



## MIXED SMALL GRAIN CEREAL SILAGES IN THE FEEDING OF DAIRY COWS IN SMALL SCALE DAIRY SYSTEMS †

### [ENSILADOS MIXTOS DE CEREALES DE GRANO PEQUEÑO EN LA ALIMENTACIÓN DE VACAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA]

Sirley Carrillo-Hernández, José Velarde-Guillén,  
Felipe López-González and Carlos Manuel Arriaga-Jordán

*Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090 Toluca, Estado de México, México.*

*E-mails: [scarrilloh002@alumno.uaemex.mx](mailto:scarrilloh002@alumno.uaemex.mx); [flopezg@uaemex.mx](mailto:flopezg@uaemex.mx); [jvelardeg@uaemex.mx](mailto:jvelardeg@uaemex.mx); \*[cmarriagaj@uaemex.mx](mailto:cmarriagaj@uaemex.mx)*

*\*Corresponding author*

## SUMMARY

**Background:** In small-scale dairy systems (SPLPE), multi-species pastures and small grain cereal silages have proven to be an option in the face of potential climate change effects and provide quality forage at low costs in periods of forage shortages. **Objective:** To evaluate the inclusion of a binary silage of barley and rye, compared to a ternary silage of barley, rye and triticale, in the feeding of dairy cows in small-scale dairy systems, in terms of productive and economic performance. **Methodology:** In the central Highlands of Mexico and with the participation of a small-scale dairy farmer, the inclusion of these silages in the feed of 6 dairy cows was evaluated under a cross-over design. The treatments included 40% silage (T1, binary; T2, ternary), 36% of conventional feeds (cut pasture, maize straw and alfalfa hay) offered by the participating farmer, and 24% of commercial compound concentrate. The variables evaluated were diet composition, feed intake, yield and milk composition, and an economic analysis made considering feed costs. **Results:** The neutral detergent fiber content was 4.8% lower in T2 ( $p<0.05$ ), a treatment that also presented a 3% higher digestibility and a higher metabolizable energy and crude protein content ( $p<0.05$ ). This was due to the incorporation of the ternary silage, a higher quality silage compared to the binary silage. Energy corrected milk production was higher in T2 ( $p=0.05$ ), in response to the higher intake and higher digestibility of this treatment. Feeding costs were similar for the inclusion of the two silages and the implementation of the ternary treatment represented an increase of 0.8% in margins over feed costs with compared to the use of the binary silage. **Implications.** The use of small grain cereal mixtures silages are feasible in small-scale dairy systems to ensure a constant supply of medium quality forage, which together with moderate supplementation can generate high yields and economic income. **Conclusions:** The inclusion of ternary silage of small grain cereals of barley, rye and triticale, and moderate supplementation with commercial concentrate (24%) and other conventional feeds (36%), is a viable alternative as a feeding strategy in small-scale dairy systems during the dry season maintaining high milk yields and a high profit margin for these systems.

**Key words:** *Hordeum vulgare*; *Secale cereale*; *Triticosecale Wittmack*; bovine milk production; small scale; forage mixture; silage.

## RESUMEN

**Antecedentes:** En los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) los cultivos multi-especie y los ensilados de cereales de grano pequeño han demostrado ser una opción ante los posibles efectos del cambio climático y permiten ofrecer forraje de calidad a bajos costos en los periodos de escasez forrajera. **Objetivo:** Evaluar la inclusión de un ensilado binario de cebada y centeno, en comparación a un ensilado ternario de cebada, centeno y triticale, en la alimentación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala, en términos de desempeño productivo y económico. **Metodología:** En los Valles Altos del centro de México y con la participación de un productor de leche en pequeña escala, se evaluó la inclusión de estos ensilados en la alimentación de 6 vacas lecheras bajo un diseño reversible. Los tratamientos incluyeron 40% de ensilado (T1, binario; T2, ternario), 36% de alimentos

† Submitted March 18, 2023 – Accepted June 20, 2023. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4837>



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

ISSN: 1870-0462.

ORCID = Sirley Carrillo-Hernández, <http://orcid.org/0000-0002-3804-9139>; José Velarde-Guillén, <http://orcid.org/0000-0003-0801-5226>; Felipe López-González, <http://orcid.org/0000-0001-7769-3755>; Carlos Manuel Arriaga-Jordán, <http://orcid.org/0000-0002-6140-0847>

convencionales (pradera de corte, paja de maíz y heno de alfalfa) ofrecidos por decisión del productor participante y 24% de concentrado comercial. Las variables evaluadas fueron composición de la dieta, consumo de alimento, rendimiento y composición de la leche y se realizó un análisis económico considerando solo los costos por concepto de alimentación. **Resultados:** El contenido de fibra detergente neutro fue 4.8% menor en T2 ( $p<0.05$ ), tratamiento que a su vez presentó una digestibilidad 3% mayor y un contenido de energía metabolizable y proteína cruda mayor ( $p<0.05$ ) debido a la incorporación del ensilado ternario; ensilado de mayor calidad en comparación al ensilado binario. El rendimiento de leche corregida a energía fue mayor en T2 ( $p=0.05$ ), en respuesta al consumo mayor y digestibilidad de este tratamiento. Los costos de alimentación fueron similares con el uso de los dos ensilados y la inclusión del ternario representó un incremento de 0.8% en los márgenes de ganancia sobre costos de alimentación respecto al uso del ensilado binario. **Implicaciones:** Los ensilados de mezclas de cereales de grano pequeño tienen potencial en los sistemas de producción de leche en pequeña escala para asegurar una oferta constante de forraje de calidad media, que junto a una suplementación moderada puede generar rendimientos e ingresos económicos altos. **Conclusiones:** La inclusión del ensilado ternario de cereales de grano pequeño de cebada, centeno y triticale, sumado a una complementación moderada con concentrado comercial (24%) y otros alimentos convencionales (36%), es una alternativa viable como estrategia de alimentación en los sistemas de producción de leche en pequeña escala durante época seca, manteniendo rendimientos de leche altos y un margen de ganancia alto para estos sistemas.

