



Respuesta a la inclusión de ensilado de centeno-triticale para vacas en sistemas de producción de leche en pequeña escala †

[Response to the inclusion of rye-triticale silage for cows in small-scale dairy systems]

Maria Danaee Celis-Alvarez, Zeida Medina-Gómez, Felipe López-González, Carlos Manuel Arriaga Jordán and Aurora Sainz-Ramírez*

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

zeida.medina611@gmail.com; asainzr003@profesor.uaemex.mx;

flopezg@uaemex.mx; cmariagaj@uaemex.mx

**Corresponding author*

SUMMARY

Background: The conservation of alternative forages as silage for times of scarcity and its use in feeding strategies for cows in small-scale dairy systems are an adaptation option to adverse climatic conditions as reduced rainfall. Small-grain cereals, given their short agronomic cycle, have a lower water demand, and the association of different cereal species may have complementary responses. **Objective:** Analyze the productive response of dairy cows in small-scale dairy systems to the inclusion of rye-triticale silage as complement to maize silage. **Methodology:** Evaluating the inclusion of rye-triticale silage (ECT) with maize silage (EMz) in three treatments T0= 100% EMz, T15= 85% EMz/15% ECT, and T30%= 70% EMz/30% ECT. Cows were offered 3.5 kg DM/cow/day of commercial concentrate, whole maize stover, ground stover, and alfalfa hay, with silage treatments to complete estimated dry matter intake. Response variables were milk yield and milk fat and protein content, live weight and body condition score; in a 3x3 Latin Square design replicated three times, with nine cows in 14-day experimental periods. **Results:** There were no significant ($P>0.05$) differences for the response variables. **Implications:** This work proposes the implementation of rye-triticale through the practice of ensilage, an alternative to corn as a forage base. **Conclusions:** Rye-triticale silage may complement maize silage in the studied proportions in the feeding strategies of cows in small-scale dairy systems with similar results in milk yields and animal performance.

Key words: Rye-triticale silage; maize silage; family livestock; climate change; forage.

RESUMEN

Antecedentes: La conservación de cultivos forrajeros alternativos como ensilaje para épocas de escasez y su utilización en las estrategias de alimentación del ganado lechero son una opción de adaptación para sistemas de producción de leche en pequeña escala ante condiciones climáticas adversas como la disminución en el régimen de lluvias. Los cereales de grano pequeño, por su ciclo agronómico corto, tienen una menor demanda de agua, y la asociación de diferentes especies de cereales puede tener respuestas complementarias. **Objetivo:** Determinar la respuesta productiva de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala a la inclusión de ensilado de centeno-triticale como complemento al ensilado de maíz. **Metodología:** Evaluando la inclusión de ensilado de centeno-triticale (ECT) con ensilado de maíz (EMz) en tres tratamientos: T0= 100% EMz, T15= 85% EMz/15% ECT, y T30%= 70% EMz/30% ECT. Las vacas recibieron 3.5 kg de MS/vaca/día de concentrado comercial, rastrojo de maíz entero, rastrojo molido y heno de alfalfa, siendo los tratamientos de ensilados incluidos para completar el consumo voluntario de materia seca estimado. Las variables de respuesta fueron rendimiento de leche, grasa y proteína en leche, peso vivo y condición corporal; con un diseño de tabla latino 3x3 replicado tres veces con nueve vacas y periodos de 14 días. **Resultados:** No hubo diferencias estadísticas ($P > 0.05$) para las variables de respuesta productiva. **Implicaciones:** Este trabajo plantea la implementación de centeno-triticale mediante la práctica de ensilaje, alternativa al maíz como base forrajera. **Conclusiones:** El ensilado de centeno-triticale puede complementar al ensilado de maíz

† Submitted December 11, 2023 – Accepted December 18, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5321>



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

ISSN: 1870-0462.

ORCID = M.D. Celis-Alvarez: <http://orcid.org/0000-0001-8903-8221>; F. López-González: <http://orcid.org/0000-0002-5518-5458>; C.M. Arriaga-Jordán: <http://orcid.org/0000-0002-6140-0847>; A. Sainz-Ramírez: <http://orcid.org/0000-0002-8566-8653>

en las proporciones estudiadas en las estrategias de alimentación de vacas en sistemas de producción de leche en pequeña escala.

Palabras clave: Ensilado de centeno-triticale; ensilado de maíz; ganadería familiar; cambio climático; forrajes.

