



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

**EVALUACIÓN PRODUCTIVA Y ECONÓMICA DEL USO DE ENSILADO DE
CULTIVOS MULTI-ESPECIE DE CEREALES DE GRANO PEQUEÑO EN LA
ALIMENTACIÓN DE VACAS LECHERAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA DURANTE ÉPOCA SECA**

T E S I S

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

P R E S E N T A :

SIRLEY CARRILLO HERNÁNDEZ

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado De México, febrero de 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

**EVALUACIÓN PRODUCTIVA Y ECONÓMICA DEL USO DE ENSILADO DE
CULTIVOS MULTI- ESPECIE DE CEREALES DE GRANO PEQUEÑO EN LA
ALIMENTACIÓN DE VACAS LECHERAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA DURANTE ÉPOCA SECA**

T E S I S

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

P R E S E N T A :

SIRLEY CARRILLO HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Carlos Manuel Arriaga Jordán

CO-DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Felipe López González

TUTOR DE TESIS:

Dr. José Velarde Guillén

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado De México, febrero de 2024

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la inclusión de ensilados de mezclas de cereales de grano pequeño conformadas por cebada (*Hordeum vulgare*) centeno (*Secale cereale*) y triticale (*X. Triticosecale Wittmack*) en los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) durante la época seca. En el primer experimento, en dos localidades (S1, loma y S2, valle) de Tixhiñú en el municipio de Aculco y bajo un diseño factorial 2x2, se evaluó una mezcla binaria conformada por centeno y cebada (BIN) en comparación a una mezcla ternaria de centeno, cebada y triticale (TER). El cultivo binario mostró una altura 13.3 cm mayor ($P<0.05$) y la producción de forraje fue similar entre mezclas ($P>0.05$). El ensilado ternario resultó con menos fibra detergente neutro (FDN) y una digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) energía metabolizable (EM) y contenido de proteína cruda (PC) mayor ($P>0.05$). De estos ensilados se seleccionaron los ensilados BIN (T1) y TER (T2) de S1 para su evaluación en la alimentación de 6 vacas lecheras bajo un diseño reversible sencillo con dos periodos experimentales de 14 días, como complemento a un manejo convencional. La producción de leche fue mayor en T2 ($P<0.05$), esto en respuesta al consumo y DIVMS mayores de este tratamiento ($P<0.05$). Los costos de alimentación fueron similares entre tratamientos y la implementación de T2 representó un incremento de 0.8% en los márgenes de ganancia respecto a T1. Se concluye que la inclusión del ensilado ternario incorporado a la estrategia de manejo convencional es una alternativa viable,

manteniendo rendimientos de leche y un margen de ganancia altos en estos sistemas.

En un segundo experimento se evaluó la inclusión de un ensilado compuesto por cebada y centeno (T1) y un ensilado de centeno y triticale (T3) en comparación al ensilado de maíz (T2) en la alimentación de 9 vacas lecheras en pastoreo de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). Se utilizó un diseño de cuadro latino 3X3 con tres periodos experimentales de 12 días cada uno y se evaluó la respuesta productiva, económica y se estimó mediante ecuaciones las emisiones de metano por fermentación entérica (CH₄). No se presentaron diferencias en las variables animales entre tratamientos (P>0.05). El consumo total de materia seca no vario entre tratamientos, por lo que la emisión de metano fue similar entre estos (P>0.05). Las mayores emisiones correspondieron a los mayores consumos en P2 y P3 (P<0.05), y la intensidad de emisión fue 9.4% más alta en P3 (P<0.05), debido a su menor producción de leche. La inclusión de ensilado de maíz permitió reducir la energía bruta perdida como metano en 1.2% (P<0.05), y a su vez, reducir los costos totales de alimentación en un 6 y 16% respecto a T1 y T3, e incrementar los márgenes de ganancia en la misma proporción. Como conclusión de este experimento el ensilado de la mezcla de cereales de grano pequeño, puede ser una alternativa al ensilado de maíz como complemento al pastoreo de vacas en estado de lactación avanzada en los SPLPE durante la época seca y al considerar los costos de alimentación, se recomiendan cuando las condiciones para el establecimiento del cultivo de maíz no sean idóneas.

En un trabajo complementario en el experimento dos se realizaron ensilados de laboratorio de mezclas de cebada más centeno (CBC), cebada más triticale (CBT) y centeno más triticale (CET) en dos fechas de corte (HD1, 60 días y HD2, 80 días). Se utilizó un diseño factorial 3x2 con las tres mezclas y dos fechas como factores para la evaluación de composición botánica, morfológica y nutricional de estos ensilados.

Se encontró efecto de la fecha de corte en la proporción de cereal ($P < 0.05$) y cambios en la composición morfológica dependiendo de la especie. El centeno tuvo una proporción alta de tallos en las dos fechas. La proteína cruda disminuyó y la FDN incrementó hacia HD2 ($P < 0.05$). El pH, materia seca, DIVMS y EM fueron afectadas por la interacción entre factores ($P < 0.05$). La calidad de RT tuvo menor variación entre HD1 y HD2 y BT tuvo más PC, menos FDN y presentó digestibilidad y energía superior ($P < 0.05$). Se concluye que la fecha de corte tiene efecto en la proporción de los componentes de las mezclas de cereales de grano pequeño y en la composición morfológica y nutricional de estas; efectos que dependen de las especies que las conforman.

Palabras clave. Ensilados, pastoreo, *Hordeum vulgare*, *secale cereale*, *X. Triticosecale Wittmack*), *Cenchrus clandestinus*, mezcla forrajera

SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the inclusion of silages of small grain cereal mixtures of barley (*Hordeum vulgare*), rye (*Secale cereale*) and triticale (*X. Triticosecale Wittmack*) in small-scale dairy systems (SSDS) during the dry season. In the first experiment, in two locations (S1, hill and S2, valley) of Tixhiñú in the municipality of Aculco and under a 2x2 factorial design, a binary mixture of rye and barley (BIN) was evaluated in comparison to a ternary mixture of rye, barley and triticale (TER). The binary crop showed a 13.3 cm greater height ($P < 0.05$) and forage production was similar between mixtures ($P > 0.05$). The ternary silage had less neutral detergent fiber (NDF) and higher *In vitro* dry matter digestibility (IVDMD), metabolizable energy (ME) and crude protein (CP) content ($P > 0.05$). The binary (T1) and ternary (T2) silages of S1 were selected for evaluation in the feeding of 6 dairy cows under a simple reversible design with two 14-day experimental periods, as a complement to conventional management. Milk production was higher in T2 ($P < 0.05$), in response to the higher intake and higher digestibility of this treatment ($P < 0.05$). Feeding costs were similar among treatments and the implementation of T2 represented an increase of 0.8% in profit margins with respect to the use of T1. It is concluded that the inclusion of ternary silage incorporated to the conventional management strategy, is a viable alternative, maintaining high milk yields and profit margins in these systems.

In a second experiment, the inclusion of a silage composed of barley + rye (T1) and a rye+ triticale silage (T3) was evaluated in comparison to corn silage (T2) in the

feeding of 9 dairy cows grazing kikuyu (*Cenchrus clandestinus*). A 3X3 Latin square design with three experimental periods of 12 days each was used, and the productive and economic response was evaluated, and methane (CH₄) emissions were estimated by means of equations. There were no differences in animal variables among treatments (P>0.05). Total dry matter intake did not vary among treatments, so methane emissions were similar too (P>0.05).

The highest emissions corresponded to the highest intake in P2 and P3 (P<0.05), and the emission intensity was 9.4% higher in P3 (P>0.05), due to its lower milk production. The inclusion of corn silage reduced gross energy lost as methane by 1.2% (P<0.05), and in turn, reduced total feed costs by 6 and 16% with respect to T1 and T3, and increased profit margins by the same proportion. As a conclusion, the silage of the small grain cereal mixture can be an alternative to corn silage as a complement to the grazing of cows in advanced lactation in SSDS during the dry season and when considering the feeding costs, it is recommended when the conditions for the establishment of the corn crop are not ideal.

In a complementary work in experiment two, laboratory silages of barley and rye (CBC), barley and triticale (CBT), and rye and triticale (CET) mixtures were made at two harvest dates (HD1, 60 days and HD2, 80 days). A 3x2 factorial design was used with the three mixtures and two dates as factors for the evaluation of botanical, morphological and nutritional composition of these silages. The effect of harvest date on the proportion of cereal (P<0.05) and changes in morphological composition were found depending on the species. Rye had a high proportion of stems on both dates. Crude protein decreased, and FDN increased towards HD2 (P<0.05). Dry

matter, pH, digestibility and metabolizable energy were affected by the interaction between factors ($P < 0.05$). CET quality had less variation between HD1 and HD2 and CBT had more CP, less fiber and presented higher digestibility and energy ($P < 0.05$). It is concluded that the harvest date affected the proportion of the components of small grain cereal mixtures and on their morphological and nutritional composition; effects that depend on the species that comprise them.

Keywords. Silage, grazing, *Hordeum vulgare*, *secale cereale*, X. *Triticosecale Wittmack*), *Cenchrus clandestinus*, forage mixture.

Contenido

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISION DE LITERATURA	4
2.1. Producción de leche	4
2.1.1. Producción de leche en México	4
2.2. Sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE)	5
2.2.1. Alimentación en los SPLPE	6
2.2.2. Sustentabilidad y economía en los SPLPE	7
2.3. Cultivos multi-especie	8
2.4. Pastoreo	8
2.5. Ensilado	9
2.5.1. Proceso de ensilado	9
2.5.2. Factores que afectan la calidad del ensilado	11
2.6. Cereales de grano pequeño	12
2.6.1. Ensilado de cereales de grano pequeño	13
2.7. Especies forrajeras evaluadas	13
2.7.1. Cebada forrajera (<i>Hordeum vulgare</i> var Doña Josefa y Cerro prieto) 13	
2.6.2. Triticale (<i>Triticosecale Wittmack</i>)	14
2.6.3. Centeno (<i>Secale cereale</i>)	15
2.4.2. Kikuyo (<i>Cenchrus clandestinus</i>)	16
2.8. Ganadería y cambio climático	16
2.8.1. Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) en la ganadería ...	17
2.8.2. Metano por fermentación entérica	18
2.8.3. Métodos para medir y estimar metano	19
2.8.4. Estrategias de mitigación de metano	20
III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTO UNO	22
IV. HIPÓTESIS EXPERIMENTO UNO	23
V. OBJETIVOS EXPERIMENTO UNO	24
5.1. Objetivo general	24

5.2. Objetivos específicos	24
VI. MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTO UNO	25
6.1. Localización y desarrollo experimental	25
6.2. Tratamientos.....	25
6.3. Siembra y manejo de los cultivos.....	25
6.4. Variables evaluadas en cultivos	26
6.4.1. Altura (cm).....	26
6.4.2. Rendimiento (Mg/ha MS), composición botánica y morfológica .	26
6.4.3. Composición química	27
6.5. variables de respuesta animal	27
6.5.1. Rendimiento y composición química de la leche	27
6.5.2. Peso vivo y condición corporal.....	28
6.5.3. Consumo de alimento	28
6.6. Análisis económico.....	29
6.7. Diseño experimental y análisis estadístico experimento uno.....	29
6.7.1. Evaluación cultivos y ensilados	29
6.7.2. Evaluación de respuesta animal	29
VII. RESULTADOS EXPERIMENTO UNO	32
7.1. Artículos publicados	32
VIII. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTO DOS	38
IX. HIPÓTESIS EXPERIMENTO DOS.....	39
X. OBJETIVOS EXPERIMENTO DOS	40
10.1. Objetivo general.....	40
10.2. Objetivos específicos	40
XI. MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTO DOS	42
11.1. Localización y desarrollo experimental	42
11.2. Tratamientos	42
11.3. Pradera y ensilados	43
11.4. Variables pradera y ensilados	44
11.4.1. Altura y acumulación neta de forraje de la pradera	44

11.4.2.	Composición botánica	45
11.4.3.	Composición química de la pradera y ensilados.....	45
11.5.	VARIABLES DE RESPUESTA ANIMAL.....	46
11.6.	Emisiones de metano entérico	47
11.7.	Análisis económico	47
11.8.	Diseño experimental y análisis estadístico	47
11.8.1.	Evaluación pradera	47
11.8.2.	Ensilados de laboratorio.....	48
11.8.3.	Evaluación de respuesta animal	48
XII.	RESULTADOS EXPERIMENTO DOS.....	51
12.1.	Artículo enviado.....	51
12.1.	Artículo enviado.....	53
XIII.	PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS	57
13.1.	Constancias XLVIII Reunión científica de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria- AMPA 2023	57
13.2.	Constancia Reunión científica pecuaria del INIFAP	58
XIV.	CONCLUSIONES GENERALES	60
XV.	REFERENCIAS.....	62
XVI.	ANEXOS EXPERIMENTO UNO	81
16.1.	Datos promedios de altura y rendimiento de los cultivos de cereales de grano pequeño	81
16.2.	Composición botánica de los cultivos de mezclas de cereales de grano pequeño (Mg/ha MS).....	82
16.3.	Datos composición morfológica (%) y producción (Pn) por componente en cada mezcla (Mg/ha MS).	83
16.4.	Valores promedios de composición química de los ensilados (g/kg MS) 85	
16.5.	Datos pre-experimentales de las vacas	85
16.6.	Valores promedio variables animales (PL y LCEP, kg/vaca/día; NUL, mg/dL) 86	
16.7.	Consumo de alimento (kg/vaca/día).....	87

XVII. ANEXOS EXPERIMENTO DOS	88
17.1. Valores promedio rendimiento cultivos ensilados (Mg/ha MS)	88
17.2. Valores composición botánica ensilados (g/kg MS)	89
17.3. Promedios acumulación neta de forraje (ANF) y altura de la pradera 90	
17.4. Valores medios composición botánica pradera (g/kg MS)	91
17.5. Valores composición química ensilados, pradera y concentrado (g/kg MS; EM, MJ/kg MS)	92
17.6. Composición química dieta consumida (g/kg MS)	93
17.7. Datos preexperimentales de las vacas	95
12.1. Promedios variables evaluación animal (PL, kg/vaca/día; NUL, mg/dL) 95	
12.2. Consumo de materia seca (kg/vaca/día)	97
12.3. Valores medios emisiones de metano (CH₄)	98
12.4. Composición botánica ensilados de laboratorio (g/kg MS)	100
12.5. Composición química ensilados de laboratorio (g/kg MS)	102

Lista de tablas

Tabla 1. Distribución de las vacas y secuencias para los respectivos tratamientos	30
Table 2. Distribución de vacas y tratamientos en cada cuadro	50

I. INTRODUCCIÓN

Se estima que del 80 al 90% de la producción de leche de los países en desarrollo se produce en sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE), los cuales contribuyen a los medios de vida, la seguridad alimentaria, la nutrición de los hogares y son una fuente importante de ingresos para los pequeños productores (FAO, 2023). En México, estos sistemas permiten a las familias rurales superar los índices de pobreza y generan un aporte sustancial a la producción nacional de leche (Espinoza-Ortega et al., 2007; Prospero-Bernal et al., 2017).

Pese a la importancia de los SPLPE, en estos sistemas existen marcados periodos de escasas forrajera como los meses de invierno, donde las bajas temperaturas y una marcada época seca con disponibilidad de riego limitada, sumado a factores de manejo, afectan el crecimiento de la mayoría de las especies forrajeras y afectan la persistencia de las praderas (Plata-Reyes et al., 2018); ocasionando que durante esta época los productores complementen su ganado principalmente con rastrojo de maíz, algo de pasto y grandes cantidades de forrajes comprados y henos para apoyar la producción de leche (Alfonso-Ávila et al., 2012; Salvador-Loreto et al., 2016), incrementando así sus costos de producción. Dada la alta dependencia de insumos externos, los costos de alimentación representan de 52 al 70% de los costos totales (Espinoza-Ortega et al., 2007). Por lo expuesto la sostenibilidad de estos sistemas se ve amenazada, dado que estas prácticas debilitan su eficiencia productiva y económica, lo cual puede ser mejorado con la inclusión de forrajes conservados como ensilados para la época seca, solos o como complemento a

otras estrategias de alimentación como el pastoreo (Martínez-García et al., 2015; Prospero-Bernal et al., 2017).

El maíz es el principal cultivo usado para ensilaje en los SPLPE, pero ante los posibles efectos del cambio climático como menores precipitaciones, se subraya la necesidad de forrajes adaptados a condiciones más secas o con tolerancia al estrés hídrico (Khosravi et al., 2018). Una alternativa es el uso de cereales de grano pequeño como cebada, centeno y triticale, los cuales presentan un ciclo más corto que el maíz y se adaptan a escasas precipitaciones o temporadas de lluvias cortas o a la menor disponibilidad de riego, son resistentes a heladas y presentan una amplia adaptación a diferentes tipos de suelos y clima (Gómez-Miranda et al., 2020; González- Alcántara et al., 2020) y cuyos ensilados han demostrado ser una alternativa para complementar la alimentación y mantener producciones de leche moderadas en los periodos de escasez forrajera (González- Alcántara et al., 2020; Gómez- Miranda et al., 2020,2023; Vega- García et al., 2023; González- Alcántara et al., 2020).

Los estudios realizados con estos cereales en la región se han realizado en monocultivos, con alta presencia de arvenses (Vega-García et al., 2021; Gómez-Miranda et al., 2023), lo cual impacta en el rendimiento y calidad del ensilado. Por el otro lado, los cultivos multi especies tienen el potencial de suprimir los arvenses (Kaut et al., 2008). Además, las mezclas forrajeras pueden generar otros beneficios ya que permiten optimizar la producción de forraje al lograr mayor plasticidad de la producción a través de las diferencias y complementariedad en el crecimiento de las diferentes especies utilizadas (Muciño-Álvarez et al., 2020), y pueden tener

calidad mayor dependiendo de la mezcla (Juskiw et al., 2000a; Baron et al., 2015); Por lo que se evaluó al cultivo multi especie de cereales de grano pequeño para ensilaje como alternativa a incorporar en las estrategias de alimentación en los SPLPE.

A su vez, es imprescindible conocer el impacto ambiental de los sistemas de producción ganaderos debido a la contribución de este sector al cambio climático por las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) como el metano (CH₄) y las actividades ligadas a la ganadería (Steinfeld et al., 2009); conocer este impacto permite generar estrategias que permitan mitigar sus efectos ante este fenómeno.