**Palabras clave:** *Hordeum vulgare*; *Secale cereale*; *Triticosecale Wittmack*; producción de leche bovina; pequeña escala; mezcla forrajera; ensilado.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) juegan un rol importante para los medios de vida principalmente en países en desarrollo (Martínez-García *et al.*, 2020). Estos sistemas contribuyen a la seguridad alimentaria y económica de estas regiones (FAO, 2022; Makkar, 2016). En los valles altos del centro de México además de aportar a la producción nacional, permiten superar los índices de pobreza de las comunidades rurales, por lo que son considerados una opción de desarrollo rural (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007; Prospero Bernal *et al.*, 2017; Ruiz-Torres *et al.*, 2022). Pese a la importancia de estos sistemas, su eficiencia se ve afectada por la estacionalidad en el suministro de alimentos, particularmente durante la época seca, donde la disponibilidad de forrajes de calidad es menor (Bartl *et al.*, 2009; Abbas *et al.*, 2019; Cai *et al.*, 2020; Gómez-Miranda *et al.*, 2020).

Durante los periodos de escasez de forraje, los productores de los SPLPE de las tierras altas de México se ven en la necesidad de complementar la dieta de sus animales con pajas, subproductos de destilería, altas cantidades de concentrados y forrajes externos a sus unidades de producción (Alfonso-Ávila *et al.*, 2012; Martínez-García *et al.*, 2015). Esta práctica incrementa los costos por concepto de alimentación, lo que afecta la sostenibilidad de estos sistemas en su escala económica (Fadul-Pacheco *et al.*, 2013; Prospero-Bernal *et al.*, 2017); por lo que incrementar la eficiencia productiva con estrategias de alimentación basadas en el uso de forrajes autoproducidos en las unidades de producción es clave para mejorar los índices económicos y con ello la sostenibilidad de los SPLPE (Martínez-García *et al.*, 2015; Prospero-Bernal *et al.*, 2017). En este sentido, prácticas como el uso de ensilados que aseguran una oferta constante de forraje de calidad a lo largo del año, especialmente en épocas críticas, permitirán una

intensificación productiva al potencializar la respuesta animal (Mancipe-Muñoz *et al.*, 2021; Plitz *et al.*, 2021). El ensilado de maíz es el ensilado más usado en la región; sin embargo, existe preocupación respecto a su producción. Este cultivo posee un ciclo de crecimiento largo y requiere de buenas precipitaciones o de riego para su desarrollo, aspecto desfavorable ante los efectos del cambio climático (Gómez-Miranda *et al.*, 2020); situación que causa presión social y ambiental en la región. Es así como, en la búsqueda de especies forrajeras que pudieran reemplazar total o parcialmente a este cultivo, estudios previos han destacado el uso de ensilado de cereales de grano pequeño (CGP) como cebada (*Hordeum vulgare*) y triticale (X *Triticosecale Wittmack*) como una alternativa viable para ofrecer forraje de calidad y complementar la alimentación animal con bajos costos y altos márgenes económicos durante los periodos de escasas forrajera (Gómez-Miranda *et al.*, 2020; González-Alcántara *et al.*, 2020).

Otro CGP de interés, pero sin evaluación como ensilado en la región es centeno (*Secale cereale*), especie que destaca por su adaptación, competitividad y rendimientos sobresalientes (Kim *et al.*, 2016; Klimek-Kopyra *et al.*, 2017), pero con una calidad inferior a otros CGP (Neumann *et al.*, 2019); por lo que una oportunidad de mejorar este aspecto en su ensilado, es su mezcla con CGP ya evaluados en la región. Los cultivos forrajeros multi-especie por efectos de plasticidad y complementariedad ofrece posibles beneficios en términos productividad, calidad y de supresión de malezas (Grace *et al.*, 2018; Muciño-Álvarez *et al.*, 2021). Estos incrementos pueden ser producto del aumento en la biodiversidad de especies, debido a una mejor utilización de los recursos del medio ambiente (Klimek-Kopyra *et al.*, 2017). Por lo que es posible que el número de especies en la mezcla tenga efectos en su calidad final y con ello en la respuesta productiva de los animales que la consuman.

Por lo tanto, el objetivo fue evaluar la inclusión de un ensilado binario de cebada y centeno, en comparación a un ensilado ternario de cebada, centeno y triticale, en la alimentación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala, en términos de desempeño productivo y económico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Desarrollo experimental y área de estudio

El estudio se realizó mediante un experimento en finca, siguiendo los lineamientos de investigación participativa rural (Conroy, 2005) y contó con la colaboración de un productor de leche en pequeña escala del municipio de Aculco, Estado de México (20° 06' N y 99° 52' W; 2440 m). El clima en la región es templado sub húmedo, con temperatura mínima promedio de 7 °C y máxima de 24 °C; y 890 mm de precipitación anual (Celis- Álvarez *et al.*, 2021).

### Tratamientos experimentales

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: T1, Ensilado binario de cebada + centeno y T2, ensilado ternario de cebada + centeno+ triticale. En cada tratamiento se incluyó 40% de ensilado, 36% de alimentos convencionales (pradera de corte, alfalfa y zacate) ofrecidos por decisión del productor participante y 24% de concentrado comercial (con 18% PC).

Bajo el enfoque de investigación participativa las decisiones del productor fueron respetadas todo el tiempo y esté participó en todo el experimento, el cual se realizó en sus tierras, con sus vacas y bajo sus condiciones de manejo, según lo descrito por Vega-García *et al.* (2021).

### Producción de forraje y ensilaje

Se elaboraron dos ensilados de cereales de grano pequeño, uno binario conformado por cebada (*Hordeum vulgare* variedad Doña Josefa) y centeno (*Secale cereale* cv. Nacional) y uno ternario de cebada (*H. vulgare* Doña Josefa), centeno (*S. cereale* cv. Nacional) y triticale (*X. Triticosecale* Wittmack cv. Bicenetenario). Los cultivos se establecieron en un área de 1 ha, con una dosis de 120 kg/ ha de semilla dividida en proporciones iguales según el número de especies de la mezcla. Se aplicó una dosis de fertilización de 100-80-90 kg/ ha de NPK.