INTRODUCCIÓN

México ha sido vulnerable en los últimos años a los efectos del cambio climático como son lluvias escasas y erráticas, fenómenos meteorológicos extremos como chubascos y condiciones de sequía (Rodríguez-Moreno *et al.*, 2021). En la zona centro del país, el uso del cultivo de maíz en condiciones de temporal (secano) o riego es comúnmente utilizado en los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) como base forrajera, en diferentes formas tales como forraje verde, grano entero, grano de maíz molido, ensilado en menor frecuencia y rastreo de maíz (Martínez-García *et al.*, 2015; Ojeda-Carrasco *et al.*, 2020), existiendo sobre todo en este último, una fuerte relación de su uso en sistemas agropecuarios que cuentan con ganado bovino (Caballero-Salinas *et al.*, 2017; Hellin *et al.*, 2013).

Sin embargo, el cultivo de maíz es altamente sensible al estrés hídrico ocasionando decrecimiento en su rendimiento cuando enfrenta restricciones de agua, incluso presenta una difícil capacidad de respuesta productiva una vez superado este periodo de estrés (Hsiao, 2014). Por lo tanto, se requiere evaluar forrajes alternativos mejor adaptados a las condiciones de cambio en los patrones de lluvia.

Los cereales de grano pequeño pueden ser una opción forrajera en estos sistemas dado su ciclo agronómico corto y menores requerimientos de agua. Cereales como la avena negra han demostrado su viabilidad como alternativa en la estación seca (Becerril-Gil *et al.*, 2018). Pero otros cereales pueden ofrecer diferentes ventajas. El triticale y el centeno han demostrado ser alternativas de siembra por sus características de producción de materia seca en zonas con limitación de agua o sequía agrícola (Carrillo-Hernández *et al.*, 2023a;b; Sánchez y Gutiérrez, 2017), donde la asociación de diversas especies de cereales puede resultar en sinergias complementarias donde por ejemplo el centeno demuestra crecimiento rápido y vigoroso pero con menor calidad, y la inclusión de triticale mejora la calidad nutritiva de ensilados de mezclas de cereales de grano pequeño (Carrillo-Hernández *et al.*, 2023b).

En este sentido, desde el punto de vista nutritivo del forraje, en cuanto a contenidos de fibras y proteína, el triticale ha demostrado menor pérdida de calidad a medida que el cultivo avanza en su estado fenológico en comparación con el forraje de otros cereales (Myer y Lozano del Río, 2004).

Por lo tanto, el objetivo del trabajo determinar la respuesta productiva de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala a la inclusión de ensilado de centeno-triticale como complemento al ensilado de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los procedimientos experimentales con vacas lecheras siguieron procedimientos aceptados por el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Ubicación

El trabajo se llevó a inicio de la época de lluvias, siguiendo un enfoque de investigación pecuaria participativa (Conroy, 2015) en una unidad de producción de leche en pequeña escala con un productor lechero colaborador, en el municipio de Aculco, localizado en los valles altos del centro de México ubicada en las coordenadas 20° 05' 57" Norte y 99° 49' 41" Oeste; a 2428 m sobre el nivel del mar; clima templado subhúmedo con lluvias en verano y una temperatura media anual entre 14 y 16°C, y precipitaciones de 700 a 800 mm (Celis-Alvarez *et al.*, 2016).

La temperatura media durante el experimento fue de 20°C, con temperaturas mínimas y máximas medias de 28°C y 12°C, y una precipitación de 221,8 mm. El experimento duró 42 días; del 24 de mayo al 4 de julio de 2024.

Ensilados

La precipitación pluvial durante el 2023 fue de 565,3 mm; casi 25% menos que en 2022. El ensilaje de centeno-triticale fue obtenido de las variedades "Nacional" para el centeno y "Bicentenario" para el triticale. La siembra se realizó el 14 de julio de 2023 a una densidad de siembra mezclando 50 kg/ha de semilla centeno y 100 kg/ha de triticale (proporción 1 centeno:2 triticale); con una dosis de fertilización de total fue de 103-60-40 siendo urea, super fosfato triple y cloruro de potasio las fuentes de fertilización. Las aplicaciones fueron divididas en dos, la primera al momento de la siembra 23 N, 60 P y 40 K y la segunda a los 45 días después de la siembra a razón de 80 kg N/ha.

No se realizó ningún tratamiento con herbicidas o insecticidas. Se cosechó a los 75 días post-siembra con una cosechadora de forraje tipo 'chopper' (GEHL

7200), cuando el grano del triticale y centeno se encontraba en estado lechoso tardío.

El ensilaje de maíz fue de la variedad comercial de maíz híbrido “Niebla”; que se cultivó de acuerdo con las prácticas usuales del productor colaborador, cosechado en etapa de grano masoso-maduro.