El ensilado más estudiado en producción de metano es el de maíz, bien sea como complemento al pastoreo o en dietas de ración total mixta, sin mostrar reducciones en la producción de CH₄ con su implementación (Dall-Orsoletta et al., 2019; O'Neill et al., 2011). Sin embargo, el uso de ensilados por su contenido de almidón debería reducir esta emisión (Hristov et al., 2013), por lo que es conveniente estudiar con mayor profundidad los efectos de la conservación del forraje en la producción de CH₄, siendo la estimación con ecuaciones una alternativa debido a menores costos, requiriendo equipos menos sofisticadas en comparación a los empleados en los métodos *in vivo* y a su mayor aplicabilidad a nivel de finca (Congio et al., 2022).

Por lo anterior se planteó la evaluación del uso de ensilados de cultivos multi especie de cereales de grano pequeño en la alimentación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala durante época seca, en términos de rendimiento productivo, económico y de producción de metano.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Producción de leche

Alrededor de 150 millones de hogares en todo el mundo se dedican a la producción de leche y en la mayoría de los países en desarrollo, esta actividad es realizada por pequeños agricultores, contribuyendo a los medios de vida, seguridad alimentaria y a la nutrición de los hogares; siendo además una fuente importante de ingresos en efectivo para estos (FAO, 2023).

De acuerdo con OCLA (2023), la producción mundial de leche para el año 2021 fue de 931,068 millones de litros, de los cuales el ganado vacuno aportó el 80.5% y el excedente corresponde a otras especies (búfalos 15.7%; cabras, 2.3; ovejas, 1.1 y otras, 0.4%). Según datos estimados del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés) los tres principales productores de leche de bovino a nivel mundial para el año 2023 La unión europea (143,000 miles Tm), Estados Unidos (104,101 miles Tm) e India (99,500 miles Tm).

2.1.1. Producción de leche en México

La leche de bovino ocupa el tercer lugar en importancia pecuaria por su valor agregado en la industria de alimentos, con el 17.22% del valor nacional, por detrás de la carne de bovino (30%) y la carne de ave (23%) (SADER, 2018). En México la producción de leche se da bajo los sistemas de gran escala, doble propósito y pequeña escala (Espinoza- Ortega et al., 2007). Al cierre de 2022, se produjo 13 mil 105 millones de litros de leche de bovino, un 2.0% de incremento respecto a 2021 (SIAP, 2023). Sin embargo, esta producción es insuficiente y se importa al alrededor

del 25% de las necesidades de leche para cubrir la demanda interna (Albarrán et al., 2015), por lo que el país ocupa la primera posición a nivel mundial en importaciones de leche en polvo (USDA, 2023). A nivel nacional el Estado de México, con una producción de 428,700 miles de litros, ocupa la décima posición y los estados con mayor volumen producido son Jalisco seguido por Coahuila, Durango y Chihuahua (SIAP, 2023).

2.2. Sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE)

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) son considerados una opción de desarrollo rural al contribuir en la reducción de la pobreza, mejorar la nutrición y seguridad alimentaria de las familias rurales (FAO, 2010); por lo que estos sistemas desempeñan un papel importante en el apoyo a los medios de vida tanto en los países en desarrollo como en los desarrollados (Martínez-García et al 2020). La producción de leche en pequeña escala orientada al mercado tiene el potencial de incrementar los ingresos del hogar, reducir pérdidas y generar empleo en la industria y en la comercialización (Bennet et al., 2016). En México, los SPLPE permiten a las familias rurales superar los índices de pobreza (Espinoza-Ortega et al., 2007) y representan más del 88% del total de unidades de producción con bovinos del país (INEGI, 2014). Estos sistemas se caracterizan por pequeñas unidades de producción, con superficies menores a 10 ha y hatos entre 3 y 35 vacas más sus remplazos, se ordeña dos veces al día y se tiene una producción promedio anual de leche de 13.8 litros por vaca por día y la venta de leche proporciona ingresos fundamentales para la familia, utilizan fuerza de trabajo familiar y su

debilidad se encuentra en la escala económica, principalmente en la época de estiaje por los altos costos de producción debido a la alta dependencia de insumos externos (Fadul- Pacheco et al., 2013; Prospero- Bernal et al., 2015).

2.2.1. Alimentación en los SPLPE

La alimentación en los SPLPE se basa en diferentes estrategias de alimentación. En general, los alimentos incorporados en estos sistemas vienen en una gran proporción de la cosecha de maíz, ya sea cómo forraje verde picado, ensilado, paja o grano molido como complemento al concentrado comercial y como segundo pienso de importancia se maneja el forraje cortado y transportado (cortado con guadaña de mano) de ballico irrigado (*Lolium perenne* y *Lolium multiflorum*) solos o asociados con una leguminosa, principalmente trébol blanco (*Trifolium repens*) (Alfonso-Ávila et al., 2012). El Pastoreo de pastizales nativos (*Hilaria cenchroides*, *Enneapogon desvauxii*, *Bouteloua gracilis*, *Bouteloua hirsuta*, and *Paspalum prostratum*) es una práctica común en la región (Sainz-Sánchez et al., 2017), así como el uso de grandes cantidades de concentrados comerciales y otros recursos forrajeros en forma de heno, ensilado o rastrojos propios y adquiridos fuera de la unidad de producción (Alfonso- Ávila et al., 2012; Martínez-García et al., 2015). El pastoreo de praderas cultivadas en estos sistemas es una estrategia de alimentación que reduce los costos de alimentación hasta en un 25% y aumenta la rentabilidad en los SPLPE, sin embargo, es una estrategia de menor uso (Pincay-Figueroa et al., 2016; Martínez- García et al., 2015). El corte y acarreo de pasturas cultivadas, con suplementación con concentrado comercial y grano de maíz y el uso

de pajas (maíz, avena o trigo), representa la estrategia convencional en los SPLPE (Prospero-Bernal et al.,2017) y el uso de ensilado de maíz y otros ensilados, como complemento al pastoreo de praderas cultivadas en época seca es propuesta como una innovación para estos sistemas (Martínez- García et al., 2015; Prospero-Bernal et al., 2017).

2.2.2. Sustentabilidad y economía en los SPLPE

La sustentabilidad de los SPLPE se basa en el uso adecuado de los recursos forrajeros locales que son autoproducidos en la finca, dado que su producción y valoración tienden a mejorar la eficiencia de la producción (Prospero-Bernal et al., 2015). En estos sistemas la escala económica es la más débil, lo que está dado principalmente por la baja tasa de especialización, y una reducida eficiencia económica, atribuida a alta dependencia de insumos externos comprados principalmente durante la época de estiaje donde la disponibilidad de forrajes es menor (Prospero-Bernal et al., 2015, 2017). Es así como, en esta época la mayor parte de la dieta se basa en concentrados comerciales, pajas y otros forrajes comprados como heno alfalfa y avena (Martínez-García et al., 2015). Se considera que los costos por concepto de alimentación representan entre 52 al 70% de los costos totales (Espinoza- Ortega et al., 2007) y una reducción de estos aumenta la sostenibilidad general de estos sistemas (Pincay-Figueroa et al., 2014). Finalmente, se ha demostrado que las estrategias que incluyen el pastoreo y el uso de forrajes conservados mediante ensilaje mejoran la eficiencia productiva y económica de los SPLPE (Martínez-García et al., 2015; Prospero- Bernal et al., 2017).

2.3. Cultivos multi- especie

Los cultivos forrajeros multi- especie para la producción animal permiten optimizar la producción de forraje al lograr mayor plasticidad de la producción a través de las diferencias y complementariedad en el crecimiento de las diferentes especies utilizadas (Muciño-Álvarez et al., 2020). Las mezclas forrajeras presentan una oportunidad para que cada especie explote nichos adecuados dentro del cultivo y además pueden ser más persistentes y con rendimientos más altos y estables debido a una mayor cantidad de plantas por unidad de superficie, que pueden ser más resistentes a las invasiones de malezas y plagas, con una ventaja particular en épocas secas prolongadas (Sanderson et al., 2005). La siembra mixta de dos o más cultivos tiene grandes beneficios como un mayor rendimiento debido a la diversidad estructural, fenológica, fisiológica y genética que dan como resultado interacciones beneficiosas entre cultivos y entre cultivos y el medio ambiente (Shoib et al., 2014).

2.4. Pastoreo

Los forrajes de pastoreo, que son la fuente más barata de nutrientes para las vacas lecheras, deberían constituir la base de sistemas de producción animal rentables y de bajos insumos (Peyraud y Delagarde, 2011). No obstante, bajo este sistema existen diferentes factores que afectan el consumo de materia seca por parte de las vacas como lo son los requerimientos de nutrientes de los animales, saciedad física, comportamiento animal, límites en el potencial de la pastura o una combinación de estos (Bargo et al., 2003). A su vez, es probable que entre los sistemas ganaderos el pastoreo se vea más afectado por el cambio climático al depender de la calidad

y disponibilidad de alimento (Rojas-Downing et al., 2017a). Las estrategias de suplementación con concentrados o la asociación de pastoreo a tiempo parcial y forrajes conservados proporcionados en cantidades limitadas son muy eficientes para manipular la cantidad de ingesta de nutrientes bajo estos sistemas (Peyraud y Delagarde, 2011); especialmente estos últimos permiten superar la estacionalidad en la producción de las praderas y minimizar los efectos del cambio climático en la producción en estos sistemas (Plitz et al., 2022),

2.5. Ensilado

El ensilaje es un método de conservación de forrajes húmedo, basado en una fermentación ácido láctica en condiciones anaeróbicas, en la cual las bacterias convierten los carbohidratos solubles en agua en ácidos orgánicos; como resultado el pH disminuye y el alimento se conserva mientras no esté expuesto al aire (Dunière et al., 2013; Weinberg y Chen, 2013). El propósito principal, es mantener el forraje disponible durante todo el año para su uso como fuente de alimento con alto valor nutricional para los rumiantes, mejorando así, la sostenibilidad económica y ambiental de los sistemas de producción ganaderos (Dunière et al., 2013).

2.5.1. Proceso de ensilado

Este involucra los siguientes pasos: Corte del cultivo en el estado de madurez óptimo, picado, carga en el silo, compactación y sellado para excluir el aire, almacenamiento y finalmente descarga para alimentación animal (Weinberg y Ashbell, 2003). A su vez, se identifican cuatro fases de diferente duración e intensidad durante el proceso:

1. Fase aeróbica inicial: El aire todavía está atrapado entre las partículas de forraje y el valor de pH todavía es neutro por lo que se permiten actividades microbianas y enzimáticas aeróbicas (Weinberg y Chen, 2013). Este primer paso se debe a la actividad enzimática de las células vegetales intactas las cuales se encargan de consumir el oxígeno atrapado en el ensilado y utilizan carbohidratos como glucosa y fructosa (Dunière et al., 2013). Durante esta etapa la microflora aeróbica se desarrolla hasta que el oxígeno se consume por completo o la acidificación es suficiente para detener su metabolismo, esto es posible gracias a bacterias anaeróbicas facultativas que realizan una fermentación heteroláctica que disminuye ligeramente el pH del ensilaje (Dunière et al., 2013).
2. Fase de fermentación: Tiene una duración de una o dos semanas, esta fase comienza cuando la masa ensilada se vuelve anaeróbica y las bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus brevis*, *L. plantarum* y *L. buchner*) se convierten en la población microbiológica predominante, estas transforman los carbohidratos solubles en agua, principalmente en ácido láctico, generando rápidamente las condiciones de pH bajo (4) que ayudan a preservar el ensilado, esto si ha existido un buen proceso (Weinberg y Chen, 2013; Dunière et al., 2013).
3. Fase estable durante el almacenamiento: Durante el período de almacenamiento, el ensilado se sella y no penetra aire. Esta etapa suele durar varios meses y siempre que el pH sea suficientemente bajo y la anaerobiosis persista, ocurren pocos cambios (Weinberg y Chen, 2013; Dunière et al., 2013).

4. Fase de uso para alimentación animal: Los silos se abren y las partículas se vuelven a exponer al aire y dependiendo de la densidad y porosidad del material vegetal y la tasa de remoción del ensilaje, se puede generar el crecimiento de microorganismos indeseables como levaduras aeróbicas y mohos y un aumento del pH que puede traer consigo el desarrollo de bacterias indeseadas (Weinberg y Chen, 2013; Dunière et al., 2013).

2.5.2. Factores que afectan la calidad del ensilado

Estos incluyen: La especie empleada, de la cual depende la concentración de carbohidratos solubles para fermentar y la capacidad de tampón (capacidad para resistir un cambio en el pH) (Buxton y O'Kiely, 2003); el tiempo de cosecha, entendido como el corte del forraje en la etapa óptima de madurez del cultivo cuando los rendimientos, la calidad y las características para ensilabilidad son las mejores (por ejemplo, el maíz se cosecha aproximadamente a la mitad de la línea de leche y se ensila al 30-35% de MS) (Weinberg y Ashbell, 2003). Se debe buscar una adecuada concentración de MS que permita un adecuado contenido de carbohidratos solubles, los cuales, además de afectar el valor nutritivo, también afectan el potencial de ensilado del forraje, puesto que son la principal fuente de energía fácilmente fermentable para los microorganismos del rumen (Bernardes et al., 2018); tamaño de la partícula (1–2 cm), puesto que partículas muy grandes afectaran el proceso de compactación y la fermentación del material; llenado y compactación del silo, de estos depende la correcta exclusión del aire y deben ser lo más rápido posible para minimizar las pérdidas que resultan de la respiración de las plantas y la actividad de los microorganismos aeróbicos; sellado, para asegurar

un proceso totalmente anaeróbico y finalmente otros factores como el manejo agronómico del cultivo, tamaño adecuado del silo, uso de inoculantes y el manejo del silo una vez abierto (Weinberg y Ashbell, 2003).

2.6. Cereales de grano pequeño

Los cereales de grano pequeño pertenecen a la familia *Graminae* o *Poaceae*, subfamilia *Pooidae* e incluyen al trigo (*Triticum aestivum* L. emend. Thell.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), avena (*Avena sativa* L.), centeno (*Secale cereale* L.), y triticale, híbrido del trigo y centeno (x *Triticosecale*) (Kennelly y Weinberg, 2003). Estos cultivos históricamente sustentaron las primeras civilizaciones en Mesopotamia y el Antiguo Egipto, y en la actualidad siguen estando entre los alimentos básicos más importantes para el ser humano y también son importantes cultivos forrajeros para el ganado y materiales importantes para la producción de bebidas y otras aplicaciones industriales (Ishida et al., 2019).

Los cereales forrajeros de grano pequeño se utilizan ampliamente en muchos países en diversas formas, entre ellas pastos, heno, ensilado y grano (Kennelly y Weinberg, 2003). La etapa de madurez en el momento de la cosecha tiene un efecto importante en el rendimiento de biomasa y la calidad de los cereales. El rendimiento aumenta y la calidad disminuye a medida que madura el cultivo, aunque entre los cereales la calidad puede variar. La etapa óptima de cosecha de la cebada y la avena para maximizar el rendimiento y las características de calidad es la etapa de masa blanda, mientras que para el triticale y el centeno va desde la etapa de arranque hasta las primeras etapas de leche (Jusqiw et al., 2000b).

2.6.1. Ensilado de cereales de grano pequeño

Diferentes forrajes pueden ser usados para ser ensilados, el maíz es el principal cultivo utilizado para tal fin en los SPLPE (Martínez-García et al., 2015; Prospero-Bernal et al., 2017). Sin embargo, una alternativa para estos sistemas es el uso de cereales de grano pequeño (cebada, trigo, centeno, triticale, avena), los cuales presentan un ciclo más corto y se adaptan a escasas precipitaciones o temporadas de lluvias cortas o a la menor disponibilidad de riego; son resistentes a heladas y presentan una amplia adaptación a diferentes tipos de suelos y clima (Celis-Álvarez et al., 2016; Gómez-Miranda et al., 2020). Estos cereales son aptos para este proceso debido a su alto nivel de carbohidratos solubles en agua, baja capacidad de tampón y porque su contenido de humedad es fácilmente controlado (Kennelly y Weinberg, 2003).

2.7. Especies forrajeras evaluadas

2.7.1. Cebada forrajera (*Hordeum vulgare* var Doña Josefa y Cerro prieto)

Las cebadas forrajeras son cultivares específicos desarrollados para la alimentación del ganado, se caracterizan por un mayor rendimiento de materia seca y energía que otros tipos de cebada (Nikkhah, 2013). La cebada es un cultivo resistente con una gran capacidad de adaptación a estreses bióticos y abióticos, con gran potencial para la producción de forraje fresco o conservado como ensilado de buena calidad nutricional para el ganado (Newton *et al.*, 2011, Nikkhah, 2013). Este cereal puede crecer rápidamente, suprimir la presión de las malezas y proporcionar un alto rendimiento (Sadeghpour et al., 2013), además es una fuente económica de fibra y

energía fermentable para el ganado lechero, por lo que su uso y popularidad aumenta entre los ganaderos (Nikkhah, 2013).

La cebada requiere poca agua porque es un cultivo de maduración temprana con cierta tolerancia a la sequía. A su vez, tiene mejor crecimiento en suelos bien drenados y fértiles, baja tolerancia a suelos ácidos y a la excesiva humedad en el suelo (Kennelly y Weinberg, 2003). La tasa de siembra para producción de ensilado normalmente está dentro del rango de 84 y 123 kg/ ha (Kennelly y Weinberg, 2003). El ensilado de este cereal presenta contenidos de proteína cruda (PC) entre 66 a 119 g/kg MS, 516 a 568 y 289 a 420 g/kg MS de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) respectivamente (Gómez- Miranda et al., 2020; Nikkhah, 2013) y una digestibilidad in-vitro de la materia seca (DIVMS) 560 g/kg MS (Gómez- Miranda et al., 2020).