Los cereales fueron cosechados con una cortadora 'chopper' (GEHL 7200) a los 78 días post siembra, en estado fenológico de grano lechoso, etapa 69 a 72 (Zadoks *et al.*, 1974) y fueron ensilados en un silo de pastel cubierto con plástico calibre 600 de acuerdo con lo descrito por González-Alcántara *et al.* (2020).

## Animales y diseño experimental

El experimento se llevó a cabo con seis vacas Holstein multíparas en lactación media que antes del experimento tenían rendimiento de  $16.5 \pm 3.68$  kg vaca día, peso vivo promedio de  $486.4 \pm 23.25$  y  $142.2 \pm 82.2$  de días en leche. Las vacas se agruparon en pares de acuerdo al número de partos, estado de lactación, peso vivo y rendimiento de leche y cada miembro de estos pares fue asignado al azar a una de las dos secuencias de tratamientos bajo un diseño reversible (Muñoz *et al.*, 2015), con 2 periodos experimentales de 14 días con 11 días para la adaptación a la dieta y 3 días para la recolección de datos y muestras para analizar. Los diseños reversibles maximizan los datos recopilados y reducen la variación entre unidades experimentales (Kaps and Lamberson, 2004); por lo que, son especialmente útiles para experimentos en sistemas en pequeña escala que cuentan con número limitado de unidades experimentales y han sido utilizados en otros trabajos (Muñoz *et al.*, 2015; Muciño-Álvarez *et al.*, 2021); y los periodos experimentales cortos son plenamente aceptados en la literatura especializada para la evaluación de dietas basadas en forrajes (Miguel *et al.*, 2014).

En relación al manejo animal, las vacas permanecieron en establo durante todo el día con agua a libre acceso. El ensilado y concentrado se proporcionaron en dos momentos del día (50% antes de cada ordeña, mañana 4:30 h y tarde 5 h) y los alimentos convencionales al medio día (12:00 a 14:00 h).

### Variables de desempeño animal

El rendimiento individual de leche se midió en los últimos tres días de cada periodo experimental usando una balanza de reloj con capacidad de 20 kg. A partir de muestras de leche tomadas de los dos ordeños del día, se realizaron alícuotas individuales de 100 ml para determinación de su contenido de grasa, proteína y lactosa con un analizador de leche de ultrasonido (Lactoscan SL30, Milktronic Ltd., Nova-Sagora, Bulgaria), y siguiendo el método colorimétrico enzimático de Chaney and Marbach (1962), se les determinó el contenido de nitrógeno ureico en leche (NUL). Lo anterior de acuerdo a los métodos de muestreo y procesamiento descritos por González-Alcántara *et al.* (2020). Los valores medios por vaca para estas variables se utilizaron en el análisis de datos.

El rendimiento se expresó como leche corregida en energía (35 g/kg de grasa en leche), calculado usando la ecuación Niu *et al.* (2018):

$$\text{LCE (kg/día)} = 12.95 * \text{Grasa (kg/día)} + 7.65 * \text{Proteína (kg/día)} + 0.327 * \text{RL (kg/día)}.$$

Las vacas fueron pesadas al inicio y al final de cada periodo experimental durante dos días consecutivos con una báscula electrónica (Gallagher Modelo W210, Nueva Zelanda) y la condición corporal se registró con una puntuación de 1 a 5, siempre por el mismo observador según lo indicado por Vega-García *et al.* (2021).

El consumo de alimento se determinó mediante pesaje de la cantidad ofrecida y rechazada por cada vaca, de acuerdo con lo descrito por Celis-Álvarez *et al.* (2016).

### Composición química de los alimentos ofrecidos

En cada periodo experimental, de cada uno de los alimentos ofrecidos se tomaron muestras y se les determinó su contenido de materia seca (MS) por secado en horno (RIOSSA® HCF-82 D) a 65 °C por 48 h, proteína cruda (PC) por el método de Kjeldahl (AOAC, 1990), fibra detergente neutro (FDN) y Fibra detergente ácido (FDA) por el método de micro-bolsas (Ankom, 2005), basado en Van Soest *et al.* (1991) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) por el método Ankom-Daisy (ANKOM, 2005), el cual es modificación del método original descrito por Tilley and Terry (1963).

El contenido de energía metabolizable (EM) fue calculada siguiendo la fórmula de CSIRO 2007.

$$EM \text{ (MJ/kg MS)} = 0.172 \cdot \text{DIVMS} - 1.707$$

Donde DIVMS= digestibilidad *in vitro* de la materia seca

El pH de los ensilados se determinó con un pH-electrodo (pH/mV/ °C meter OAKLON ®), según el procedimiento descrito por González -Alcántara *et al.* (2020).

### Costos de alimentación

Se utilizó la metodología de presupuestos parciales que únicamente tiene en cuenta los costos por concepto de alimentación, como se ha usado en otros trabajos (Prospero-Bernal *et al.*, 2017; Saiz-Ramírez *et al.*, 2021).

### Análisis estadístico

Los datos fueron analizados aplicando el procedimiento de Modelo Lineal General en el software Minitab (Minitab LLC, State College, PA, USA), bajo el siguiente modelo estadístico

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + c_{ij} + p_k + t_l + e_{ijkl}$$

Dónde:  $Y_{ijkl}$ = Variable a evaluar;  $\mu$ = efecto debido a la media,  $S_i$ = efecto debido a la secuencia,  $c_{ij}$ = efecto debido a la vaca dentro de secuencia,  $p_k$ = efecto debido al periodo,  $t_l$ = efecto debido al tratamiento y  $e_{ijkl}$ = efecto debido a la variación residual.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Composición química de alimentos y dietas en los tratamientos

Las dietas en los tratamientos presentaron diferencias en cada una de las variables de composición evaluadas ( $p < 0.05$ ) (Tabla 1). El contenido de FDN fue 4.8% menor en T2 ( $p < 0.05$ ), tratamiento que a su vez presentó una DIVMS 3% mayor y un contenido de EMe y PC mayor ( $p < 0.05$ ). Esto debido a la incorporación del ensilado ternario; ensilado de mayor calidad en comparación al ensilado binario, tomando como indicadores de calidad, la digestibilidad y contenido de energía metabolizable (Tabla 1).