Tratamientos, vacas y diseño experimental

Se utilizaron 9 vacas Holstein multiparas (2.6 partos $\pm$ 0.6), con un rendimiento preexperimental de leche de 13.4 ± 0.6 kg/vaca/día, un peso promedio de 488.4 ± 23.8 kg, y 125 ± 16.6 días en leche. Las vacas se distribuyeron en tres grupos con similares rendimientos de leche y asignadas aleatoriamente a las secuencias de tratamientos donde se evaluó la inclusión de ensilado de centeno-triticale en tres tratamientos: T0 = 100% EMz; T15 = 85% EMz + 15% ECT, T30 = 70% EMz + 30% ECT (Tabla 1).

La dieta de las vacas incluyó 4.0 kg/vaca/día de concentrado comercial con 21% de PC, 2.4 kg de rastrojo (paja) de maíz entero, 2.0 kg de rastrojo de maíz molido, y 1.7 kg de heno de alfalfa, todos estos alimentos expresados en base fresca.

Es común que en las estrategias de alimentación de sistemas de producción de leche en pequeña escala los productores incorporen diversos ingredientes, entre los cuales destaca el rastrojo de maíz, así como la alfalfa henificada (Alfonso-Ávila *et al.*, 2012; Martínez-García *et al.*, 2015).

Estas cantidades y alimentos fueron establecidos por el productor colaborador, decisión que fue respetada al ser premisa fundamental de la investigación rural participativa el tomar en cuenta y acatar las propuestas y decisiones de los productores participantes.

Así, esos alimentos y cantidades fueron tomadas en cuenta como ingredientes fijos. Se estimó el consumo de materia seca por cada vaca individual a partir de MAFF (1984), de acuerdo con el rendimiento de leche y peso vivo de las vacas al inicio del experimento con la siguiente ecuación Consumo (kg MS/día) = $0.025 \times$ peso vivo (kg) + $0.1 \times$ rendimiento de leche (kg/día) para asegurar que los requerimientos nutricionales estaban cubiertos.

El ensilado ofertado fue el resultado de restar al consumo estimado total la contribución de los ingredientes fijos.

Durante el experimento las vacas tuvieron acceso a comederos colectivos por tratamiento cada grupo de vacas recibió su ración de forrajes en dos porciones después de cada ordeña. Se proporcionaron los tratamientos de ensilados, y los complementos de

rastrojo de maíz entero, rastrojo molido y heno de alfalfa se ofertaron posteriormente una vez que cada grupo finalizó el consumo de ensilados. Para los tratamientos T15 y T30, el ECT se mezcló manualmente con el EMz antes de ofertarlo para que no hubiera selección por parte de las vacas. La variable evaluada fue el consumo promedio de cada forraje por grupo de cada tratamiento.

La suplementación con concentrado comercial se ofreció en dos raciones divididas con la mitad de la cantidad en cada ordeño.

Las vacas se ordeñaron dos veces al día (7:00 y 16:00 h) con una ordeñadora mecánica portátil. El experimento tuvo una duración de 56 días divididos en tres periodos experimentales de 14 días cada uno, de los cuales los primeros 12 días fueron de adaptación a la dieta y los últimos dos para toma de muestras. Investigaciones en alimentación de vacas lecheras con periodos experimentales cortos como lo aquí realizado son válidos y aceptados en la literatura científica internacional (Miguel *et al.*, 2014).

Tabla 1. Alimentos en los tratamientos experimentales.

Ingredientes	T0	T15	T30
Ensilado de maíz ¹	100	85	70
Ensilado de centeno- triticale ¹	-	15	30
Concentrado comercial ²	4.0	4.0	4.0
Rastrojo de maíz entero ²	2.4	2.4	2.4
Rastrojo de maíz molido ²	2.0	2.0	2.0
Heno de alfalfa ²	1.7	1.7	1.7

¹ Expresado como % de materia seca del ensilado consumido

² Expresado como kg en materia fresca (MF) ofertado

Variables experimentales

Se registró diariamente en cada ordeño el rendimiento de leche individual por vaca, durante los días de muestreo en cuatro ordeños consecutivos, utilizando una báscula de reloj para pesar la leche. Adicionalmente se tomaron en cada ordeño muestras para la determinación de grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos mediante un analizador de ultrasonido (Lactoscan Farm Eco), utilizando para el análisis el valor medio de cada componente. El rendimiento de leche también se expresó como leche corregida a 3.5% de grasa (LCG 3.5%) utilizando la ecuación descrita por Parekh (1986).

