que no ocurrió en la presente comparación.

Cuadro 13. Rendimiento de variedades Top Green y Caña Dulce en base fresca y base seca

	Top Green	Caña Dulce
Base fresca (kg/ha)	9,800	7,469
Contenido de materia seca (%)	34	35
Materia seca (kg/ha)	3,332	2,614

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 arriba 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.

La gran diferencia entre el rendimiento del sorgo forrajero entre el estudio de Pupo et al., (2022) y nuestro estudio, puede deberse a que en el presente estudio era la primera vez que se evaluaba el sorgo forrajero, por lo que no había una experiencia previa en el establecimiento, manejo y cosecha del cultivo. Desde nuestro punto de vista, el principal factor que explica los bajos rendimientos de los cultivos de sorgo aquí evaluados fue que éstos se establecieron en terrenos con una alta pendiente (>20%), en condiciones de temporal y en general en suelos de baja calidad, a diferencia del estudio mencionado anteriormente.

Composición nutricional de las variedades de sorgo y pradera

En el cuadro 14 se observa la composición nutricional de los ensilados experimentales de las variedades de sorgo Top Green (TP) y Caña Dulce (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 CD fue 45.7%, siendo mayor al objetivo planeado al inicio del experimento que fue de entre 33 y 35% de MS.

El contenido del MS del ensilado TP fue de 33.9 lo cual se encuentra dentro de lo planeado. El contenido de MS de la pradera que pastoreaban los grupos de vacas 1 y 2 fue de 61.0 y 57.2%. Mientras que el contenido de MS del concentrado que recibían las vacas fue de 92.5%.

El valor promedio de materia seca de algunos ensilados de sorgo reportados en la literatura y presentados en el cuadro 9 es de 224.0 los cuales son bajos en comparación con el obtenido en el ensilado de sorgo TG de 33.9 (g/kg de MS); y mucho menores que los valores del ensilado de sorgo CD (Cattani et al., 2017; Rodrigues et al., 2020).

Cuadro 14. Composición nutricional de los ensilados de sorgo variedades Top Green, Caña Dulce, así como los concentrados que recibía cada grupo de vacas y la pradera que pastoreaba cada grupo

Grupo	Tratamiento	MS	PC	FDN	FDA
1	Top Green	33.9	90.4	665.1	409.6
	Concentrado	92.5	175.6	290.7	116.2
	Pradera	61.0	67.4	533.0	280.0
2	Caña Dulce	45.7	92.7	665.8	422.1
	Concentrado	91.1	175.6	290.7	116.2
	Pradera	57.2	61.8	562.6	282.5

El contenido de proteína cruda del ensilado TP y CD fue 90.4 y 92.7 g/kg de MS, respectivamente. Por su parte, el contenido de PC del concentrado y las praderas fue de 175.6 g/kg de MS. El contenido de PC de las praderas que pastoreaba el grupo vacas 1 y 2 fue de 67.2 y 61.8 g/kg de MS, respectivamente. Los contenidos de fibra detergente neutro de los ensilados fueron muy similares teniendo 665.1 y 665.8, para TG y CD, respectivamente.

Con respecto al valor de PC en las variedades de ensilado de sorgo determinados en este estudio, éstos fueron mayores en 25% (promedio 9.6 g/kg de MS), con respecto a los valores promedio de ensilados de sorgo reportados en la literatura de 68.6 (g/kg de MS) (Barile et al., 2007; Cattani et al., 2017; Rodrigues et al., 2020). De igual manera, las diferentes variedades de sorgo forrajero evaluadas en Florida, estados Unidos por Pupo et al. (2022), se encuentran dentro del rango de los trabajos reportados en el cuadro 9, con un valor promedio de 7.5 (g/kg de MS).

Por el contrario, los valores promedio de PC se las dos variedades de sorgo evaluadas en este estudio (91.6 g/kg de MS) mayores a los reportados por Pupo et al., (2022), pero inferiores (19%) al valor de ensilado de sorgo reportado por el NASEM Dairy-8, (2021) de 113.0.