**Tabla 1. Composición nutricional de los tratamientos y alimentos ofrecidos (g/kg MS).**

	Tratamiento		EEM	P value	Alimento					
	T1	T2			EBI	ETE	PMZ	ALF	PRC	CON
MS (g/kg)	604.72	593.54	0.90	0.01	316.10	326.31	900.30	920.61	231.84	911.50
MO (g/kg MS)	910.73	906.89	0.07	0.01	926.78	916.68	938.72	891.47	883.62	900.01
PC (g/kg MS)	129.53	130.10	0.10	0.01	87.21	90.59	32.08	184.64	145.89	186.95
FDN (g/kg MS)	517.69	493.22	0.50	0.01	710.39	642.58	820.85	389.46	429.41	227.21
FDA (g/kg MS)	174.33	171.61	0.12	0.01	233.31	223.65	269.15	158.21	134.14	50.31
DIVMS (g/kg MS)	692.71	713.98	0.49	0.02	538.88	596.24	475.43	779.30	848.91	888.74
EMe (MJ/kg MS)	10.21	10.57	0.01	0.02	7.56	8.54	4.10	11.69	12.89	13.60
pH					4.30	4.20				

T1, ensilado binario (40%) + alimentos convencionales (36%) + concentrado comercial (24%); T2, ensilado ternario (40%) + alimentos convencionales (36%) + concentrado comercial (24%); EBI, Ensilado binario de cebada + centeno; ETE, ensilado ternario de cebada + centeno + triticale; PMZ, paja de maíz; ALF, heno de alfalfa; PRC, pradera de corte; CON, concentrado; MS, materia seca; MO, materia orgánica; PC, proteína cruda; FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; DIVMS, digestibilidad *in vitro* de la materia seca; EMe, energía metabolizable estimada; EEM, error estándar de la media.  $p > 0.05$ =no significativo.



Uno de los factores que determinan la calidad del ensilado es el valor nutricional de las especies antes del proceso (Simionatto *et al.*, 2019). El ensilado ternario estuvo conformado en un 38.6%, 32.6% y 12.1% por centeno, triticale y cebada respectivamente, mientras que el ensilado binario principalmente por centeno (67.2%), con una baja proporción de cebada (12.1%). Esta mayor proporción de centeno influyó hacia una menor calidad de este ensilado. El centeno es una especie con una proporción alta de tallos en su estructura comparado con las otras especies evaluadas (Horst *et al.*, 2018; Neumann *et al.*, 2019), lo cual decrece su valor nutricional. Los tallos al ser estructuras de soporte, presentan un alto contenido de carbohidratos estructurales y tejidos lignificados y por tanto una digestibilidad más baja comparada a otros componentes morfológicos (Moore *et al.*, 2020). En ese sentido, incorporar triticale en el cultivo ternario permitió reducir la proporción de centeno a favor de una calidad superior en su ensilado.

Algunos de los estudios que comparan entre mezclas de CGP se enfocan en producción de grano (Sobkowicz *et al.*, 2016; Klimek-Kopyra *et al.*, 2017). Referente a composición nutricional de ensilados solo existen trabajos que comparan el ensilado en monocultivo de estas especies. Horst *et al.*, (2018), quienes evaluaron diferentes cereales de grano pequeño, hallaron un contenido de PC de 84.0, 91.2 y 101 g/kg MS y contenidos de FDN de 586.75, 729.6 y 709.2 g/kg MS para cebada, centeno y triticale respectivamente. Diferencias atribuidas a las características estructurales y de crecimiento de cada especie y a la composición morfológica al momento de su corte.

Bumbieris-Junior *et al.* (2019) en Francia, para ensilados de triticale encontraron un contenido de FDN de 686 g/kg MS y una DIVMO de 553.4 g/kg MS. En el Altiplano Central de México Gómez-Miranda *et al.* (2020) reportaron una DIVMS de 560 g/kg MS y un contenido de PC de 66 g/kg para el ensilado de cebada y González Alcántara *et al.* (2020) para ensilado de triticale, indicaron un contenido de PC de 90 g/kg MS; valores acordes a los aquí presentados.

Los ensilados de CGP tienen contenidos de PC moderados a bajos como se mostró anteriormente. De acuerdo con Phelan *et al.* (2014), los rumiantes generalmente requieren contenidos de PC de 100 a 170 g/kg MS y los ensilados aquí evaluados por sí solos no suplen este requerimiento. No obstante, con la suplementación ofrecida fue posible cubrir los requerimientos de proteína metabolizable (1066g) calculados para las vacas evaluadas (AFRC, 1993).

Los resultados de composición química de la dieta son similares en términos de PC y difieren en el contenido de FDN, y DIVMS de aquellos informados por

Carrillo- Hernández *et al.* (2021) para la estrategia de manejo convencional (manejo basado en el corte y acarreo de pradera, concentrado comercial y suministro de pajas de maíz, de avena u otros) complementada con ensilado de maíz (PC, 131.25 g/kg MS; FDN, 427g/kg MS y DIVMO 734.07 kg MS). Las diferencias se explican por la proporción baja de ensilado en comparación a la proporción de pradera de corte suministrada (18.8 vs 38%); pradera que generalmente en estos sistemas presenta una calidad superior a la de los ensilados. A su vez, el ensilado de maíz es limitado por su contenido de PC (64 g/kg MS a 85.4 g/kg MS), pero se caracteriza por una alta concentración de carbohidratos solubles, por lo que es más degradable (Anaya- Ortega *et al.*, 2009; Sainz-Ramírez *et al.*, 2021); no obstante, en los SPLPE, su calidad se ve constantemente afectada por las condiciones climáticas que no permiten su corte en el momento óptimo (Albarrán *et al.*, 2012).

La calidad de los alimentos convencionales ofrecidos fue acorde a la reportada en estudios donde se evaluaron estrategias basadas en este tipo de alimentos (Alfonso- Ávila *et al.*, 2012; Velarde-Guillen *et al.*, 2017), y debido a que los alimentos convencionales complementarios se incluyeron en proporción igual en los dos tratamientos (36%), no se discute su efecto en las diferencias encontradas entre estos.