Las vacas se pesaron individualmente antes de la ordeña de la tarde en los días de muestreo con una báscula electrónica. En estos días, la condición corporal de las vacas fue calificada por la misma persona utilizando una escala del 1 al 5, la condición 1

se califica como condición insuficiente grave y 5 como condición excesiva grave (Wildman *et al.*, 1986).

En virtud de que el componente de forrajes se ofertó en comederos comunes a cada grupo de tratamiento, el consumo de materia seca (CMS) de los tratamientos se estimó mediante el método de Energía Metabolizable Utilizada originalmente descrita por Baker (1982), y utilizada en otros trabajos como Hernández-Mendo y Leaver (2006), Plata-Reyes *et al.* (2018) y Carrillo-Hernández *et al.* (2020).

Al requerimiento de energía metabolizable (EM) de cada vaca de acuerdo con MAFF (1984) se le restó el aporte de MJ EM/día de los alimentos fijos (concentrado, rastrojo de maíz entero y molido, y heno de alfalfa) a partir de la estimación de su contenido de EM del análisis químico. La diferencia fue dividida entre el contenido de EM de los tratamientos de ensilados a partir de su análisis químico.

Composición Química

Se tomaron muestras de ensilados y alimentos fijos durante el periodo de medición y fueron secadas a 60°C en una estufa de aire forzado por 48 h y posteriormente molidas con una criba de 1 mm. El contenido de cenizas (CN) se determinó por incineración a 550°C en una mufla (AOAC, 1990). La proteína cruda (PC) fue determinado por el método Kjeldhal (AOAC, 1990), fibra detergente ácido (FDA) y fibra detergente neutro (FDN) por el método de microbolsas (Ankom Technology, 2024). La determinación de la digestibilidad *in vitro* de MS (DIVMS) se realizó con líquido ruminal de vacas lecheras siguiendo el método Ankom Daisy II (Ankom Technology, 2024) y la determinación del contenido de almidón se hizo a través de un kit comercial (código del producto K-TSTA-100A, Megazyme) basados por el método de la AOAC (AOAC, 1990). El líquido ruminal se obtuvo de tres vacas Holstein (PV 500 kg) a través de sonda nasogástrica, a las cuales se les ofrecía una dieta compuesta de 80% forraje y 20% de concentrado. La estimación de la energía metabolizable (eEM) en los alimentos se realizó de acuerdo con la ecuación descrita por Mackle *et al.* (1999):

$$eEM \text{ (MJ kg MS)} = 0.0156 \times IVMSD - 0.535$$

Análisis de los datos

Se utilizó un diseño experimental de tabla latino 3×3 replicado tres veces (Kaps y Lamberson, 2004). Las secuencias de tratamientos dentro de la primera y la tercera tabla fueron asignadas al azar, y las vacas se agruparon en tríos conformando cada tabla latina. Posteriormente, los animales fueron asignados aleatoriamente a las secuencias de tratamientos, representando una doble aleatorización (de las secuencias de tratamiento y de las vacas dentro de cada

secuencia). La secuencia de tratamientos de la segunda tabla fue dispuesta en forma de espejo respecto a la primera tabla, con el fin de minimizar posibles efectos residuales o de carry-over (Celis-Álvarez *et al.*, 2016).

Las variables de respuesta correspondieron a las mediciones productivas registradas en cada periodo experimental para cada animal, las cuales se utilizaron para evaluar el efecto de los tratamientos.

Previo al análisis estadístico, se verificaron la normalidad y homogeneidad de varianzas. Los resultados se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $\alpha \leq 0.05$. Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, las medias se compararon utilizando la prueba de Tukey (Minitab 14 statistical software).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición química de los alimentos

La composición química de los ingredientes utilizados en los tratamientos se muestra en el Tabla 2. Ambos ensilados presentaron concentraciones similares de MS, PC, DIVMS y eEM, aunque el ECT presentó 6% menor contenido de MO; y mayor contenido de FDN y FDA que EMz (10% y 23%, respectivamente).

El cultivo de maíz es sensible al déficit hídrico, provocando efectos negativos en su crecimiento, desarrollo y calidad (Hsiao, 2014). La precipitación pluvial fue menor durante el año de establecimiento de los cultivos a evaluar, con 57% menor precipitación en comparación con lo reportado en años anteriores en esta zona de estudio (Velarde-Guillen *et al.*, 2022). La madurez de la planta y el contenido de MS son fundamentales para obtener un buen ensilado y por lo tanto para obtener resultados positivos productivos, siendo para ensilados de maíz y trigo contenidos de MS de 300-350 kg/MS (Ashbell y Weinberg 2001; Ferraretto *et al.*, 2018).