2.6.2. Triticale (*Triticosecale Wittmack*)

Es el híbrido intergenérico originado de la combinación de trigo (*Triticum ssp.*) con centeno (*Secale ssp.*) dando como resultado un cultivo con el potencial productivo y valor nutritivo del trigo y la resistencia a enfermedades y rusticidad del centeno, incluida su adaptabilidad a suelos difíciles, la tolerancia a sequía y resistencia a heladas (Castro et al., 2011; Mendoza-Elos et al., 2011). Triticale está bien adaptado a las zonas de suelos pobres y a condiciones ácidas y de sequía u otras condiciones extremas (Kennelly y Weinberg, 2003). La tasa óptima de semilla para producción de ensilado está dentro del rango de 95 a 168 kg/ha (Kennelly y Weinberg, 2003). Presenta rendimientos equivalentes o hasta superiores a los del

trigo, centeno y avena y dentro de las características más destacables se encuentran su alta producción de materia seca y la menor pérdida de calidad con el avanza su estado fenológico (Mendoza-Elos et al., 2011). Su contenido de PC se encuentra un rango de 91.6 a 173 g/kg MS, 551 a 667 g/kg MS de FDN, 329 a 368.7 g/kg MS de FDA y presenta una DIVMS entre 670 y 713 g/kg MS (Harper et al., 2017; González- Alcántara et al., 2020)

2.6.3. Centeno (*Secale cereale*)

Es una planta anual con alta tolerancia a heladas y por su extenso sistema de raíces tiene resistencia a la sequía y a diferentes condiciones de humedad y fertilidad del suelo, por lo que es el cereal de grano pequeño con mayor adaptación (Kennelly y Weinberg, 2003). Puede alcanzar 1–3 m de altura, tiene un tallo largo con hojas estrechas de color azul verdoso, que crecen a partir de sus nudos y es una especie que se cultiva como anual (centeno de primavera) o bianual (centeno de invierno); en malas condiciones puede tener más rendimiento de materia seca que el trigo (GRDC, 2018). La recomendación de tasas de semilla para la siembra es de 95 a 157 kg ha (Kennelly y Weinberg, 2003). La calidad del forraje es aproximadamente de 120 g/kg MS de PC y 700 g/kg MS de DIVMS (Newell y Butler, 2013) y su ensilado puede presentar valores en un rango de 520 a 703 g/kg MS de FDN, 355 a 429 g/kg MS de FDA, 77.4 a 102.7 g/kg MS de PC, una DIVMS de 645 g/kg MS y contenido de EM de 9.7 MJ/kg MS (Horts et al., 2018; Vega-García et al., 2023).

2.4.2. Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*)

El pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone) es un pasto tropical perenne de la vía fotosintética C4 adaptada a zonas subtropicales y climas templado-cálidos que se produce naturalmente en las tierras altas del este y centro de África, ha sido introducido a muchos países donde forma parte de praderas altamente productivas (Marais, 2001; García et al., 2014). Esta especie se propaga fácilmente de forma vegetativa, formando estolones largos y de crecimiento vigoroso (Marais, 2001), que le otorgan características de agresividad y dominancia (García et al., 2014). Debido a su natural hábitat, la temperatura óptima para el crecimiento de kikuyo es de 16 a 21°C, su crecimiento puede ser afectado por heladas y estar restringido con temperaturas por debajo de 8 °C (Marais, 2001).

En los SPLPE del Altiplano Central de México bajo las condiciones agroecológicas y de manejo impuestas por altas cargas animales, limitado riego y alta evapotranspiración en la época seca, las praderas cultivadas tienen baja persistencia y llegan a ser invadidas por esta especie (Plata-Reyes et al., 2018). Su calidad nutricional en la región se encuentra entre 181.0 y 209.4 g/kg MS de PC, 421.0 y 466.08 g/kg MS de FDN, 200.4 y 219.9 g/kg MS FDA y una DIVMS de 675.49 y 749.4 g/kg MS (Marín-Santana et al., 2020; Plata- Reyes et al., 2021).

2.8. Ganadería y cambio climático

Los potenciales impactos del cambio climático sobre los sistemas ganaderos incluyen cambios en la producción y calidad de alimentos y disponibilidad de agua, alteraciones en la producción y reproducción animal, así como un incremento de

enfermedades y pérdida de biodiversidad en los ecosistemas; cambios que se deben principalmente a un aumento en la temperatura y la concentración de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, la variación de la precipitación y una combinación de estos factores (Rojas-Downing et al., 2017b). Al mismo tiempo, el sector ganadero requiere una cantidad significativa de recursos naturales y juega rol importante en el cambio climático en términos de su contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) principalmente metano (CH₄) por fermentación entérica y óxido nitroso (N₂O) por manejo de estiércol (Thorthon,2009; Grossi et al., 2018). Además de los gases de efecto invernadero que surgen de la fermentación entérica y el almacenamiento de estiércol, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas con actividades como la deforestación para expansión de la producción ganadera, producción de alimentos, procesamiento y transporte, junto con las emisiones de óxido nitroso del suelo son otros puntos que contribuyen al cambio climático y por lo que la ganadería también es fuertemente cuestionada (Steinfeld et al., 2009; Grossi et al., 2018).

2.8.1. Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) en la ganadería

Los GEI más importantes producidos en este sector son CH₄, N₂O y en menor proporción el CO₂. Estos gases son conocidos como GEI por su capacidad de absorber y retener calor cerca de la superficie de la tierra (efecto conocido como invernadero) (Bonilla y Lemus, 2012). El metano y óxido nitroso son gases con un potencial de calentamiento global 28 y 265 mayor que el dióxido de carbono (IPCC, 2013). Se estima que las emisiones globales de GEI provenientes de sector

ganadero (animales, estiércol, producción de alimentos y expansión de tierras en áreas forestales) representan el 14.5% del total de emisiones antropogénicas (7.1 de 49 Gt de CO₂-eq por año) y alrededor del 44% de estas emisiones son en forma de CH₄, 29% como N₂O y 27% corresponde a CO₂, de las cuales la ganadería de carne y leche contribuyen respectivamente con el 41% y 20% del total de emisiones del sector (Gerber et al., 2013). Las emisiones por unidad de producto lácteo varían entre diferentes regiones; las de Europa y el Norte de América oscilan entre 1 y 2 kg de CO₂-eq por kg de LCGP- leche corregida en grasa y proteína), las más altas son estimadas para África Subshariana (media 7.5 CO₂-eq por kg LCGP) y las de los países de América central y Sur América están en un rango entre 3 y 5 kg CO₂-eq por kg LCGP (Gerber et al., 2011).

2.8.2. Metano por fermentación entérica

La fermentación entérica es parte del proceso digestivo natural de los rumiantes donde bacterias, protozoos y hongos contenidos en el rumen del animal, fermentan y descomponen la biomasa vegetal consumida para convertirla en ácidos grasos volátiles (AGV) como fuente de energía, generando calor y gases como subproductos (Grossi et al., 2018). En el proceso de síntesis de AGV se producen moléculas de hidrógeno (formación de acetato y butirato), las cuales deben ser removidas para mantener la eficiencia energética durante los procesos de fermentación anaerobia (Beauchemin et al., 2009). La formación de CH₄ por un grupo de microorganismos metanogénicos (*Archaeas* metanogénicas) es la vía más importante de remoción de este hidrogeno (Vargas et al., 2012); estas bacterias

usan el CO₂ y H₂ que se origina de la fermentación de la fibra para formar metano (Benaouda et al., 2017), el cual, junto con el CO₂ sobrante es posteriormente eliminado del rumen principalmente por eructos (Grossi et al., 2018).

A nivel global el CH₄ por fermentación entérica aporta cerca del 40% de los GEI emitidos en el sector ganadero y el ganado bovino emite la mayor parte (77%), seguido de búfalos (13%) y pequeños rumiantes (10%) (Gerber et al., 2013). Según la sexta comunicación de INE- SEMANART (2018) ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático para el año 2015, el sector ganadero de México produjo 10.1% (70,567.60 Gg de CO₂ eq) del total de GEI de origen antropogénico producidos en el país y de esta cantidad, el 76% corresponde a metano por fermentación entérica, producido en mayor proporción por los bovinos (93.79%). Según el inventario nivel Tier 2 (IPCC), la emisión total de CH₄ entérico en México asciende a 2,039.21 Gg por año (Castelán-Ortega et al., 2019).

El CH₄ no solo representa a un gas efecto invernadero contaminante, aproximadamente de 2% a 12% la energía bruta consumida se pierde en forma de CH₄ (Johnson y Johnson, 1995), lo cual afecta de forma directa la productividad de los sistemas ganaderos y la búsqueda de estrategias que mitiguen esta emisión traerá beneficios tanto ambientales como económico para los productores.

2.8.3. Métodos para medir y estimar metano

Durante los últimos 100 años se han desarrollado varios métodos con el propósito de medir y estimar las emisiones de metano de los rumiantes, los cuales varían en alcance, ventajas, desventajas, costos, número de animales o sistema (para

pastoreo o para animales alojados) (Storm et al., 2012). Estos métodos incluyen cámaras de respiración, uso de trazadores como el SF₆, la producción de gas *in vitro* y los modelos de emisión de CH₄, entre otros (Storm et al., 2012; Dangal et al., 2017). La técnica más consistente es la de cámara de respiración, donde se miden las concentraciones de CH₄ y CO₂ en el flujo de aire, pero esta técnica es costosa y limita el número de animales estudiados al mismo tiempo (Danielsson et al., 2017). La técnica de SF₆ se basa en la medición de la concentración de CH₄: SF₆ mediante la dosificación de un gas fisiológicamente inerte y no tóxico como el SF₆ (Dangal et al., 2017). La técnica *in vitro* se basa en la fermentación del alimento en condiciones controladas de laboratorio con uso de inóculo ruminal, midiendo el CH₄ total producido durante la incubación; y en los casos en que las mediciones de CH₄ no son posibles, los modelos de predicción son cada vez más importantes (Dangal et al., 2017). Estos modelos tienen mayor aplicabilidad a nivel de finca debido a menores costos, ya que no requieren equipos sofisticados en comparación a los utilizados en los métodos *in vivo* (Congio et al., 2022).

2.8.4. Estrategias de mitigación de metano

Existen diferentes estrategias de mitigación que varían en complejidad y costos que son explicadas ampliamente en distintas revisiones (Hristov et al., 2013; Knapp et al., 2014; Beauchemin et al., 2020). Las siguientes son las que tienen potencial mayor para su adopción en unidades de producción:

Incremento de la productividad animal: A través de un manejo de nutrición (aumento de la eficiencia y utilización de nutrientes), salud y genética superior de los animales,

se puede reducir la intensidad de las emisiones de CH₄ (g CH₄/kg de producto) (Beauchemin et al., 2020). Sin embargo, las emisiones absolutas (g /animal por día) pueden aumentar a medida que los animales consumen alimento adicional para satisfacer sus necesidades energéticas y para que la reducción de la intensidad se traduzca en reducciones absolutas se requiere una producción de leche constante y menos animales para producir dicha cantidad de producto (Beauchemin et al., 2020; Knapp et al., 2014).

Nutrición: Las emisiones de CH₄ pueden ser afectadas por el nivel de alimentación, tipo de carbohidratos, calidad del forraje y especies usada, procesamiento físico, forraje preservado y frecuencia de alimentación (Knapp et al., 2014). La eficiencia de una estrategia particular de mitigación de CH₄ en la dieta depende de sus efectos sobre el flujo y la concentración de H₂ ruminal, la comunidad microbiana, las vías de fermentación, el tiempo de retención del alimento en el rumen y las interacciones entre estos factores (Beauchemin et al., 2020). Por ejemplo, ciertos alimentos pueden disminuir la producción de acetato resultando en menos H₂ para convertir en CH₄ o aumentan la producción de propionato, ruta que compite con la metanogénesis por el H₂ disponible (Knapp et al., 2014).

Modificadores de rumen: Existe una amplia variedad de sustancias que se pueden administrar para reducir el CH₄, como los inhibidores químicos, ácidos orgánicos y compuestos secundarios vegetales. El modo de acción depende del aditivo específico, pero puede incluir inhibición directa de metanógenos o afectar la metanogénesis, o proporcionar una vía competitiva para la eliminación de H₂ (Knapp et al., 2014).

III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTO UNO

¿Es el cultivo de cereales de grano pequeño de dos o tres especies una alternativa para incrementar el rendimiento y calidad del ensilado de cereales de grano pequeño para la alimentación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala?

¿Cuál es el efecto del uso de ensilado de cultivos multi-especie de cereales de grano pequeño en la alimentación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala en términos de rendimiento productivo y económico?

IV. HIPÓTESIS EXPERIMENTO UNO

No existe diferencia entre el cultivo de cereales de grano pequeño de dos y tres especies, en términos de comportamiento agronómico, composición botánica, morfológica y de rendimiento y calidad del ensilado producto de cada cultivo.

No existe diferencia entre la utilización de ensilados de cultivos multi especie de cereales de grano pequeño de dos y tres especies, al incorporarlos como alternativa de alimentación en sistemas de producción de leche en pequeña escala en términos de rendimiento productivo y económico.

V. OBJETIVOS EXPERIMENTO UNO

5.1. Objetivo general

Evaluar el uso de ensilados de cultivos multi-especie de cereales de grano pequeño en la alimentación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala durante época seca, en términos de rendimiento productivo y económico.

5.2. Objetivos específicos

- Evaluar el rendimiento, composición botánica y morfológica de cultivos multi-especie de cebada (*Hordeum vulgare* – Doña Josefa), centeno (*Secale cereale* cv criollo) y triticale (*X. Triticosecale Wittmack* cv Bicentenario).
- Determinar la composición química del forraje verde (antes de ensilar) y ensilado de cultivos multi-especie de cebada, centeno y triticale.
- Evaluar la respuesta productiva en cuanto a rendimiento y composición química de la leche, peso vivo, y condición corporal de vacas alimentadas con ensilado de cultivos multi-especie de cereales de grano pequeño.
- Realizar el análisis de costos de alimentación de la inclusión de estos ensilados en la alimentación de vacas lecheras.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTO UNO

6.1. Localización y desarrollo experimental

El proyecto se realizó bajo un enfoque de investigación participativa rural (Conroy, 2005) mediante experimentos en finca (Stroup et al.,1993) y contó con la participación de un productor de leche de pequeña escala de la localidad Tixhiñu (entre 20° 06 N y 99° 52 W, 2440 m) en el municipio de Aculco en el Noroeste del Estado de México, entre mayo de 2021 y abril de 2022. El clima en la región es templado subhúmedo con temperatura anual entre 13.3°C, con una marcada estación seca de noviembre a abril y una estación de lluvia de mayo a octubre con 890 mm de precipitación anual (Plata-Reyes et al., 2018).

6.2. Tratamientos

Se evaluaron dos cultivos de cereales de grano pequeño, un cultivo binario (BIN) compuesto por cebada *Hordeum vulgare* cv. Doña Josefa y centeno (*Secale cereale* cv. Nacional); y un cultivo ternario de centeno (*S. cereale* cv. Nacional) y TRT (X. *Triticosecale* Wittmack cv. Bicenetenario), establecidos en dos localidades (S1- loma y S2- valle) para un total de cuatro tratamientos: BINS1, BINS2, TERS1 y TERS2.

6.3. Siembra y manejo de los cultivos

Los cultivos se establecieron en mayo de 2021 en superficies de 0.5 ha por tratamiento y se utilizó una densidad de siembra de 120 kg/ha distribuida en proporciones iguales entre los componentes de cada mezcla. A la siembra, cada parcela se fertilizó con 31 kg de nitrógeno y 80 kg de fosforo (DAP 18-46-00) y 90

kg de potasio (KCL, 0-0-60). En la etapa de encañe de los cultivos, se aplicaron 69 Kg de nitrógeno en forma de urea (46-0-0) para completar una dosis de 100 kg de N por ha. El corte se realizó cuando los cultivos se encontraban en formación de grano (día 78 en etapa fenológica 69 a 72, Zadoks y Konzak, 1997), y fueron ensilados en silos tipo pastel en suelo firme cubiertos con lámina de plástico negro calibre 600 y cubiertos con tierra.

6.4. Variables evaluadas en cultivos

6.4.1. Altura (cm)

Cada cultivo fue nominalmente dividido en tres partes que actuaron como réplicas del cultivo. La altura del forraje se registró en cm con un medidor de cinta (Vega-García et al. 2021), se tomaron 30 datos por subdivisión.

6.4.2. Rendimiento (Mg/ha MS), composición botánica y morfológica

Antes del proceso de corte de los cultivos, por división nominal se cortaron 3 cuadrantes (0.5 x 0.5) simulando la altura de corte, para estimar el rendimiento de forraje (González-Alcántara et al.,2020), expresando el resultado en Mg/ha. Una muestra (200 a 400g) fue tomada de estos cuadrantes para determinar su composición química y una segunda muestra para determinar composición botánica y morfológica (50 g) se tomó de cuadrantes similares, separando los componentes botánicos (cereales, arvenses) y morfológicos (hoja, tallo y espiga por especie de cereal), registrando su peso fresco y después de un proceso de secado en horno a

65°C por 48h o hasta peso constante se conoció el contenido de MS de cada componente (Totty et al., 2013).

6.4.3. Composición química

Se tomaron muestras tanto del forraje verde antes del proceso de ensilaje, así como de los ensilados elaborados a partir del mismo siguiendo a Gómez- Miranda et al. (2020) y González-Alcántara et al. (2020). En el muestreo del ensilado se consideraron varias alturas, profundidades y distancias, según lo descrito por Martínez-Fernández et al. (2014). Las muestras se secaron a 65 °C durante 48 h en una estufa de aire forzado para obtener el contenido de MS y posteriormente se les determinó los contenidos de cenizas, materia orgánica (MO), proteína cruda (PC) mediante método Kjeldahl (AOAC, 1990), fibra detergente neutro y fibra detergente ácido mediante la técnica de micro bolsas (Ankom, 2005).

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) se obtuvo por incubación de muestras en líquido ruminal con el método Ankom (2005) y finalmente el contenido de eME se estimó a partir de la ecuación propuesta por CSIRO (2007):

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

Donde DMS, digestibilidad de la materia seca.

El pH de los ensilados fue medido con un pH metro digital utilizando el jugo de 25g de ensilado diluido en agua destilada siguiendo el procedimiento descrito por Gómez- Miranda et al. (2020) y González-Alcántara et al. (2020).

6.5. variables de respuesta animal

6.5.1. Rendimiento y composición química de la leche

Durante tres días consecutivos al final de cada periodo experimental se midió el rendimiento individual diario de leche (kg leche/vaca/día) con una báscula de reloj con capacidad de 20 kg. En el análisis estadístico se utilizaron los valores promedio individuales de cada vaca, de acuerdo con lo descrito por Plata-Reyes et al. (2018). En los dos ordeños consecutivos de cada día de medición, se tomaron muestras individuales de leche y se realizó una alícuota de 100 ml a partir de estas y se les determinó su contenido de grasa, proteína, lactosa con un ultrasonido Lactoscan milk-analyzer siguiendo los métodos de muestreo y procesamiento descritos por Plata-Reyes et al. (2018) y González-Alcántara et al. (2020). El contenido de Nitrógeno Ureico en Leche (NUL) se determinó mediante el método colorimétrico enzimático descrito por Chaney y Marbach (1962).

