



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS RURALES**

**EVALUACIÓN DE ENSILADO DE SORGO (*Sorghum bicolor* (L.)) CV
TOP GREEN Y CV CAÑA DULCE COMO ALTERNATIVA FORRAJERA
PARA SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE DE PEQUEÑA ESCALA
DEL CENTRO DE MÉXICO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

MELCHOR ROSAS DÁVILA

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, marzo de 2025

*Evaluación de ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México*



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y

RECURSOS RURALES

**EVALUACIÓN DE ENSILADO DE SORGO (*Sorghum bicolour* (L.)) CV
TOP GREEN Y CV CAÑA DULCE) COMO ALTERNATIVA FORRAJERA
PARA SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE DE PEQUEÑA ESCALA
DEL CENTRO DE MÉXICO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA:

MELCHOR ROSAS DÁVILA

COMITÉ DE TUTORES:

DR. ERNESTO MORALES ALMARÁZ

DR. FELIPE LÓPEZ GONZÁLEZ

DR. CARLOS MANUEL ARRIAGA JORDÁN

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, marzo de 2025

*Evaluación de ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México*

RESUMEN

En los últimos años, las dificultades que han surgido en el cultivo de maíz (*Zea mays*) como la alta temperatura ambiental, lluvias erráticas y menor fertilidad del suelo, han obligado a los productores de leche a considerar forrajes alternativos. El ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)), representa un complemento atractivo para el ganado en áreas marginales debido a que tiene ventajas agronómicas con respecto al maíz. El estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la sustitución parcial del ensilado de maíz por ensilado de sorgo, sobre el rendimiento de las vacas lecheras durante la época seca. Los tratamientos fueron: T1= 5 kg MS ensilado de sorgo cv Top Green + 5 kg MS ensilado de maíz; T2= 5 kg ensilado de sorgo cv Caña Dulce + 5 kg ensilado de maíz; T3= 10 kg MS ensilado de maíz (testigo).

Las variables analizadas fueron producción y composición de la leche, peso vivo e índice de condición corporal; así como la composición química de los alimentos y costos de alimentación. Se obtuvo una producción media de leche de 22.6 kg/d ($P>0.05$), con concentraciones de 40.2 g/kg de grasa, 30.9 g/kg de proteína y 11.1 mg/dL de nitrógeno ureico en leche (NUL) ($P>0.05$). Los rendimientos de los cultivos fueron de 4,884.0 t MS/ha de T2, 6,682.0 t MS/ha en T1 y 13,440.0 t MS/ha de T3 ($P>0.05$). Hubo diferencias en las emisiones de metano por kg de leche corregida en grasa al 3.5% (CH_4 g/kg LCG) y de equivalente en dióxido de carbono (CO_2 eq kg d/kg LCG) mayores ambas en T3 comparado con T1 y T2 ($P<0.05$).

Esto sugiere que la integración del ensilado de sorgo probablemente no mejorará contundentemente los indicadores del impacto ambiental como para justificar un cambio en las prácticas de alimentación, además, de que las prácticas de gestión suelen estar impulsadas por la rentabilidad del productor, donde los costos de alimentación fueron más altos al integrar el ensilado de sorgo debido a los bajos rendimientos de materia seca. La percepción del riesgo que

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolor (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

conlleva la adopción del sorgo al no conocer las ventajas de su uso promueve el desarrollo de más estudios locales que demuestren sus beneficios.

SUMMARY

In the last years, difficulties occurring in corn cultivation have been forcing dairy farmers to consider alternative silages. The sorghum silage is an attractive supplement for cattle in marginal areas where sorghum silage has agronomic advantages with respect to corn. The objective was to assess the effect of partial replacement of corn silage with sorghum silage, on dairy cows performance, during the dry season in three treatments: T1= 5 kg DM sorghum silage cv Top Green + 5 kg DM maize silage; T2= 5 kg DM sorghum silage cv Caña Dulce + 5 kg DM maize silage; T3= 10 kg DM maize silage. Analyzed variables were milk yield and composition, live weight, and body condition score; as well as chemical composition of feeds and feeding costs. There were no statistical differences in animal variables, milk yield, milk fat content, milk protein content or milk urea nitrogen ($P>0.05$), but there were significant differences between treatments for CH_4 and CO_2 eq with T3 recording a higher emission than T1 and T2 ($P<0.05$). There were no statistical differences between treatments for dry matter yield ($P>0.05$). The inclusion of sorghum silage showed lower economic performance without greatly increasing enteric methane emissions.

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolor (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1	Contexto de los sistemas de producción de leche de pequeña escala	3
2.2	Producción de maíz	4
2.3	Sorgo como alimento alternativo	4
2.4	Emisión de metano	5
2.5	Efecto de los metabolitos secundarios	6
III.	JUSTIFICACIÓN	8
IV.	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	9
V.	HIPÓTESIS	10
VI.	OBJETIVOS	11
6.1	Objetivo general	11
6.2	Objetivos específicos	11
VII.	MATERIALES Y MÉTODOS	13
7.1	Área de estudio	13
7.2	Límite de tiempo	13
7.3	Animales	13
7.4	Cultivo de forrajes	14
7.5	Tratamientos	14
7.6	Variables evaluadas de los forrajes	15
7.6.1	Altura y rendimiento de materia seca	15
7.6.2	Composición botánica y morfológica	15
7.6.3	Análisis químico de los alimentos	15
7.6.4	Estimación de metabolitos secundarios	16
7.6.5	Estimación de emisiones de metano	16
7.6.6	Análisis económico	17
7.6.7	Análisis estadístico para la evaluación de los tratamientos	17
7.7	Variables de desempeño animal	18

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolor (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

7.7.1 Índice de condición corporal	18
7.7.2 Peso vivo	18
7.7.3 Rendimiento de leche	18
7.7.4 Composición química de la leche	18
7.7.5 Estimación de consumo	18
7.7.6 Análisis estadístico para la evaluación del desempeño animal	19
VIII. RESULTADOS	20
8.1 Artículo publicado en la revista indexada: Tropical and Subtropical Agroecosystems	20
8.2 Artículo enviado a la revista indexada: Tropical and Subtropical Agroecosystems	25
IX. CONCLUSIONES GENERALES	29
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

*Evaluación de ensilado de sorgo (*Sorghum bicolor* (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México*

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo más de 150 millones de hogares forman parte del sector lechero que ha contribuido sustancialmente al crecimiento socioeconómico de los productores agropecuarios (FAO, 2022). En este sentido, la lechería de pequeña escala ha sido reconocida como un medio de vida que genera ingresos diarios (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007).

No obstante, la incertidumbre ambiental y económica establecen la necesidad de examinar nuevas estrategias de producción (Prospero-Bernal *et al.*, 2017; Rosas-Dávila *et al.*, 2020). En estas circunstancias, la nutrición animal es determinante del impacto ambiental y la eficiencia económica del sistema productivo (Prospero-Bernal *et al.*, 2017).