### Consumo de alimento

El consumo de materia seca total promedio fue de 15.25 kg/vaca/d y fue 0.3 kg/vaca/d mayor en T2 ( $p<0.05$ ), tratamiento con un consumo de ensilado mayor ( $p<0.05$ ) (Tabla 2). La calidad de un alimento, en específico el contenido de FDN es considerado un factor que afecta directamente a la ingesta de alimento por parte de los animales con una relación inversa entre estas (Kendall *et al.*, 2009; Benchaar *et al.*, 2014). En este sentido el menor contenido de fibra y con ello la digestibilidad mayor en T2, favoreció el consumo mayor en este tratamiento.

El uso de ensilados para complementar la alimentación ha sido una estrategia que ha permitido superar la escasez de forraje e incrementar el consumo en vacas lecheras en los SPLPE de la región (Anaya- Ortega *et al.*, 2009). En promedio las vacas consumieron cerca del 3% de su peso vivo, valor superior al 2.5% reportado con la estrategia basada en el manejo convencional en estos sistemas (Carrillo-Hernández *et al.*, 2021); pero que es similar a los valores encontrados con la implementación de otros ensilados como el de maíz (2.9%; Albarrán *et al.*, 2012), cereales de grano pequeño (2.9%; Gómez-Miranda *et al.*, 2020) y ensilados alternativos como el de girasol (3.9%; Sainz-Ramírez *et al.*, 2021).

**Tabla 2. Consumo por alimento ofrecido y consumo total por tratamiento (kg/vaca/d)**

	Tratamiento		EEM	p value
	T1	T2		
Ensilado	5.97	6.24	0.04	0.01
Ensilado rechazado	0.52	0.32	0.06	0.24
Pradera de corte*	1.60	1.60	-	-
Alfalfa*	2.60	2.60	-	-
Paja de maíz*	1.30	1.30	-	-
Concentrado*	3.70	3.70	-	-
Proporción de ensilado en la dieta	39.51	40.55	0.18	0.01
Consumo total	15.10	15.40	0.05	0.03

Nota: - = valores medios de alimentos ofrecidos y consumidos en igual cantidad. T1, ensilado binario+ alimentos convencionales; T2, ensilado ternario + alimentos convencionales; EEM, error estándar de la media. \* Los alimentos ofrecidos en cantidades fijas no se analizaron estadísticamente porque su consumo fue total.

### Respuesta animal

El rendimiento de leche corregida en energía en promedio fue de 18.21 kg/ vaca/ d (Tabla 3). El rendimiento de leche corregida fue mayor en las vacas alimentadas con T2 y en el periodo uno se dieron las producciones mayores ( $p<0.05$ ).

El rendimiento animal es el producto de la concentración de nutrientes, el consumo, la digestibilidad y la eficiencia metabólica de los nutrientes absorbidos, entre otros factores (Mertens y Grant, 2020). En este sentido, el rendimiento mayor en T2 fue en respuesta al mayor consumo y digestibilidad de este tratamiento. Una digestibilidad mayor mejora la ingesta de energía a partir de los alimentos, lo que resulta en una producción más alta a niveles comparables con la ingesta de alimento (Johansen *et al.*, 2017).

Los rendimientos aquí encontrados son considerados buenos para los SPLPE de la región, al ser más altos que aquellos presentados por Carrillo- Hernández *et al.* (2021) para la estrategia de manejo convencional con incorporación de ensilado de maíz (14.20 kg/vaca/d) y

aquellos reportados por Martínez-García *et al.* (2015) para estrategias que incorporaban diferentes alimentos tradicionales durante época seca (15 kg/vaca/d). En estos mismos sistemas, Sainz-Ramírez *et al.* (2021) quienes evaluaron ensilado de girasol y maíz, informaron producciones de leche de 18.6 kg/d con un consumo total y contenidos de PC en la dieta similares a los aquí mostrados. Por su parte, Bumbieris-Junior *et al.* (2019) en Francia, quienes evaluaron ensilado de triticale (7.5% a 13% de PC, suplementación con concentrado al 18% de PC, consumo de MS de 14.7 kg/d), encontraron un rendimiento de leche de 18.81 kg/d, el cual corresponde con lo reportado aquí.

El promedio de NUL fue 16.9 mg/dL y no hubo diferencias entre tratamientos ( $p>0.05$ ). De acuerdo a Powell *et al.* (2011) la eficiencia de utilización de nitrógeno y el balance entre la energía y proteína suministrada, puede ser indicado por el contenido de NUL (Powell *et al.*, 2011). De acuerdo a estos autores, valores entre 11 a 18 mg/dL son considerados normales. El contenido de NUL hallado se encuentra dentro de este rango y es similar a los valores encontrados por Bumbieris -Junior *et al.* (2019) en su evaluación de ensilado de triticale (15.5 mg/dL a 19 mg/dL).

**Tabla 3. Rendimiento y composición de la leche, peso vivo y condición corporal de las vacas**

	Tratamiento		EEM	p value	Periodos		EEM	p value
	T1	T2			P1	P2		
LCE (kg/vaca/ día)	18.02	18.41	0.10	0.05	18.42	18.01	0.10	0.05
Grasa (/kg)	33.82	34.87	0.60	0.28	33.98	34.71	0.60	0.44
Proteína (g/kg)	30.94	30.98	0.09	0.77	30.89	31.04	0.09	0.32
Lactosa (g/kg)	46.51	46.58	0.12	0.75	46.44	46.63	0.12	0.36
Peso vivo (kg)	516.1	511.8	5.39	0.61	511.60	516.30	5.39	0.57
Condición corporal	2.42	2.42	0.08	1.00	2.33	2.50	0.08	0.23
NUL (mg/dL)	16.64	17.16	0.34	0.34	16.95	16.85	0.34	0.84

T1, ensilado binario+ alimentos convencionales; T2, ensilado ternario + alimentos convencionales; LCE, leche corregida en energía; NUL, nitrógeno ureico en leche. EEM, error estándar de la media.  $p>0.05$ =no significativo

El contenido promedio de grasa, proteína y lactosa de la leche fue de 34.46 g/kg, 30.95 g/kg y 45.55 g/kg respectivamente sin diferencias entre tratamientos o periodos experimentales ( $p>0.05$ ). Valores similares fueron reportados por González- Alcántara *et al.* (2020) para contenidos de grasa y lactosa y por Gómez Miranda *et al.* (2020) para el contenido de proteína, al evaluar la implementación de ensilado de triticale y de cebada respectivamente. De igual forma estos valores cumplen con las especificaciones de la norma NMX-F-700, COFOCALEC-2004 para la leche cruda de vaca.