6.5.2. Peso vivo y condición corporal

Al final de cada periodo experimental, en dos días consecutivos se registró el peso vivo de todas las vacas, utilizando una báscula electrónica portátil con una capacidad de 1000 kg. La condición corporal se registró al momento de determinar el peso, por medio una escala de 1 a 5 siguiendo el método descrito por Wildman et al. (1982), donde: 1 es flaco, 2 moderado, 3 bueno, 4 gordo y 5 obeso.

6.5.3. Consumo de alimento

El consumo alimento de los alimentos ofrecidos en corral se estimó mediante el pesaje de la cantidad ofrecida y rechazada como en Gómez-Miranda et al. (2020).

6.6. Análisis económico

Se utilizó la metodología de presupuestos parciales como se han utilizado en otros trabajos (Prospero-Bernal et al., 2017; Vega- García et al., 2023) tomando en cuenta únicamente costos de alimentación y los ingresos por venta de leche.

6.7. Diseño experimental y análisis estadístico experimento uno

Los diferentes análisis estadísticos se realizaron en el software Minitab vs 19. y cuando fue posible se realizó la prueba de Tukey para comparación de medias entre tratamientos.

6.7.1. Evaluación cultivos y ensilados

Se utilizó un diseño factorial 2x2 con las dos localidades (S1-loma y S2-valle) y los dos cultivos (binario y ternario) como factores. Se manejaron 3 divisiones nominales por cada tratamiento.

El análisis de resultados de las variables evaluadas tanto en los cultivos como en los ensilados hechos a partir de estos se realizó mediante análisis de varianza con modelo lineal general usando el siguiente modelo factorial:

$$Y_{ijk} = \mu + r_i + L_j + C_k + (LC)_{jk} + e_{ijk}$$

Donde μ = media general, r_i = efecto de las repeticiones ($i=1,2,3$), L_j = efecto de la localidad (factor a $j=1,2$), C_k = efecto del cultivo (factor b $k= 1,2$), $(LC)_{jk}$ = efecto de la interacción entre la localidad y cultivo, e_{ijk} = efecto debido a la variación residual.

6.7.2. Evaluación de respuesta animal

El experimento se estableció de acuerdo con un diseño reversible sencillo con 2 periodos experimentales, con 11 días para la adaptación a la dieta y 3 días para la

recolección de datos y muestras analizar. Se evaluaron 6 vacas lecheras con rendimiento de leche de 16.5 ± 3.6 kg vaca día, 486 ± 23 kg de peso vivo y 142 ± 82.2 días en leche antes del experimento. Se seleccionaron los ensilados de loma como tratamientos para este experimento (ensilado de cultivo binario de loma (T1) y ensilado de cultivo ternario de loma (T2)) y se complementó con concentrado comercial (3.7kg MS) y por decisión del productor participante se ofrecieron los alimentos convencionales paja de maíz (1.3 kg MS), alfalfa (2.6 kg MS) y pradera de corte (1.6 kg MS) por tratamiento.

Tabla 1. Distribución de las vacas y secuencias para los respectivos tratamientos

Tratamiento	Periodo	
	1	2
T1	A	B
	200	5121
	201	298
T2	288	297
	B	A
	5121	200
	298	201
	297	288

T1, ensilado binario más alimentos convencionales; T2, ensilado ternario más alimentos convencionales

Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza con el modelo reversible sencillo:

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

Dónde: Y_{ijkl} = Variable a evaluar; μ = 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.

VII. RESULTADOS EXPERIMENTO UNO

7.1. Artículos publicados

Se presenta la carta de aceptación, captura en primera página y resumen (abstract) del primer artículo publicado en la revista Tropical and Subtropical Agroecosystems y cuya referencia es la siguiente:

Carrillo-Hernández, S., Velarde-Guillén, J., López-González, F. and Arriaga-Jordán, C.M., 2023. Mixed small grain cereal silages in the feeding of dairy cows in small scale dairy systems, Tropical and Subtropical Agroecosystems, 26, 085.

- Carta de aceptación



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



Para: Carlos Manuel Arriaga Jordan

Mar 20/06/2023 9:45

CC: Sirley Carrillo Hernandez; jvg.svlc@gmail.com; **y 1 más**

Tropical and Subtropical Agroecosystems
Dr. Carlos Manuel Arriaga-Jordan:

We have reached a decision regarding your submission to Tropical and Subtropical Agroecosystems, "ENSILADO DE MEZCLAS DE CEREALES DE GRANO PEQUEÑO EN LAS ESTRATEGIAS DE ALIMENTACIÓN EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN 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.

- Primera página

Tropical and Subtropical Agroecosystems 26 (2023): #085

Carrillo-Hernández et al., 2023



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; flopezg@uaemex.mx; jvelarde@uaemex.mx; cmarriaga@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

- Resumen

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 médium 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.

Se presenta la carta de aceptación, captura en primera página y resumen (abstract) del segundo artículo publicado en la revista indexada International Journal of Agriculture and Natural Resources y cuya referencia es la siguiente:

Sirley Carrillo-Hernández, Felipe López-González, José Velarde-Guillén, and Carlos Manuel Arriaga-Jordán, 2023. Small-grain forage mixtures for silage: Yield and botanical, morphological and chemical composition. International Journal of Agriculture and Natural Resources, 50 (3), 98-110. [https://doi.org/ 10.7764/ijanr.v50i3.2483](https://doi.org/10.7764/ijanr.v50i3.2483)

- **Carta de aceptación**

 Valentina Lopresti <ijanr@uc.cl> 😊 ↶ ↷ ↲ ↳ ⌵ ⋮

Para: Carlos Manuel Arriaga Jordan Mié 15/11/2023 11:12

CC: Sirley Carrillo Hernandez; Felipe Lopez Gonzalez; **y 1 más**

Dear Dr. Carlos Manuel Arriaga-Jordan:

I am pleased to tell you that your work "Small-grain forage mixtures for silage: yield, botanical, morphological and chemical composition" has now been accepted for publication in International Journal of Agriculture and Natural Resources issue 3 of 2023.

This letter serves as an acceptance certificate.

Now the manuscript will be send to English edition by American Journal Experts and then send to you for approval.

Thank you for submitting your work to this journal.

Best regards.

Valentina Lopresti
Managing Editor
International Journal of Agriculture and Natural Resources Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal
Pontificia Universidad Católica de Chile valentina.lopresti@uc.cl www.ijanr.cl

- **Captura en primera página**



Int. J. Agric. Nat. Resour. 50(3):98-110. 2023
www.ijanr.cl

ANIMAL SCIENCE

DOI 10.7764/ijanr.v50i3.2483

RESEARCH PAPER

**Small-grain forage mixtures for silage: Yield and botanical,
morphological and chemical composition**

Sirley Carrillo-Hernández, Felipe López-González, José Velarde-Guillén,
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, 50295 Toluca, Estado de México, México.

Abstract

S. Carrillo-Hernández, F. López-González, J. Velarde-Guillén, and C. M. Arriaga-Jordán. 2023. Small-grain forage mixtures for silage: Yield and botanical, morphological and chemical composition. Int. J. Agric. Nat. Resour. 98-110. In small-scale dairy systems (SSDS), multispecies pastures and small-grain cereal silages have been shown to be a feasible option to cope with the possible effects of climate change, such as erratic rainfall patterns and temperature extremes. The objective of this study was to evaluate the agronomic variables and green forage and silage quality of a binary mixture of barley (*Hordeum vulgare*) and rye (*Secale cereale*) compared to a ternary mixture of barley, rye, and triticale (*X Triticosecale* Wittmack) in two zones (San Joaquín and Tixhiñú) in the Mexican central highlands. A complete randomized design with factorial arrangement was used with the two mixtures and two locations as factors. The binary crop showed a 13.3 cm greater height ($P < 0.05$) and forage production was similar

- **Resumen**

Abstract

S. Carrillo-Hernández, F. López-González, J. Velarde-Guillén, and C. M. Arriaga-Jordán. 2023. Small-grain forage mixtures for silage: Yield and botanical, morphological and chemical composition. Int. J. Agric. Nat. Resour. 98-110. In small-scale dairy systems (SSDS), multispecies pastures and small-grain cereal silages have been shown to be a feasible option to cope with the possible effects of climate change, such as erratic rainfall patterns and temperature extremes.

The objective of this study was to evaluate the agronomic variables and green forage and silage quality of a binary mixture of barley (*Hordeum vulgare*) and rye (*Secale cereale*) compared to a ternary mixture of barley, rye, and triticale (*X Triticosecale* Wittmack) in two zones (San Joaquín and Tixhiñú) in the Mexican central highlands. A complete randomized design with factorial arrangement was used with the two mixtures and two locations as factors. The binary crop showed a 13.3 cm greater height ($P < 0.05$), and forage production was similar between mixtures ($P > 0.05$). The ternary silage had 57.6 g kg⁻¹ DM less neutral detergent fiber, 68.1 g kg⁻¹ DM higher digestibility and higher metabolizable energy content and crude protein ($P < 0.05$). The binary mixture was dominated by rye, a species with a high proportion of stem (74.4%), which influenced the quality parameters. The inclusion of triticale favored the quality of the ternary mixture, and in general, barley performed poorly. The ternary mixture of small-grain cereals did not show major agronomic benefits but did show quality benefits, making silage from this mixture a viable option for use in SSDS.

VIII. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTO DOS

¿Cuál es el efecto de la fecha de corte en la composición botánica y química de ensilados de cultivos multi especie de cereales de grano pequeño?

¿Es el ensilado de cultivo multi especie de cereales de grano pequeño es una alternativa respecto al ensilado de maíz, para complementar la alimentación de vacas lecheras bajo pastoreo en términos de rendimiento productivo, económico y para disminuir las emisiones de metano en sistemas de producción de leche en pequeña escala?

IX. HIPÓTESIS EXPERIMENTO DOS

La época de corte no afecta la composición botánica y química de ensilados de cultivos multi- especie de cereales de grano pequeño

No existe diferencia entre la utilización de ensilados de cultivos multi- especie de cereales de grano pequeño y el ensilado de maíz, al incorporarlos como complemento al pastoreo en sistemas de producción de leche en pequeña escala en términos de rendimiento productivo, económico y de emisiones de metano.

X. OBJETIVOS EXPERIMENTO DOS

10.1. Objetivo general

Evaluar el uso de ensilados de cultivos multi- especie de cereales de grano pequeño en la alimentación de vacas lecheras en pastoreo en sistemas de producción de leche en pequeña escala durante época seca, en términos de rendimiento productivo, económico y de emisiones de metano.

10.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la fecha en ensilados de cultivos multi- especie de cebada (*Hordeum vulgare* – Cerro Prieto), centeno (*Secale cereale*- Criollo) y triticale (*X. Triticosecale Wittmack* Bicentenario) en términos de composición botánica y química.
- Evaluar el rendimiento, composición botánica y morfológica de cultivos multi- especie de cebada (*H. vulgare* – Cerro prieto), centeno (*S. cereale* cv criollo) y triticale (*X. T. Wittmack* cv Bicentenario).
- Determinar la composición química del forraje verde (antes de ensilar) y ensilado de cultivos multi-especie de cebada, centeno y triticale.
- Evaluar la respuesta productiva en cuanto a rendimiento y composición química de la leche, peso vivo, y condición corporal de vacas alimentadas con ensilado de cultivos multi-especie de cereales de grano pequeño como complemento al pastoreo de Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*).
- Estimar la producción de metano en las vacas alimentadas con los ensilados de cultivos multi-especie de cereales de grano pequeño.

- Realizar el análisis de costos de alimentación de la inclusión de los ensilados en la alimentación de vacas lecheras.

XI. MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTO DOS

11.1. Localización y desarrollo experimental

El trabajo se realizó con un enfoque de investigación participativa rural (Conroy, 2005), mediante experimentos en finca (Stroup et al.,1993) y contó con la participación de un productor de leche de pequeña escala de la localidad de la Concepción en el municipio de Aculco (20° 7'59" 99°53'17", 2383m).

A partir de muestras de los cultivos multi especie de cereales de grano pequeño establecidos en la unidad de producción del productor participante, se elaboraron ensilados de laboratorio en el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México (entre 19° 24' N y 99° 40' w, a una altitud de 2632 m).

11.2. Tratamientos

Los tratamientos para la evaluación animal fueron: T1- ensilado de la mezcla de centeno (*S.cereale* cv criollo) y cebada (*H. vulgare* cv Cerro prieto)- ECC, T2- ensilado de maíz (*Zea maíz*)-EMZ y T3-ensilado de la mezcla de centeno y triticale (*Triticosecale Wittmack*- Bicentenario)-ECT. Cada tratamiento incluyó 5 horas de pastoreo de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) y 3.6 kg MS de concentrado comercial por vaca al día.

Los tratamientos para los ensilados de laboratorio consistieron en tres mezclas (cebada+centeno-CBC, cebada+triticale- CBT y centeno + triticale, CET) cortadas en dos fechas de corte (60 días, D1 y 80 días, D2) para un total de seis tratamientos:

CBCD1, CBCD2, CBTD1, CBTD2, CETD1 y CETD2. se realizaron seis ensilados por tratamiento.

11.3. Pradera y ensilados

La pradera de kikuyo fue una pradera naturalizada de 2 ha invadida por esta especie y destinada a pastoreo continuo. Por disponibilidad de agua para riego, solo se realizó un riego en los primeros días del primer periodo experimental.

Los cultivos de cereales de grano pequeño se establecieron en mezclas de dos especies: cebada más centeno (CBC), cebada más triticale (CBT) y centeno más triticale (CET), sembradas en parcelas de 1 ha con una densidad de siembra de 140 kg de semilla/ ha (50% para cada especie de la mezcla) y se fertilizaron con 30 kg/ha de N, 60 kg/ ha de P₂O₅ y 60 kg/ha de K₂O al momento de la siembra y en la etapa de encañe se aplicaron 70 kg/ha de N.

El maíz fue un híbrido de temporal (H-50 variedad) sembrado acorde a las practicas del productor participante, quien uso una dosis de siembra para obtener 75000 plantas/ha y fertilizó con 45 kg/ha de N y 70 kg/ha de P₂O₅ a la siembra y 69 kg/ha de N al momento de la escarda.

De las tres mezclas sembradas se ensilaron las mezclas CBC y CET, debido a que la mezcla conformada por cebada y triticale (CBT) contenía una alta proporción de arvenses (70%). El maíz fue cortado a los 155 días post siembra en un estado fenológico de masa blanda (Z85) y los cultivos de cereales de grano pequeño fueron cortados a los 85 días, cuando el centeno y triticale se encontraban en etapa de leche media o tardía (Z75 a Z77) y cebada en masa blanda (Z85) (Zadoks y Konzak

1974). Los ensilados se realizaron en silos de tierra cubiertos con plástico calibre 600 y recubiertos con tierra de acuerdo con lo descrito por González-Alcántara et al. (2020).

Para la elaboración de los silos en el laboratorio el forraje se cortó de forma manual a 10 cm desde el suelo a los 60 y 80 días. Según la escala de Zadoks (1974) a los 60 días centeno y triticale se encontraban al final de la antesis (Z67 a Z69) y cebada en leche temprana (Z72 a Z74), a los 80 días centeno y triticale estaban en media leche (Z77) y BLY en masa blanda (Z85). Posterior al corte, el forraje fue picado a tamaño de partícula de 2.5 cm y compactado manualmente en bolsas de polietileno de 40 x 10 cm colocadas dentro de tubos de PVC de 50 x 10 cm con capacidad de 2.2 L, siguiendo el procedimiento descrito por Sainz- Ramírez et al. (2020). Después del llenado, se procedió al sellado y almacenamiento de los tubos y finalmente, los silos se abrieron a los 35 días.

11.4. Variables pradera y ensilados

11.4.1. Altura y acumulación neta de forraje de la pradera

La pradera fue nominalmente dividida en cuatro sub-parcelas que actuaron como replicas. La altura se registró con un medidor de placa comprimido y se tomaron 30 mediciones por subdivisión el último día de cada periodo experimental (Plata- Reyes et al. 2018). La acumulación neta de forraje (ANF) se determinó usando tres jaulas de exclusión (0.5x0.5x 0.70 m) por cada repetición, las cuales fueron rotadas al azar en cada periodo experimental. El corte del forraje se realizó con tijeras a nivel de suelo fuera de la jaula (día 0) y dentro de la jaula (día 12) y por diferencia se estimó

la acumulación neta de forraje expresando los resultados en kg MS/ha según lo descrito por Plata- Reyes et al. (2018).

11.4.2. Composición botánica

La composición botánica de la pradera se estimó a partir de muestras de forraje de 50g cortadas con tijeras a nivel del suelo en seis cuadrantes (0.4 × 0.4 m) lanzados al azar al final de cada periodo experimental (Vega-García et al. 2023). Los componentes botánicos de cada muestra se separaron manualmente y fueron clasificados según lo reporta Plata-Reyes et al. (2021). La composición botánica de los ensilados y ensilados de laboratorio se determinó a partir de 50g de muestra de los cultivos antes de ensilar (Vega-García et al. 2022).

11.4.3. Composición química de la pradera y ensilados

Al final de cada periodo experimental se tomaron muestras manuales de la pradera simulando el pastoreo y muestras de cada uno de los ensilados y el concentrado para la determinar su contenido de materia seca (MS) y su composición química en términos de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) siguiendo los procedimientos descritos por Celis-Álvarez et al. (2016). La energía metabolizable (ME) de los ensilados se estimó a partir de AFRC (1993) y la del concentrado y pradera según CSIRO (2007). La energía bruta para la estimación de las emisiones de metano se tomó de tablas de Fedepedia. El pH de los ensilados se midió con un pH electrodo con el procedimiento de González- Alcántara et al. (2020).

En los ensilados de laboratorio al momento de su apertura, se tomaron dos submuestras de la mezcla de forraje de tres profundidades (10, 20 y 30 cm). La primera fue para medir pH con un pH metro digital (pH/mV/ °C meter OAKLON ®), y la segunda muestra se usó para determinar el contenido de materia seca mediante secado a 58° C y posteriormente, se analizó su composición de las variables y con los procedimientos anteriormente descritos.

11.5. Variables de respuesta animal

El rendimiento de leche por animal fue medido durante los últimos tres días de cada periodo experimental con una balanza con capacidad de 20 kg, utilizando el valor medio para el análisis. En los dos ordeños de cada día se tomaron muestras de leche por animal y después de formar una alícuota de 100 ml se les determinó su concentración de grasa, proteína y lactosa con un ultrasound milk analyser y se analizó su contenido de nitrógeno ureico en leche (NUL) mediante el método colorimétrico enzimático descrito por Chaney y Marbach (1962).

Las vacas fueron pesadas al inicio y final de cada periodo experimental con una balanza electrónica portátil y la condición corporal se registró en una escala de 1-5 (Gonzalez-Alcantará et al.2020).