Los alimentos complementarios presentaron una composición química similar a los reportado en otros estudios donde evaluaron estrategias de alimentación de ganado lechero basadas en estos alimentos (García-Martínez *et al.*, 2020; Carrillo-Hernández *et al.*, 2023a).

Variables animales

Las variables de desempeño animal se presentan en la tabla 3. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos para ninguna de las variables ($P > 0.05$). El rendimiento de leche promedio fue 15.2 kg/vaca/día (16.1 kg/vaca/día como LCG 3.5%), con un promedio de composición química: 38.4 g/kg de grasa, 28.6 g/kg de proteína en leche, 43.0 g/kg de lactosa y 78.4 g/kg de SNG.

Tabla 2. Composición química de los alimentos usados en los tratamientos y estimación de la energía metabolizable.

	Materia Seca (g/kg)	Materia Orgánica (g/kg MS)	Proteína Cruda (g/kg MS)	FDN (g/kg MS)	FDA (g/kg MS)	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la MS (g/kg MS)	Energía metabolizable (MJ/kg MS)	Almidón (g/kg MS)
EMz	430	917	93	668	354	678	10.0	365.4
ECT	443	868	94	737	456	654	9.7	358.8
EEM	9.5	12.70*	1.88	17.40*	25.10*	11.20	0.17	--
P	0.440	<0.05	0.881	<0.05	<0.05	0.327	0.305	--
CC	874	887	213	440	94	692	10.3	603.1
RMe	893	883	30	840	520	540	7.9	41.5
RMm	938	898	30	832	514	535	7.8	88.0
HA	908	883	139	478	339	640	9.4	--

EMz: Ensilado de maíz; ECT: Ensilado de centeno- triticales; CC: Concentrado comercial; RMe: Rastrojo de maíz entero; RMm: Rastrojo de maíz molido; HA: Heno de alfalfa; EEM: Error estándar de la media. *P < 0.05; ^{a, b} P < 0.05.

Estos rendimientos y composición de leche son similares a los reportados en otros trabajos de evaluación de la inclusión de ensilados de cereales de grano pequeño en dietas para vacas lecheras en sistemas de producción en pequeña escala (Gómez-Miranda *et al.*, 2020; Carrillo-Hernández *et al.*, 2023a; Vega-García *et al.*, 2023); y en la evaluación de dietas para vacas lecheras que incluyeron ensilados de cereales de grano pequeño y de maíz, sin efecto en su producción (Álvarez-García *et al.*, 2023).

No obstante, el contenido de proteína en leche se encuentra por debajo de los valores reportados por Bernal-Martínez *et al.* (2007) y Alfonso-Ávila *et al.* (2012). Khan *et al.* (2015) mencionaron que la madurez del ensilado de maíz es uno de los factores que pueden influir en el contenido de proteína en leche; ya que en contenidos de MS superior a los 350 g/kg se observó disminución debido a la disminución de la digestibilidad de la FDN; como fue el caso en este experimento donde el contenido de MS de los ensilados fue superior a 400 g MS/kg.

No hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($P>0.05$) para peso vivo, con un peso promedio de 484.6 kg/vaca, ni en la condición corporal que en promedio fue de 2.3.

La tabla 4 muestra los resultados para consumo, no existiendo diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) en el consumo de ECT y EMZ, así como para el consumo total de materia seca. El consumo promedio de ensilados entre los tres tratamientos fue de 5.23 kg MS/vaca/día, y el consumo total de materia seca en promedio fue de 13.13 kg MS/vaca por día.

De esta forma, los ensilados en los tratamientos representaron el 40% del consumo diario de MS, y el concentrado un 26.7% de la dieta; representando el rastrojo entero, el rastrojo molido y el heno de alfalfa el 33.3% restante. El consumo de materia seca representó el 2.7% del peso vivo de las vacas.

Tabla 3. Variables de desempeño animal: producción y composición de leche por tratamientos.