De cualquier forma, al menor en cuanto al contenido de PC el ensilado de sorgo es superior al tradicional ensilado de maíz utilizado en las estrategias de alimentación de pequeñas unidades de producción de leche en el Altiplano mexicano (Albarrán-Portillo et al., 2019), que en promedio aportan 80.0 (g/kg de MS) de PC.

Los contenidos promedio de FDN en las variedades de sorgo forrajero ensilado en el presente estudio fue de 665.5 (g/kg de MS), mientras que para FDA el promedio fue de 415.85 (g/kg

de MS), siendo superior al promedio de los estudios presentados en el cuadro 9 para FDN de 583.1 (g/kg de MS), y de 564 reportados por Pupo et al., (2022) de 564.8 (g/kg de MS); mientras que en la base de datos del NASEM Dairy-8, (2021), los valores de FDN y FDA para sorgo son de 615.7 y 3923 (g/kg de MS) los cuáles son más cercanos a los valores determinados para FDN y FDA en este estudio.

Respuesta animal

En el cuadro 15 se presentan las significancias estadísticas de los factores analizados y su efecto sobre las variables de respuesta animal. Las variedades de ensilados de sorgo Top Green o Caña dulce, no tuvieron ningún efecto significativo sobre las variables de respuesta ($P > 0.05$). El periodo experimental (PE) tuvo un efecto significativo sobre CMS (kg/día), rendimiento de leche (kg/vaca/día), rendimiento de proteína y lactosa en leche (kg/día), peso y cambio de peso ($P < 0.05$). El grupo racial no tuvo ningún efecto sobre las variables de respuesta ($P > 0.05$); 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), y por último la interacción GR*PE tuvo efectos significativos sobre CMS, peso y cambio de peso ($P < 0.05$). En el análisis de la producción de leche se utilizó el promedio de los rendimientos de leche de dos semanas previas el inicio del experimento, el cual fue utilizado como covariable determinándose una diferencia altamente significativa ($P < 0.001$).

Cuadro 15. 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 e interacción grupo racial*periodo experimental sobre las variables de respuesta

	TX	PE	GR	EL	TX*PE	GR*PE	Cov(GR)
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	<0.001
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)

En el cuadro 16 se observa que el promedio de producción de leche en las dos semanas previas al inicio del experimento fue 20% mayor a los rendimientos de leche promedio obtenidos durante la suplementación con ensilado de sorgo.

Cuadro 16. Efecto de la variedad de ensilado de sorgo, grupo racial y etapa de lactación sobre las variables de respuesta animal

Variable	Tratamiento			Grupo Racial		Etapa de lactación		
	Pre-experimental	Top Green	Caña Dulce	Europeo	Cebú	T	M	T
CMS (kg/d)	11.6	11.6	11.8	10.9	12.4	13.2 _a	10.4 _b	11.4 _{ab}
Leche (kg/d)	9.1	7.2	7.4	5.8	8.7	8.2	7.3	6.4
LCE (kg/d)	10.1	9.5	10.8	7.9	12.5	10.9	9.2	10.5
LCGP (kg/d)	9.2	8.7	9.9	7.2	11.3	9.9	8.4	9.5
Grasa (g/kg)	42.8	43.8	43.4	50.8	36.4	35.8 _a	52.7 _b	42.3 _{ab}
Grasa (kg/d)	0.37	0.35	0.41	0.37	0.42	0.37	0.40	0.37
Proteína (g/kg)	32.9	33.8	32.3	33.2	33.0	32.5	32.1	34.6
Proteína (kg/d)	0.30	0.29	0.32	0.20	0.40	0.35	0.22	0.32
Lactosa (g/kg)	49.8	51.0	48.9	50.2	49.7	49.0	48.7	52.1
Lactosa (kg/d)	0.45	0.43	0.48	0.30	0.60	0.52	0.34	0.50
Peso (kg)	506	500	489	465	525	465	430	589
Cambio de peso (kg)		-0.33	-0.20	0.38	-	-	0.65	-
					0.92	0.73		0.72
EA	0.78	0.71	0.83	0.58	0.96	0.80	0.70	0.81

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)

El promedio de producción de leche de los tratamientos fue de 7.3 kg/vaca/día; mientras que en leche corregida a energía (LCE) y grasa y proteína (LCGP), existen ventajas numéricas,

pero no estadísticas en favor del tratamiento con caña dulce. Lo mismo para los rendimientos de grasa, proteína y lactosa (kg/día), existió una ventaja numérica pero no estadística en favor del tratamiento con caña dulce.