La leche corregida en energía y proteína (LCEP) fue calculada de acuerdo con Niu et al. (2018): $LCEP (kg/day) = 12.95 \times \text{grasa en leche (kg/día)} + 7.65 \times \text{proteína en leche (kg/día)} + 0.327 \times \text{rendimiento de leche (kg/día)}$.

El consumo de materia seca (CMS) de los ensilados se estimó mediante la diferencia entre el forraje ofrecido y el rechazado (Gómez-Miranda et al. 2023) y el

consumo de forraje de pradera y el total de materia seca consumida fueron estimados indirectamente por el método de energía metabolizable utilizada (Hernández-Mendo y Leaver 2006).

11.6. Emisiones de metano entérico

Las emisiones de metano por fermentación entérica se estimaron a partir de la ecuación desarrollada para América latina y el Caribe a nivel de finca por congio et al. (2022):

$$\text{Producción de CH}_4 \text{ (g/vaca/día)} = 30.6 + 16.3 \times \text{CMS} + 2.04 \times \text{LCEP}$$

$$\text{Rendimiento de CH}_4 \text{ (g/kg CMS)} = \text{CH}_4 \text{ (g/vaca/día)} \div \text{CMS (kg/vaca/día)}$$

$$\text{Factor de conversión de CH}_4 \text{ (Ym)} = \text{CH}_4 \text{ (g vaca/día)} \times 0.05565 \div \text{CEB (MJ vaca/día)} \times 100$$

$$\text{Consumo de energía bruta (CEB)} = \text{CMS (kg)} \times \text{energía bruta (MJ kg/DM)].}$$

11.7. Análisis económico

Se utilizó la metodología de presupuestos parciales que considera los costos de alimentación incluyendo costos de ensilado, producción de forraje, mantenimiento de pradera y los ingresos por venta de leche (Vega-García et al. 2023).

11.8. Diseño experimental y análisis estadístico

Los diferentes análisis estadísticos se realizaron en el software SPSS vs 2021 y cuando fue posible se realizó la prueba de Tukey para comparación de medias entre tratamientos.

11.8.1. Evaluación pradera

La acumulación neta de forraje, la altura y la composición botánica de la pradera fueron analizadas bajo un diseño completamente al azar (Kaps and Lamberson 2004), con los periodos experimentales como tratamientos (Vega-García et al. 2023) y cuatro divisiones nominales que actuaron como replicas. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y = \mu + P_i + R_k e_{ij}$$

Donde μ , es la media general, P_i es el efecto debido al periodo ($i, 1,2,3$), R_k es el efecto debido a la repetición ($k=1,2,3,4$) y e_{ij} , es el término del error residual.

11.8.2. Ensilados de laboratorio

La evaluación de los ensilados de laboratorio se realizó bajo un diseño factorial 3X2 con los tres cultivos (CBC, CBT y CET) y las dos fechas de corte (D1 y D2) como factores, aplicando el procedimiento de modelo lineal general usando el modelo factorial:

$$Y_{ijk} = \mu + r_i + Mx_j + Hd_k + Mx*Hd_{jk} + e_{ij.D}$$

Donde Y_{ij} = variable de respuesta, μ = media general, r_i = efecto debido a las repeticiones ($i=1,2,3,4,5,6$), Mx_j = efecto debido a la mezcla ($j=1,2,3$), HD_k = efecto debido a la fecha de corte ($k=1,2$), $Mx*HD$ = efecto debido a la interacción entre la mezcla y la fecha de corte y e_{ijk} = error residual.

11.8.3. Evaluación de respuesta animal

Nueve vacas Holstein con 500 ± 54.8 kg de peso vivo (PV), 160 ± 74.6 días en leche y rendimiento de leche (PL) de 13.6 ± 3.37 kg, fueron evaluadas bajo un diseño de cuadro latino 3x3 replicado tres veces con periodos experimentales de 12 días

(Miguel et al. 2014). Las vacas se agruparon en tres grupos de acuerdo al rendimiento de leche pre- experimental y fueron asignadas al azar a los tratamientos previamente aleatorizados en el cuadro 1, asignadas en espejo en el cuadro 2 y aleatorizados nuevamente en el cuadro 3 (Tabla 2), lo que permite controlar la variabilidad entre los animales para reducir los efectos carry-over (Celis-Álvarez et al. 2016). Experimentos de cuadro latino con un número limitado de vacas y periodos cortos para la evaluación de la alimentación y nutrición de estas, están validados y aceptados en la literatura (Miguel et al.2019; Ribeiro-Filho et al. 2021). Las vacas pastorearon después del ordeño de la mañana y tuvieron acceso libre al agua. Los ensilados y el concentrado comercial se ofrecieron en corral al momento del ordeño (0500 y 1700 horas). Las vacas fueron manejadas según los lineamientos de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Las variables animales, consumo de alimento, composición de la dieta consumida y las emisiones de metano se analizaron bajo procedimiento mixto. El modelo estadístico incluyó los tratamientos y periodos experimentales como efectos fijos y los cuadros y las vacas anidadas dentro del cuadro como efectos aleatorios (Benchaar et al. 2014):

$$Y_{ijk} = \mu + S_h + S(C_i) + P_j + T_k + e_{ijk},$$

donde Y_{ijk} = variable dependiente, μ = media, S_h = efecto debido al cuadro ($h=3$), $S(C_i)$ = efecto aleatorio de la vaca dentro del cuadro ($i=9$), P_j = efecto fijo del periodo ($j = 1-4$), T_k = efecto fijo del tratamiento.

Table 2. Distribución de vacas y tratamientos en cada cuadro

Cuadro 1			
Periodo	P1	P2	P3
Vaca			
38	T3	T1	T2
5943	T2	T3	T1
6966	T1	T2	T3

Cuadro 2			
Periodo	P1	P2	P3
Vaca			
3025	T2	T1	T3
40	T1	T3	T2
3031	T3	T2	T1

Cuadro 3			
Periodo	P1	P2	P3
Vaca			
5935	T1	T3	T2
3030	T3	T2	T1
39	T2	T1	T3

T1, ensilado centeno más cebada; T2, ensilado de maíz; T3, ensilado centeno más triticale.

XII. RESULTADOS EXPERIMENTO DOS

12.1. Artículo enviado

Se presenta la carta de recepción, captura en primera página y resumen (abstract) de un tercer artículo titulado “Effect of harvest date on botanical, morphological, and nutritional composition of mixed crops of small-grain cereals for silage”, enviado a la revista Agro Productividad.

- Carta de recepción

De: Dr. Jorge Cadena Iñiguez <agroproductividadeditor@gmail.com>
Enviado el: lunes, 18 de septiembre de 2023 05:36 p. m.
Para: Carlos Manuel Arriaga Jordan <cmarriagaj@uaemex.mx>
Asunto: [AgroP] Acuse de recibo del envío

Carlos Manuel Arriaga-Jordán:

Gracias por enviar el manuscrito "Effect of harvest date on botanical, morphological, and nutritional composition of mixed crops of small-grain cereals for silage" a Agro Productividad. Con el sistema de gestión de publicaciones en línea que utilizamos podrá seguir el progreso a través del proceso editorial tras iniciar sesión en el sitio web de la publicación:

URL del manuscrito: <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/authorDashboard/submission/2689>
Nombre de usuario/a: cmarriagajordan

Si tiene alguna duda puede ponerse en contacto conmigo. Gracias por elegir esta editorial para mostrar su trabajo

Dr. Jorge Cadena Iñiguez

[Agro Productividad](#)

- Captura en primera página



Artículo científico

Effect of harvest date on botanical, morphological, and nutritional composition of mixed crops of small-grain cereals for silage

Carrillo-Hernández, Sirley.¹ ; Álvarez- García, Cloe. D.¹ ; Velarde-Guillén, José.¹ ; López-González, F.¹ ; Arriaga-Jordán, Carlos M.¹

Citation: Apellido-

Apellido, N., Apellido-

Apellido, N., Apellido-

Apellido, N., & Apellido-

Apellido, N., (2022). Tí-

tulo del artículo. *Agro*

Productividad

<https://doi.org/10.32854/xx>

xx

Academic Editors: Jorge

Cadena

Iniguez and Libia Iris

Trejo Tellez

ABSTRACT

Objective: To evaluate the effect of harvest date on the botanical, morphological and nutritional composition of silage from small grain cereal mixtures.

Design/methodology/approach: Laboratory silages of three crops of small grain cereal mixtures (BR, barley + rye; BT, barley + triticale and RT, rye + triticale) were made on two harvest dates (HD1, 60 days and HD2, 80 days post-sowing). Statistical analysis was performed under a 3x2 factorial model

- Resumen

Abstract

Objective: To evaluate the effect of harvest date on the botanical, morphological and nutritional composition of silage from small grain cereal mixtures.

Design/methodology/approach: Laboratory silages of three crops of small grain cereal mixtures (BR, barley + rye; BT, barley + triticale and RT, rye + triticale) were made on two harvest dates (HD1, 60 days and HD2, 80 days post-sowing).

Statistical analysis was performed under a 3x2 factorial model, and the variables were botanical, morphological and nutritional composition. **Results:** The proportion of cereal decreased from HD1 to HD2 ($p < 0.05$). Spikes and stems in barley and triticale increased in HD2. Rye had a high proportion of stems on both dates. Crude

protein (CP) decreased and neutral detergent and acid detergent fiber increased in HD2 ($p < 0.05$). The variables pH, dry matter content, digestibility and metabolizable energy were affected by the interaction between harvest date and mixture ($p < 0.05$). RT quality had less variation between HD1 and HD2 and BT had more CP, less fiber and presented higher digestibility and energy content ($p < 0.05$). **Limitations on study/implications:** Knowing the characteristics of a cereal mixture depending on the harvest date can help in making decisions for the production of quality silage. **Findings/conclusions:** Harvest date has an effect on the proportion of components in small grain cereal mixtures for silage, on their morphological and nutritional composition; effect that depend to the cereal species in the mix. **Keywords.** *Hordeum vulgare*; *Secale cereale*; *Triticosecale Wittmack*; forage mixture; silage

12.1. Artículo enviado

Se presenta comprobante de envío, captura en primera página y resumen de un cuarto artículo titulado “Mixed cereal silage as a forage complement to Kikuyu grass grazing for small-scale dairy systems in the dry season”, el cual se envió a la revista Tropical Animal Health and Production.

- **Comprobante de envío.**

Tropical Animal Health and Production
Mixed cereal silage as a forage complement to Kikuyu grass grazing for small-scale dairy systems in the dry season
--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	TROP-D-24-00177
Full Title:	Mixed cereal silage as a forage complement to Kikuyu grass grazing for small-scale dairy systems in the dry season
Article Type:	Dairy Science and Health in the Tropics and the Mediterranean
Keywords:	Grazing; Cenchrus clandestinus; Horedeum vulgare; Secale cereale; Triticosecale; silage; Methane emission
Corresponding Author:	Carlos M. Arriaga-Jordan, Ph.D. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, Estado de Mexico MEXICO
Corresponding Author Secondary Information:	
Corresponding Author's Institution:	Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México
Corresponding Author's Secondary Institution:	
First Author:	Sirley Carrillo-Hernández, Master of Science
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Sirley Carrillo-Hernández, Master of Science José Velarde-Guillén, Ph.D.

 em.trop.0.88fc5e.c6da506b@editorialmanager.com en nombre de Tropical Animal Health and Producti...
Para: Sirley Carrillo Hernandez Vie 26/01/2024 15:31

Submission ID: TROP-D-24-00177

Re: "Mixed cereal silage as a forage complement to Kikuyu grass grazing for small-scale dairy systems in the dry season"

Full author list: Sirley Carrillo-Hernández; José Velarde-Guillén; Felipe López-González; Carlos M. Arriaga-Jordan

Dear Ms Carrillo-Hernández,

We have received the submission entitled: "Mixed cereal silage as a forage complement to Kikuyu grass grazing for small-scale dairy systems in the dry season" for possible publication in Tropical Animal Health and Production, and you are listed as one of the co-authors.

The manuscript has been submitted to the journal by Dr. Dr. Carlos M. Arriaga-Jordan who will be able to track the status of the paper through his/her login.

If you have any objections, please contact the editorial office as soon as possible. If we do not hear back from you, we will assume you agree with your co-authorship.

Thank you very much.

With kind regards,

Springer Journals Editorial Office
Tropical Animal Health and Production

- **Captura en primera página**

1 **Mixed cereal silage as a forage complement to Kikuyu grass grazing for small-**
2 **scale dairy systems in the dry season**

3 Sirley Carrillo-Hernández  ; José Velarde-Guillén  ; Felipe López-González  ;
4 Carlos Manuel Arriaga-Jordán 

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

8

9 Authors' ORCID:

10 Sirley Carrillo-Hernández: 0000-0002-3804-9139

11 José Velarde-Guillén: 0000-0003-0801-5226

12 Felipe López-González: 0000-0001-7769-3755]

- **Resumen**

Abstract

Small scale dairy systems (SSDS) require feeding alternatives that increase their productivity, with low environmental impact and economically viable. The objective was to evaluate the inclusion of small grain cereal silage mixtures of rye plus barley (T1) and rye plus triticale (T3), compared to maize silage (T2) as a complement to Kikuyu grazing in the dry season. Nine Holstein cows were evaluated under a repeated 3x3 latin square design with 12-day periods. The agronomic variables of the pasture, the productive response of the animals, the composition of feeds, feeding costs and estimated methane emissions were considered. There were no differences in animal variables among treatment ($P > 0.05$). In periods (P) 1 and 2

more milk was produced ($P < 0.05$). Total matter intake did not vary between treatments, and consequently methane emissions were similar ($P > 0.05$). The highest emissions corresponded to the highest intake in P2 and P3 ($P < 0.05$), and the emission intensity was 9.4% higher in P3 ($P < 0.05$), due to its lower milk production. The inclusion of maize silage reduced gross energy lost as methane and in turn, reduced total feed costs by 6 and 16% with respect to T1 and T3, increasing profit margins. The inclusion of small grain cereal mixture silages can be an alternative to supplement the grazing of cows in advanced lactation generating yields and methane emissions similar to maize silage in SSDS during the dry season. Considering the feeding costs, it is an alternative for when conditions for producing maize silage are not suitable.

Key words: Grazing; *Cenchrus clandestinus*; *Hordeum vulgare*; *Secale cereale*; *Triticosecale*; silage; Methane emission.

XIII. PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS

Producto del trabajo realizado se presentaron dos ponencias cortas en la XXVII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal en Zacatecas México y una ponencia corta en la reunión científica pecuaria del INIFAP en Chihuahua México.

13.1. Constancias XLVIII Reunión científica de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria- AMPA 2023

- Ensilado de cultivos multi-especie de cereales de grano pequeño en sistemas de producción de leche en pequeña escala.



- Ensilado De Mezcla De Cereales De Grano Pequeño En La Alimentación De Vacas Lecheras En Sistemas De Producción De Leche En Pequeña Escala

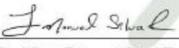


A: SIRLEY CARRILLO-HERNÁNDEZ, JOSÉ VELARDE-GUILLEN, FELIPE LÓPEZ-GONZÁLEZ Y CARLOS MANUEL ARRIAGA-JORDÁN.

Por su valiosa participación en la presentación del trabajo en modalidad Oral:
Ensilado de mezcla de cereales de grano pequeño en la alimentación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala

durante la XLVIII Reunión Científica de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria A.C., y la XXVII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal, llevada a cabo en las instalaciones del Palacio de Convenciones del Estado de Zacatecas, con un valor curricular de 10 hrs.

Zacatecas, Zac., 28 de Abril de 2023


Dr. José Manuel Silva Ramos
Director UAMVZ


M. Sr. Abelardo Conde Pulgarín
Presidente ALPA


Dr. José Horacio Camacho
Presidente AMPA

13.2. Constancia Reunión científica pecuaria del INIFAP

- Desempeño productivo de vacas lecheras alimentadas con ensilados de mezclas de cereales de grano pequeño en sistemas en pequeña escala.



**20 REUNIONES
23 científicas**
REUNIONES NACIONALES DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN
PECUARIA, AGRÍCOLA, FORESTAL Y ACUÍCOLA PESQUERA

OTORGA LA PRESENTE

CONSTANCIA

A

SIRLEY CARRILLO HERNÁNDEZ, FELIPE LÓPEZ GONZÁLEZ, JOSÉ VELARDE GUILLÉN, CARLOS MANUEL ARRIAGA JORDÁN

Por su participación con el trabajo denominado:
" DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE VACAS LECHERAS ALIMENTADAS CON ENSILADOS DE MEZCLAS DE CEREALES DE GRANO PEQUEÑO EN SISTEMAS EN PEQUEÑA ESCALA "



DR. LUIS ÁNGEL RODRÍGUEZ DEL BOSQUE
Vicepresidente del Comité Organizador

CHIHUAHUA, 08 - 11 DE NOVIEMBRE DE 2023
Ciencia para vivir



XIV. CONCLUSIONES GENERALES

El cultivo ternario de cebada, centeno más triticale, no mostró beneficios agronómicos, pero sí de calidad respecto a la mezcla binaria de centeno y cebada; efectos atribuidos a la proporción de cada especie y a la calidad intrínseca de cada una, no al número de especies dentro de la mezcla. En este sentido la incorporación de triticale como tercera especie no incrementó el rendimiento de forraje, pero mejoró la calidad del cultivo y del ensilado con un posterior efecto en los parámetros productivos de los animales alimentados con este.

La inclusión del ensilado ternario de cebada, centeno y triticale, incorporado a la estrategia de manejo convencional en los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) del Altiplano Central mexicano, es una alternativa viable, manteniendo rendimientos de leche y un margen de ganancia altos para estos sistemas.

La fecha de corte tiene efecto en la proporción de los componentes de las mezclas de cereales de grano pequeño y en la composición morfológica y nutricional de estas; efectos que dependen de las especies que las conforman, siendo la mezcla compuesta por centeno y triticale la más estable entre fechas de corte y la compuesta por cebada y triticale la de la calidad superior. Resultados que pueden favorecer a la toma de decisiones respecto al tiempo de aprovechamiento del cultivo y a la selección de especies para las diferentes unidades de producción.

A través de rendimientos de leche y emisiones de metano similares a los obtenidos con el uso de ensilado de maíz, el ensilado de la mezcla de cereales de grano pequeño, puede ser una alternativa de alimentación durante época seca, como complemento al pastoreo de vacas en estado de lactación avanzada en los SPLPE de la región de estudio. Al considerar los costos de alimentación debido a un menor margen de ganancia con estos ensilados, se recomiendan cuando las condiciones para el establecimiento del cultivo de maíz no sean idóneas.