### Análisis económico

El análisis económico se presenta en la Tabla 4. Los costos de alimentación fueron similares entre los tratamientos, debido a la variación mínima entre el costo de producción entre ensilados y el consumo mayor del ensilado ternario. No obstante, la implementación este representó un incremento de 0.8% en los márgenes de ganancia respecto al uso del ensilado binario.

**Tabla 4. Costos y retornos por concepto de alimentación y venta de leche (MXN\$)**

	T1	T2
<b>Costos</b>		
Concentrado	2808.00	2808.00
Forraje conservado	1203.79	1205.98
Heno de alfalfa	1446.34	1446.34
Zacate	209.09	209.09
Pradera	268.11	268.11
Costo total de alimentación	5935.34	5937.53
<b>Retornos</b>		
Total producción de leche (kg)	1523.53	1535.12
Precio venta de leche	7.10	7.10
Total Ingresos por venta de leche	10817.09	10899.33
Total Margen sobre costos de alimentación	4881.75	4961.80
Costo de alimentación por Kg de leche	3.90	3.87
Margen sobre costos de alimentación (MXN \$/kg/leche)	3.20	3.23
Margen Ingresos / costos de alimentación	1.82	1.84

T1, ensilado binario+ alimentos convencionales; T2, ensilado ternario + alimentos convencionales.

La sostenibilidad de los SPLPE del altiplano central de México depende de mejorar su eficiencia económica (Prospero-Bernal *et al.*, 2017). Está demostrado que la rentabilidad de las unidades de producción se asocia con la cantidad de alimentos comprados (Hanrahan *et al.*, 2018). Según Martínez- García *et al.*, (2015) entre el 52 y 70 % de los costos totales provienen por

concepto de alimentación, de los cuales hasta el 90% pueden ser producto de la compra de concentrados (Espinoza *et al.*, 2007).

En el presente estudio la compra de concentrado comercial representó el 47% del total de los costos de alimentación en línea con un 49.7% reportado por Gómez- Miranda *et al.* (2020) quienes evaluaron ensilados de cebada y avena. A su vez es un porcentaje inferior al 61% informado por Celis-Álvarez *et al.* (2016) al evaluar la inclusión de ensilado de avena en estos sistemas, esto debido al uso de otro tipo de forrajes en este estudio, lo que permitió la reducción del concentrado suministrado.

El margen de ingresos sobre costos de alimentación (en promedio MXN \$1.83) fue 16% superior al informado por Gómez- Miranda *et al.* (2020) en su evaluación de ensilado de cebada, pero 3% inferior a lo reportado por Sainz Ramírez *et al.* (2021) quienes, a través de un porcentaje mayor de inclusión de ensilado de girasol y maíz, obtuvieron menores costos y mayores ingresos por venta de leche.

El porcentaje de alimentos autoproducidos fue tan solo del 27%, valor inferior al encontrado por Prospero-Bernal *et al.* (2017) en la estrategia de manejo convencional (47%), esto debido a la decisión del productor participante de incluir otros alimentos externos y no permitir una proporción de ensilado de cereales mayor en la dieta. No obstante, en consecuencia, a un margen por litro de leche mayor (MXN \$3.22 vs MXN \$1.38) del presente estudio, el margen de ingresos sobre costos de alimentación fue 34% superior al de dichos autores, indicando que la eficiencia económica no se vio afectada por el bajo porcentaje de alimentos autoproducidos.

### CONCLUSIÓN

La inclusión del ensilado ternario de cereales de grano pequeño de cebada, centeno y triticale, sumado a una complementación moderada con concentrado comercial (24%) y otros alimentos convencionales (36%), es una alternativa viable como estrategia de alimentación en los sistemas de producción de leche en pequeña escala durante época seca, manteniendo rendimientos de leche altos y un margen de ganancia alto para estos sistemas.

### 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. We also thank Ms. L.E. Martínez Contreras for her support in laboratory analyses.

**Funding.** This research was funded by the Autonomous University of the State of Mexico (*Universidad Autónoma del Estado de México*) through the grant UAEM 4973/2020/CIB and the Mexican National Council for Science and Technology (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología—CONACYT) for the postgraduate grant for Sirley Carrillo-Hernández.

**Conflict of interest.** Authors declare that there was 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*, approved with code DICARM-1322.

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

#### Author contribution statement (CRediT)

**S. Carrillo-Hernández-** Conceptualization, methodology, investigation, laboratory analyses, writing – original draft., **F. López-González-** Methodology, formal analyses, supervision, writing – reviewing and editing., **J. Velarde-Guillén-** Writing - revision and editing., **C.M. Arriaga-Jordán-** Conceptualization, resources, writing – review and editing, supervision, funding acquisition.