La diferencia entre peso promedio de las vacas en las dos semanas previas al inicio del experimento solo fue mayor en 1% con respecto al peso promedio de las vacas durante el periodo que las vacas recibieron ensilado de sorgo. 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 una mayor pérdida de eso de 0.92 kg/día, mientras que en las europeas el cambio de eso fue de 0.38. De acuerdo con la etapa de lactación, las vacas en lactación temprana y tardía tuvieron una pérdida de peso por día de entre 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.

En el cuadro 17 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, concentración (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 17. Efecto del periodo experimental (PE) sobre las variables de respuesta animal.

Variable	Pre-PE	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)	9.1	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)	10.1	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)	506	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 general

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 17), 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 15). 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.

Impacto del proyecto de investigación/vinculación

La propuesta de investigación y el hecho de que la investigación se haya llevado a cabo en una unidad de producción comercial tuvo un impacto positivo ya que fue la primera vez que el productor participante había realizado el proceso de ensilaje para la conservación de forraje para la época de estiaje. El productor participante, conoció y formó parte de todos los procesos que implicaron el establecimiento del cultivo, mantenimiento, cosecha y conservación del forraje. Obteniendo experiencia y conocimiento sobre el manejo de un forraje para su conservación como ensilado.

Aunque no existieron diferencias en la respuesta productiva de las vacas debida a las diferentes variedades de sorgo forrajero, sí existieron diferencias importantes en cuanto a producción de forraje en favor de la variedad Top Green, lo cual representó 22% mayor producción. Por lo que la recomendación para la zona en la que se realizó el experimento sería la variedad Top Green por su mayor rendimiento de forraje.

El experimento de suplementación, tuvo éxito ya que su principal objetivo era que los animales mantuvieran los rendimientos productivos, así como peso y condición corporal, lo cual pudo lograrse, ante la disminución de la cantidad de forraje disponible en los potreros, así como en el valor nutricional del forraje disponible en las áreas de pastoreo.

En la unidad de producción participante, ésta fue la primera experiencia con un cultivo forrajero para conservar como ensilado. Ésta primera experiencia, ocasionó altos costos de producción de los cultivos por concepto de preparación de terreno de cultivo, cercado, establecimiento, mantenimiento y cosecha del cultivo, los cuáles no pudieron ser

cuantificados. La mayor parte de los trabajos se realizaron manualmente, lo que generó un alto costo de producción. El terreno seleccionado fue de difícil acceso y una pendiente muy pronunciada, lo contribuyó al incremento en el trabajo, así como los gastos. Tampoco, en la unidad de producción se contaba con la maquinaria adecuada para el proceso del picado, por lo que se tuvo que rentar incrementando aún más los gastos.

Lo anteriormente mencionado, representa las principales amenazas para que la producción de cultivos forrajeros como el sorgo conservado como ensilaje, pueda ser una opción efectiva, eficiente y económica en la región.

No obstante, la colaboración del equipo de investigación con el titular de la unidad de producción, así como los trabajadores, generó una buena experiencia de trabajo, además del conocimiento técnico para que este tipo de propuestas se difunda en la región.

Conclusiones

La variedad de sorgo Caña Dulce, tuvo una altura promedio de 194.5 cm, siendo mayor que la variedad Top Green con 187.8 cm.

El peso fresco de plantas de sorgo forrajero en un metro lineal fue mayor en la variedad Top Green con respecto a la variedad Caña Dulce.

Se obtuvieron bajos niveles de producción de materia seca en ambos cultivos forrajeros con respecto a lo reportado en la literatura internacional. La variedad de sorgo forrajero Top Green fue la que obtuvo mejores valores de rendimiento de forraje en comparación con la variedad Caña Dulce.

La composición nutricional de los ensilados de sorgo fue aceptable, encontrándose dentro de los rangos de valores reportados en la literatura internacional. Cabe resaltar que el contenido promedio de proteína cruda fue mayor a la que se logra obtener de cultivos tradicionales como el maíz ensilado para la alimentación animal, aunque el contenido de FDN y FDA en el sorgo forrajero es mayor que en el ensilado de maíz.