Como reflejo de esta situación, es necesario evaluar forrajes alternativos con el objetivo de superar las deficiencias alimenticias del periodo seco (Velarde-Guillén *et al.*, 2017; Rosas-Dávila *et al.*, 2020) y colaborar en los esfuerzos de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), de ahí que las principales intervenciones para reducir las emisiones se basen en prácticas que mejoren la eficiencia de la producción animal (Vega-García *et al.*, 2021).

En México, el maíz (*Zea mays*) representa uno de los principales forrajes adoptados para la alimentación de las vacas lecheras (Rosas-Dávila *et al.*, 2024), debido a su alto rendimiento de materia seca, concentración de energía y consumo aceptable, sin embargo, sus altos requerimientos hídricos y nutricionales, incrementan los costos de producción reduciendo la sostenibilidad (Colombini *et al.*, 2017).

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolor (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

A medida que continúan los problemas de disponibilidad de agua y se aplica presión a la industria láctea sobre el uso eficiente de los recursos, el sorgo puede desempeñar un papel importante en zonas agroecológicas con estrés hídrico (McCary *et al.*, 2020).

A pesar de que el sorgo es un alimento importante para la producción animal, se les ha atribuido una baja digestibilidad respecto a otros cereales debido a la capacidad de unión de los taninos a las proteínas, al almidón y a los minerales (McCary *et al.*, 2020), sin embargo, vinculado a esto, también existen beneficios potenciales del uso de los taninos, con fines antihelmínticos y sobre la mitigación de metano (Ran *et al.*, 2021).

Con este propósito el presente trabajo propone proporcionar información sobre la producción de sorgo en el altiplano central de México y evaluar el efecto de la inclusión del ensilado de sorgo en el desempeño productivo de vacas lecheras.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Contexto de los sistemas de producción de leche de pequeña escala

En el ámbito de la producción, uno de los principales retos que enfrentan los pequeños productores es la alimentación de su hato, un aspecto difícil dado que por las características ambientales del Valle de México, la producción de forraje de calidad nutritiva se limita al temporal de lluvia, entre los meses de mayo a octubre, por lo cual, en lo que resta del año el consumo de forraje de baja calidad se incrementa (Albarran *et al.*, 2012; Celis-Álvarez *et al.*, 2016).

Paralelo a la heterogeneidad agroecológica, la situación comercial lechera y los posibles efectos del cambio climático (lluvias erráticas y sequías prolongadas), han permitido no solo identificar las características productivas de cada sistema lechero (especializado, mixto y de pequeña escala), sino establecer la desigualdad de retos agropecuarios que enfrentan, donde los sistemas de producción de leche de pequeña escala se encuentran en desventaja influidos por la restricción en la disponibilidad y calidad de los alimentos (Peña *et al.*, 2010; Gómez-Miranda *et al.*, 2020) que fortalece la dependencia a insumos externos (alimentos balanceados) (Pincay-Figueroa *et al.*, 2016).

Desde el enfoque de la competitividad, mejorar el desempeño productivo del sistema lechero crea la necesidad de corregir el criterio de uso de los forrajes en función de que representan una fuente económica de nutrientes sobre el alimento balanceado (Pincay-Figueroa *et al.*, 2016; Prospero-Bernal *et al.*, 2017).

2.2 Producción de maíz

En el Altiplano de México, el cultivo de maíz representa una de las principales prácticas agrícolas de sustento del área rural, fuertemente vinculado a la ganadería donde la producción de leche se convirtió en el eje principal de la economía campesina (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007; Sánchez-Hernández *et al.*, 2013; Prospero-Bernal *et al.*, 2017), con este propósito, los productores han destinado una mayor superficie al cultivo de maíz para la alimentación animal (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007).

En terminos productivos, anualmente en México se establecen casi 7 millones de hectáreas para grano y cerca de 500 mil hectáreas de maíz forrajero (Sánchez-Hernández *et al.*, 2013). Sin embargo, aun con los diversos beneficios que aporta esta gramínea a la nutrición animal por su alto contenido de materia seca, carbohidratos solubles y buenas características de fermentación para la conservación del forraje (elaboración de ensilaje) (Peña-Ramos *et al.*, 2010; Albarran *et al.*, 2012), la evolución de la producción pecuaria requiere sistemas de cultivo de forrajes más productivos por unidad de área (ha), más flexibles a la fertilidad baja del suelo y más tolerantes a las sequías (Martin *et al.*, 2017; Saiz-Ramírez *et al.*, 2021).

2.3 Sorgo como alimento alternativo

Con el fin de optimizar el desempeño de los hatos, el diseño de estrategias de producción y el manejo de los alimentos enfocado a la búsqueda de gramíneas menos sensitivas a la falta de humedad, establece la base para la restauración de la sostenibilidad y la reserva forrajera contra la estacionalidad (ciclo invierno-primavera) y la suplementación, en virtud de la situación precaria en la que operan los pequeños productores (Bahrani *et al.*, 2010; Matínez-García *et al.*, 2015; Ochoa-Noriega *et al.*, 2021).

*Evaluación de ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México*

Más allá de los forrajes convencionales que emplean los sistemas lecheros de pequeña escala: ensilado de maíz, forraje de avena fresca, heno de alfalfa, pasto de corte, pradera para pastoreo, paja de avena, paja de trigo, paja de maíz (Matínez-García *et al.*, 2015), el cultivo de sorgo representa una fuente aceptable de nutrientes para los ruminantes por su resistencia a las condiciones productivas y edafoclimáticas marginales (contrario al maíz, el sorgo posee una eficiencia hídrica superior con requerimientos de agua 25% menores), con rendimientos razonables de materia seca (10-20 t MS/ha) (producción de forraje mejorada debido a su capacidad de rebrote) y buen valor nutricional (Pacheco-Ramos *et al.*, 2021).

En terminos de sostenibilidad, el ensilado de sorgo ha sido promovido como una fuente importante de forraje donde la precipitación es limitada y el riesgo del cultivo de maíz es mayor (Bakici and Demirel, 2004; Reta-Sánchez *et al.*, 2010), debido a sus exigencias nutricionales y requerimientos hídricos altos y constantes (Sainz-Ramírez *et al.*, 2021).

2.4 Emisión de metano

Ambientalmente los sistemas de producción de leche de vaca son responsables de emitir 4% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI): dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), y metano (CH₄) fundamentalmente (Aguirre-Villegas *et al.*, 2016; Velarde-Guillén *et al.*, 2017).

Al respecto, las estrategias encaminadas a mejorar la eficiencia animal (rendimiento de leche/valor de gases emitidos) y prevenir el cambio climático son una prioridad (Dini *et al.*, 2012), en este sentido, la manipulación dietética juega un papel determinate en la producción pecuaria al afectar la emisión de gases donde generalmente, dietas con niveles bajos en fibra y lignina y un elevado nivel de carbohidratos no estructurales disminuyen la metanogénesis

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolour (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

ruminal, incluyendo el uso de plantas con compuestos bio-activos (taninos condensados, compuestos fenólicos, fitatos, saponinas, aceites esenciales) y acción antimicrobiana (supresión selectiva de protozoarios y bacterias ruminales que afectan la fermentación ruminal) (Goel and Makkar., 2012; Robles-Jiménez *et al.*, 2021).