#### REFERENCIAS

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists)., 1990. Official methods of analysis (15th edn). Helrick K (ed.). Washington, DC: AOAC.
- CSIRO., 2007. Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. In M. Freer, H. Dove and J.V. Nolan, eds, Canberra: CSIRO Publishing. pp. 1-67.
- Agriculture and Food Research Council (AFRC)., 1993. Energy and protein requirements of ruminants. Wallingford: CAB International.
- Abbas, Q., Han, J., Adeel, A. and Ullah, R., 2019. Dairy production under climatic risks: Perception, perceived impacts and adaptations in Punjab. *Pakistan. International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (20), 4036. <https://doi.org/10.3390/ijerph16204036>
- 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>
- Albarrán, B, García, A., Espinoza, A., Espinosa, E. and Arriaga, C.M., 2012. Maize silage in the dry season for grazing dairy cows in small-scale production systems in Mexico's highlands. *Indian Journal of Animal Research*, 46, pp. 317– 324.
- Anaya-Ortega, J.P., Garduño-Castro, G., Espinoza-Ortega, A., Rojo-Rubio, R. and Arriaga-Jordán, C.M., 2009. Silage from maize (*Zea mays*), annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) or their mixture in the dry season feeding of grazing dairy cows in small-scale dairy production systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 41, pp. 607– 616. <https://doi.org/10.1007/s11250-008-9231-5>
- Ankom, 2005. Procedures (for NDF, ADF, and in vitro Digestibility). Ankom Technology Method. Available at: <http://www.ankom.com>. (Accessed 19 July 2020)
- Bartl, K., Gamarra, J., Gómez, C. A., Wettstein, H.R., Kreuzer, M. and Hess, H. D., 2009. Agronomic performance and nutritive value of common and alternative grass and legume species in the Peruvian highlands. *Grass and Forage Science*, 64 (2), pp. 109–121. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2008.00675.x>
- Benchaar, C., Hassanat, F., Gervais, R., Chouinard, P., Petit, H., and Massé, D., 2014. Methane production, digestion, ruminal fermentation, nitrogen balance, and milk production of cows fed corn silage or barley silage-based diets. *Journal of Dairy Science*, 97, pp. 961–974. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7122>
- Bumbieris-Junior, V.H., Jean-Claude, E., Cabreira C, Marcelo R, Horst E. and Novak S., 2020. Performance and milk quality of cows fed triticale silage or intercropped with oats or legumes. *Scientia Agricola* 78 (2), pp. 1-24. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0124>
- Cai, Y., Du, Z., Jethro, D.B., Nignan, M. and Yamasaki, S., 2020. Analysis of main factors affecting silage fermentation of sorghum



- prepared with whole crop and stover in semiarid West Africa. *African Journal of Range and Forage Science*, 38 (2), pp. 169-178. <https://doi.org/10.2989/10220119.2020.1794959>
- Carrillo-Hernández, S., Prospero-Bernal, F., López-González, F., Flores-Calvete, G., Martínez-García, C.G. and Arriaga-Jordán, C.M., 2021. Estimation of enteric methane emissions in small-scale bovine milk production systems under different feeding strategies. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(2), 42. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3306>
- Conroy, C. 2005. Participatory livestock research: a guide. London: ITDG Publishing.
- Celis-Álvarez, 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>
- Celis-Álvarez, M. D., López-González, F., Arriaga-Jordán, C. M., Robles-Jiménez, L. E. and González-Ronquillo, M., 2021. Feeding forage mixtures of ryegrass (*Lolium* spp.) with clover (*Trifolium* spp.) supplemented with local feed diets to reduce enteric methane emission efficiency in small-scale dairy systems: A simulated study. *Animals*, 11 (4), 946. <https://doi.org/10.3390/ani11040946>
- 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, pp. 241–256. <https://doi.org/10.1017/S0014479706004613>
- Fadul-Pacheco, L., Wattiaux, M.A., Espinoza-Ortega, A., Sánchez-Vera, E. and Arriaga-Jordán, C.M., 2013. Evaluation of sustainability of small-scale dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37 (8), pp. 882-901. <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.775990>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2022. Milk production. Available at: <https://www.fao.org/dairy-production-products/production/en/>. (Accessed 15 July 2022).
- Grace, C., Boland, T.M., Sheridan, H., Lott, S., Brennan, E., Fritch, R. and Bridget-Lynch, M., 2018. The effect of increasing pasture species on herbage production, chemical composition and utilization under intensive sheep grazing. *Grass and Forage Science*, 73, pp. 852–864. <https://doi.org/10.1111/gfs.12379>
- González-Alcántara, F. de J., Estrada-Flores, J.G., Morales-Almaraz, E., López-González, F., Gómez-Miranda, A., Vega-García, J.I. and Arriaga-Jordán, C.M., 2020. Whole-crop triticale silage for dairy cows grazing perennial ryegrass (*Lolium perenne*) or tall fescue (*Lolium arundinaceum*) pastures in small-scale dairy systems during the dry season in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 52, pp. 1903–1910. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02206-9>
- Gómez-Miranda, A., Estrada-Flores, J.G., Morales-Almaraz, 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, pp. 221–227. <https://doi.org/10.1139/cjas-2018-0237>
- Hanrahan, L., McHugh, N., Hennessy, T., Moran, B., Kearney, R., Wallace, M and Shalloo, L., 2018. Factors associated with profitability in pasture-based systems of milk production. *Journal of Dairy Science*, 101 (6), pp. 5474–5485. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13223>
- Horst, E.H., Neumann, M., Mareze, J., Leão, G. F. M., Bumbieris-Junior, V. H. and Mendes, M. C., 2018. Nutritional composition of pre-dried silage of different winter cereals. *Acta Scientiarum - Animal Science*, 40 (1), 42500. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.42500>
- Johansen, M., Lund, P. and Weisbjerg, M. R., 2017. Feed intake and milk production in dairy cows fed different grass and legume species: a meta-analysis. *Animal*, 12 (01), pp. 66–75. <https://doi.org/10.1017/S1751731117001215>
- 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