No existieron diferencias en el consumo voluntario de materia seca entre las variedades de ensilado de sorgo forrajero.

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.

Las vacas experimentales mantuvieron el peso corporal durante la realización del estudio, lo que permite cumplir con el objetivo de un forraje suplementario conservado como ensilado.

Referencias

15008a @ www.inafed.gob.mx. .

Albarrán-Portillo, B., F. López-González, M. Ruiz-Albarrán, and C.M. Arriaga-Jordán. 2019. Productive and economic response to concentrate supplementation by grazing dairy cows at high stocking. *Rev. Mex. Ciencias Pecu.* 10. doi:10.22319/rmcp.v10i4.4787.

Albarrán-Portillo, B., S. Rebollar-Rebollar, A. García-Martínez, R. Rojo-Rubio, F. Avilés-Nova, and C.M. Arriaga-Jordán. 2015. Socioeconomic and productive characterization of dual-purpose farms oriented to milk production in a subtropical region of Mexico. *Trop. Anim. Health Prod.* 47:519–523. doi:10.1007/s11250-014-0753-8.

Álvarez-Sánchez, A., A. García-Martínez, and B. Albarrán-Portillo. 2023. Productive and economic performance of Brown Swiss cows at different stages of lactation fed two crude protein levels. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* 26.

AOAC. 1995. *Official Methods of Analysis*. 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.

Avendaño, A., L. Trejo, C. López, G. Molina, V. Santacruz, and G. Castillo. 2005. Comparación de la tolerancia a la sequía de cuatro variedades de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con la acumulación de prolina. *Interciencia* 30:560–564.

Barile, V.L., C. Tripaldi, L. Pizzoferrato, C. Pacelli, G. Palocci, S. Allegri, M. Maschio, M. Mattera, P. Manzi, and A. Borghese. 2007. Effects of different diets on milk yield and quality of lactating buffaloes: Maize versus sorghum silage. *Ital. J. Anim. Sci.* 6:520–523. doi:10.4081/ijas.2007.s2.520.

Berumen, C.A.N., R.R. Serna, R.J. Ocampo, F.Ó.C. Carreón, P.A.D. Martínez, and M.M. Ortiz. 2017. Rendimiento y valor nutricional de tres variedades de sorgo dulce cultivadas en cuatro ambientes de Durango. *Rev. Mex. Ciencias Pecu.* 8:147–155.

doi:10.22319/rmcp.v8i2.4426.

- Boyer, J., and M. Westgate. 2004. Grain yields with limited water. *J. Exp. Bot.* 55:2385–2394.
- Buenavista, Gutierrez, J.M. 2003. El cultivo de sorgo (*Sorghum Vulgare* Spp.). Univ. autónoma Agrar.
- Cattani, M., N. Guzzo, R. Mantovani, and L. Bailoni. 2017. Effects of total replacement of corn silage with sorghum silage on milk yield, composition, and quality. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 8:1–8. doi:10.1186/s40104-017-0146-8.
- Dahlberg, J. 2000. Classification and characterization of sorghum. C. Smith and R. Frederiksen, ed. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Daley, V.L., L.E. Armentano, and M.D. Hanigan. 2022. Models to predict milk fat concentration and yield of lactating dairy cows: A meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 105:8016–8035. doi:10.3168/jds.2022-21777.
- Demagnet, R., and C. Canales. 2020. Manual: cultivo del sorgo forrajero. Plan Leche. Watts. Univ. la Front. 1–20.
- Fadul-Pacheco, L., M.A. Wattiaux, A. Espinoza-Ortega, E. Sánchez-Vera, and C.M. Arriaga-Jordán. 2013. Evaluation of sustainability of smallholder dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 37:882–901. doi:10.1080/21683565.2013.775990.
- FAO. 2017. El Estado Mundial de La Agricultura y La Alimentación Aprovechar Los Sisemas Alimentarios Para Lograr Una Transformación Rural. Roma.
- FIRA. 2016. Panorama Agroalimentario: Sorgo. Dir. Evaluación y Evaluación Económica y Sect. 0–39.
- Flores-Cocas, J.M., C.F. Aguilar-Pérez, L. Ramírez-Avilés, F.J. Solorio-Sánchez, A.J. Ayala-Burgos, and J.C. Ku-Vera. 2021. Use of rice polishing and sugar cane molasses