La cebada bajo condiciones de suelos de baja calidad en términos de fertilidad y textura y condiciones climáticas extremas no representa una opción para incorporarse en las mezclas de cereales de grano pequeño. El triticale y centeno demostraron mayor adaptación, el primero a su vez mostró mejorar la calidad y el segundo mejores características de rendimiento, siendo un cereal dominante y el de mejor percepción por parte de los productores, por lo que la mezcla de estas dos especies es la indicada para los sistemas de producción con características similares a las de la región de estudio.

XV. REFERENCIAS

AFRC (Agriculture and Food Research Council). (1993). Animal and food research council. Energy and protein requirements of ruminants, (CAB International, Wallingford).

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1990). Official methods of analysis (15th edn). Helrick K (ed.). Washington, DC: AOAC.

Albarrán-Portillo, B., Rebollar-Rebollar, S; García- Martínez, A., Rojo-Rubio, R., Aviles-Nova, F. and Arriaga-Jordán, C.M. (2015). Socioeconomic and productive characterization of dual-purpose farms oriented to milk production in a subtropical region of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 47:519–523. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0753-8>

Alfonso-Ávila, Á. 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(3): 637–644. doi:10.1007/s11250-011-9947-5

Ankom (2005). Procedures (for NDF, ADF and in vitro Digestibility). Ankom Technology Method. <http://www.ankom.com>. Consultado, abril 2021.

Bargo, F., Muller, L.D., Kolver, E.S. and Delahoy, J.E. (2003). Invited Review: Production and Digestion of Supplemented Dairy Cows on Pasture. *Journal of Dairy Science*, 86:1–42. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73581-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73581-4)

Baron, V.S., Juskiw, P.E. & Aljarrah, M. (2015). Triticale as a Forage. Pages 189-212 in F. Eudes, eds. *Triticale*. Springer Int. Publishing, New York, USA. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22551-7_10

Beauchemin, K.A., McAllister, T.A. and McGinn, S. M. (2009). Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 4 (035): 18. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20094035>

Beauchemin, K.A., Ungerfeld, E. M., Eckard, R. J. and Wang. M. (2020). Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal*, 14(1): 2–1. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>

Benaouda, M., González, M., Molina, L.T. y Castelán, O.A. (2017). Estado de la investigación sobre emisiones de metano entérico y estrategias de mitigación en América Latina. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8: 965-974.

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: 961–974. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7122>

Bennett, A., Lhoste, F., Crook, J. y Phelan, J. (2006). Futuro de la producción lechera en pequeña escala. En: FAO. Informe pecuario 2006. FAO, Roma. Pág. 1-8.

Bernardes, T. F., Daniel, J. L. P., Adesogan, A. T., McAllister, T. A., Drouin, P., Nussio, L. G., Huhtanen, P., Tremblay, G.F., Bélanger, G. and Cai, Y. (2018). Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 4001–4019. DOI:10.3168/jds.2017-13703

Bonilla, J.A. y Lemus, C. (2012). Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 3(2): 215-243.

Buxton, D. R and O’Kiely, P. (2003). Preharvest Plant Factors Affecting Ensiling. Pages 189-250 in D.R. Buxton, R.E. Muck, and J.H. Harrison, eds. *Silage science and technology*. Agronomy Monograph 42. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.

Castelán- Ortega, O.A., Ku-Vera, J.C. et al. (2019). Ganadería. En: Paz-Pellat, F., J. M. Hernández-Ayón, R. Sosa-Ávalos y A. S. Velázquez-Rodríguez. (Editores). 2019. *Estado del Ciclo del Carbono: Agenda Azul y Verde*. Programa Mexicano del Carbono. Texcoco, Estado de México, México. 716 p.

Castro, N., Rufach, H., Capellino, F., Domínguez, R. y Paccapelo, H. (2011). Evaluación del rendimiento de forraje y grano de triticales y tricepiros. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*, 37 (3): 281 - 289.

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*, 48:1129–1134. DOI. [10.1007/s11250-016-1063-0](https://doi.org/10.1007/s11250-016-1063-0)

Chaney, A.L. and Marbach, E.P. (1962). Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry*, 8: 130-132.

Congio, G.F.S., Bannink, A., Olga L. Mayorga, O.L., Rodrigues, J.P.P., Bougouin, A., Kebreab., Silva, R.R., Maurício, R.M., da Silva S. C., Oliveira, P.P.A., Muñoz, C, Pereira, L.G.R., Gómez, C., Ariza-Nieto, C., Ribeiro-Filho, H.M.N., Castelán-Ortega, O.A., Rosero-Noguera, J.R., Maria, Tieri, M.P., Rodrigues, P.H.M., Marcondes, M.I., Astigarraga, L., Abarca, S. and Hristov, A.N., 2020. Prediction of enteric methane production and yield in dairy cattle using a Latin America and Caribbean database, *Science of The Total Environment*, 825:153982. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153982>

Conroy C. (2005). *Participatory livestock research*. Bourton-on- Dunsmore: ITDG Publishing.

CSIRO., 2007. *Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants*. In M. Freer, H. Dove and J.V. Nolan, eds, Canberra: CSIRO publishing, 1-67.

Dall-Orsoletta, A. C., Oziembowski, M. M., Berndt, A. and Ribeiro-Filho, H. M. N. (2019). Enteric methane emission from grazing dairy cows receiving corn silage or ground corn supplementation, *Animal Feed Science and Technology*, 253: 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.05.009>

Dangal, S. R. S., Tian, H., Zhang, B., Pan, S., Lu, C. and Yang, J. (2013). Methane emission from global livestock sector during 1890–2014: magnitude, trends and spatio-temporal patterns. *Global Change Biology*, 23: 4147–4161. <https://doi.org/10.1111/gcb.13709>

Danielsson, R., Mohammad, R., Jan, B., Peter, L. and Pekka, H. (2017). Evaluation of a gas in vitro system for predicting methane production in vivo. *Journal of Dairy Science*, 100:8881–8894. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12675>

Dunière, L., Sindou, J., Chaucheyras-Durand, F., Chevallier, I. and Thevenot-Sergent D. (2013). Silage processing and strategies to prevent persistence of undesirable microorganisms. *Animal Feed Science and Technology*, 182: 1- 15. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.04.006>

Espinoza-Ortega, A., Espinosa-Ayala, E., Bastida-López, J., Castañeda-Martínez, T. and Arriaga-Jordán C. (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.

Fadul-Pacheco, L., Wattiaux, M.A., Espinoza-Ortega, A., Sánchez-Vera, E. and Arriaga-Jordán, C.M. (2013). Evaluation of sustainability of smallholder dairy

production systems in the highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37: 882–901. DOI. [10.1080/21683565.2013.775990](https://doi.org/10.1080/21683565.2013.775990)

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). Producción lechera. <https://www.fao.org/dairy-production-products/production/production-systems/es/>. Consultado, diciembre 2023.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2010): Status and prospects for smallholder milk production a global perspective, (FAO, Rome, Italy)

García, S.C., Islam, M.R, Clark C.E.F. and Martin, P.M. (2014). Kikuyu-based pasture for dairy production: a review. *Crop Pasture Science*, 65: 787–97. <https://doi.org/10.1071/CP13414>

Gerber, P., Vellinga, T., Opio, C. and Steinfeld, H. (2011). Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems, *Livestock Science*, 139, 100-108. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.012>.

Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J. and Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

González-Alcántara, F. de J., Estrada-Flores, J. G., Morales-Almaraz, E., López-González, F., Gómez-Miranda, Aida., Vega-García, J.I. and Arriaga-Jordán, CM. (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*, 52:1903–1910. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02206-9>.

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. <https://doi.org/10.1139/cjas-2018-0237>

Gómez-Miranda, A., Arriaga-Jordán, C.M., Vieyra-Alberto, R., Castro-Montoya, J.M. and López-González, F., (2023). Evaluation of weed silage in dairy cattle feeding in small-scale dairy systems, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26:(074).

GRDC (2018). Grains Research & Development Corporation, Cereal Rye Plant Growth and Physiology. Disponible en https://grdc.com.au/_data/assets/pdf_file/0030/369336/GrowNote-Cereal-Rye-North-4-Physiology.pdf (Consultado en junio de 2023).

Grossi, G., Goglio, P., Vitali, A. and Williams, A. G. (2018). Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Animal Frontiers*, 9(1): 69–76. <https://doi.org/10.1093/af/vfy034>

Harper, M.T., Oh, J., Giallongo, F., Roth, G. W. and Hristov, A.N. (2017). Inclusion of wheat and triticale silage in the diet of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100:6151–6163. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12553>

Hernández-Mendo, O. 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 maize silage and soyabeanmeal diet fed indoors, *Grass and Forage Science*, 61: 335-346. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2006.00540.x>

Hristov, A.N., Oh, J., Firkins, L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H.P.S., Adesogan, T., Yang, W., Lee, C., Gerber, P.J., Henderson, B., Tricarico, J.M. (2013). Special Topics. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91: 5045–5069. DOI: [10.2527/jas.2013-6583](https://doi.org/10.2527/jas.2013-6583)

Horst, E.H., Neumann, M., Mareze, J., Leão, G. F. M., Bumbieris Junior, V. H. & Mendes, M. C. (2018). Nutritional composition of pre-dried silage of different winter cereals. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 40(1), 42500. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.42500>

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). Encuesta nacional agropecuaria. <http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/proyectos/encagro/ena/2014/doc/minimonografia/prodbovena14.pdf>

INE-SEMARNAT. (2018). Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología (INE), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). D.F. México

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Ishida, Y., Hiei, Y., & Komari, T. (2019). High-Efficiency Transformation Techniques. Applications of Genetic and Genomic Research in Cereals, 97–120. DOI:10.1016/b978-0-08-102163-7.00005-3

Johnson, K.A., Johnson, D.E. (1995). Methane emissions from cattle. Journal Animal Science, 73: 2483–2492.

Juskiw, P.E., Helm, J.H. & Salmon, D.F. (2000a). Forage yield and quality for monocrops and mixtures of small grain cereals. Crop Science, 40, 138-147. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.401138x>

Juskiw P.E., Helm J.H. & Salmon D.F. (2000b). Postheading biomass distribution for monocrops and mixtures of small grain cereals. Crop Science, 40, 148-158. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.401148x>

Kaut, A.H.E.E., Mason, H.E., Navabi, A., O'Donovan, J.T. & Spaner, D. (2008) Organic and conventional management of mixtures of wheat and spring cereals.

Agronomy for Sustainable Development, 28: 363-371.
<https://doi.org/10.1051/agro:2008017>

Kaps M and Lamberson W. 2004. Change-over designs. Chapter 14. In: M. Kaps and W. Lamberson (eds), *Biostatistics for Animal Science*, Cromwell Press, Trowbridge, UK. 294 – 312.

Kennelly, J.J., and Weinberg, Z.G. (2003). Small grain silage. Pages 749–779 in D.R. Buxton, R.E. Muck, and J.H. Harrison, eds. *Silage science and technology*. Agronomy Monograph 42. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.

Knapp, J. R., Laur, G. L., Vadas, P. A., Weiss, W. P. and Tricarico, J. M. (2014). Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*, 97(6): 3231–3261. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>

Khosravi, M., Y. Rouzbehan, Y., Rezaei, M. and Rezaei, J. 2018. Total replacement of corn silage with sorghum silage improves milk fatty acid profile and antioxidant capacity of Holstein dairy cows, *Journal of Dairy Science*, 101:10953–10961. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14350>

Marais, J.P., 2001. Factors affecting the nutritive value of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*)—a review, *Tropical Grasslands*, 35: 65–84.

Marín-Santana, M.N., López-González, F., Hernández-Mendo, O. and Arriaga-Jordán, CM., 2020. Kikuyu pastures associated with tall fescue grazed in autumn in

small-scale dairy systems in the highlands of Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, 52:1919-1926. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02216-7>

Martínez-García, C., Rayas-Amor, A., Anaya-Ortega, J.P., Martínez-Castañeda, F.E., Espinoza-Ortega, A., Prospero-Bernal, F. and Arriaga-Jordan, 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: 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>

Martínez-Fernández, A., Argamentería-Gutiérrez, A. and De la Roza- Delgado, B. (2014). Manejo de forrajes para ensilar. (Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA) (Asturias, Villaviciosa, Spain).

Mendoza-Elos, M., Cortez-Baheza, E., Rivera-Reyes, J.E., Rangel-Lucio, J.A., Andrio-Enríquez, E. y Cervantes-Ortiz, F. (2011). Época y densidad de siembra en la producción y calidad de semilla de triticale (X *Triticosecale* Wittmack). *Agronomía Mesoamericana*, 22 (2): 309 - 316.

Miguel, M.F., Ribeiro-Filho, H.M.N., de Andrade, E.A., Moraes, 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: 1810-1816. <https://doi.org/10.1071/AN14382>

Miguel, M. F., Delagarde, R. and Ribeiro-Filho, H. M. N., 2019. Corn silage supplementation for dairy cows grazing annual ryegrass at two pasture allowances, *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 71(3): 1037–1046. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9795>

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 (113): 1573-7438 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02564-y>.

Newton, A., Flavel, A., George, T., Leat, P., Mullholland, B., Ramsay, L., Revoredo-Giha, C., Russel-Steffenson, B., Swanston, J., Thomas, W., Waugh, R., White, P. and Bingham, I. (2011). Crops that feed the world 4. Barley: a resilient crop? Strengths and weaknesses in the context of food security. *Food Security*, 3: 141-178.

Newel, M.A and Butler, T.J. (2013). Forage Rye Improvement in the Southern United States: A Review. *ccrop Science*. 53:38-47. <https://doi.org/10.2135/cropsci2012.05.0319>

Nikkhah, A. (2013). Barley Forages for Modern Global Ruminant Agriculture: A Review. *Russian Agricultural Sciences* 39: 206 - 213.

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: 3368–3389. <https://doi.org/10.1111/gcb.14094>

OCLA, Observatorio de la cadena láctea Argentina (2023): Lechería Mundial - Principales Aspectos. <https://ocla.org.ar/portafolio/8/> consultado, diciembre 2023.

O’Neill, B.F., Deighton, M.H., O’Loughlin, B.M., Mulligan, F. J., Boland, T.M., O’Donovan, M. and Lewis, E. (2011). Effects of a perennial ryegrass diet or total mixed ration diet offered to spring-calving Holstein-Friesian dairy cows on methane emissions, dry matter intake, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 94:1941–1951.

Peyraud, J.L. and Delagarde, R., 2013. Managing variations in dairy cow nutrient supply under grazing, *Animal*, 7, 57–67. DOI:[10.1017/S1751731111002394](https://doi.org/10.1017/S1751731111002394)

Pincay-Figueroa, P.E., López-González, F., Velarde- Guillén, J., Heredia-Nava, D., Martínez-Castañeda, F., Vicente, F., Martínez-Fernández, A. and Arriaga-Jordán, C. M. (2016). Cut and carry vs. grazing of cultivated pastures in small scale

dairy systems in the central highlands of Mexico. *Journal of Agriculture and Environment for International*, 110 (2): 349-363.

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: 1797–1805. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1621-8>

Plata-Reyes, D.A., Hernández-Mendo, O., Vieyra-Alberto, R., Albarrán-Portillo, B., Martínez- García, C.G. and Arriaga- Jordán, C.M. (2021). Kikuyu grass in winter-spring time in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico in terms of cow performance and fatty acid profile of milk, *Tropical Animal Health and Production*, 53(2), 225. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02672-9>

Piltz, J.W.; Rodham, C.A. (2022). Effect of Sowing Rate and Maturity on the Yield and Nutritive Value of Triticale–Field Pea Forage Crops. *Sustainability*, 14:3637. <https://doi.org/10.3390/su14063637>

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 Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 491, 537-1544. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1360-2>

Próspero-Berani, F., Salas, I.G., Fadul-Pacheco, L., Heredia-Nava, D., Albarran-Portillo, B. and Arriaga-Jordan, C.M. (2015). Evaluación de la sustentabilidad de los sistemas de producción de leche en pequeña escala en dos zonas agroecológicas contrastantes del centro de México. En Cavallotti, B.A., Ramirez, B., Cesin, A. and Ramirez, J. En Estudios socioeconómicos y ambientales de la ganadería (pags.139-153). México.

Ribeiro-Filho, H. M. N., Dall-Orsoletta, A. C., Mendes, D., & Delagarde, R. (2021). Dry matter intake and milk production of grazing dairy cows supplemented with corn silage or a total mixed ration offered ad libitum in a subtropical area, *Animal Science Journal*, 92(1). <https://doi.org/10.1111/asj.13558>

Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Abouali, M., Daneshvar, F., Al Masraf, S. A. D., Herman, M. R., Zhang, Z. (2017a). Pasture diversification to combat climate change impacts on grazing dairy production. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 23(3): 405–431. <https://doi.org/10.1007/s11027-017-9740-5>

Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Harrigan, T. and Woznicki, S. A. (2017b). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, 16:145–163. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>

Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Esmaeili, A., Hosseini, M.B., and Hashemi, M. (2013) Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid conditions: additive series. *Field Crops Research*, 148: 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.03.021>

Sainz-Ramírez, A., Botana, A., Pereira-Crespo, S., González-González, L., Veiga, M., César, R., Valladares, J., Arriaga-Jordán, C.M., & Flores-Calvete G. (2020). Efecto de la fecha de corte y del uso de aditivos en la composición química y calidad fermentativa de ensilado de girasol. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(3):620-637. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i3.5092>.

Sainz-Sanchez, P.A., López-Gonzalez, F., Estrada-Flores, J.G., Martínez-García, C.G. and Arriaga-Jordán, C.M. (2017). Effect of stocking rate and supplementation on performance of dairy cows grazing native grassland in small-scale systems in the highlands of central México. *Tropical Animal Health and Production*, 49:179–186. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1178-3>

Sanderson, M.A., Soder, K.J., Muller, L.D., Klement, K.D., Skinner, R.H. and Goslee, S.C. (2005). Forage mixture productivity and botanical composition in pastures grazed by dairy cattle. *Agronomy Journal*, 97: 1465–1471. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0032>

Salvador-Loreto, I., Arriaga-Jordán, C. M., Estrada-Flores, J. G., Vicente-Mainar, F., García-Martínez, A. and Albarrán-Portillo, B. (2016). Molasses supplementation for dual-purpose cows during the dry season in subtropical Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 48(3): 643–648. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1012-y>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2018). *Crece la producción de leche en México*: Sagarpa.