	Tratamiento				Valor de P
	T0	T15	T30	EEM	
RL (kg/vaca/día)	15.5	14.9	15.2	0.426	0.230
LCG 3.5% (kg/vaca/día)	16.2	16.1	15.9	0.408	0.774
Grasa (g/kg)	37.5	39.8	38.1	1.120	0.492
Grasa (g/vaca/día)	580.2	591.7	576.9	17.30	0.847
Proteína (g/kg)	28.6	28.4	28.8	0.293	0.698
Proteína (g/vaca/día)	445.0	423.8	438.3	10.50	0.139
SNG (g/kg)	78.6	77.7	78.9	0.708	0.324
SNG (g/vaca/día)	1220.4	1159.5	1199.6	28.10	0.726
Lactosa (g/kg)	43.1	42.7	43.3	0.384	0.313
Lactosa (g/vaca/día)	670.1	637.0	658.6	15.40	0.084

LCG 3.5% = Leche corregida a 3.5% de grasa

Tabla 4. Consumo de materia seca por alimento ofrecido y consumo total por tratamientos (kg MS/vaca/día).

	Tratamiento				Valor de P
	T0	T15	T30	EEM	
Ensilado de maíz	5.28 ^c	4.44 ^b	3.57 ^a	0.24	0.01
Ensilado de triticale/centeno	0.00 ^a	0.78 ^b	1.62 ^c	0.14	0.01
CMS total de ensilado	5.28	5.23	5.19	0.22	0.97
Concentrado	3.50	3.50	3.50	-	-
Rastrojo de maíz entero	1.00	1.00	1.00	-	-
Rastrojo de maíz molido	1.90	1.90	1.90	-	-
Heno de alfalfa	1.50	1.50	1.50	-	-
CMS total	13.18	13.13	13.09	0.22	0.97
RL/CMS	2.93	2.84	2.92	0.014	0.471
LCG 3.5%/CMS	3.06	3.07	3.06	0.011	0.801

CMS = Consumo de materia seca (kg MS/vaca/día), RL = Rendimiento de leche (kg/vaca/día), LCG 3.5% = Rendimiento de leche corregida a 3.5% de grasa (kg/vaca/día). – no hubo variaciones entre tratamiento.

De igual manera, no se observaron diferencias estadísticas ($P>0.05$) entre tratamientos para la eficiencia productiva expresado como kg de leche producida por kg de MS consumida (RL/kg MS), o en kg de LCG 3.5% por kg de MS consumida (LCG 3.5%/kg MS). En promedio, la eficiencia productiva fue de 2.90 kg de leche / kg de MS consumida; y de 3.06 kg LCG 3.5%/kg CMS, estos valores son superiores a los reportados en Brasil por da Silva *et al.* (2021) en vacas Holstein con una producción promedio de 28 kg de leche al día, cuyos valores de eficiencia productiva están en 1.11 kg de leche / kg de MS consumida y 1.14 kg LCG 3.5%/kg CMS en promedio.

CONCLUSIONES

La inclusión de ensilado de centeno-triticale como complemento al ensilado de maíz en la dieta de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala se presenta como una opción forrajera viable en las proporciones evaluadas para vacas lecheras con rendimientos moderados de leche, representando una opción de cultivo forrajero ante los escenarios de condiciones meteorológicas que limitan la siembra de maíz para ensilar.

Los diferentes niveles de inclusión de los ensilados no presentaron diferencias en la respuesta productiva de las vacas, por lo que ambos cultivos se complementan. El ensilado de triticale-centeno, cosechado en etapa de grano maduro presentó un contenido similar de materia seca al maíz con los mismos resultados en términos de producción de leche.

Acknowledgments

The authors express gratitude to the farmer and his family for their participation in this work, and his privacy and that of his family respected by not disclosing their names.

Funding. This research was funded parcial by the Autonomous University of the State of Mexico (*Universidad Autónoma del Estado de México*) through the research Project UAEM 6467/2022/CIB. The Mexican Council for Science and Technology (CONACYT) for the postdoctoral grant for Maria Danae Celis-Alvarez, and Secretary of Science, Humanities, Technologies and Innovation (Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnologías e Innovación-SECIHTI), before Mexican National Council for Science and Technology (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología- CONAHCYT) for the postdoctoral grant for Aurora Sainz-Ramírez (745316).

Conflict of interest. Authors declare that there were no competing interests regarding the research in this manuscript.

Compliance with ethical standard. The experimental procedure with cows and the fieldwork with the collaborating farmer followed methods and practices accepted by *Universidad Autónoma del Estado de México*.

Data availability. The data that support the findings of this study are available with Carlos Manuel Arriaga Jordán (cmarriagaj@uaemex.mx) upon reasonable request.

Author contribution statement (CRediT). M.D. Celis-Alvarez – Conceptualization, methodology, investigation, laboratory analyses, writing – original draft., Z. Medina-Gomez – Investigation, laboratory analyses, F. López-González – Methodology, formal analyses, supervision, A. Sainz-Ramirez – Methodology, writing - revision and editing., C.M. Arriaga-Jordán – Conceptualization, methodology, supervisión, writing – review and editing, funding acquisition.