Los compuestos secundarios en gramíneas como el sorgo modelan una variable de interés entre las estrategias de mitigación del metano (Bonilla-Cardenas and Lemus-Flores., 2012), sin embargo, los estudios que evalúan la funcionalidad de estos compuestos sobre el hospedero son limitados.

2.5 Efecto de los metabolitos secundarios

El CH₄ procedente de la fermentación entérica no solo es un gas de efecto invernadero asociado con los problemas ambientales, sino que también representa una pérdida energética potencialmente utilizable por el animal, en este sentido, el CH₄ al ser un producto de la degradación de los hidratos de carbono del alimento, las estrategias tendientes a su reducción implica alterar los patrones de fermentación y reducir la producción de hidrógeno (Tan *et al.*, 2011; Andrade-Rivero *et al.*, 2012).

Al respecto, existen estudios donde se ha observado bajas emisiones de CH₄ utilizando forrajes que contienen taninos condensados (TC) (compuesto secundario= compuesto orgánico sintetizado por las plantas que cumple funciones de defensa, adaptación al ambiente y que tiene efectos farmacológicos en humanos y/o animales, por ejemplo, saponinas, taninos, compuestos organosulfurados, ligninas, flavonoides y aceites esenciales) (Puchala *et al.*, 2005; Oliveira *et al.*, 2007; Andrade-Rivero *et al.*, 2012).

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolour (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

Los TC son polímeros complejos de alto peso molecular, el número de unidades monoméricas varía y determina la diversidad de estructuras químicas y propiedades biológicas, por lo tanto, debe reconocerse que la eficiencia en la reducción de la metanogénesis ruminal se ve influenciada por su estructura química (Tanino Condensado o Tanino Hidrolizable), peso molecular, nivel de suplementación y disponibilidad del compuesto bioactivo (Tan *et al.*, 2011).

La acción antimetanogénica de los TC se atribuye a su interferencia con la actividad fermentativa de la microbiota ruminal, reduciendo la población de protozoarios, bacterias celulolíticas y la degradación de los nutrientes debido a la formación de complejos: TC-proteínas, TC-carbohidratos (Andrade-Rivero *et al.*, 2012; Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2018).

Los taninos hidrolizables (TH) y condensados (TC), reaccionan con los iones de calcio de la pared celular lo cual causa un cambio en la permeabilidad, permitiendo la penetración de estos compuestos a la célula bacteriana, con lo que se inactivan las permeasas involucradas en el transporte de aminoácidos y carbohidratos, además de poder enlazarse con los proteínas y fosfolípidos de la pared celular, lo cual explica la marcada actividad antibactericida contra las bacterias gram positivas (Bonilla-Cardenas and Lemus-Flores., 2012).

Los mecanismos de acción de los metabolitos secundarios sobre los microorganismo ruminales y la fermentación de los alimentos, da lugar a cambios en los productos finales (acetato, propionato, butirato, dióxido de carbono e hidrógeno); reducen la cantidad de nitrógeno amoniacal producido en el rumen, mejorando la asimilación del nitrógeno duodenal y una menor proporción molar de acetato y butirato y el incremento en la proporción de propionato (producción de CH₄ compite con la producción de propionato) (Bonilla-Cardenas and Lemus-Flores., 2012).

III. JUSTIFICACIÓN

Los sistemas lecheros basados en la producción local de forrajes son vulnerables al cambio climático a través de alteraciones en el desempeño agronómico y nutritivo de los cultivos.

El ensilado de maíz, tradicionalmente ha sido un alimento integral en la dieta de los rumiantes, sin embargo, numerosos factores interfieren en el logro de altos rendimientos, particularmente, déficit hídrico.

En estas circunstancias, la búsqueda de una intensificación sostenible de la producción de leche, precisa la identificación de alimentos alternativos y amigables con el ambiente.

En este sentido, el sorgo ofrece un nuevo ejemplo en el suministro sostenible de alimentos para los rumiantes, como cultivo de ensilaje debido a su resistencia a la sequía y adaptabilidad a una variedad de suelos y niveles de fertilidad, no obstante, es necesario aclarar si el ensilado de sorgo muestra beneficios adicionales sobre la respuesta agronómica y características nutritivas comparado con el ensilado de maíz, y si la producción animal dicta cambios importantes, por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue investigar el efecto en la respuesta productiva de las vacas la inclusión del ensilado de sorgo en comparación con ensilado de maíz.

*Evaluación de ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México*

IV. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuál es el efecto de la inclusión del ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Caña dulce y cv Top green comparado con ensilado de maíz (*Zea mays*) sobre la respuesta productiva y composición nutricional de la leche de vaca?
- ¿El ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Caña dulce y cv Top green comparado con ensilado de maíz (*Zea mays*), representan alternativas de alimentación viables en terminos agronómicos y bromatológicos para los SPLPE del Altiplano Central de México?
- ¿Cuál es el efecto de la implementación del ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Caña dulce y cv Top green comparado con ensilado de maíz (*Zea mays*) sobre la relación costo/beneficio de la producción de leche de vaca en SPLPE?
- ¿Cuál es el efecto de la concentración de Compuestos Fenolicos Totales, Taninos Totales y Taninos Condensados en el ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Caña dulce y cv Top green comparado con ensilado de maíz (*Zea mays*) sobre la síntesis de metano?

*Evaluación de ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México*

V. HIPÓTESIS

- No existen diferencias estadísticas en el desempeño productivo (rendimiento de leche, composición química de la leche y emisiones de metano) de las vacas alimentadas con ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Caña dulce y cv Top green comparado con ensilado de maíz (*Zea mays*).
- No existen diferencias estadísticas en la respuesta agronómica y bromatológica del ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Caña dulce y cv Top green comparado con ensilado de maíz (*Zea mays*).

VI. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Evaluar el efecto en la respuesta productiva de las vacas en SPLPE la inclusión de ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Caña dulce y cv Top green en comparación con ensilado de maíz (*Zea mays*).

6.2 Objetivos específicos

- Determinar el rendimiento de leche y la composición química de la leche (Contenido de Proteína, Grasa, Nitrógeno Ureico en Leche) de vacas alimentadas con ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Caña dulce, ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Top green y ensilado de maíz (*Zea mays*).
- Determinar el consumo de materia seca, el índice de condición corporal, peso vivo y eficiencia alimenticia de vacas alimentadas con ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Caña dulce, ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Top green y ensilado de maíz (*Zea mays*).
- Evaluar la respuesta agronómica (Producción de materia seca, composición botánica, composición morfológica) de las parcelas de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Caña dulce, sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Top green y de las parcelas de maíz (*Zea mays*).
- Evaluar la composición química (Materia Seca, Materia Orgánica, Fibra Detergente Neutro, Fibra Detergente Ácido, Proteína Cruda, Digestibilidad Enzimática, eEM, pH, Compuestos Fenolicos Totales, Taninos Totales y Taninos Condensados), del

*Evaluación de ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México*

ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Caña dulce, ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Top green y ensilado de maíz (*Zea mays*).