- as supplements in dual-purpose cows fed *Leucaena leucocephala* and *Pennisetum purpureum*. *Agrofor. Syst.* 95:43–53. doi:10.1007/s10457-019-00434-z.
- Granados-Niño, J.A., D.G. Reta-Sánchez, O.I. Santana, A. Reyes-González, E. Ochoa-Martinez, F. Díaz, and J.I. Sánchez-Duarte. 2021. Effect of the cutting height of sorghum at harvest on forage yield and nutritional value of silage. *Rev. Mex. Ciencias Pecu.* 12:958–968. doi:10.22319/rmcp.v12i3.5724.
- Heredia-Nava, D., F. Lopez-Gonzalez, B. Albarran-Portillo, and M. Arriaga-Jordan. 2017. Supplementation with soya bean meal during the dry season for dairy cows fed on pasture and maize silage in the highlands of Mexico. *J. Livest. Sci.* 8:21–27.
- Herrero, M., and R. Jonhson. 1981. Drought stress and its effects on maize reproductive systems. *Crop Sci.* 21:105–110.
- Jensen, K.B., B.L. Waldron, P.M. D., and R. J.G. 2010. Nutritive value of herbage of five semi-irrigated pasture species across an irrigation gradient. *Grass Forage Sci.* 65:92–101.
- Martínez-García, C.G., A.A. Rayas-Amor, J.P. Anaya-Ortega, F.E. Martínez-Castañeda, A. Espinoza-Ortega, F. Prospero-Bernal, and C.M. Arriaga-Jordán. 2015. Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies. *Trop. Anim. Health Prod.* 47:331–337. doi:10.1007/s11250-014-0724-0.
- McCary, C.L., D. Vyas, A.P. Faciola, and L.F. Ferraretto. 2020. Graduate Student Literature Review: Current perspectives on whole-plant sorghum silage production and utilization by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 103:5783–5790. doi:10.3168/jds.2019-18122.
- Molina, G. 1980. Selección masal para resistencia a sequía en maíz. *Agrociencia* 42:69–77.
- Montes-García, N., S. Uribe-Gómez, M.E. Cisneros-López, V. Pecina-Quintero, T. Moreno-Gallegos, and A. Díaz-Franco. 2019. RB-Pirulí: Sweet sorghum variety for biomass and sugar production in Mexico. *Rev. Fitotec. Mex.* 42:75–78. doi:10.35196/rfm.2019.1.75-

- Morado, S., and L. Martínez. 2011. Temporal Con El Uso de Prácticas Conservacionistas Producción Sustentable de Sorgo de Temporal Con El Uso de Prácticas Conservacionistas.
- Muchow, R. 1989. Comparative productivity of maize sorghum and pearl millet in a semi-arid tropical environment. II. Effect of water deficits. *F. Crop. Res.* 20:207–219.
- 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.
- NeSmith, D., and J. Ritchie. 1992. Maize (*Zea mays* L.) response to a severe soil water-deficit during grain-filling. *F. Crop. Res.* 29:23–35.
- Ouattar, S., J. Jones, and C. RK. 1987. Effect of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth and development. *Crop Sci.* 27:726–730.
- Özkan, S., J. Hill, and B. Cullen. 2015. Effect of climate variability on pasture-based dairy feeding systems in south-east Australia. *Anim. Prod. Sci.* 55:1106–1116.
- Pupo, M.R., M.O. Wallau, and L.F. Ferraretto. 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. *J. Dairy Sci.* 105:5776–5785. doi:10.3168/jds.2021-21706.
- Rebollar Rebollar, S., J. Hernández Martínez, F.J. González Razo, A. García Martínez, B. Albarrán Portillo, and R. Rojo Rubio. 2011. Margins and comercialization channels of añejo cheese in Zacazonapan, Mexico | Canales y Márgenes de Comercialización del Queso añejo en Zacazonapan, México. *Arch. Zootec.* 60:883–889.
- Rodrigues, P.H.M., L.A. Pinedo, P.M. Meyer, T.H. da Silva, and I.C. da S.B. Guimarães. 2020. Sorghum silage quality as determined by chemical–nutritional factors. *Grass Forage Sci.* 75:462–473. doi:10.1111/gfs.12495.