- Kendall, C., Leonardi, C., Hoffman, P. C. and Combs, D. K., 2009. Intake and milk production of cows fed diets that differed in dietary neutral detergent fiber and neutral detergent fiber digestibility. *Journal of Dairy Science*, 92 (1), pp. 313–323. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1482>
- Kim, K.S., Anderson, J.D., Newell, M.A. and Butler, T.J., 2016. Variations of forage yield and nutritive value in winter rye germplasm. *Crop Science*, 56, pp. 1018-1024. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.08.0487>
- Klimek-Kopyra, A., Baciór, M. and Zajac, T., 2017. Biodiversity as a creator of productivity and interspecific competitiveness of winter cereal species in mixed cropping. *Ecological Modelling*, 343, pp. 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.10.012>
- Mancipe-Muñoz, E.A., Vásquez-Vanegas, J.E., Castillo-Sierra, J., Ortiz-Cuadros, R.E., Avellaneda-Avellaneda, Y. y Vargas-Martínez, J de. J., 2021. Productividad y valor nutricional de forraje de cebada y trigo del trópico alto colombiano. *Agronomía Mesoamericana*, 32 (1), pp. 271-292. <https://doi.org/10.15517/am.v32i1.40465>
- 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>
- Martínez-García, C.G., Rayas-Amor, A.A., Estrada-Flores, J.G., García-Martínez, A., López-González, F. and Carlos Manuel Arriaga-Jordán, 2020. Factors driving the adoption of maize silage and insights to improve extension activities towards small-scale dairy farmers in central Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23 (2), 68. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3306>
- Makkar, H.P.S., 2016. Smart livestock feeding strategies for harvesting triple gain – the desired outcomes in planet, people and profit dimensions: a developing country perspective. *Animal Production Science*, 56, pp. 519-534. <https://doi.org/10.1071/AN15557>
- Mertens, D.R. and Grant, R.J., 2020. Digestibility and Intake. In: K.J. Moore, M. Collins, C.J. Nelson, and D.D. Redfearn, eds. *Forages: The Science of Grassland Agriculture Volume II*, 7th Edn, Ames: John Wiley & Sons Ltd. pp 609-631. <https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch34>
- Miguel, M.F., Ribeiro-Filho, H.M.N., de Andrade, E.A., Moraes-Genro, M.T. 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. <https://doi.org/10.1071/AN14382>
- Moore, J.K., Curtiss C.F., Lenssen, A.W. and Fales, S.L., 2020. Factors affecting forage quality. In: K.J. Moore, M. Collins, C.J. Nelson, and D.D. Redfearn, eds. *Forages: The Science of Grassland Agriculture Volume II*, 7th Edn. Ames: John Wiley & Sons Ltd. pp.701-716. <https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch39>
- Muciño-Álvarez, M., Albarrán-Portillo, B., López-González, F. and Arriaga-Jordán, C. M., 2021. Multi-species pastures for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 53 (1), 113. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02564-y>
- Muñoz, C., Hube, S., Morales, J.M., Yan, T. and Ungerfeld E. M., 2015. Effects of concentrate supplementation on enteric methane emissions and milk production of grazing dairy cows. *Livestock Science*, 175, pp. 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.02.001>
- 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., Kreuzer, M., Kuhla, B., Lund, P., Madsen, J., Martin, C., McClelland, S.C., McGee, M., Moate, P.J., Muetzel, S., Munoz, C., O’Kiely, P., Peiren, N., Reynolds, C.K., Schwarm, A., Shingfield, K.J., Storlien, T.M., Weisbjerg, M.R., Yanez-Ruiz, D.R. and Yu, Z., 2018. Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database. *Global Change Biology*, 24, pp. 3368–3389. <https://doi.org/10.1111/gcb.14094>
- Neumann, M., Dochwat, A., Horst, E.H., Venancio, B.J., Santos, J.C., Heker, J.C., Braga, F., Santos, L.C. and Silva, E.P., 2019. Productivity, profitability and nutritional

- quality of forage and silage of winter cereals. *Semina: Ciências Agrárias*, 40 (3), 1275. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n3p1275>
- Ruiz-Torres, M.E., García-Martínez, A., Arriaga-Jordán, C.M., Dorward, P., Rayas-Amor, A.A. and Martínez-García, C.G., 2022. Role of small-scale dairy production systems in central Mexico in reducing rural poverty. *Experimental Agriculture*, 58 (40), pp. 1–13. <https://doi.org/10.1017/S0014479722000369>
- Sainz-Ramírez, A., Velarde-Guillén, J., Estrada-Flores, J. G. and Arriaga-Jordán, C. M., 2021. Productive, economic, and environmental effects of sunflower (*Helianthus annuus*) silage for dairy cows in small-scale systems in central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 53 (2), pp. 251. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02708-0>
- Phelan, P., Moloney, A. P., McGeough, E. J., Humphreys, J., Bertilsson, J., O’Riordan, E. G. and O’Kiely, P., 2014. Forage legumes for grazing and conserving in ruminant production systems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 34 (1-3), pp. 281–326. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.898455>
- Piltz, J.W., Rodham, C.A., Wilkins, J.F., Hackney, B.F. and Brown, G., 2021. Economic returns from cereal and cereal/vetch forage crops grown as fodder conservation options for beef and sheep meat production. *Agriculture*, 11(7), 664. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070664>
- Powell, M., Wattiaux, A. and Broderick, G. A., 2011. Short communication: evaluation of milk urea nitrogen as a management tool to reduce ammonia emissions from dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 94, pp. 4690–4695. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4476>
- Prospero-Bernal, F., Martínez-García, C. G., Olea-Pérez, R., López-González, F. and Arriaga-Jordán, C. M., 2017. Intensive grazing and maize silage to enhance the sustainability of small-scale dairy systems in the highlands of México. *Tropical Animal Health and Production*, 49, pp. 1537–1544. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1360-2g>
- Simionatto, M., Maeda, E. M., Fluck, A. C., Silveira, A. P., Piran Filho, F. A., Paula, F. L. M. and de Macedo, V. de P., 2019. Nutritional and morphostructural characterization of pre-dried winter grass silage. *Semina: Ciências Agrárias*, 40 (5), pp. 2375–2386. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n5Supl1p2375>
- Sobkowicz, P., Tendziagolska, E. and Lejman, A., 2016. Performance of multi-component mixtures of spring cereals. Part.1. Yields and yield components. *Acta Scientiarum Polonorum*, 15 (2), pp. 25–35.
- Tilley, J.M.A. and Terry, R.A., 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society*, 18, pp. 104–111. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x>
- Van Soest, P.J., Robertson, J. B. and Lewis, B. A., 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, pp. 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- 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, 511. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02958-y>
- Velarde-Guillén, J., López- González, F., Estrada-Flores, J.G., Rayas-Amor, A.A., Heredia-Nava, D., Vicente, F., Martínez- Fernández, A. and Arriaga-Jordán, C.M., 2017. Productive, economic and environmental effects of optimised feeding strategies in small-scale dairy farms in the Highlands of Mexico. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 111 (1), pp. 225–243. <https://doi.org/10.12895/jaeid.20171.606>
- Zadoks, J.C.T., Chang, T.T. and Konzak, C., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, pp. 415–421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>