- Estimar las emisiones de metano de vacas alimentadas con ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Caña dulce, ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Top green y ensilado de maíz (*Zea mays*).
- Realizar un análisis económico de los costos de alimentación de vacas alimentadas con ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Caña dulce, ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L.)) cv Top green y ensilado de maíz (*Zea mays*).

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Área de estudio

El estudio se desarrolló en Aculco, Estado de México (20° 06' norte y 99° 40' oeste), a 2440 metros sobre el nivel del mar. El clima de la región es templado – subhúmedo con una temperatura media anual de 13.2°C y dos épocas estacionales bien definidas: época de lluvia (mayo a octubre) con una precipitación media de 800 mm, y época seca (noviembre a abril) (Rosas-Dávila *et al.*, 2020). El experimento siguió un enfoque de investigación participativa rural, mediante experimentos en finca (Conroy, 2005), en la unidad de producción de una familia productora de leche de pequeña escala.

7.2 Límite de tiempo

Periodos experimentales	Fecha
Periodo experimental 1 (PE1)	12 de marzo al 25 de marzo de 2022
Periodo experimental 2 (PE2)	26 de marzo al 8 de abril de 2022
Periodo experimental 3 (PE3)	9 de abril al 22 de abril de 2022

Fueron 42 días divididos en 3 periodos experimentales, cada periodo experimental comprendió 12 días de adaptación a las dietas y 2 días de registro de datos y recolección de muestras.

7.3 Animales

Para la evaluación del desempeño animal, nueve vacas lecheras Holstein fueron ordenadas en grupos de 3 animales de acuerdo con su rendimiento de leche (22.1 ± 3.7 kg leche) y días en

*Evaluación de ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México*

lactación (110 ± 59.4) previo al experimento. Cada vaca fue distribuida aleatoriamente a una de las 3 secuencias de tratamientos.

7.4 Cultivo de forrajes

El maíz para ensilar se obtuvo de una variedad híbrida cv Cenzontle, sembrado el 22 de mayo de 2021 en una parcela de 1 ha a una dosis de 90,000 semillas/ha siguiendo las practicas del productor.

El sorgo se cultivó el 20 de mayo de 2021 en parcelas de 1 ha por cada variedad (Caña dulce y Top green), a una dosis de 20 kg/ha de semilla de sorgo y fertilizado con 300N-92P-120K kg/ha en tres aplicaciones (siembra, 30 y 66 días post-siembra). Ambos cultivos fueron tratados (Gesaprim calibre 90 (atrazina, 1 l/ha) + Peak (prosulfuron, 30 g/ha)) para el control de malezas. Las plantas se cosecharon a los 150 días post-siembra en un estado de desarrollo del grano de masa blanda (30 a 35% de MS). El proceso de ensilaje se realizó en silos de pastel a nivel del suelo.

7.5 Tratamientos

Los tratamientos consistieron en:

T1= 5 kg MS de ensilado de sorgo cv Top green + 5 kg MS de ensilado de maíz

T2= 5 kg MS de ensilado de sorgo cv Caña dulce + 5 kg MS de ensilado de maíz

T3= 10 kg MS ensilado de maíz (testigo)

Adicionalmente, todas las vacas se suplementaron con 3.7 kg MS de concentrado comercial y 2.4 kg MS de heno de alfalfa dividido en partes iguales y asignado en cada ordeño. El ordeño

*Evaluación de ensilado de sorgo (*Sorghum bicolor* (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México*

fue mecánico con un equipo de ordeña móvil de dos unidades a las 8:00 y 16:00 h. Las vacas se mantuvieron en estabulación a lo largo del experimento.

7.6 Variables evaluadas de los forrajes

Las parcelas fueron nominalmente divididas en tres sub-parcelas como réplicas para el análisis estadístico.

7.6.1 Altura y rendimiento de materia seca

La altura (m) se determinó en 90 plantas por parcela (30 por subparcela), desde la superficie del suelo a la punta de la espiga (maíz) o panoja (sorgo). Para estimar el rendimiento de forraje (t/ha) se tomaron al azar 3 muestras por subparcela en áreas de 1.6 m² (2 metros lineales con espacios entre surcos de 0.80 m) a 20 cm sobre el nivel del suelo, se pesaron y se tomó una submuestra de aproximadamente 500 g para determinar el contenido de materia seca (Sánchez-Hernández *et al.*, 2013)

7.6.2 Composición botánica y morfológica

Se tomaron muestras al azar por subparcela en 3 áreas de 2 metros lineales con espacios entre surcos de 0.80 m (1.6 m²), posteriormente se pesó una submuestra de al menos 500 g y manualmente se separó en fracciones (gramínea, arvenses, material vivo y material muerto; tallo, hoja y panoja o mazorca, respectivamente), la parte porcentual de cada componente se expresó en g/kg MS.

7.6.3 Análisis químico de los alimentos

Las muestras se secaron en un horno botánico aproximadamente a 30° C a peso constante por 72 horas para la determinación de la materia seca (MS), consecutivamente las mismas muestras

*Evaluación de ensilado de sorgo (*Sorghum bicolor* (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México*

fueron molidas e incineradas a 600°C en un horno mufla para la determinación de la materia orgánica (MO).

El contenido de proteína cruda (PC) se obtuvo mediante el método Kjeldahl, el análisis de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) se determinó a través de los procedimientos Ankom Technology., (2020). Se calculó la energía metabolizable (eME) (Mackle *et al.*, 1999) y el valor de pH (Vega-García *et al.*, 2020).

7.6.4 Estimación de metabolitos secundarios

La concentración de Compuestos Fenolicos Totales (FT) y Taninos Totales (TT) fueron cuantificados mediante el metodo de Folin-Ciocalteu (Makkar, 2003), y los Taninos Condensados (TC) se determinaron por la tecnica butanol HCL (Makkar, 2007).

7.6.5 Estimación de emisiones de metano

Las emisiones de metano se estimaron siguiendo los procedimientos descritos por Niu *et al.*, (2018): $CH_4 (g/d) = -60.5 + (12.4 * CMS) - (8.78 * \% EE) + (2.1 * \% FDN) + (16.1 * \% \text{grasa en leche}) + (0.148 * PV)$.

Donde: CMS = consumo de materia seca (kg/vaca/día), EE = extracto etereo de la dieta, FDN = fibra detergente neutro de la dieta y PV = peso vivo (kg/vaca).

El factor de corrección para metano Ym (proporción de energía bruta perdida como metano) fue calculado del IPCC (2019): $Ym = [100 * CH_4 (MJ/día) / Consumo de EB (MJ/día)]$.

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolor (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

El dióxido de carbono (CO₂) se estimó a partir de los gramos de CH₄ según Robles-Jimenez *et al.*, (2021): $CO_2 = g\ CH_4/d * 28$

7.6.6 Análisis económico

Los costos de alimentación fueron calculados mediante un análisis de presupuestos parciales (Dillon and Hardaker, 1980) considerando los costos totales de alimentación (compra de concentrado comercial; establecimiento de parcelas: preparación de la tierra, siembra, semillas, fertilización, herbicidas y cosecha).