- Ruz-Reyes, R., E.-P. A, and A. Romero-Arias. 2018. Evaluación de tres cultivares de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para la alimentación animal. *Pastos y Forrajes* 41:9396.
- Sagarpa. 2017. Sorgo grano Mexicano. Planeación Agrícola Nacional 2017 - 2030. Ciudad de México.
- Salas-Reyes, I.G., C.M. Arriaga-Jordán, J.G. Estrada-Flores, A. García-Martínez, R. Rojo-Rubio, J.F.V. Armijo, and B. Albarrán-Portillo. 2019. Productive and economic response to partial replacement of cracked maize ears with ground maize or molasses in supplements for dual-purpose cows. *Rev. Mex. Ciencias Pecu.* 10:335–352. doi:10.22319/rmcp.v10i2.4569.
- Salas-Reyes, I.G., C.M. Arriaga-Jordán, S. Rebollar-Rebollar, A. García-Martínez, and B. Albarrán-Portillo. 2015. Assessment of the sustainability of dual-purpose farms by the IDEA method in the subtropical area of central Mexico. *Trop. Anim. Health Prod.* 47:1187–1194. doi:10.1007/s11250-015-0846-z.
- Salvador-Loreto, I., C.M. Arriaga-Jordán, J.G. Estrada-Flores, F. Vicente-Mainar, A. García-Martínez, and B. Albarrán-Portillo. 2016. Molasses supplementation for dual-purpose cows during the dry season in subtropical Mexico. *Trop. Anim. Health Prod.* doi:10.1007/s11250-016-1012-y.
- Sánchez-Matta, L. 2005. Estrategias modernas para la conservación de forrajes en sistemas de producción bovina tropical. *Cienc. y Tecnol. Agropecu.* 102:69–80.
- Schussler, J., and M. Westgate. 1991. Assimilate flux determines kernel set at low water potential in maize. *Crop Sci.* 31:1189–1195.
- Schwendel, B.H., T.J. Wester, P.C.H. Morel, M.H. Tavendale, C. Deadman, N.M. Shadbolt, and D.E. Otter. 2015. Invited review: Organic and conventionally produced milk—An evaluation of factors influencing milk composition. *J. Dairy Sci.* 98:721–746. doi:10.3168/jds.2014-8389.
- Segura-Castruita, M., and C.A. Ortiz-Solorio. 2017. Modelación de la evapotranspiración

potencial mensual a partir de temperaturas máximas-mínimas y altitud. *Tecnol. y Ciencias del Agua* 8:93–110.

SIAP-SAGARPA. 2023. *Panorama Agroalimentario 2023*.

Silos y Galpones para Fertilizantes. 2010.

Stroup, W., P. Hidebrand, and C. Francis. 1993. Farmer participation for more effective research in sustainable agriculture. J Ragland and R Lai, ed. *Am. Soc. of Agronomy Inc. Crop Sc. Soc. of America Inc. Soil Soc. of America Inc.* Madison, Wisconsin, USA.

Torres, J.H., P. Escuela, A. Panamericana, and Z. Honduras. 2020. Comparación de tres tipos de ensilaje (maíz, sorgo, y caña de azúcar) en la producción de leche: Revisión de literatura.

Trujillo, J. 1987. El Cultivo de Sorgo en Áreas Tropicales en México. *Ceiba* 29:231–238.

Vargas-Rodríguez, C.F. 2005. Valor nutricional y degradabilidad ruminal de genotipos de sorgo forrajero (*Sorghum* sp). *Agron. Mesoam.* 16:215–223.

Zinselmeier, C., M. Lauer, and J. Boyer. 1995. Reserving droughtinduced losses in grain yield: Sucrose maintains embryo growth in maize. *Crop Sci.* 35:390–400.