REFERENCES

- Alfonso-Ávila, A.R., Wattiaux, M.A., Espinoza-Ortega, A., Sánchez-Vera, E. and Arriaga-Jordán C.M., 2012. Local feeding strategies and milk composition in small-scale dairy production systems during the rainy season in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 44, pp. 637-644. <https://doi.org/10.1007/s11250-011-9947-5>
- Álvarez-García, C.D., Arriaga-Jordán, C.M., Estrada-Flores, J.G. and López-González, F., 2023. Wheat or maize silage in feeding strategies for cows in small-scale dairy systems during the dry season. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 83(4), pp. 398–407. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392023000400398>
- Ankom. 2024, Procedures (for NDF, ADF, and in vitro Digestibility). Ankom Technology Method. <https://www.ankom.com>. (Consultado el 15 de Octubre de 2024).
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists)., 1990. Official Methods of Analysis. Fiftieth Edition. Kenneth Helrich. Arlington: Association of Official Analytical Chemists.
- Ashbell, G., y Weinberg, Z.G., 2001. Ensilaje de cereales y cultivos forrajeros en el trópico. En: L.'t. Mannerje (ed.). *Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos. Estudio FAO producción y protección vegetal*. Roma: FAO.

- Baker, R.D., 1982. Estimating herbage intake from animal performance. In: Leaver, J.D (ed.). *Herbage Intake Handbook*. UK: British Grassland Society, Maidenhead. pp. 77-93.
- Becerril-Gil, M.M.N., López-González F., Estrada-Flores, J.G. and Arriaga-Jordán, C.M., 2018. Black oat (*avena strigosa*) silage for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21, pp. 467-476. <http://doi.org/10.56369/tsaes.2509>
- Bernal-Martínez, L.R., Rojas-Garduño, M.A., Vázquez-Fontes, C., Espinoza-Ortega, A., Estrada-Flores, J.G. y Castelan-Ortega, O.A., 2007. Determinación de la calidad fisicoquímica de la leche cruda producida en sistemas campesinos en dos regiones del Estado de México. *Veterinaria México*, 38, pp. 395–407.
- Caballero, S.J.C., Moreno, R.A., Reyes, C.J.L., García, V.S.J., López, B.W. y Jiménez, T.J.A., 2017. Competencia del uso del rastrojo de maíz en sistemas agropecuarios mixtos en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, pp. 91-104. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.74>
- Carrillo-Hernández S., F., López-González, J.G. Estrada-Flores and C.M. Arriaga- Jordán. 2020. Milk production and estimated enteric methane emission from cows grazing ryegrass pastures in small-scale dairy systems in Mexico. *Tropical Animal Health and Production* 52(6), pp 3609–3619. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02398-0>
- Carrillo-Hernández, S., López-González, F., Velarde-Guillén, J., and Arriaga-Jordán, C.M., 2023b. Small-grain forage mixtures for silage: Yield and botanical, morphological and chemical composition. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 50(3), pp. 98-110. <https://doi.org/10.7764/ijanr.v50i3.2483>
- Carrillo-Hernández, S., Velarde-Guillén, J., López-González, F., y Arriaga-Jordán, C.M., 2023a. Ensilados mixtos de cereales de grano pequeño en la alimentación de vacas en sistemas de producción de leche en pequeña escala. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(85), pp. 1-11, <https://doi.org/10.56369/tsaes.4837>
- 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, pp. 1129–1134. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1063-0>
- Conroy, C., 2005. *Participatory Livestock Research: A Guide*, Bourton-on-Dunsmore, Warwickshire: ITDG Publishing.
- Da Silva Dias, M.S., Ghizzi, L.G., Marques, J.A., Nunes, A.T., Grigoletto, N.T.S., Gheller, L.S., Silva, T.B.P., Silva, G.G., Lobato, D.N., Costa, E., Silva, L.F., and Rennó, F.P., 2021. Effects of organic acids in total mixed ration and feeding frequency on productive performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(5), pp. 5405-5416. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19419>
- Ferraretto, L.F., Shaver, R.D. and Luck, B.D., 2018. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *Journal Dairy Science*, 101(5), pp. 3937-3951. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13728>
- García-Martínez, A., López-González, F., Prospero-Bernal, F., Albarrán-Portillo, B., and Arriaga-Jordán, C.M., 2020. Evaluación de rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) tratado con urea como una alternativa en la suplementación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala. *Agro Productividad*, 13(3), pp. 11-17. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1628>
- Gómez-Miranda A., Estrada-Flores J.G., Morales-Almaraz, E., López-González, F., Flores-Calvete, G., and Arriaga-Jordán, CM., 2020. Barley or black oat silages in feeding strategies for small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Canadian Journal of Animal Science* ,100, pp. 221-227. <http://dx.doi.org/10.1139/cjas-2018-0237>
- Hellin, J., Erenstain, O., Beuchelt, T., Camacho, C., and Flores, D., 2013. Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop-livestock systems in Mexico. *Field Crops Research*, 153, pp. 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.05.014>
- Hernández-Mendo, A. and Leaver, J.D., 2006. Production and behavioural responses of high- and low-yielding dairy cows to different periods of access to grazing or to a maize silage and soyabean meal diet fed indoors. *Grass and Forage Science*, 61, pp. 335-346.