7.6.7 Análisis estadístico para la evaluación de los tratamientos

Las características agronómicas (altura, rendimiento de materia seca/ha, composición botánica y morfológica) se analizaron bajo un diseño experimental completamente al azar, con el siguiente modelo: $Y_i = \mu + T_i + e_i$

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

Los resultados de la composición química de los tratamientos (MO, PB, FDN, FDA, DIVMS, eEM, FT, TT, TC, Ym, CO₂, CH₄) se compararon mediante un análisis de varianza con un diseño de parcelas divididas, donde las diferentes estrategias de alimentación se consideran efectos fijos (parcelas mayores), y los periodos de medición efectos aleatorios (parcelas menores) (Stroup *et al.*, 1993).

El modelo estadístico para el análisis fue el siguiente: $Y_{ijkl} = \mu + R_i + T_j + E_k + p_l + T_{pjl} + e_{ijk}$

Donde μ = media general; R = efecto debido a las replicas (divisiones de las parcelas), $i = 1, 2$;

T = efecto debido a los tratamientos (parcela mayor), $j = 1, 2, 3$; E = término del error para las

parcelas mayores; p = efecto debido a los periodos experimentales (parcela menor), $k = 1, 2, 3$;

Tp = término de la interacción entre tratamientos y periodos experimentales; y e = término del

*Evaluación de ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México*

error residual. La prueba de Tukey fue aplicada cuando las diferencias en el análisis de varianza fueron significativas ($P \leq 0.05$).

7.7 Variables de desempeño animal

7.7.1 Índice de condición corporal

El estado corporal de las vacas se estimó al inicio y al final de cada periodo experimental, en una escala de 1 a 5 puntos, con rangos de 1, muy flaco, a 5, severamente sobre condicionado (Edmonson *et al.*, 1989).

7.7.2 Peso vivo

El peso vivo de los animales (kg/vaca) se determinó al inicio y al final de cada periodo experimental con una báscula electrónica sucesivo al ordeño matutino.

7.7.3 Rendimiento de leche

El peso de la leche (kg/vaca/día), se registró con una báscula de resorte por 2 días consecutivos cada 2ª semana de cada periodo experimental.

7.7.4 Composición química de la leche

Se tomaron muestras de leche (100 ml) por animal sucesivo a cada ordeño (mañana y tarde) y fueron homogenizadas. El contenido de proteína y grasa (g/kg) en leche se determinó con un analizador automático de ultrasonido (Lactoscan Ultrasónico Farm Eco). El contenido de nitrógeno ureico en leche (NUL) (mg/dL) se obtuvo por el método colorimétrico enzimático (Chaney y Marbach, 1962).

7.7.5 Estimación de consumo

El consumo de materia seca de los alimentos se estimó directamente mediante el método de “oferta menos rechazo”.

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolor (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

7.7.6 Análisis estadístico para la evaluación del desempeño animal

El experimento se estableció de acuerdo a un diseño de cuadro latino 3x3 con 9 vacas y 3 periodos experimentales de dos semanas cada uno (12 días de adaptación y 2 días de muestreo y registro de datos).

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

Where: μ = media general ; S = efecto debido a los cuadros. $i = 1, 2, 3$; C = efecto debido a las vacas dentro de los cuadros $j = 1, 2, 3$; P = efecto debido a los periodos experimentales $k = 1, 2, 3$; t = efeto debido a los tratamientos, $l = 1, 2, 3$; e = error residual. Los datos obtenidos se analizaron mediante análisis de varianza ($\alpha = p < 0.05$) y para establecer las diferencias significativas se aplicará una prueba Tukey ($p < 0.05$).

VIII. RESULTADOS

8.1 Artículo publicado en la revista indexada: Tropical and Subtropical

Agroecosystems

Se presenta la carta de aceptación y resumen del artículo publicado en la revista Tropical and Subtropical Agroecosystems:

Rosas-Dávila, M., Morales Almaraz, E., López-González, F. and Arriaga-Jordán, C. M. 2024. Uso del ensilado de sorgo variedad Top Green y variedad Caña Dulce para la producción de leche en sistemas de pequeña escala. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 27(2). DOI: [10.56369/tsaes.4917](https://doi.org/10.56369/tsaes.4917)

M. Rosas-Dávila, E. Morales Almaraz. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM el Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090, Toluca, Estado de México, México.

F. López-González, C.M. Arriaga-Jordán. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (ICAR). Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM el Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090, Toluca, Estado de México, México.

Autor de correspondencia: Ernesto Morales Almáráz (email: emoralesa@uaemex.mx)

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolor (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

[TSAES] Editor Decision



Carlos A. SANDOVAL-CASTRO <revistaccba_boletines@correo.uady.mx>

Para: @ Ernesto Morales Almaraz

CC: @ Rosas Davila Melchor; @ Felipe Lopez Gonzalez; @ Carlos Manuel Arriaga Jordan



Mar 02/04/2024 10:33 AM

Tropical and Subtropical Agroecosystems
Dr Ernesto MORALES ALMARAZ:

We have reached a decision regarding your submission to Tropical and Subtropical Agroecosystems, "USO DEL ENSILADO DE SORGO VARIEDAD TOP GREEN Y VARIEDAD CAÑA DULCE PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN SISTEMAS DE PEQUEÑA ESCALA".

Your submission to Tropical and Subtropical Agroecosystems has now been accepted and transferred for copyediting we will be in contact once this stage has finalized

In the mean time we invite you to update your manuscript Metadata in the journal online system information (follow the link EDIT METADATA):

Author(s) (order, affiliation, email), title, summary and keywords.

for all authors use capital letter only
at the beginning of each name and surname
(i.e.: J. Paredes, Juan Paredes)

author ORCID information must be registered in the journal platform in the following format:
<http://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx> (without the letter "s" in http.)

Please verify that the manuscript information
(title, summary and titulo y resumen)
* it is captured in both languages windows
(spanish and english)
*Please use capital letters for "title" and
"titulo" along the phrase except for
scientific names

*update summary and keywords
Please be sure keywords are separated
by ";" and not ","

No further action is required if you have already updated the metadata

Dr. Carlos A. Sandoval Castro
Campus de Ciencias Biologicas y Agropecuaria, Universidad Autonoma de Yucatan, Mexico carlos.sandoval@correo.uady.mx

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



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

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

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

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

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

*Corresponding author

SUMMARY

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

Key words: milk production; sorghum silage; profitability.

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



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

ISSN: 1870-0462.

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

Correction Note: Table 2, Fibra detergente ácida values were corrected on 31/05/2024 as per authors request. This file supersedes all previous files with an older date.