<https://www.gob.mx/agricultura/colima/articulos/crece-la-produccion-de-leche-enmexico-sagarpa>. Consultado, febrero 2021

Shoaib, M., Ayub, M., Shehzad, M., Naveed, A., Tahir, M., Muhammad, A. (2014). Dry matter yield and forage quality of oat, barley and canola mixture. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 51: 433–439.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022): Panorama agroalimentario.

[https://pubhtml5.com/aheiy/oyp/Panorama Agroalimentario 2022/](https://pubhtml5.com/aheiy/oyp/Panorama_Agroalimentario_2022/) Consultado, diciembre 2023.

Steinfeld, H., P. Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. y De Haan, C (2009). La larga sombra del ganado problemas ambientales y opciones. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 431 p. United Nations Population Fund (UNFPA).

Storm, I., Hellwing, A., Nielsen, N. and Madsen, J. (2012). Methods for measuring and estimating methane emission from ruminants. *Animals*, 2: 160-183.

Stroup, W.W., Hidebrand P.E., Francis CA. (1993). Farmer participation for more effective research in sustainable agriculture. In: Ragland J, Lai R (eds), *Technologies for sustainable agricultura in the tropics*. Special Publication 56. Madison: American Society of Agronomy. pp 153–186.

Thornton, P.K., Van De Steeg, J., Notenbaert, A. and Herrero, M. (2009). The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing

countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 101:113-127.

Totty, V.K., Greenwood, S. L., Bryan, R. H. and Edward, G. R. (2013). Nitrogen partitioning and milk production of dairy cows grazing simple and diverse pastures *Journal of Dairy Science*, 96 :141–149. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5504>

Vargas, J., Cárdenas, E., Pabón, M. y Carulla, J. (2012). Emisión de metano entérico en rumiantes en pastoreo (Enteric methane emission by grazing ruminants). *Archivos de Zootecnia*, 61 (R): 51-66.

Vega-Garcia, 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>

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): 31-42. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392023000100031>

Weinberg, Z.G. and Ashbell, G. (2003). Engineering aspects of ensiling. *Biochem*, 13: 181–188.

Weinberg, Z.G. and Chen Y. (2013): Effects of storage periodo on the composition of whole crop wheat and corn silages. *Animal Feed Science and Technology*, 185: 196-200.

Wildman, E. E., Jones, G. M., Wagner, P. E., Boman, R. L., Troutt Jr., H. F. y Lesch, T. N. (1982). A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. *Journal of Dairy Science*, 65: 495–501.

Zadoks, J.C.T. & Konzak, C. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14: 415-421

XVI. ANEXOS EXPERIMENTO UNO

16.1. Datos promedios de altura y rendimiento de los cultivos de cereales de grano pequeño

Localidad	Cultivo	Altura (cm)	Producción (Mg/ha MS)
S2	Binario	130.1	7.3
S2	Ternario	113.3	6.5
S1	Binario	130.0	10.7
S1	Ternario	103.9	8.1
S2	Binario	113.4	6.7
S2	Ternario	106.3	7.1
S1	Binario	116.7	7.8
S1	Ternario	106.0	7.9
S2	Binario	113.4	8.0
S2	Ternario	103.4	4.9
S1	Binario	117.5	6.2
S1	Ternario	108.6	8.3

S1, loma; S2, valle. Binario, cebada+ centeno; Ternario, cebada+ centeno+ triticales

16.2. Composición botánica de los cultivos de mezclas de cereales de grano pequeño (Mg/ha MS).

Localidad	Cultivo	Cereal	Kikuyo	Material muerto	Otras especies
S2	Binario	9.4	0.1	0.3	0.9
S2	Ternario	6.4	0.1	0.2	1.3
S1	Binario	4.0	0.7	0.1	2.5
S1	Ternario	5.5	0.1	0.1	0.8
S2	Binario	5.7	0.1	0.1	1.9
S2	Ternario	6.8	0.0	0.1	1.1
S1	Binario	5.1	0.4	0.1	1.1
S1	Ternario	4.4	0.6	0.3	1.8
S2	Binario	4.8	0.0	0.1	1.4
S2	Ternario	5.2	0.3	0.1	2.7
S1	Binario	6.0	1.4	0.2	0.4
S1	Ternario	3.6	0.5	0.1	0.6

S1, loma; S2, valle. Binario, cebada+ centeno; Ternario, cebada+ centeno+ triticales

16.3. Datos composición morfológica (%) y producción (Pn) por componente en cada mezcla (Mg/ha MS).

TX	R	Cebada				Centeno				Triticale			
		TA	HO	ES	Pn	TA	HO	ES	Pn	TA	HO	ES	Pn
TERS1	1	29.7	14.9	55.4	0.8	78.1	4.5	17.4	2.1	65.9	8.7	25.4	1.3
TERS1	1	35.7	16.7	47.6	0.5	78.8	7.8	13.4	3.5	59.4	10.2	30.4	3.3
TERS1	1	31.8	12.0	56.3	2.6	77.0	8.0	15.0	2.5	64.8	11.9	23.3	2.6
TERS1	2	34.4	11.3	54.4	1.1	74.7	8.1	17.2	1.3	59.1	13.1	27.8	1.2
TERS1	2	40.7	37.0	22.2	0.4	71.6	10.1	18.2	5.5	51.6	20.8	27.6	3.1
TERS1	2	34.1	10.8	55.1	2.1	72.7	9.8	17.5	3.3	62.7	12.3	25.0	2.4
TERS1	3	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	10.6	19.7	4.6	61.5	11.5	27.1	1.6
TERS1	3	51.4	16.2	32.4	0.6	72.5	6.0	21.4	2.9	47.2	7.9	44.9	1.4
TERS1	3	43.8	31.3	25.0	0.2	73.6	10.8	15.6	3.1	53.5	15.1	31.4	1.3
BINS1	1	23.8	15.3	60.9	6.8	75.3	9.8	14.9	2.8	*	*	*	*
BINS1	1	41.5	14.8	43.7	1.4	77.4	7.1	15.5	5.0	*	*	*	*
BINS1	1	38.5	30.8	30.8	0.3	78.2	5.7	16.1	11.9	*	*	*	*
BINS1	2	13.7	37.3	49.0	0.7	82.4	9.2	8.5	6.2	*	*	*	*
BINS1	2	50.0	16.7	33.3	0.2	75.8	8.9	15.3	3.9	*	*	*	*
BINS1	2	35.7	28.6	35.7	0.9	67.2	10.8	22.0	5.3	*	*	*	*
BINS1	3	57.1	23.8	19.0	0.1	74.9	6.7	18.4	3.3	*	*	*	*
BINS1	3	36.0	20.0	44.0	0.4	78.9	4.2	17.0	4.2	*	*	*	*
BINS1	3	18.2	54.5	27.3	0.2	68.8	15.6	15.6	6.1	*	*	*	*
TERS2	1	39.3	28.6	32.1	0.1	77.4	4.5	17.4	1.9	22.4	65.6	9.3	1.7
TERS2	1	57.3	13.6	29.1	0.4	75.8	7.8	13.4	1.5	9.7	66.4	13.6	1.6

Ensilado de cultivos multi- especie de cereales de grano pequeño en sistemas de producción de leche en pequeña escala

Continuación

TX	R	TA	HO	ES	Pn	TA	HO	ES	Pn	TA	HO	ES	Pn
TERS2	1	41.1	30.4	28.6	0.9	59.4	8.0	15.0	2.2	5.3	67.0	14.7	6.0
TERS2	2	0.0	0.0	0.0	0.0	78.2	8.1	17.2	3.0	19.3	74.4	4.4	1.4
TERS2	2	50.0	41.7	8.3	0.1	77.3	10.1	18.2	1.4	13.6	61.3	10.9	1.6
TERS2	2	20.0	30.0	50.0	0.2	70.4	9.8	17.5	4.2	7.0	48.3	8.3	1.3
TERS2	3	48.7	10.5	40.8	1.2	75.0	10.6	19.7	0.8	7.2	67.3	12.8	2.5
TERS2	3	59.8	14.3	25.9	0.7	75.1	6.0	21.4	1.1	8.1	66.7	11.4	0.7
TERS2	3	38.5	42.3	19.2	0.2	70.9	10.8	15.6	2.5	5.5	62.8	15.7	1.2
BINS2	1	58.3	20.0	21.7	0.6	78.0	9.7	12.3	4.2	*	*	*	*
BINS2	1	40.0	20.0	40.0	0.3	81.9	5.6	12.5	2.2	*	*	*	*
BINS2	1	47.4	15.8	36.8	0.3	76.4	6.5	17.1	4.4	*	*	*	*
BINS2	2	50.0	25.0	25.0	0.2	65.0	13.4	21.7	2.4	*	*	*	*
BINS2	2	60.9	8.7	30.4	0.2	78.6	5.7	15.7	6.4	*	*	*	*
BINS2	2	47.5	24.6	27.9	1.2	75.5	10.3	14.2	4.7	*	*	*	*
BINS2	3	50.0	22.2	27.8	0.7	76.9	5.9	17.2	4.8	*	*	*	*
BINS2	3	42.9	11.4	45.7	1.5	71.5	15.8	12.8	6.2	*	*	*	*
BINS2	3	0.0	0.0	0.0	0.0	68.4	9.1	22.5	4.9	*	*	*	*

TER, cebada, centeno más triticale; BIN, cebada más centeno. R, repetición S1,

loma; S2 valle; TA, tallo; HO, hoja; ES, espiga. *No aplica

16.4. Valores promedios de composición química de los ensilados (g/kg MS)

Localidad	Ensilado	MS(g/kg)	MO	PC	FDN	FDA	DIVMS	EM (MJ/ kg MS)
S2	Binario	351.6	955.4	81.7	706.0	237.6	528.3	7.5
S2	Ternario	304.6	939.5	85.2	638.7	226.2	560.8	7.9
S1	Binario	352.3	951.0	74.7	747.6	242.3	532.7	7.5
S1	Ternario	358.8	939.5	79.4	581.6	216.7	614.7	8.7
S2	Binario	343.3	956.2	99.2	695.6	227.2	482.2	7.3
S2	Ternario	317.5	957.2	80.5	622.2	223.8	554.2	7.8
S1	Binario	375.1	954.3	80.5	689.5	228.6	545.0	7.7
S1	Ternario	322.9	957.2	84.1	665.7	228.7	631.9	9.0
S2	Binario	323.1	953.5	91.0	698.6	227.1	522.0	7.4
S2	Ternario	313.4	949.2	99.2	697.0	228.5	575.3	8.1
S1	Binario	303.6	955.3	82.8	694.1	229.1	476.7	7.1
S1	Ternario	348.1	951.6	99.2	680.4	223.1	560.6	7.9

S1, loma; S2, valle. Binario, cebada+ centeno; Ternario, cebada+ centeno+ triticale

16.5. Datos pre-experimentales de las vacas

Grupo	Vaca	PL total	Peso vivo (kg)	Días en leche	No. de partos
1	200	19.3	466.5	205	2
	201	11.7	478.5	225	4
	288	19.2	478	42	3
2	298	15.4	481.5	211	5
	5121	13.2	483.5	205	5
	297	20.6	532	54	3

PL, producción de leche (kg/vaca/día)

16.6. Valores promedio variables animales (PL y LCEP, kg/vaca/día; NUL, mg/dL)

Secuencia	Vaca	PE	TX	PL	Grasa (g/kg)	Proteína (g/kg)	LCEP	NUL	Peso vivo (kg)	CC (1-5)
AB	200	1	T1	21.1	31.5	30.3	20.4	16.1	476.0	2.5
BA	298	1	T2	17.6	31.6	31.8	17.2	20.8	535.0	2.5
AB	201	1	T1	13.6	41.7	31.3	15.0	16.1	498.5	2.0
BA	5121	1	T2	15.4	38.6	30.9	16.3	16.4	547.0	2.0
AB	288	1	T1	19.8	32.1	30.5	19.3	15.4	489.0	2.5
BA	297	1	T2	21.6	27.8	30.6	19.9	16.8	524.0	2.5
AB	200	2	T1	22.3	30.0	31.0	21.3	15.9	479.5	2.5
BA	298	2	T2	17.6	32.1	31.7	17.3	18.8	551.0	3.0
AB	201	2	T1	14.0	45.7	31.2	16.2	15.9	499.5	2.0
BA	5121	2	T2	15.7	38.3	31.1	16.7	16.5	527.0	2.0
AB	288	2	T1	19.6	35.0	30.4	19.9	17.2	486.0	3.0
BA	297	2	T2	21.1	27.7	30.7	19.4	16.8	555.0	2.5

T1, ensilado binario; T2, ensilado ternario. PE, periodo experimental; TX, tratamiento; PL, producción de leche; LCEP, leche corregida en energía y proteína; NUL, nitrógeno ureico en leche; CC, condición corporal.

16.7. Consumo de alimento (kg/vaca/día)

Secuencia	Vaca	PE	TX	Con	Ensilado	Alfalfa	Pradera	Paja de maíz	Consumo total
AB	200	1	1	3.7	6.1	2.5	1.7	1.3	15.2
AB	200	2	2	3.6	6.0	2.8	1.5	1.3	15.1
BA	298	1	2	3.7	6.6	2.5	1.7	1.3	15.7
BA	298	2	1	3.6	6.1	2.8	1.5	1.3	15.2
AB	201	1	1	3.7	5.9	2.5	1.7	1.3	15.1
AB	201	2	2	3.6	5.8	2.8	1.5	1.3	15.0
BA	5121	1	2	3.7	6.5	2.5	1.7	1.3	15.7
BA	5121	2	1	3.6	5.6	2.8	1.5	1.3	14.8
AB	288	1	1	3.7	6.0	2.5	1.7	1.3	15.1
AB	288	2	2	3.6	5.9	2.8	1.5	1.3	15.0
BA	297	1	2	3.7	6.6	2.5	1.7	1.3	15.7
BA	297	2	1	3.6	6.1	2.8	1.5	1.3	15.3

PE, periodo experimental, TX, tratamiento. Con, concentrado comercial.

XVII. ANEXOS EXPERIMENTO DOS

17.1. Valores promedio rendimiento cultivos ensilados (Mg/ha MS)

Cultivo	Sub	Rep	Pn	Cultivo	Sub	Rep	Pn
CBC	1	1	3.1	CCT	1	1	2.9
CBC	1	2	3.2	CCT	1	2	2.7
CBC	1	3	7.8	CCT	1	3	1.1
CBC	2	1	3.4	CCT	2	1	1.5
CBC	2	2	2.8	CCT	2	2	2.2
CBC	2	3	5.6	CCT	2	3	4.0
CBC	3	1	5.4	CCT	3	1	2.8
CBC	3	2	9.6	CCT	3	2	5.1
CBC	3	3	6.5	CCT	3	3	5.3
CBC	4	1	4.7	CCT	4	1	5.1
CBC	4	2	6.8	CCT	4	2	5.0
CBC	4	3	3.2	CCT	4	3	5.7

CBC, cebada más centeno; CCT, centeno más triticales. Pn, producción de forraje.

17.2. Valores composición botánica ensilados (g/kg MS)

Ensilado	Repetición	Especie			
		cebada	centeno	triticale	otros
CBC	1	26.9	455.5	*	517.6
CBC	2	73.0	379.6	*	547.4
CBC	3	73.8	477.2	*	449.0
CBC	4	13.8	413.7	*	517.6
CBC	5	10.6	581.1	*	546.4
CBC	6	12.3	567.0	*	449.0
CCT	1	*	335.6	227.9	436.5
CCT	2	*	235.5	137.3	627.2
CCT	3	*	488.3	63.3	448.4
CCT	4	*	520.2	115.7	357.7
CCT	5	*	277.4	34.8	677.6
CCT	6	*	288.4	77.5	634.1

CBC, cebada+centeno; CCT, centeno+ triticale. * No aplica.

17.3. Promedios acumulación neta de forraje (ANF) y altura de la pradera

Periodo	Subdivisión	ANF (kg/ha)	ANF (kg/ha día)	Altura (cm)
1	1	854.2	71.2	4.2
1	2	1458.3	121.5	3.4
1	3	1083.3	90.3	3.9
1	4	1121.9	93.5	4.7
2	1	1958.3	163.2	2.6
2	2	1229.2	102.4	2.5
2	3	1479.2	123.3	2.5
2	4	1645.8	137.2	2.3
3	1	833.3	69.4	2.6
3	2	437.5	36.5	2.5
3	3	718.8	59.9	3.2
3	4	875.0	72.9	2.7

17.4. Valores medios composición botánica pradera (g/kg MS)

PE	REP	KY	PM	Trébol	Otros	RGFL
1	1	158.8	442.7	211.7	186.8	0.0
1	2	388.2	611.8	0.0	0.0	0.0
1	3	429.1	570.9	0.0	0.0	0.0
1	4	288.1	469.8	242.0	0.0	0.0
1	5	0.0	1000.0	0.0	0.0	0.0
1	6	307.9	527.9	164.2	0.0	0.0
2	1	384.6	615.4	0.0	0.0	0.0
2	2	459.0	541.0	0.0	0.0	0.0
2	3	192.0	398.3	153.6	0.0	256.0
2	4	260.5	522.5	217.0	0.0	0.0
2	5	237.3	442.9	319.8	0.0	0.0
2	6	149.7	383.2	119.8	223.1	124.2
3	1	308.6	347.2	0.0	0.0	344.1
3	2	371.4	628.6	0.0	0.0	0.0
3	3	354.1	495.7	0.0	0.0	150.2
3	4	162.0	308.9	178.0	210.6	140.4
3	5	243.2	529.7	0.0	227.0	0.0
3	6	176.9	377.5	235.9	0.0	209.7

PE, periodo experimental; REP, repetición; KY, kikuyo; PM, pasto muerto; RGFL, ballico y festuca

17.5. Valores composición química ensilados, pradera y concentrado (g/kg MS; EM, MJ/kg MS)

Alimento	PE	RE	pH	MS	MO	FDN	FAD	PC	DIVMS	EM
CBC	1	1	4.1	284.0	911.6	599.9	271.7	84.0	549.2	7.3
CBC	1	2	4.1	260.6	909.4	621.7	272.9	73.5	573.5	7.6
CBC	2	1	3.9	281.0	665.2	544.6	250.0	87.5	601.2	8.0
CBC	2	2	3.9	285.1	666.9	536.0	249.6	87.5	648.9	8.6
CBC	3	1	3.8	277.8	914.8	515.0	236.3	63.0	603.7	8.0
CBC	3	2	3.9	283.1	921.8	538.6	238.8	59.5	617.9	8.2
EMZ	1	1	4.0	284.2	899.3	583.5	212.6	73.6	608.6	8.1
EMZ	1	2	4.0	305.0	898.6	553.3	222.3	70.0	610.7	8.1
EMZ	2	1	3.9	277.5	898.9	569.4	210.4	77.0	628.6	8.3
EMZ	2	2	3.9	304.9	898.9	541.4	212.5	77.0	636.9	8.4
EMZ	3	1	3.8	282.9	898.7	591.5	221.0	66.5	595.4	7.9
EMZ	3	2	3.9	300.0	905.4	565.8	220.3	69.9	623.4	8.3
CCT	1	1	4.2	257.6	913.4	612.5	257.3	73.5	587.3	7.8
CCT	1	2	4.2	250.0	915.5	612.5	257.3	98.0	565.0	7.5
CCT	2	1	4.0	240.0	922.3	578.7	235.9	87.5	621.2	8.2
CCT	2	2	4.0	241.7	923.2	561.3	258.5	84.0	615.7	8.2
CCT	3	1	4.1	259.0	928.4	588.2	258.4	77.0	542.6	7.2
CCT	3	2	4.0	256.9	899.7	608.2	267.3	76.9	581.3	7.7
pradera	1	*	*	547.9	913.4	648.6	156.5	91.0	546.9	7.7
pradera	2	*	*	449.0	907.1	649.0	177.8	110.2	568.2	8.1

Continuación

Alimento	PE	RE	pH	MS	MO	FDN	FAD	PC	DIVMS	EM
pradera	3	*	*	470.6	907.1	621.9	141.1	122.5	566.2	8.0
CON	1	*	*	89.6	878.0	263.9	77.6	18.4	803.2	13.5
CON	2	*	*	92.1	878.5	242.5	95.7	18.4	803.2	13.1
CON	3	*	*	89.9	835.0	305.2	75.3	18.5	747.0	12.1

Pe, Periodo experimental; Re, repetición. CBC, ensilado cebada +centeno; CCT, ensilado centeno+ triticale; EMZ, ensilado de maíz. CON, concentrado. MS, materia seca; MO, materia orgánica; FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente acido; PC, proteína cruda; DIVMS, digestibilidad in vitro de la materia seca; EMe, energía metabolizable estimada. *No aplica.