- <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2006.00540.x>
- Hsiao, T.C., 2014. Maiz. In: P. Steduto, T.C. Hsiao, E. Fereres and D. Raes, eds. *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO: Riego y drenaje No. 66*. FAO, Roma. pp. 119-226.
- Kaps, M. and Lamberson. W.R., 2004. Change-over designs. In: M. Kaps and W.R. Lamberson, eds. *Biostatistics for Animal Science*. Trowbridge: Cromwell Press. pp. 294-312.
- Khan, N.A, Yu,p., Ali. M., Cone, J.W. and Hendriks, W.H., 2015. Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *Journal Science Food Agriculture*, 95, pp. 238-252. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6703>
- 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, pp. 172-180. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75221-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75221-5)
- MAFF. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food., 1984. *Energy allowances and feeding systems for ruminants. Reference Book 433*. London: HSMO.
- Martínez-García, C.G., Rayas-Amor, A.A., Anaya-Ortega, J.P., Martínez-Castañeda, F.E., Espinoza-Ortega, A., Prospero-Bernal, F., and Arriaga-Jordán, C.M., 2015. Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies. *Tropical Animal Health and Production*, 47, pp. 331-337. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0724-0>.
- Miguel, M.F., Ribeiro-Filho, H.M.N., de Andrade, E.A., Genro, T.C.M. and Delagarde, R., 2014. Pasture intake and milk production of dairy cows grazing annual ryegrass with or without corn silage supplementation. *Animal Production Science*, 54, pp. 1810-1816. <http://dx.doi.org/10.1071/AN14382>
- Myer, R.O. and Lozano del Río, A.J., 2004. Triticale as animal feed. In: M. Mergoum and H. Gomez-Macpherson, eds. *Triticale improvement and production. FAO plant production and protection paper*. Rome: UN-FAO. pp.179.
- Ojeda-Carrasco, J.J., Rueda-Quiroz, L.D., Hernández-García, P.A. y Espinosa-Ayala, E.E., Caracterización del sistema de producción de leche en pequeña escala de la zona suroriente del Estado de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 17, pp. 201-215.
- Parekh, H., 1986. A new formula for FCM (3.5%) fat [Fat-corrected milk] *Indian Journal Animal Science*, 56 (5), pp. 608-609.
- Plata-Reyes, D. A., Morales-Almaraz, E., Martínez-García, C.G., Flores-Calvete, G., López-Gonzalez, F., Prospero-Bernal, F., Valdez-Ruiz, C.L., Zamora- Juarez, Y.G. and Arriaga-Jordán, C.M., 2018. Milk production and fatty acid profile of dairy cows grazing four grass species pastures during the rainy season in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 50(8), pp. 1797-1805. <http://dx.doi.org/10.1007/s11250-018-1621-8>
- Rodríguez-Moreno, V.M., Medina-García, G., Díaz Padilla, G., Ariel- Ruiz, J.C., Estrada-Avalos, J., y Mauricio, R.J.E., 2021. ¿Por Qué México Es Un país Altamente Vulnerable Al Cambio climático? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12 (25), pp. 45-57.
- Sánchez, G.R.A. y Gutiérrez. B.H., 2017. Características forrajeras de variedades de triticale en condiciones de sequía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(25), pp. 45-57. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i25.2810>
- Vega-García, J.I., López-González, F., Morales-Almaraz, E. and Arriaga-Jordán., C.M., 2023. Secondary growth rye or triticale silage: Small-grain cereals as a dual-purpose forage option for small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 83(1), pp. 31-42. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392023000100031>
- Wildman, E.E., Jones, G.M., Wagner, P.E., Boman, M.Y., Troutt, H.F. and Lesch. T.N., 1986. A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. *Journal of Dairy Science*, 65(3), pp. 495-501. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82223-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82223-6)