*Evaluación de ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México*

Resumen

Antecedentes. El sorgo es un cultivo que se destaca como una alternativa al maíz debido a la mayor tolerancia a la sequía y menor demanda de fertilidad del suelo. **Objetivo.** Evaluar la respuesta productiva de vacas en lactación, alimentadas con ensilado de maíz (*Zea mays*) en sustitución con ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* L.). **Metodología.** La investigación se realizó en el altiplano central de México, en la unidad de producción de una familia productora de leche de pequeña escala. Se usaron 9 vacas distribuidas en tres cuadros latinos 3x3 con periodos de 14 días, de los cuales 12 fueron la adaptación de los animales a las dietas y 2 a la colecta de muestras. Los tratamientos fueron: 1) Top Green = 5 kg MS ensilado de sorgo cv Top Green + 5 kg MS ensilado de maíz; 2) Caña Dulce = 5 kg MS ensilado de sorgo cv Caña Dulce + 5 kg MS ensilado de maíz; 3) Ensilado maíz = 10 kg MS ensilado de maíz (testigo). El estudio comprendió el rendimiento productivo de las vacas, comportamiento productivo de los forrajes, la composición de los alimentos y los costos de alimentación. Las variables agronómicas se analizaron con un diseño completamente al azar, la composición química de los ensilados con un arreglo de parcelas divididas, y el desempeño animal con un diseño cuadro latino 3x3. **Resultados.** La inclusión del ensilado de sorgo en la dieta redujo el consumo de materia seca ($P < 0.05$), pero no afectó la producción media (22.9 kg/día) y la composición de la leche de las vacas ($P > 0.05$). No hubo diferencias ($P > 0.05$) para las variables relacionadas con el valor nutricional de los ensilados. En las variables de la respuesta animal, el análisis económico mostró que la inclusión del ensilado de sorgo aumentó los costos de alimentación en un 15% debido a los bajos rendimientos de materia seca. **Implicaciones.** El sorgo ha sido propuesto como una alternativa resiliente al maíz especialmente en escenarios de estrés por sequía, cuando la existencia de forrajes de calidad disminuye y los precios de granos y forrajes aumentan.

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolor (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

Conclusiones. El ensilado de sorgo puede ser un sustituto al ensilado de maíz, aunque los costos de alimentación fueron más altos.

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

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolor (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

8.2 Artículo enviado a la revista indexada: Tropical and Subtropical Agroecosystems

Se presenta la carta de recepción y resumen del artículo enviado a la revista Tropical and Subtropical Agroecosystems:

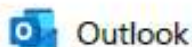
Rosas-Dávila, M., Morales Almaraz, E., López-González, F. and Arriaga-Jordán, C. M. 2024. Estimación de metabolitos secundarios y emisiones de metano en ensilados de sorgo. Tropical and Subtropical Agroecosystems.

M. Rosas-Dávila, E. Morales Almaraz. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM el Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090, Toluca, Estado de México, México.

F. López-González, C.M. Arriaga-Jordán. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (ICAR). Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM el Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090, Toluca, Estado de México, México.

Autor de correspondencia: Ernesto Morales Almáraz (email: emoralesa@uaemex.mx)

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolor (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México



[TSAES] Submission Acknowledgement

Desde Carlos A. SANDOVAL-CASTRO <revistaccba_boletines@correo.uady.mx>

Fecha Vie 19/07/2024 22:44

Para Ernesto Morales Almaraz <emoralesa@uaemex.mx>

Tropical and Subtropical Agroecosystems
Ernesto MORALES ALMARÁZ:

Thank you for submitting the manuscript, "ESTIMACIÓN DE METABOLITOS SECUNDARIOS Y EMISIONES DE METANO EN ENSILADOS DE SORGO" to Tropical and Subtropical Agroecosystems. With the online journal management system that we are using, you will be able to track its progress through the editorial process by logging in to the journal web site:

Manuscript URL:

<https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/author/submission/5746>

Username: emoralesa

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

Carlos A. SANDOVAL-CASTRO
Tropical and Subtropical Agroecosystems

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

RE: [TSAES] Editor Decision

De: Carlos A. SANDOVAL-CASTRO <revistaccba_boletines@correo.uady.mx>

Enviado: lunes, 26 de agosto de 2024 14:29

Para: Ernesto Morales Almaraz <emoralesa@uaemex.mx>

Cc: Rosas Davila Melchor <mrosasd153@alumno.uaemex.mx>; Felipe Lopez Gonzalez <flopezg@uaemex.mx>; Carlos Manuel Arriaga Jordan <cmarriagaj@uaemex.mx>

Asunto: [TSAES] Editor Decision

Tropical and Subtropical Agroecosystems
Dr Ernesto MORALES ALMARÁZ:

We have reached a decision regarding your submission to Tropical and Subtropical Agroecosystems, "ESTIMACIÓN DE METABOLITOS SECUNDARIOS Y EMISIONES DE METANO EN ENSILADOS DE SORGO".

The manuscript could be accepted after major changes
However, the revised version would undergo a second review round before a final decision is taken

Please log into your account and download the files containing the reviewers comments.

Please make corrections as appropriate and highlight/mark the changes made in the manuscript.

Once you have the revised version, please upload the DOC files containing the revised version
as well as a detailed reply to reviewers comments into your account and notify the editor.

while uploading the revised version please be sure to include/update in the journal online system information (follow the link EDIT METADATA):

*Evaluación de ensilado de sorgo (*Sorghum bicolour* (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México*

Resumen

Antecedentes. La alimentación en los sistemas de producción de leche en pequeña escala basada en ensilados se puede esperar que mejoren su eficiencia productiva, al tiempo que pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. **Objetivo.** Determinar el efecto de la sustitución parcial de ensilado de maíz con ensilado sorgo sobre la concentración de metabolitos secundarios en términos de fenoles totales (FT), taninos totales (TT), y taninos condensados (TC), así como estimar emisiones de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). **Metodología.** Los tratamientos se analizaron con un diseño experimental de parcelas divididas con muestras de un experimento *in vivo*. Los tratamientos fueron; T1 = 50 % ensilado de sorgo cv Top Green + 50% ensilado de maíz, T2 = 50 % ensilado de sorgo cv Caña Dulce + 50% ensilado de maíz, T3 = 100% ensilado de maíz cv Cenizote (testigo). **Resultados.** La inclusión del ensilado de sorgo disminuyó las emisiones entéricas de metano y dióxido de carbono ($P < 0.05$), aun cuando la concentración de compuestos fitoquímicos entre cultivares no fue variable ($P > 0.05$). **Implicaciones.** Conocer el impacto del cambio de la composición química de los forrajes en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en los sistemas lecheros es una cuestión importante para mitigar el cambio climático. **Conclusiones.** La inclusión del ensilado de sorgo en este estudio disminuyó ligeramente las emisiones de metano enterico y dióxido de carbono. Bajo estas condiciones, el presente documento sugiere ampliar la información sobre los factores de emisión y estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero.

Palabras clave: ensilado de sorgo, emisiones de metano, rumiantes, compuestos fenólicos totales, taninos totales, taninos condensados.