17.6. Composición química dieta consumida (g/kg MS)

Cuadro	TX	PE	Vaca	MS	MO	PC	FDN	FDA	DIVMS	EMe (MJ/ kg MS)
1	1	1	6966	517.1	904.1	107.4	545.2	184.9	611.5	8.9
1	2	2	6966	478.6	901.9	111.2	525.0	174.9	644.4	9.0
1	3	3	6966	464.8	895.7	115.5	548.9	180.0	600.3	8.4
1	3	1	38	507.0	905.1	111.6	538.5	180.4	622.5	9.1
1	1	2	38	466.6	910.3	114.9	487.0	178.5	658.4	9.2
1	2	3	38	490.3	886.3	111.4	519.9	164.0	633.6	8.8
1	2	1	5943	527.5	897.2	107.6	507.3	162.7	645.3	9.4
1	3	2	5943	452.2	910.0	115.3	500.4	196.0	656.7	9.2
1	1	3	5943	470.9	895.1	103.3	486.4	177.4	638.0	8.9

*Ensilado de cultivos multi- especie de cereales de grano pequeño en sistemas de
producción de leche en pequeña escala*

Continuación

Cuadro	TX	PE	Vaca	MS	MO	PC	FDN	FDA	DIVMS	EMe (MJ/ kg MS)
2	1	1	40	505.4	900.6	113.7	505.8	195.7	636.1	9.4
2	3	2	40	465.0	914.2	117.7	476.8	195.4	670.6	9.4
2	2	3	40	488.5	882.4	107.8	500.4	170.4	647.0	9.0
2	3	1	3031	501.7	903.8	115.0	520.6	183.9	634.7	9.3
2	2	2	3031	498.0	899.4	112.5	462.9	170.7	682.3	9.5
2	1	3	3031	481.7	892.4	103.5	468.8	183.4	647.6	9.0
2	2	1	3025	522.7	893.8	110.9	478.4	164.1	665.4	9.8
3	3	1	3030	499.7	903.5	115.6	517.1	184.9	637.1	9.4
3	2	2	3030	493.3	900.0	112.5	477.6	200.6	673.3	9.4
3	1	3	3030	457.6	894.6	96.6	464.7	160.3	649.1	9.0
3	2	1	39	522.8	895.7	108.7	494.8	164.0	654.0	9.6
3	1	2	39	469.1	910.9	115.9	459.8	182.2	673.5	9.4
3	3	3	39	461.8	891.3	112.3	520.4	195.6	613.5	8.5
3	1	1	5935	508.2	901.1	112.9	511.2	193.7	632.7	9.3
3	3	2	5935	460.9	913.8	117.0	490.8	194.7	662.3	9.3
3	2	3	5935	486.5	885.2	109.2	514.2	167.0	637.8	8.9

TX, tratamientos, T1, ensilado cebada+ centeno- CBC; T2, ensilado de maíz; T3, ensilado centeno más triticale- CCT; PE, periodo experimental. MS, materia seca; MO, materia orgánica; FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente acido; PC, proteína cruda; DIVMS, digestibilidad in vitro de la materia seca; EMe, energía metabolizable estimada

17.7. Datos preexperimentales de las vacas

Cuadro	Vaca	PL total (kg/vaca día)	Peso vivo (kg)	Días en leche	No. de partos
	6966	20.7	481	114	3
1	38	17.5	436	50	4
	5943	13.8	590	220	5
	3030	10.8	520	142	4
2	39	11.2	453	127	5
	5935	11.1	554	250	6
	40	12.9	439	104	5
3	3031	12.2	490	152	3
	3025	11.9	546	279	4

PL, producción de leche

12.1. Promedios variables evaluación animal (PL, kg/vaca/día; NUL, mg/dL)

Cuadro	TX	PE	Vaca	PL	Grasa (g/kg)	Proteína (g/kg)	Lactosa (g/kg)	PV (kg)	NUL
1	1	1	6966	19.4	32.6	27.9	41.8	463.0	13.1
1	2	2	6966	20.0	31.6	27.9	41.9	490.0	16.2
1	3	3	6966	18.8	37.8	28.3	42.4	488.0	15.9
1	3	1	38	16.2	33.6	28.0	42.0	414.5	14.9
1	1	2	38	16.5	34.7	27.9	41.9	433.0	20.2
1	2	3	38	14.4	32.3	30.2	45.3	442.5	16.8
1	2	1	5943	12.4	35.0	29.7	44.7	545.0	11.2
1	3	2	5943	12.6	35.3	30.0	46.1	588.0	14.0
1	1	3	5943	11.4	35.6	29.4	44.1	602.0	13.5

*Ensilado de cultivos multi- especie de cereales de grano pequeño en sistemas de
producción de leche en pequeña escala*

Continuación

Cuadro	TX	PE	Vaca	PL	Grasa	Proteína	Lactosa	PV	NUL
2	1	1	40	10.7	33.7	29.1	43.7	424.0	8.9
2	3	2	40	11.4	35.8	29.3	44.1	430.0	15.3
2	2	3	40	10.8	36.2	27.7	41.7	451.0	14.0
2	3	1	3031	12.0	37.8	27.7	41.7	476.0	12.8
2	2	2	3031	11.3	37.6	27.3	41.1	498.0	17.8
2	1	3	3031	9.7	41.2	29.4	44.3	504.0	11.2
2	2	1	3025	10.9	39.0	29.6	44.5	420.0	15.1
2	1	2	3025	*	38.3	30.0	45.1	538.0	14.3
2	3	3	3025	*	39.0	29.1	43.8	550.0	13.0
3	3	1	3030	10.6	37.7	29.1	43.9	528.0	10.7
3	2	2	3030	10.8	37.1	28.7	43.2	552.0	14.0
3	1	3	3030	10.0	39.3	29.2	43.9	553.0	16.8
3	2	1	39	12.6	36.8	28.9	43.4	436.0	12.1
3	1	2	39	12.6	37.7	29.1	43.8	457.0	16.1
3	3	3	39	11.2	37.3	29.6	44.5	452.5	10.4
3	1	1	5935	11.0	43.4	29.9	45.0	451.5	7.5
3	3	2	5935	11.5	42.8	28.9	43.6	558.0	15.7
3	2	3	5935	10.6	51.6	28.9	43.6	561.0	13.1

TX, tratamientos, PE, periodo experimental. T1, ensilado cebada+ centeno- CBC;
T2, ensilado de maíz; T3, ensilado centeno más triticale- CCT. PL, producción de
leche; PV, peso vivo; NUL, nitrógeno ureico en leche.

12.2. Consumo de materia seca (kg/vaca/día)

Cuadro	TX	PE	Vaca	Con	Ensilado	Pradera	CMS Total	Con (%)	Ensilado (%)	Pradera (%)
1	1	1	6966	3.6	6.3	5.8	15.7	22.9	40.2	36.9
1	2	2	6966	3.6	7.5	6.4	17.4	20.6	42.9	36.5
1	3	3	6966	3.6	7.7	6.8	18.1	19.9	42.7	37.4
1	3	1	38	3.6	6.3	4.7	14.6	24.6	43.0	32.4
1	1	2	38	3.6	8.7	2.6	14.8	24.3	58.3	17.4
1	2	3	38	3.6	7.0	3.5	14.2	25.4	49.8	24.8
1	2	1	5943	3.6	6.0	3.6	13.2	27.3	45.5	27.3
1	3	2	5943	3.6	7.9	2.5	14.1	25.6	56.4	18.0
1	1	3	5943	3.6	8.1	2.4	14.1	25.6	57.4	17.1
2	1	1	40	3.6	6.3	1.5	11.4	31.7	55.4	12.9
2	3	2	40	3.6	7.2	1.0	11.8	30.5	61.3	8.2
2	2	3	40	3.6	7.4	1.0	12.0	30.0	61.6	8.5
2	3	1	3031	3.6	6.2	2.7	12.6	28.6	49.6	21.8
2	2	2	3031	3.6	7.2	0.7	11.5	31.3	62.6	6.0
2	1	3	3031	3.6	7.4	1.0	12.0	29.9	61.5	8.6
2	2	1	3025	3.6	6.0	1.3	11.0	32.8	55.0	12.2
3	3	1	3030	3.6	6.3	2.4	12.3	29.4	51.2	19.5
3	2	2	3030	3.6	7.3	1.6	12.5	28.8	58.0	13.2
3	1	3	3030	3.6	9.0	0.1	12.7	28.4	70.8	0.8
3	2	1	39	3.6	6.2	2.5	12.2	29.5	50.4	20.1

Continuación

Cuadro	TX	PE	Vaca	Con	Ensilado	Pradera	CMS Total	Con (%)	Ensilado (%)	Pradera (%)
3	1	2	39	3.6	8.7	0.4	12.7	28.3	68.3	3.5
3	3	3	39	3.6	7.8	1.7	13.1	27.6	59.7	12.8
3	1	1	5935	3.6	6.2	2.0	11.8	30.5	53.0	16.5
3	3	2	5935	3.6	7.4	1.9	13.0	27.8	57.3	14.9
3	2	3	5935	3.6	7.4	2.6	13.6	26.5	54.6	18.9

TX, tratamientos, PE, periodo experimental. T1, ensilado cebada+ centeno- CBC; T2, ensilado de maíz; T3, ensilado centeno más triticale- CCT. CMS, consumo de materia seca, Con, concentrado comercial.

12.3. Valores medios emisiones de metano (CH₄)

Cuadro	TX	PE	Vaca	LCEP	CH ₄				YM
					g/día	MJ/día	g/kg CMS	g/ kg LCEP	
1	1	1	6966	18.7	323.9	18.0	20.6	17.4	6.2
1	2	2	6966	19.0	353.2	19.7	20.2	18.6	6.0
1	3	3	6966	18.6	363.4	20.2	20.1	19.6	6.1
1	3	1	38	15.9	301.1	16.8	20.6	19.0	6.2
1	1	2	38	16.3	305.4	17.0	20.6	18.7	6.2
1	2	3	38	13.9	289.4	16.1	20.4	20.9	6.1
1	2	1	5943	12.5	271.1	15.1	20.5	21.7	6.1
1	3	2	5943	12.7	285.6	15.9	20.3	22.4	6.1

*Ensilado de cultivos multi- especie de cereales de grano pequeño en sistemas de
producción de leche en pequeña escala*

Continuación

Cuadro	TX	PE	Vaca	LCEP	g/día	MJ/día	g/kg CMS	g/ kg LCEP	YM
1	1	3	5943	11.5	283.3	15.8	20.1	24.7	6.1
2	1	1	40	10.6	237.1	13.2	20.9	22.4	6.3
2	3	2	40	11.5	246.4	13.7	20.8	21.4	6.3
2	2	3	40	10.8	248.3	13.8	20.7	22.9	6.1
2	3	1	3031	12.3	260.5	14.5	20.7	21.2	6.2
2	2	2	3031	11.6	241.2	13.4	21.0	20.8	6.2
2	1	3	3031	10.3	247.8	13.8	20.6	24.0	6.2
2	2	1	3025	11.5	232.7	13.0	21.2	20.3	6.3
3	3	1	3030	11.0	252.5	14.1	20.6	23.0	6.2
3	2	2	3030	11.2	256.8	14.3	20.5	23.0	6.1
3	1	3	3030	10.5	258.5	14.4	20.4	24.5	6.1
3	2	1	39	13.0	255.8	14.2	20.9	19.7	6.2
3	1	2	39	13.0	264.2	14.7	20.8	20.3	6.3
3	3	3	39	11.6	266.7	14.8	20.4	23.0	6.2
3	1	1	5935	12.3	247.7	13.8	21.0	20.1	6.3
3	3	2	5935	12.8	267.5	14.9	20.7	20.9	6.2
3	2	3	5935	12.1	276.1	15.4	20.4	22.8	6.0

TX, tratamientos, T1, ensilado cebada+ centeno- CBC; T2, ensilado de maíz; T3, ensilado centeno más triticale- CCT; PE, periodo experimental. CMS, consumo de materia seca; LCEP, leche corregida en energía y proteína. YM, % energía bruta perdida como metano.

12.4. Composición botánica ensilados de laboratorio (g/kg MS)

Tx	Rep	Cebada	Centeno	Triticale	Muerto	Cereal total	otros
CBCD1	1	5.1	993.2	*	1.8	998.2	0.0
	2	60.7	788.0	*	7.0	848.7	144.3
	3	123.2	764.1	*	0.0	887.3	112.7
	4	257.9	689.5	*	15.8	947.4	36.8
	5	225.9	621.3	*	19.9	847.2	132.9
	6	190.2	420.2	*	0.0	610.4	389.6
CBTD1	1	301.9	*	340.9	0.0	642.9	357.1
	2	284.3	*	433.8	0.0	718.1	281.9
	3	356.7	*	332.3	0.0	689.0	311.0
	4	183.7	*	432.6	0.0	616.3	383.7
	5	315.7	*	327.3	6.6	643.0	350.4
	6	318.2	*	312.5	8.5	630.7	360.8
CCTC1	1	*	676.0	159.2	0.0	813.7	164.8
	2	*	686.3	127.5	3.9	744.2	186.3
	3	*	603.5	140.6	8.7	932.8	252.0
	4	*	559.6	371.1	22.0	893.8	58.6
	5	*	644.7	173.3	0.0	586.7	84.2
	6	*	431.7	131.7	10.2	804.4	413.3
CBCD2	1	50.7	752.7	*	0.0	606.6	196.6
	2	49.2	557.4	*	0.0	871.2	393.4

*Ensilado de cultivos multi- especie de cereales de grano pequeño en sistemas de
producción de leche en pequeña escala*

Continuación

Tx	Rep	Cebada	Centeno	Triticale	Muerto	Cereal total	otros
	3	83.9	787.3	*	0.0	669.5	128.8
	4	22.0	647.5	*	0.0	673.9	330.5
	5	10.1	663.8	*	0.0	697.3	326.1
	6	0.0	697.3	*	0.0	680.2	302.7
CBTD2	1	195.8	*	284.1	0.0	480.6	516.9
	2	248.8	*	231.7	0.0	629.2	519.4
	3	258.4	*	370.8	0.0	618.9	370.8
	4	293.7	*	325.2	0.0	394.8	381.1
	5	88.1	*	306.7	14.2	568.1	605.2
	6	221.2	*	346.9	4.7	511.1	417.7
CCTC2	1	*	254.4	461.5	0.0	586.3	284.0
	2	*	508.0	78.3	0.0	372.8	413.7
	3	*	235.5	137.3	0.0	669.1	627.2
	4	*	535.3	133.8	0.0	547.9	330.9
	5	*	472.6	75.3	24.7	713.5	452.1
	6	*	609.1	104.4	8.2	629.7	261.9

Tx, tratamiento, Rep, repetición; CBC, cebada+ centeno; CBT, cebada más triticales; CCT, centeno más triticales. * No aplica.

12.5. Composición química ensilados de laboratorio (g/kg MS)

Mx	Día	REP	pH	MS	MO	FDN	FDA	PC	DIVMS	EMe (MJ/ kg MS)
CBC	60	1	4.0	247.1	932.0	628.2	230.3	105.0	598.8	8.3
CBC	60	2	4.2	221.4	928.8	592.9	236.5	106.2	570.8	7.9
CBC	80	1	4.4	342.6	939.0	637.3	230.3	80.5	479.7	6.6
CBC	80	2	4.4	351.1	938.9	672.0	236.5	64.2	488.7	6.8
CBT	60	1	3.8	198.0	924.8	503.2	207.6	114.3	713.0	10.0
CBT	60	2	3.8	207.5	918.9	508.5	200.3	109.7	707.3	9.9
CBT	80	1	4.4	254.2	931.5	543.0	207.6	77.6	619.0	8.6
CBT	80	2	4.3	268.1	923.8	536.5	200.3	82.8	638.4	8.9
CCT	60	1	4.3	246.0	931.0	621.8	220.7	100.4	554.0	7.7
CCT	60	2	4.3	219.8	926.4	599.2	222.5	101.5	578.9	8.1
CCT	80	1	4.3	288.0	936.6	617.7	220.7	71.2	547.9	7.6
CCT	80	2	4.4	296.3	935.9	603.0	222.5	75.2	537.8	7.5

Mx, mezcla, CBC, cebada+ centeno; CBT, cebada más triticale; CCT, centeno más triticale. MS, materia seca; MO, materia orgánica; FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; PC, proteína cruda; DIVMS, digestibilidad in vitro de la materia seca; EMe, energía metabolizable estimada.