IX. CONCLUSIONES GENERALES

- La combinación del ensilado de sorgo con el ensilado de maíz podría ser alternativa para solucionar en parte la problemática ambiental y el déficit nutricional que enfrentan los sistemas de producción de leche de pequeña escala.
- Los resultados actuales sugieren que las dos variedades de sorgo probadas son alimentos prometedores con un contenido aceptable de proteína cruda y digestibilidad de la materia seca para sostener producciones de leche moderadas en sistemas de producción de leche en pequeña escala ante el cambio climático.
- Las dos variedades de sorgo evaluadas produjeron bajas cantidades de CH₄ (g/kg LCG 3.5%) en comparación con el tratamiento control, sin embargo, debe tenerse en cuenta que estos resultados están acompañados de varias limitaciones, incluidos los estudios limitados y los mecanismos poco claros sobre cómo los diferentes metabolitos secundarios impactan la fermentación ruminal.
- Sin embargo, se sugieren estudios futuros para evaluar el efecto de estos cereales in vivo para garantizar que los productores de leche tengan forraje suficiente y de buena calidad, así como continuar observando si con la inclusión de estos cereales en la alimentación se contribuye a la disminución de emisiones de metano al ambiente.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre-Villegas, H. A., Passos-Fonseca, T. H., Reinemann, D. J. and Larson, R., (2017). Grazing intensity affects the environmental impact of dairy systems, *Journal of Dairy Science*, 100(8): 6804-6821.
- Albarran, B., Garcia, A., Espinoza, A., Espinosa, E., Arriaga, C. M., (2012). Maize silage the dry season for grazing dairy cows in small-scale production systems in Mexico's highlands, *Agricultural Research Communication Centre*, 46 (4): 317-324.
- Andrade-Rivero, E., Martínez-Campos, A. R., Castelán-Ortega, O. A., Ríos-Quezada, J., Pacheco-Ortega, Y. and Estrada-Flores, J. G., (2012). Producción de metano utilizando plantas taníferas como sustrato en fermentación ruminal *in vitro* y efecto de extractos fenólicos en la microflora ruminal, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(2): 301-312.
- Ankom Technology., (2020). Analytical methods and support for fiber and in vitro Analysis. Available online: <http://www.ankom.com>
- Bahrani, M. J., Bahrami, H. and Kamgar-Haghighi, A. A., (2010). Effect of water stress on ten forage grasses native or introduced to Iran, *Japanese Society of Grassland Science*, 56: 1-5.
- Bakici, Y. and Demirel, M., (2004). Determination of qualities of Corn, Sorghum, Sudangrass and Sorghum x Sudangrass hybrid silages, *Journal of Applied Animal Research*, 26(1): 45-48.

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolor (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

- Bonilla-Cádenas, J. A. and Lemus-Flores, C., (2012). Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y el cambio climático, *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 3(2): 215-246.
- Celis-Alvarez, M. D., López-González, F., Martínez-García, C. G., Estrada-Flores, J. G. and Arriaga-Jordán, C. M., (2016). Oat and ryegrass silage for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, 48: 1129-1134.
- Chaney, A. L. and Marback, E. P., (1962). Modified reagents for determination of urea and ammonia, *Chemical chemistry*, 8: 130-132.
- Colombini, S., Galassi, G., Crovetto, G. M. and Rapetti, L., (2017). Milk production, nitrogen balance, and fiber digestibility prediction of corn, whole plant grain sorghum, and forage sorghum silages in the dairy cow, *Journal Dairy Science*, 95: 4457-4467.
- Conroy, C., (2005). Participatory livestock research. Bourton on dunsmore, Warwickshire, UK: ITDG publishing.
- Dillon, J. and Hardaker, J. B., (1980). Farm management research for small farmer development. FAO Agricultural Services Bulletin 41, Food and Agriculture Organization (FAO), Rome, Italy.
- Dini, Y., Gere, J., Briano, C., Manetti, M., Juliarena, P., Picasso, V., Gratton, R. and Astigarraga, L., (2012). Methane emission and milk production of dairy cows grazing pastures rich in legumes or rich in grasses in Uruguay, *Animals*, 2(2): 288-300.
- Edmonson, A. J., Lean, I. J., Weaver, L. D., Farver, T. and Webster G., (1989). A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of. Dairy Science*, 72: 68–78.

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolor (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

- Espinoza-Ortega, A., Espinosa-Ayala, E., Bastida-López, J., Castañeda-Martínez, T. and Arriaga-Jordán, C. M., (2007). Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: technical, economic, and social aspects and their impact on poverty, *Experimental Agriculture*, 43: 241-256.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)., (2022). Milk production. Available at: <https://www.fao.org/dairyproduction-products/production/en/>
- Goel, G. and Makkar, H. P., (2012). Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins, *Tropical Animal Health Production*, 44(4): 729-739.
- Gómez-Miranda, A., Estrada-Flores, J. G., Morales-Almaráz, E., López-González, F., Flores-Calvete, G. and Arriaga-Jordán, C. M., (2020). Barley or black oat silages in feeding strategies for small-scale dairy systems in the highlands of México, *Canadian Journal of Animal Science*, 100: 221–227.
- IPCC, (2019). Emissions from livestock and manure management. In Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (ed) 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.
- Mackle, T. R., Bryant, A. M., Petch, S. F., Hill, J. P. and Auldist, M. J., (1999). Nutritional Influences on the Composition of Milk from Cows of Different Protein Phenotypes in New Zealand, *Journal of Dairy Science*, 82: 172-180.

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolour (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

- Makkar, H. P. S., Siddhuraju, P. and Becker, K., (2007). Plant Secondary Metabolites. Methods in Molecular Biology book series. Volume 393, (Springer Nature Switzerland AG, Cham, Switzerland).
- Makkar, H., (2003). Chemical, protein precipitation and bioassays for tannins, tannin levels and activity in unconventional feeds, and effects and fate of tannins. In: H.P.S. Makkar (ed), Quantification of Tannins in Tree and Shrub Foliage: A laboratory manual, (Springer Nature, Cham, Switzerland). 1–42.
- Martin, N. P., Russelle, M. P., Powell, J. M., Sniffen, C. J., Smith, S. I., Tricarico, J. M. and Grant, R. J., (2017). Invited review: Sustainable forage and grain crop production for the US dairy industry, Journal Dairy Science, 100 (12): 9479-9494.
- Martínez-García, C. G., Rayas-Amor, A. A., Anaya-Ortega, J. P. and Matínez-Castañeda, F. E., (2015). Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies, Tropical Animal Health Production, 47(2): 331-337.
- McCary, C. L., Vyas, D., Faciola, A. P. and Ferraretto, L. F., (2020). Graduate Student Literature Review: Current perspectives on whole-plant sorghum silage production and utilization by lactating dairy cows, Journal Dairy Science, 103(6): 5783-5790.
- Niu, M., Kebreab, E., Hristov, A. N., Oh, J., Arndt, C., Bannink, A., Bayat, A. R., Brito, A. F., Boland, T., Casper, D., Crompton, L. A., Dijkstra, J., Eugene, M. A., Garnsworthy, P. C., Haque M. N., Hellwing, A. L. F., Huhtanen, P., Krauzer, M., Kuhla, B., Lund, P., Madsen, J., Martin, C., McClelland. S. C., McGee, M., Moate, P. J., Muetzel, S., Muñoz,

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolour (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

- C., O'Kiely, P., Peiren, N., Reynolds, C. K., Schwarm, A., Shingfield, K. J., Storlien, T. M., Weisbjerg, M. R., Yanez-Ruiz, D. R., Yu, Z., (2018). Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database, *Global Change Biology*, 24(8): 3368-3389.
- Ochoa-Noriega, C. A., Velasco-Muños, J. F., Aznar-Sánchez, J. A. and Mesa-Vázquez, E., (2021). Overview of research on sustainable agriculture in developing countries. The case of Mexico, *Sustainability*, 13: 8563.
- Oliveira, S. G., Berchielli, T. T., Pedreira, M., Primavesi, O., Frighetto, R. and Lima, M., (2007). Effect of tannin levels in sorghum silage and concentrate supplementation on apparent digestibility and methane emission in beef cattle, *Animal Feed Science and Technology*, 135(3): 236-248.
- Pacheco-Ramos, J. C., Rocha-Júnior, V. R., Pinto-Moncao, F., Augusto da costa-Parrela, R., Mendes-Caxito, A., Silva-Cordeiro, M. W., Ferreira-Da Hora, F. and Ananias de Assis-Pires, D., (2021). Effect to replacing forage sorghum silage with biomass sorghum silage in diets for F1 Holstein x Zebu lactating cows, *Tropical Animal Health and Production*, 53: 99-110.
- Peña-Ramos, A., González-Castañeda, F. y Robles-Escobedo, F. J., (2010). Manejo agronómico para incrementar el rendimiento de grano y forraje en híbridos tardíos de maíz, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(1): 27-35.
- Pincay-Figueroa P. F., López-González, F., Velarde-Guillen, J., Heredia-Nava, D., Martínez-Castañeda, F. E., Vicente, F., Martínez-Fernández, A. and Arriaga-Jordán, C. M.,

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolor (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

- (2016). Cut and Carry vs grazing of cultivated pastures in small-scale dairy systems in the central highlands of México, Journal of Agriculture and Environment for International Development, 1102: 349-363.
- Piñero-Vázquez, A. T., Jiménez-Ferrer, G., Alayon-Gamboa, J. A., Chay-Canul, A. J., Ayala-Burgos, A. J., Aguilar-Pérez, C. F. and Ku-Vera, J. C., (2018). Effects of quebracho tannin extract on intake, digestibility, rumen fermentation, and methane production in crossbred heifers fed low-quality tropical grass. Tropical Animal Health and Production, 50(1): 29-36.
- Prospero-Bernal, F., Martinez-Garcia, C. G., Olea-Pérez, R., López-González, F. and Arriaga-Jordán, C. M., (2017). Intensive grazing and maize silage to enhance the sustainability on small-scale dairy systems in the highlands of Mexico, Tropical Animal Health and Production, 49: 1537-1544.
- Puchala, R., Min, B. R., Goetsch, A. I. and Sahlu, T., (2005). The effect of a condensed tannin-containing forage on methane emission by goats, Journal of animal science, 83: 182-186.
- Ran, T., Tang, S. X., Yu, X., Hou, Z. P., Hou, F. J., Beauchemin, K. A., Yang, W. Z. and Wu, D. Q., (2021). Diets varying in ratio of sweet sorghum silage to corn silage for lactating dairy cows: feed intake, milk production, blood biochemistry, ruminal fermentation, and ruminal microbial community, Journal Dairy Science, 104(12): 12600-12615.
- Reta-Sánchez, D. G., Figueroa-Viramontes, U., Faz-Contreras, R., Núñez-Hernández, G., Gaytán-Moscorro, A., Serrato-Corona, J. S. y Payán-García, J. A., (2010). Sistemas de

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolor (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

- producción de forraje para incrementar la productividad del agua, Rev. Fitotec. Mex, 33(4): 83-87.
- Robles-Jimenez, L. E., Rosas-Dávila, M., Osorio-Avalos, J., Chay-Canul, A. J., Palacios-Riocerezo, C., Castelan-Ortega, O. A. and Gonzalez-Ronquillo, M., (2021). Evaluation of Mexican native and hybrid maize (*Zea mays*) silage for sustainable milk production, Tropical and Subtropical Agroecosystems, 24(3): 124
- Rosas-Dávila, M., Estrada-Flores, J. G., López-González, F. and Arriaga-Jordan, C. M., (2020). Endophyte-free tall fescue pastures for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. Indian Journal of Animal Sciences, 90(5): 778-783.
- Rosas-Dávila, M., Morales-Almaráz, E., Lopez-Gonzalez, F. and Arriaga-Jordán, C. M., (2024). Uso del ensilado de sorgo variedad Top Green y variedad Caña Dulce para la producción de leche en sistemas de pequeña escala, Tropical and Subtropical Agroecosystems, 27(2).
- Sainz-Ramírez, A., Velarde-Guillén, J., Estrada-Flores, J. G. and Arriaga-Jordán, C. M., (2021). Productive, economic, and environmental effects sunflower (*Helianthus annuus*) silage for dairy in small-scale systems in central Mexico, Tropical Animal Health and Production, 53; 256.
- Sánchez-Hernández, M. A., Aguilar-Martínez, C. U., Valenzuela-Jiménez, N., Joaquín-Torres, B. M., Sánchez-Hernández, C., Jiménez-Rojas, M. C. y Villanueva-Verduzco, C., (2013). Rendimiento en forraje de maíces del trópico húmedo de México en respuesta a densidades de siembra, Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 4 (3): 271-288.

Evaluación de ensilado de sorgo (Sorghum bicolor (L) cv Top Green y cv Caña Dulce) como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche de pequeña escala del centro de México

- Stroup, W. W., Hidebrand, P. E. and Francis, C. A., (1993). Farmer participation for more effective research in sustainable agriculture. In: Ragland, L., Lai, R. (eds). Technologies for sustainable agriculture in the tropics. Special publication 56 Madison: American Society of Agronomy. 153-186.
- Tan, H. Y., Sieo, C. C., Abdullah, N., Liang, J. B., Huang, X. D. and Ho, Y. W., (2011). Effects of condensed tannins from *Leucaena* on methane production, rumen fermentation and populations of methanogens and protozoa in vitro, *Animal Feed Science and Technology*, 169: 185-193.
- Vega-García, J. I., López-González, F., Estrada-Flores, J. G., Flores-Calvete, G., Prospero-Bernal, F. and Arriaga-Jordán, C. M., (2020). Black oat (*Avena strigosa* Schreb.) grazing or silage for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. Part I. Crop and dairy cow performance, *Chilean Journal of Agricultural Research*, 80(4): 515-525.
- Vega-García, J. I., López-González, F., Morales-Almaraz, E. and Arriaga-Jordán, C. M., (2021). Grazed rain-fed small-grain cereals as a forage option for small-scale dairy systems in central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 53(5).
- Velarde-Guillén, J., López-González, F., Estrada-Flores, J. G., Rayas-Amor, A. A., Heredia-Nava, D., Vicente, F., Martínez-Fernández, A., Arriaga-Jordán, C. M., (2017). Productive, economic and environmental effects of optimized feeding strategies in small-scale dairy farms in the highlands of Mexico. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 111(1): 225-243.